

DIPLOMARBEIT



MÖGLICHKEITEN ZUR UNTERSTÜTZUNG DES METHODISCHEN KONSTRUIERENS BEI DER ENTWICKLUNG TECHNISCHER PRODUKTE

Gartlacher Benjamin

Vorgelegt am
Institut für Technische Logistik

Betreuer

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Landschützer

Mitbetreuender Assistent
Dipl.-Ing. Alexander Ortner-Pichler

Graz, am 30. Jänner 2014

EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

STATUARY DECLARATION

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 marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz,

date

.....

(signature)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mir während meiner Diplomarbeit mit Rat und Tat zur Seite standen.

Für die Betreuung von universitärer Seite bedanke ich mich bei Herrn Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Landschützer und Herrn Dipl.-Ing. Alexander Ortner-Pichler.

Besonderer Dank gebührt meiner Familie, die mich die gesamte Ausbildungszeit hindurch unterstützte.

(Ort), am (Datum)

(Unterschrift des Studenten)

Kurzfassung

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit den Möglichkeiten zur Unterstützung des methodischen Konstruierens. Dabei soll zuerst ein Einblick in den Produktentwicklungsprozess gegeben werden. Es werden die inhaltlichen, zeitlichen und terminlichen Planungsaspekte, sowie die Kostenplanung eines Entwicklungsprozesses genauer betrachtet und das interdisziplinäre Zusammenarbeiten nach dem Prinzip von Simultaneous Engineering erläutert. Des Weiteren werden die Einflüsse auf einen Produktentwicklungsprozess, wie die Auftragsart, die Stückzahl und der Neuheitsgrad untersucht.

Nach einem kurzen chronologischen Überblick über die geschichtliche Entwicklung der Konstruktionswissenschaft, werden die bedeutendsten Vorgehensmodelle erklärt und miteinander verglichen. Um mit Vorgehensmodellen effizient arbeiten zu können, bedient man sich gewisser Methoden und Werkzeuge. Deren Anwendung kann je nach Entwicklungsstatus des Produktes und Erfahrung des Ingenieurs mehr oder weniger passend sein. Nach einer Erklärung und einer Auflistung der Charakteristika folgt deshalb anschließend eine Zuordnung der Methoden zu den Ablaufschritten des Konstruktionsprozesses.

Im abschließenden großen Teil der Arbeit wird ein Konzept für die computergestützte Umsetzung des methodischen Konstruierens erarbeitet und die „ME-app“ vorgestellt. Das Programm wurde im Zuge dieser Diplomarbeit entwickelt und orientiert sich an der VDI 2221 und derer Töchterraichtlinien. Dieses Tool soll den Entwickler sicher und effizient durch den Produktentwicklungsprozess leiten, an richtiger Stelle die richtigen Methoden und Werkzeuge bereitstellen, zur einfachen und schnellen Durchführung der Methoden beitragen indem es Vorlagen und Formblätter anbietet, und das Ganze an einem Anwendungsbeispiel aus der Technischen Logistik demonstriert.

Abstract

This thesis introduces a solution to support a systematic approach for product development. To provide context, an insight into the product development process is included covering content related planning, time schedules and deadline planning aspects, cost planning of the development process and interdisciplinary work based on the principle of simultaneous engineering. Furthermore, the influences on the product development process and the methodological approach are analysed.

Following a brief chronological overview of the historical development of design science the most significant process models are explained and compared. In order to work efficiently with process models, various methods and tools are used. Their application can be determined by the development status of the product and the experience of the engineer, as appropriate. A list of the characteristics for explanatory purposes is therefore provided and followed by a mapping of the methods to the steps of the design process.

A concept for computer aided implementation of product development methodology is developed and the "ME-app" is presented as a proposed solution. The program was developed throughout the course of this thesis and is based on the VDI 2221 framework and its subsections. This tool is to guide users safely and efficiently through the product development process. Based on user input, it provides the appropriate methods and tools and ensures their quick and easy implementation by providing templates and demonstrative examples of their use.

Inhaltsverzeichnis

0	Einleitung und Zielsetzung	1
0.1	Ausgangssituation und Problemstellung.....	1
0.2	Zielsetzung	1
0.3	Aufbau der Arbeit	2
1	Der Produktentwicklungsprozess – Stand der Technik, Problemanalyse	3
1.1	Der Allgemeine Lösungs- und Entscheidungsprozess.....	3
1.2	Die drei Planungsaspekte für eine erfolgreiche Produktentwicklung	5
1.2.1	Die inhaltliche Planung.....	5
1.2.2	Die zeitliche und terminliche Planung.....	6
1.2.3	Die Kostenplanung.....	8
1.3	Simultaneous Engineering	9
1.4	Einflüsse auf den Entwicklungsprozess.....	10
1.4.1	Unterscheidung von Konstruktionsarten nach Auftragsherkunft.....	11
1.4.2	Einfluss der Stückzahlen	12
1.4.3	Einteilung der Konstruktionsarten nach Neuheitsgrad	13
2	Methodisches Vorgehen bei der Produktentwicklung – Entwicklung von Maßnahmen	15
2.1	Geschichte des methodischen Konstruierens.....	15
2.2	Ziel der Konstruktionsmethodik	16
2.3	Vorgehensmodelle	17
2.3.1	Elementare Handlungsabläufe (Ebene der Mikrologik).....	20
2.3.2	Modelle auf der Ebene der operativen Arbeitsschritte.....	23
2.3.3	Phasen- und Arbeitsschrittmodelle	27
2.3.4	Gegenüberstellung und Bewertung der Vorgehensmodelle	44
2.3.5	Kritik an den Vorgehensmodellen.....	46
2.4	Methoden und Werkzeuge	47
2.4.1	Analyse- und Zielvorgabemethoden	48
2.4.2	Methoden zum Generieren von Lösungsideen	49
2.4.3	Methoden zur Bewertung und Entscheidungsfindung.....	50
2.4.4	Entwicklungsunterstützende Methoden	51
2.4.5	Zuordnung der Methoden zum Vorgehensmodell nach VDI 2221.....	52
3	Computergestützte Umsetzung des methodischen Entwickelns – Bewertung und Umsetzung der Maßnahmen	55
3.1	Situationsanalyse Softwareprodukte	55
3.2	Entwicklung der ME-app	56
3.2.1	Klären und präzisieren der Aufgabenstellung	57
3.2.2	Ermitteln der Funktionen und deren Strukturen	60
3.2.3	Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen.....	61
3.2.4	Gliedern in realisierbare Module.....	61
3.2.5	Gestalten der maßgebenden Module	63
3.2.6	Gestalten des gesamten Produktes.....	68
3.2.7	Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben	72
3.3	Anwendung und Nutzen der ME-app am Beispiel des tribologischen Prüfstandes.....	76
4	Zusammenfassung und Fazit	85

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der Allgemeine Lösungsprozess nach Pahl/Beitz ([PB06] , S.191)	4
Abbildung 2: Allgemeiner Entscheidungsprozess nach Pahl/Beitz (vergl. [PB06] ,S.192)	5
Abbildung 3: Hauptphasen eines Entwicklungsprozesses nach Pahl/Beitz [PB06]	6
Abbildung 4: Time to Market nach Kramer ([RS12] , S.399)	7
Abbildung 5: Generationswechsel bei VW [VOL12]	7
Abbildung 6: Festlegung der Kosten für ein Produkt nach Eversheim	8
Abbildung 7: Kostenentstehung und Kostenverantwortung nach Eversheim.....	9
Abbildung 8: Einfluss der Stückzahlen auf den Entwicklungsprozess nach VDI 2221	12
Abbildung 9: Neuheitsgrad und Umsetzungsaufwand (vergl. [FEL13]).....	14
Abbildung 10: Prägende Personen der Konstruktionswissenschaft (vergl. [FEL12])	16
Abbildung 11: Ziel einer Konstruktionsmethodik [FEL12]	17
Abbildung 12: Einteilung der Prozessmodelle nach Lindemann [LIN09]	18
Abbildung 13: Strukturierung der Vorgehensmodelle (vergl. [LIN09])	19
Abbildung 14:TOTE- Modell.....	20
Abbildung 15: Struktur von VVR-Einheiten nach Hacker (vergl. [HAR05] , S.63)	21
Abbildung 16: Der diskursive Prozess nach Wulf ([LIN05] , S.36)	22
Abbildung 17: PDCA-Zyklus [BAY10]	22
Abbildung 18: Entstehung des Vorgehenszyklus nach Ehrlenspiel (vergl. [EHR09] , S.88).....	23
Abbildung 19: Vorgehenszyklus nach Ehrlenspiel ([EHR09] , S.98)	24
Abbildung 20: Problemlösezyklus nach Daenzer.....	25
Abbildung 21: ARIZ [LIN09]	26
Abbildung 22: Vorgehenszyklus aus der Denkpsychologie [LIN09]	27
Abbildung 23: Vorgehen nach Rodenacker [BEN04]	28
Abbildung 24: Prozessmodell nach Roth [ROT00]	29
Abbildung 25: Prozessmodell nach Koller (vergl. [KK98]).....	31
Abbildung 26: Vorgehen nach VDI 2221 (vergl. [VDI93]).....	33
Abbildung 27: Ausschnitt aus Suchmatrix für Wagenheber nach Roth (vergl. [ROT00] , S.77)	35
Abbildung 28: Funktionsstruktur Wagenheber([ROT00] , S.91)	36
Abbildung 29: Vorgehensmodell nach Pahl/Beitz ([PB06] , S.198).....	40
Abbildung 30: Domänen in Axiomatic Design ([BNS08] , S.4)	41
Abbildung 31: Zuordnungs- und Dekompositionsprozess ([BNS08] , S.8).....	42
Abbildung 32: Ablaufdiagramm des Axiomatic Design ([STE12] , S.58).....	43
Abbildung 33: Vorgehen bei der Software-Entwicklung ([VDI93] ; S.31).....	57
Abbildung 34: Die 3 Säulen für eine computergestützte methodische Entwicklung.....	58
Abbildung 35: Funktionsstruktur der ME-app.....	60
Abbildung 36: Lösungsprinzip der VDI-app.....	61

Abbildung 37: Hauptmodul 1 (Allgemeine Erklärung der VDI)	62
Abbildung 38: Hauptmodul 2 (Vorgehen nach VDI)	62
Abbildung 39: Modul 2.1 (Arbeitsschritte)	63
Abbildung 40: Submodul 2.1.1 (Methoden).....	63
Abbildung 41: Allgemeine Erklärung der VDI 2221	64
Abbildung 42: Vorgehen nach VDI.....	66
Abbildung 43: Untergliederung des Hauptarbeitsschrittes in Arbeitsschritte	66
Abbildung 44: Arbeitsergebnis	67
Abbildung 45: Auszug aus dem Formblatt - Anforderungsliste	67
Abbildung 46: Arbeitsschritt	68
Abbildung 47: Methodenvorschlag in ME-app.....	71
Abbildung 48: Methode ABC-Analyse.....	72
Abbildung 49: Startseite ME-app	73
Abbildung 50: Auswahl der Konstruktionsart	73
Abbildung 51: Information über die Konstruktionsarten	74
Abbildung 52: ME-app Prozessmodell	75
Abbildung 53: Methoden für das Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen	77
Abbildung 54: Gesamtfunktion – Reibungsprüfstand.....	77
Abbildung 55: Allgemeine Funktionsstruktur – Reibungsprüfstand.....	78
Abbildung 56: Funktionsstruktur - Reibungsprüfstand	78
Abbildung 57: Morphologischer Kasten – Reibungsprüfstand	79
Abbildung 58: Prinzipielle Lösungen – Reibungsprüfstand (vergl., [SG12b]).....	80
Abbildung 59: Modulare Struktur – Reibungsprüfstand [SG12b]	81
Abbildung 60: Auszug aus dem Methodenvorschlag für die Bewertung der Entwürfe	82
Abbildung 61: Vorentwurf Kistenhalter – Reibungsprüfstand [SCH13]	82
Abbildung 62: Gesamtentwurf – Reibungsprüfstand [SCH13]	83
Abbildung 63: Fehlerbaumanalyse eines Getriebes ([BL06] , S.166).....	112

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vorteile von SE [PLÜ03]	10
Tabelle 2: Konstruktionsarten nach Auftragsherkunft (vergl. [VDI97] , S.7)	12
Tabelle 3: Gegenüberstellung von Pahl/Beitz und VDI 2221	39
Tabelle 4: Gegenüberstellung der Vorgehensmodelle	44
Tabelle 5: Bewertung der Vorgehensmodelle	45
Tabelle 6: Analyse- und Zielvorgabemethoden.....	48
Tabelle 7: Methoden zum Generieren von Lösungsideen.....	49
Tabelle 8: Methoden zur Bewertung und Entscheidungsfindung	50
Tabelle 9: Entwicklungsunterstützende Methoden.....	51
Tabelle 10: Zuordnung der Methoden zu den Hauptarbeitsschritten	53
Tabelle 11: Zuordnung der Methoden zur Konstruktionsart	54
Tabelle 12: Zuordnung der Methoden zu den Arbeitsschritten (Auszug)	69
Tabelle 13: Auszug aus Anforderungsliste - Prüfstand	76
Tabelle 14: Charakteristika ABC-Analyse	90
Tabelle 15: Charakteristika Abstraktion/Blackbox.....	91
Tabelle 16: Charakteristika Anforderungsliste	91
Tabelle 17: Charakteristika Benchmarking	92
Tabelle 18: Charakteristika Eigenschaftsliste.....	93
Tabelle 19: Charakteristika Funktionsmodellierung	94
Tabelle 20: Charakteristika Kano-Modell	95
Tabelle 21: Charakteristika QFD.....	95
Tabelle 22: Charakteristika Reverse Engineering.....	96
Tabelle 23: Charakteristika Trendanalyse.....	97
Tabelle 24: Charakteristika Bionik.....	98
Tabelle 25: Charakteristika Brainstorming	99
Tabelle 26: Charakteristika Checkliste nach Osborn	100
Tabelle 27: Charakteristika Delphi-Analyse	100
Tabelle 28: Charakteristika Einflussmatrix	102
Tabelle 29: Charakteristika Galeriemethode.....	102
Tabelle 30: Charakteristika Konstruktionskatalog	103
Tabelle 31: Charakteristika Methode 635	104
Tabelle 32: Charakteristika Morphologischer Kasten.....	105
Tabelle 33: Charakteristika Negation	106
Tabelle 34: Charakteristika Ordnungsschema	107
Tabelle 35: Charakteristika Synektik.....	109
Tabelle 36: Charakteristika Variation	110
Tabelle 37: Charakteristika Bewertung	110
Tabelle 38: Charakteristika Ähnlichkeitsanalyse	111

Tabelle 39: Charakteristika Fehlerbaumanalyse	112
Tabelle 40: Charakteristika FMEA	113
Tabelle 41: Charakteristika Fragebogen	114
Tabelle 42: Charakteristika Gefährdungsanalyse	114
Tabelle 43: Charakteristika Punktbewertung	115
Tabelle 44: Charakteristika Nutzwertanalyse	116
Tabelle 45: Charakteristika Paarweiser Vergleich	116
Tabelle 46: Charakteristika SWOT-Analyse	117
Tabelle 47: Charakteristika Vorteil-Nachteil-Vergleich	118
Tabelle 48: Charakteristika Handlungsplanungsblatt	119
Tabelle 49: Charakteristika Checkliste	119
Tabelle 50: Charakteristika Mind Mapping	120
Tabelle 51: Charakteristika Numerische Simulation	121
Tabelle 52: Charakteristika Recherche	121
Tabelle 53: Charakteristika Versuch	122
Tabelle 54: Charakteristika Wirkungsnetz	123
Tabelle 55: Zuordnung der Methoden TEIL I	130
Tabelle 56: Zuordnung der Methoden TEIL II	131
Tabelle 57: Beispiel einer Checkliste [RB]	132
Tabelle 58: FMEA Formblatt	133
Tabelle 59: Vollständige Anforderungsliste des Projektes Reibungsprüfstand	134
Tabelle 60: Formblatt Ähnlichkeitsanalyse [MEP14]	135
Tabelle 61: Formblatt Methode 635	136
Tabelle 62: Formblatt zur Durchführung einer Nutzwertanalyse [MEP14]	137
Tabelle 63: SWOT-Analyse [MEP14]	138
Tabelle 64: Beispiel einer Funktionsmodellierung [MEP14]	139

0 Einleitung und Zielsetzung

0.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die in den letzten Jahrzehnten immer weiter fortschreitende Globalisierung und der dadurch entstehende verschärfte, weltweite Wettbewerbsdruck stellen die Unternehmen vor neue Herausforderungen. Beim Kunden wachsen durch die immer größer werdenden Märkte und Angebote die Anforderungen an ein Produkt. Das Qualitätsbewusstsein steigt und die Dienstleistung beziehungsweise das Produkt muss einen besonderen Kaufanreiz bieten. Für Hersteller bedeutet dies einen zunehmenden Kosten-, Qualitäts- und Zeitdruck.

Durch systematische und methodische Produktentwicklung ist es möglich, wettbewerbsfähige technische Produkte zu erzeugen, die genau diese vom Kunden gewünschten Anforderungen erfüllen. Es genügt aber nur ein Blick in die konstruktive Praxis um feststellen zu müssen, dass sich insbesondere bei kleinen und mittelständischen Unternehmen ein strategisches Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren kaum erkennen lässt. Einerseits wurde schon seit den Anfängen der Versuche, Produktentwicklung an eine methodische Vorgehensweise zu binden, Kritik an den Modellen selbst geübt, andererseits liegt es an der mangelnden Akzeptanz funktionierende Prozesse in der Entwicklung aufgrund von Effizienzsteigerungsmaßnahmen abzuändern (vergl. Kapitel 2.3.5). Dabei kann gerade bei den Wiederhol- und Variantenkonstruktionen, die den Großteil der Entwicklungstätigkeiten ausmachen (nach [FEL13] ca. 90%), ein Zurückgreifen auf bekannte, bewährte Lösungen und das Abändern dieser zum Erfolg eines Produktes beitragen. Dieses Wiederverwenden setzt voraus, dass die Lösungen systematisch entwickelt und dokumentiert werden, Verstanden werden und wieder auffindbar sind. Besonders im Bereich der Technischen Logistik ist der Anteil an Variantenkonstruktionen sehr hoch. Da die Aufträge fast ausschließlich Kundenaufträge sind, sind die Projekte immer mit einem hohen Zeitdruck verbunden und für die Forcierung von standardisierten und automatisierten Entwicklungsprozessen bleibt wenig Zeit.

0.2 Zielsetzung

Methodisches Entwickeln kann zweifellos dazu beitragen die Qualität, die Kosten und die Entwicklungszeiten positiv zu beeinflussen. Deshalb werden in dieser Arbeit neben dem Hauptziel eine computerbasierende Unterstützung für methodisches Entwickeln und Konstruieren für den Bereich der Technischen Logistik zu entwickeln, folgende Ziele verfolgt:

- Der Produktentwicklungsprozess und die Einflüsse auf den Produktentwicklungsprozess, wie die Herkunft der Aufgabenstellung, die Fertigungsart und der Neuheitsgrad, sind zu untersuchen.
- Vorgehensmodelle bei der Produktentwicklung laut Stand der Technik aufzeigen und sie anschließend einem Vergleich und einer Bewertung

unterziehen. Anhand dieser Bewertung ist ein Vorgehensmodell zu favorisieren.

- Methoden und Werkzeuge, die das methodische Entwickeln und Konstruieren ermöglichen und unterstützen, sind zu analysieren. Durch eine Bewertung sollen die geeignetsten Methoden systematisch gefunden, und den Arbeitsschritten im Entwicklungsprozess zugeordnet werden.
- Um den aktuellen Stand von Softwareprodukten zur Unterstützung des methodischen Konstruierens aufzuzeigen, ist eine Situationsanalyse durchzuführen.
- Ein Software-Tool, das den Entwickler sicher und effizient durch den Produktentwicklungsprozess leitet und eine schnelle Auffindbarkeit und Nutzung von Methoden und Werkzeugen in allen Phasen des Prozesses garantiert, ist zu entwickeln. Dafür ist eine durchgängige, transparente Abbildung des Produktentwicklungsprozesses in einer graphischen Benutzeroberfläche zu erstellen, bei der die oben genannten Erkenntnisse und die Bewertungen mit zu berücksichtigen sind.
- Das methodische Entwickeln und Konstruieren ist an einem Anwendungsbeispiel aus dem Bereich der Technischen Logistik vorzuführen.

0.3 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit gliedert sich in vier Hauptkapitel. Zu Beginn wird ein Einblick in den Produktentwicklungsprozess gegeben. Es werden die drei wichtigen Planungsaspekte, die zu einer erfolgreichen Produktentwicklung beitragen untersucht. Die Vorteile des interdisziplinären Zusammenarbeitens nach dem Prinzip des Simultaneous Engineering werden erläutert. Des Weiteren erfolgt eine Darstellung der Entwicklungseinflüsse, wie die Art des Auftrages, der Einfluss der Stückzahl und die Unterscheidung nach Konstruktionsarten (Neu-, Anpass-, Varianten-, Wiederholkonstruktion). Das zweite Kapitel stellt den Stand der Technik in Bezug auf Vorgehensmodelle, Methoden und Werkzeuge dar. Diese werden verglichen und systematisch bewertet, um anschließend eine Vorgehensweise zu favorisieren und eine Zuordnung der entwicklungsunterstützenden Methoden und Werkzeuge zu den Phasen des Produktentwicklungsprozess zu erhalten. Das dritte Kapitel beschäftigt sich mit der Computerunterstützung bei der methodischen Entwicklung. Dabei stellt eine Situationsanalyse den aktuellen Stand der am Markt erhältlichen Softwareprodukte zur Unterstützung des methodischen Vorgehens dar und zeigt den Bedarf der vorgestellten „ME-app“ auf. Dieses Werkzeug wurde im Zuge dieser Diplomarbeit methodisch entwickelt und soll den Entwickler in Anlehnung an die VDI 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ effizient und sicher durch den Produktentwicklungsprozess leiten. Verdeutlicht wird die Verwendung dieses Tools an einem Beispiel aus dem Bereich der Technischen Logistik. Das letzte Kapitel stellt eine Zusammenfassung der vorliegenden Arbeit dar.

1 Der Produktentwicklungsprozess – Stand der Technik, Problemanalyse

Die Aufgabe des Ingenieurs ist es, für technische Probleme Lösungen zu finden. Konstrukteure sind Problemlöser, die für eine definierte Aufgabenstellung, mittels Problemlösungsprozess, Lösungen generieren. Dieser kreative Prozess kann durch eine einzelne Person erledigt werden, oder wie heutzutage immer öfter üblich, in einem Team. Ingenieure bedienen sich dabei an Gesetzen und Erkenntnissen der Mathematik, Naturwissenschaften und Ingenieurwissenschaften. Dabei hilft dem Konstrukteur neben fundierten Fachkenntnissen das Wissen um die Methoden zur Unterstützung des Konstruktionsprozesses. ([PB06] ; [RS12] , S.395)

Das folgende Kapitel soll zunächst einen Einblick in den Produktentwicklungsprozess geben. Dazu werden die zur Lösungs- und Entscheidungsfindung hilfreichen Schemata erläutert und folgend wird auf drei Aspekte eingegangen, die zu einer erfolgreichen Produktentwicklung beitragen. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit im Sinne von Simultaneous Engineering wird im Abschnitt 1.3 erklärt. Ein Konstruktionsprozess wird durch zahlreiche Merkmale beeinflusst. Dabei spielen die Konstruktionsart, die Stückzahl und der Neuheitsgrad eine große Rolle.

1.1 Der Allgemeine Lösungs- und Entscheidungsprozess

Bei der Durchführung eines Produktentwicklungsprozesses stößt man immer auf Problemstellungen, die mittels systematischer Vorgehensweise schnell und effektiv gelöst werden können. Es gibt Grundschemata, die für das Vorgehen beim Lösen von Problemen und bei der Entscheidungsfindung sehr hilfreich sein können. Die Autoren von [PB06] definieren dazu einen allgemeinen Lösungsprozess und einen allgemeinen Entscheidungsprozess. (vergl. [PB06] , S.191)

Zu Beginn des allgemeinen Lösungsprozesses (Abbildung 1) steht die *Aufgabenstellung*, die immer eine *Konfrontation* mit dem Problem bewirkt. Je nach Wissen und Können des Konstrukteurs, fällt diese Konfrontation unterschiedlich stark aus. Durch die im nächsten Schritt nötige Gewinnung von *Informationen* über die Aufgabenstellung, Bedingungen, möglichen Lösungsprinzipien und durch Analysieren schon bekannter ähnlicher Lösungen, kann diese Konfrontation abgeschwächt werden. Bei der *Definition* soll das wesentliche Problem, der Wesenskern der Aufgabe, herausgefunden werden. Dabei sollte die Problemdefinition auf abstrakter Ebene stattfinden, um eine Festlegung der Zielsetzung und eine Beschreibung der wesentlichen Bedingungen zu ermöglichen, dabei aber ohne eine Vorfixierung zu neuen außergewöhnlichen Lösungsansätzen verhelfen. Der nächste Schritt, *Kreation*, ist als jene Phase anzusehen, bei der die Lösungsideen mittels Lösungsfindungsmethoden (siehe Kapitel 2.4.2) generiert und eventuell kombiniert werden müssen. Bei der Lösungsfindung ist es vor allem sehr wichtig, eine große Anzahl von Lösungen zu suchen und sich nicht mit der ersten Lösung zufrieden zu geben. Durch eine darauffolgende *Beurteilung* der Lösungsvarianten kann anschließend die *Entscheidung* für die bestmögliche Variante getroffen werden. Dieser Ablauf

findet sich an verschiedenen Stellen des Konstruktionsprozesses mit unterschiedlichem Konkretisierungsgrad wieder. (vergl. [PB06] , S.191)

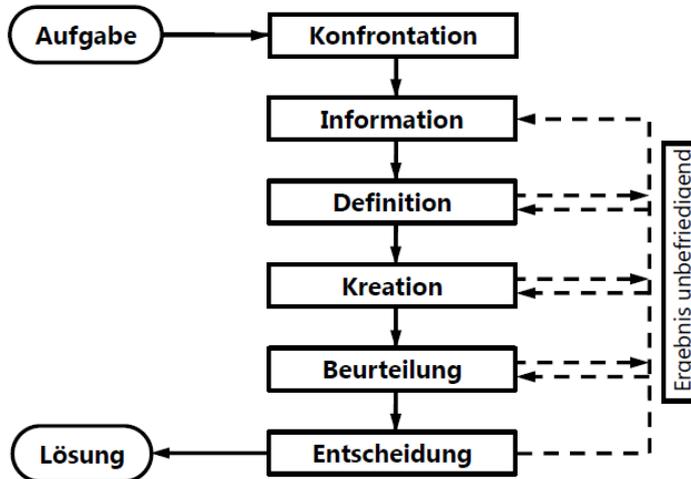


Abbildung 1: Der Allgemeine Lösungsprozess nach Pahl/Beitz ([PB06] , S.191)

Während des gesamten Produktentwicklungsprozesses müssen immer wieder Entscheidungen getroffen werden. Beurteilungsschritte sollen die Ergebnisse hinsichtlich ihrer Zielsetzung bewerten und den nächsten Arbeitsschritt freigeben, beziehungsweise einen erneuten Durchlauf des Schrittes auf einer höheren Informationsstufe veranlassen. Entscheidungsprozesse können auch zu einem Abbruch der gesamten Entwicklung führen, falls sich diese als nicht mehr zweckmäßig herausstellt. Abbildung 2 zeigt diesen allgemeinen Entscheidungsprozess nach Pahl/Beitz. (vergl. [PB06] , S.192)

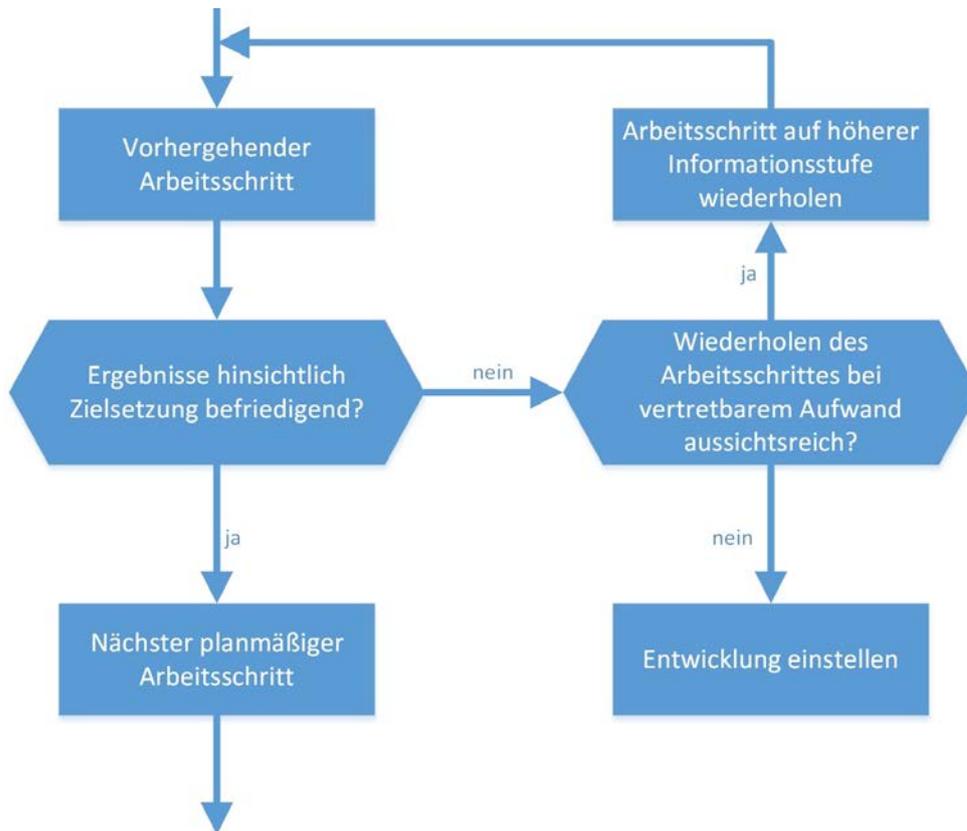


Abbildung 2: Allgemeiner Entscheidungsprozess nach Pahl/Beitz (vergl. [PB06] ,S.192)

1.2 Die drei Planungsaspekte für eine erfolgreiche Produktentwicklung

Um eine erfolgreiche Produktentwicklung zu betreiben, ist es notwendig, die Planung dreier verschiedener Produktaspekte zu beachten. Neben der *inhaltlichen Planung*, welche den Arbeitsfluss des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses darstellt, ist auch eine *zeitliche und terminliche Planung* und eine *Kostenplanung* erforderlich. (vergl. [PB06] , S.193f)

1.2.1 Die inhaltliche Planung

Die inhaltliche Prozessplanung beschreibt den Arbeitsfluss des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses angefangen mit der Aufgabenstellung über das Ermitteln der Funktionen, das Suchen nach Lösungsprinzipien, das Gliedern und Gestalten der Module beziehungsweise des Produktes bis hin zur gesamten Produktdokumentation. Hierzu sind die Vorgehensmodelle, wie das Vorgehen nach Pahl/Beitz und nach VDI 2221 zu zählen. Es ist üblich den Entwicklungsprozess in Hauptphasen zu gliedern, welche Arbeitsschritte enthalten, sogenannte Hauptarbeitsschritte (Abbildung 3). Am Ende einer Phase beziehungsweise eines Hauptarbeitsschrittes stehen Arbeitsergebnisse. Zum Erreichen eines Arbeitsergebnisses sind in der Regel wiederum untergeordnete Arbeitsschritte auszuführen. Mehr zum Aufbau und

zum Ablauf eines Konstruktionsprozesses ist im Kapitel 2.3 „Vorgehensmodelle“ zu finden. (vergl. [PB06])

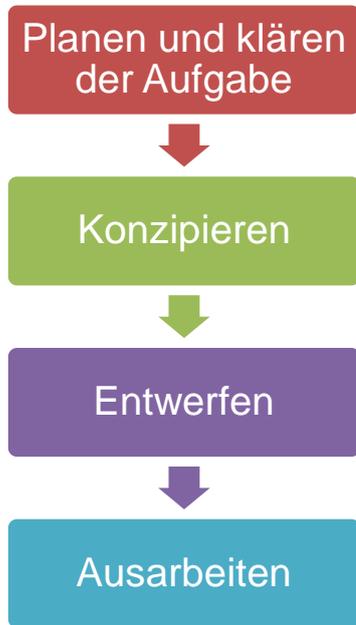


Abbildung 3: Hauptphasen eines Entwicklungsprozesses nach Pahl/Beitz [PB06]

1.2.2 Die zeitliche und terminliche Planung

Die in den letzten Jahrzehnten zu beobachtende, in fast allen Branchen zu verzeichnende Verkürzung der Produktlebensdauer, stellt die Produktentwickler vor neue Herausforderungen. Nicht nur die daraus resultierenden kürzeren Entwicklungszeiten sind die logische Konsequenz, sondern auch dem Begriff „Time to Market“ kommt immer mehr Bedeutung zu. Das Ziel eines Unternehmens muss es sein, als erster Hersteller das Produkt auf den Markt zu bringen, um den Umsatz zu maximieren. Je länger die Entwicklung dauert, desto größer ist die Gefahr, dass ein Mitbewerber das Produkt schon vorher am Markt platziert hat und das hat zur Folge, dass das eigene Erzeugnis nur noch zu einem geringeren Preis angeboten werden kann. Vergleiche Abbildung 4, Vorteile des Innovators gegenüber dem Nachzügler am Markt nach Kramer. (vergl. [RS12])

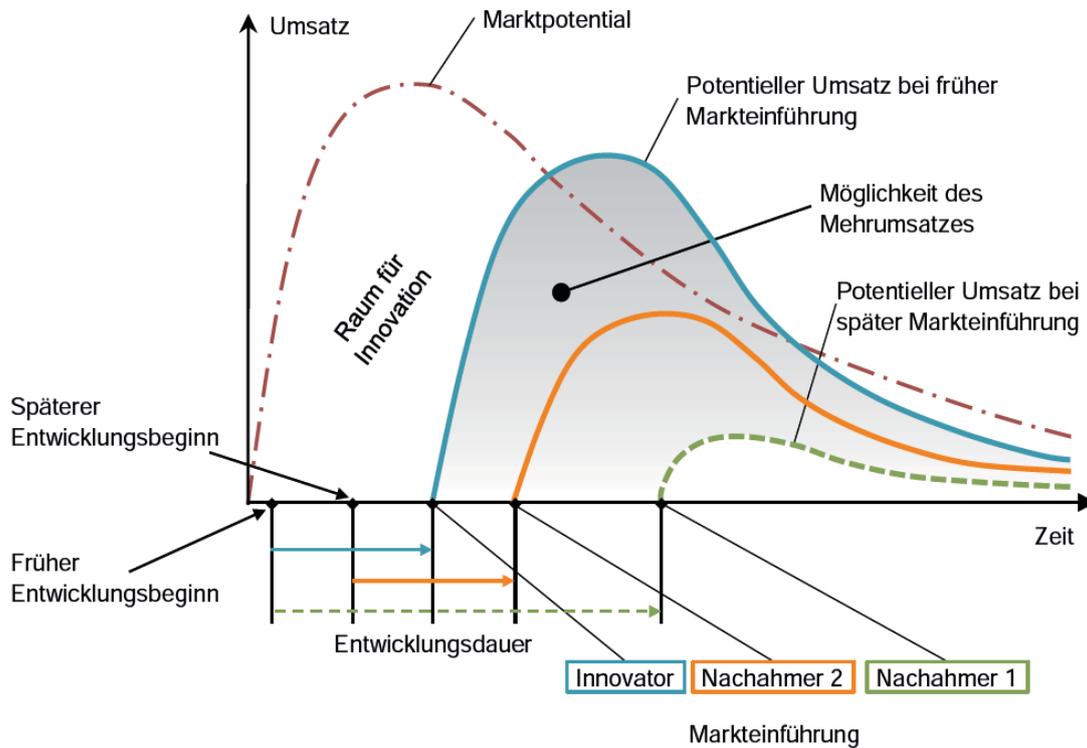


Abbildung 4: Time to Market nach Kramer ([RS12] , S.399)

Die Abbildung 5 soll das Phänomen der immer kürzer werdenden Produktlebigkeit am Beispiel des Automobilherstellers Volkswagen zeigen. Der Generationswechsel zwischen den beiden ersten Golfmodellen betrug neun Jahre, hingegen wurde das Modell der Baureihe VI nur von 2008 bis 2012 gebaut. Im Gegensatz zur Automobilbranche, in der ein Generationswechsel von mittlerweile weniger als fünf Jahren Standard ist, ist die Lebensdauer der Produkte in der Logistik noch sehr lange.

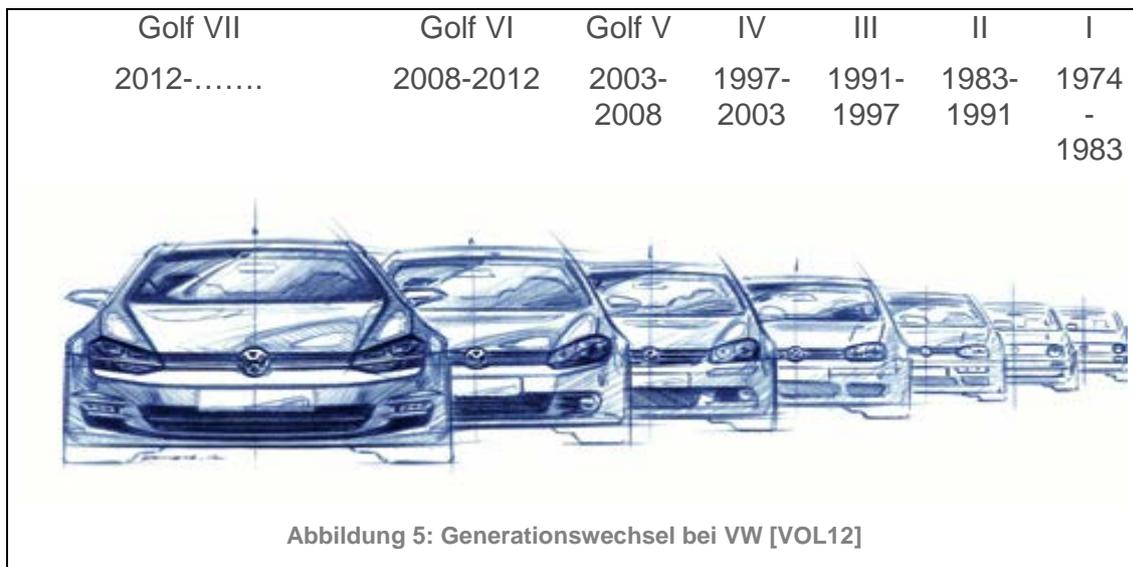


Abbildung 5: Generationswechsel bei VW [VOL12]

Als sehr hilfreiches Mittel für eine zeitliche und terminliche Planung hat sich der Netzplan herausgestellt. Er stellt graphisch die logische Verknüpfung zwischen den auszuführenden Aufgaben und den vorhandenen Ressourcen dar. Mittels Netzplan lassen sich die Durchlaufzeiten und der Ressourcenbedarf bestimmen. Dabei spielt der kritische Pfad eine sehr wichtige Rolle. Er markiert jene Folge von Vorgängen, welche über keine Pufferzeiten verfügen und damit auch die Gesamtdauer des Projektes bestimmen. Das bedeutet, dass eine Verzögerung von nur einem einzigen Prozessschritt entlang dieses Pfades, die gesamte Projektdurchlaufzeit stört und es damit zu Zielabweichungen beim Projekt kommt. (vergl. [PB06] , S.202f; [LIN05] , S.184)

1.2.3 Die Kostenplanung

Wie oben schon erwähnt spielen neben der Zeit auch die Kosten eine entscheidende Rolle, um marktfähige Produkte anbieten zu können. Der Erfolg eines Produktes hängt also auch entscheidend von einer guten Kostenplanung ab. Interessant ist dabei, dass nach Eversheim, die Entwicklung und Konstruktion ca. 75% der im Produktentwicklungsprozess anfallenden Kosten bestimmt, aber selbst nur ca. 10% der Gesamtkosten verschlingt. Ehrlenspiel greift diese Thematik auch auf und setzt 70% der Kostenfestlegung auf den Unternehmensbereich der Konstruktion und Entwicklung. Nachfolgende Abbildungen zeigen die Aufschlüsselung der Kosten, die Kostenentstehung und –verantwortung nach Eversheim (vergl. [PB06] ; [RS12] , S.400)

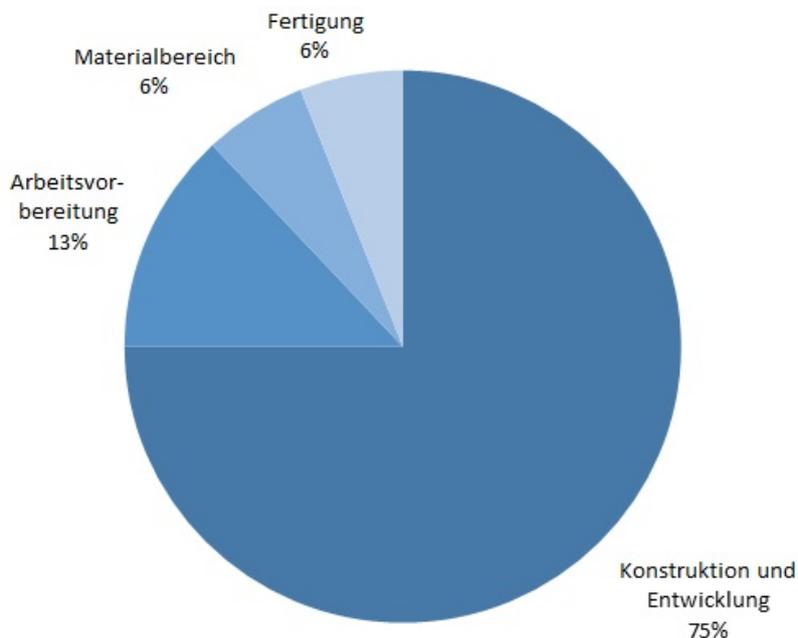


Abbildung 6: Festlegung der Kosten für ein Produkt nach Eversheim

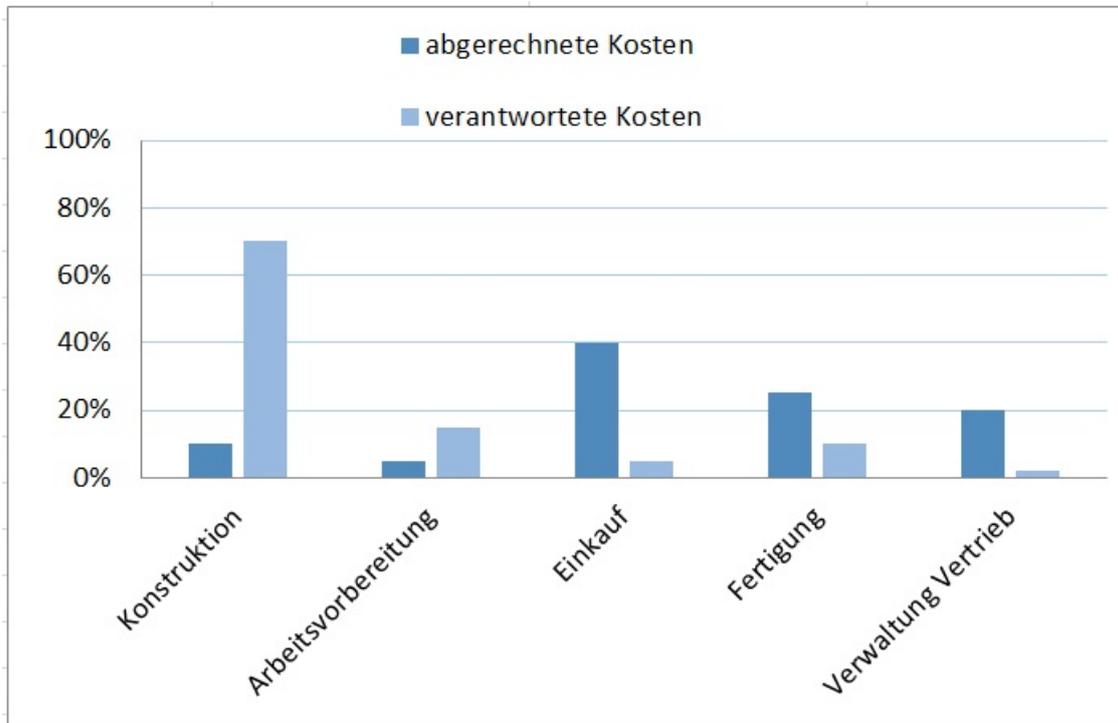


Abbildung 7: Kostenentstehung und Kostenverantwortung nach Eversheim

1.3 Simultaneous Engineering

Um den Entwicklungsprozess möglichst effektiv durchführen zu können, bedarf es der Einhaltung einiger Punkte: (vergl. [PB06])

- Iterationen, das heißt eine Wiederholung eines Arbeitsschrittes, eines Hauptarbeitsschrittes oder sogar nochmaliges Durchlaufen einer ganzen Konstruktionsphase, sollte möglichst minimiert werden.
- Auch das Parallelisieren von Arbeitsschritten fördert die Effizienz einer Produktentwicklung.

Simultaneous Engineering (SE) verfolgt genau dieses letzte Ziel. Durch eine Bündelung verschiedener Kompetenzen und Disziplinen in einem Entwicklungsteam soll es zu einer Reduzierung der Entwicklungszeit kommen und dabei noch eine Qualitätssteigerung erreicht werden. Des Weiteren können durch diese Arbeitsweise die Produktkosten und Entwicklungskosten gesenkt werden. Die Mitglieder dieses zeitlich befristet zusammengesetzten SE Teams sollten aus allen an der Produktentwicklung beteiligten Bereichen beschickt werden. Auch die Einbindung des Kunden und der Lieferanten in die Entwicklung wird beim Simultaneous Engineering gefordert. Das Arbeiten nach dem Prinzip von SE erfordert ein hohes Maß an Planungsaktivitäten und bei Innovationen und Neuentwicklungen mit komplexen Aktivitäten ist dieses Vorgehen oft nur bedingt anwendbar. (vergl. [ES05] ,S.8f; [PB06] , S.206f)

Die Autoren von [ES05] definieren den Begriff SE folgendermaßen:

„Branchenunabhängig wird unter dem Begriff des Simultaneous Engineering (SE) die integrierte und zeitlich parallele Produkt- und Prozessgestaltung mit dem Ziel, die Time-to-Market zu verkürzen, die Entwicklungs- und Herstellkosten zu reduzieren und die Produktqualität im umfassenden Sinn zu verbessern, verstanden.“ [ES05]

In Tabelle 1 sollen die Vorteile von Simultaneous Engineering und deren Auswirkungen dargestellt werden.

Tabelle 1: Vorteile von SE [PLÜ03]

Simultaneous Engineering	Auswirkungen
Vorverlagern von Erkenntnisprozessen	Unnötige Schleifen in Entwicklungsprozess komplexer Varianten werden vermindert
Kapazitätseinsatz konzentrieren auf frühere Phase der Entwicklung	Forderungen, die an die Variante gestellt werden, finden von Anfang an Berücksichtigung
Erhöhung der anteilsdeterministischen Prozesse	Unsicherheiten bei hoher Variantenanzahl werden minimiert
Parallelisierung von Arbeiten	Verringerung von Ineffizienzen bei komplexer Produktstruktur und hoher Variantenanzahl
Zulieferer als Entwicklungspartner aufnehmen	Variantenaspekte fließen frühzeitig in die Überlegungen der Zulieferer ein
Einsatz von Tools	Reduzierung der Teilevielfalt, Nutzung von Synergien

1.4 Einflüsse auf den Entwicklungsprozess

Der Produktentwicklungsprozess wird beeinflusst von zahlreichen Merkmalen, welche im Folgenden aufgelistet werden: (vergl. [Pahl/Beitz], S.21; [VDI2221], S.9)

- Die *Aufgaben-/Auftragsherkunft* bestimmt maßgebend die Größe des Lösungsraumes. Serienprodukte die von der Produktplanung in Auftrag gegeben werden, lassen meist einen größeren Lösungsraum zu. Hingegen sind bei einem konkreten Kundenauftrag für ein Einzelprodukt die Anforderungen meist sehr genau und eng definiert. Von entscheidender Bedeutung für den Konstrukteur ist auch, ob sich der Auftrag auf die Entwicklung eines Gesamtobjektes bezieht oder lediglich auf Baugruppen eines Projektes. Handelt es sich um eine Baugruppenentwicklung ist der Konstruktionsrahmen noch genauer definiert und die Absprache mit den anderen mitarbeitenden Abteilungen sehr wichtig. Eine ausführliche Unterscheidung der Konstruktionsarten nach Auftragsherkunft findet sich unter Punkt 1.4.1.
- Ebenfalls Auswirkung auf den Ablauf des Entwicklungsprozesses hat die *Unternehmensorganisation*. Bei produktorientierter Organisationsform obliegt die

zentrale Verantwortung für einzelne Produktgruppen in getrennten Unternehmensbereichen während es bei problemorientierter Struktur eine Arbeitsteilung mit entsprechenden Teilaufgabenstellungen gibt, welche von einem Projektleiter koordiniert wird.

- Natürlich spielt die *Branche* eine große Rolle für die Gestalt des Entwicklungsprozesses. Der Maschinenbau umfasst ein enormes Spektrum an Aufgabenstellungen und dementsprechend unterschiedlich und vielfältig sind die Anforderungen und Lösungsmöglichkeiten. Vergleicht man zum Beispiel die Automobilbranche mit der Logistik, ist ersichtlich, dass im Automobilbau viel in die Richtung Serien- und Massenfertigung geht, während in der Logistik die Variantenfertigung dominiert.
- Bei Serienprodukten wäre eine unmittelbare Realisierung zum Endprodukt zu riskant, weshalb man bei großen *Stückzahlen* immer zunächst Funktionsmuster beziehungsweise Labormuster anfertigt und diese durch Erprobung gegebenenfalls verbessert. Bei erneutem Durchlaufen der Unternehmensbereiche wird dann aus dem Labormuster ein mit praktisch vollständigen Funktionen ausgestatteter Prototyp geschaffen. Dieser könnte wiederum einer Produktverbesserung unterzogen werden, um dann anschließend ein voll funktionsfähiges, fehlerfreies Endprodukt zu bekommen. Mehr zum Einfluss der Stückzahl auf den Entwicklungsaufwand finden Sie im Abschnitt 1.4.2
- Der *Neuheitsgrad* eines Produktes bestimmt erheblich den Umsetzungsaufwand. Es macht einen signifikanten Unterschied ob es sich um eine Wiederholkonstruktion handelt, bei der schon eine komplette Produktdokumentation vorhanden ist oder um eine Neuentwicklung beziehungsweise Innovation bei der die Aufgabenstellung komplett neu ist, keinerlei Unterlagen herangezogen werden können und Lösungen und Funktionen noch weitgehend unbekannt sind. Eine Einteilung der Konstruktionsarten in Neu-, Anpass-, Varianten- und Wiederholkonstruktion ist im folgenden Kapitel 1.4.3, zu finden.
- Ebenfalls Einfluss auf die Lösung nehmen die *Ziele* die verfolgt werden. Dabei ist zu unterscheiden, ob neue Funktionen entwickelt werden sollen, das Ziel eine Verlängerung der Gebrauchsdauer ist, die Kosten gesenkt werden sollen oder das Fertigungsverfahren verbesserungsbedürftig ist.

1.4.1 Unterscheidung von Konstruktionsarten nach Auftragsherkunft

Nach Auftragsherkunft können die Konstruktionsarten in Entwicklungskonstruktion, Auftragskonstruktion, Angebotskonstruktion und Betriebsmittelkonstruktion eingeteilt werden (Tabelle 2). (vergl. [VDI97] , S.7f)

Im Bereich der Technischen Logistik überwiegen die Auftragskonstruktionen. Sie sind meist an ein bestimmtes Projekt gebunden und werden in enger Zusammenarbeit mit dem Kunden durchgeführt. Diese Projektgebundenheit geht immer mit einem Zeit- und Termindruck einher.

Tabelle 2: Konstruktionsarten nach Auftragsherkunft (vergl. [VDI97] , S.7)

	Entwicklungs-konstruktion	Auftrags-konstruktion	Angebots-konstruktion	Betriebsmittel-konstruktion
Initiator	meist auftragsunabhängig selten auftragsabhängig	Kundenauftrag	Kundenanfrage	Arbeitsplanung
Merkmale	wesentliche Konstruktionsmerkmale werden überarbeitet	begrenzte, lokale Anpassung meist bekannter früherer Lösungen	frühere Lösungen werden für Kalkulation herangezogen gelegentlich Funktion einer Machbarkeitsstudie	produktbezogene Entwicklung von Werkzeugen und Vorrichtungen

1.4.2 Einfluss der Stückzahlen

Abbildung 8 zeigt den Einfluss der Produktart auf den Entwicklungsprozess. Wie bereits erwähnt macht es einen großen Unterschied, ob ein Einzelprodukt entwickelt werden soll oder ein Serienprodukt. Das Einzelprodukt entsteht meist auf Grundlage eines konkreten einzelnen Kundenauftrages. Dabei ist ein konkreter Termin einzuhalten und durch die geringe Stückzahl werden meist aufwendige Untersuchungen vermieden. Dies kann zu sehr teuren Nacharbeiten des Produktes nach Inbetriebnahme führen. Je größer die Stückzahl, desto fataler wirken sich fehlerhafte Entwicklungen auf die Kosten aus. Man versucht deshalb bei Serienprodukten das Risiko fehlerbehafteter Produkte möglichst zu minimieren, indem man die einzelnen Bereiche des Unternehmens öfters durchläuft und dabei Produktverbesserungen vornimmt. Bei großen Stückzahlen wird immer öfters auf computerunterstützte Hilfe gesetzt. Dabei können Programme zur Berechnung von Bauteilfertigkeiten bis hin zu Simulationen von Herstellprozessen und Funktionen sehr hilfreich sein. (vergl. [RS12] , S.396)

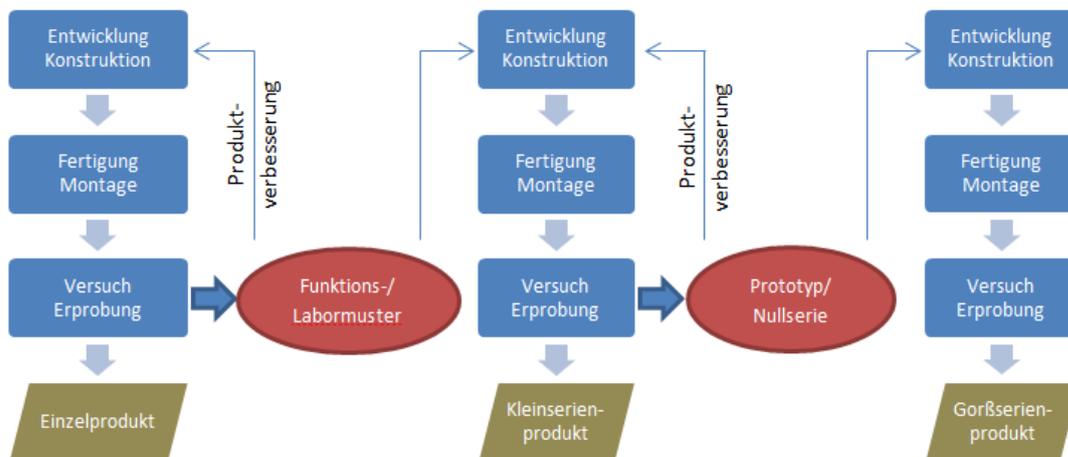


Abbildung 8: Einfluss der Stückzahlen auf den Entwicklungsprozess nach VDI 2221

1.4.3 Einteilung der Konstruktionsarten nach Neuheitsgrad

Der Umsetzungsaufwand eines Produktentwicklungsprozesses ist maßgebend beeinflusst durch die Konstruktionsart. Dabei wird im Folgenden unterschieden zwischen: (vergl. [PB06] ; [VDI93])

- *Wiederholkonstruktionen* stellen dabei den geringsten Aufwand dar und bergen die wenigsten Risiken. Bei dieser Art ist meist eine vollständige technische Dokumentation vorhanden, der Produktentstehungsprozess definiert und muss nur geringfügig geändert werden, wenn zum Beispiel Komponenten outgesourct werden oder der tatsächlich produzierte Zustand nicht dem dokumentierten entspricht.
- Die *Variantenkonstruktion* verlangt vorab einmalig einen Konstruktionsaufwand, der jener einer Neukonstruktion entspricht, jedoch werden zur Variantengeneration nur noch kleine Änderungen akzeptiert. Das Lösungsprinzip bleibt unangestastet, lediglich die Abmessungen von Einzelteilen beziehungsweise die Anordnung der Teile wird verändert. Es kann auch von Baureihen- oder Baukastenkonstruktion gesprochen werden.
- Bei der *Anpasskonstruktion* wird ein vorhandenes Produkt kundenspezifisch modifiziert, um den speziellen Kundenanforderungen gerecht zu werden oder aber den geänderten Marktbedingungen optimal zu entsprechen. Dabei kann eine völlige Neukonstruktion einzelner Teile von Nöten sein.
- Gemessen am Umsetzungsaufwand ist mit Abstand die *Neukonstruktion* jene, die am meisten Kapazitäten verlangt, da auch der Neuheitsgrad am größten ist. Echte Neukonstruktionen machen nur einen sehr geringen Prozentsatz aller Konstruktionen aus. Die Aufgabenstellung ist völlig neu und die Lösungsprinzipien sind für die Problemstellung noch auszuarbeiten. Dabei sollte man sich an bekannte und bewährte Technologien beziehungsweise Prinzipien halten. Ebenfalls spricht man von einer Neukonstruktion, falls eine bekannte Aufgabenstellung mittels neuer Lösungsprinzipien gelöst wird. Kennzeichnend für eine Neukonstruktion ist, dass alle Arbeitsschritte vollständig durchlaufen werden.

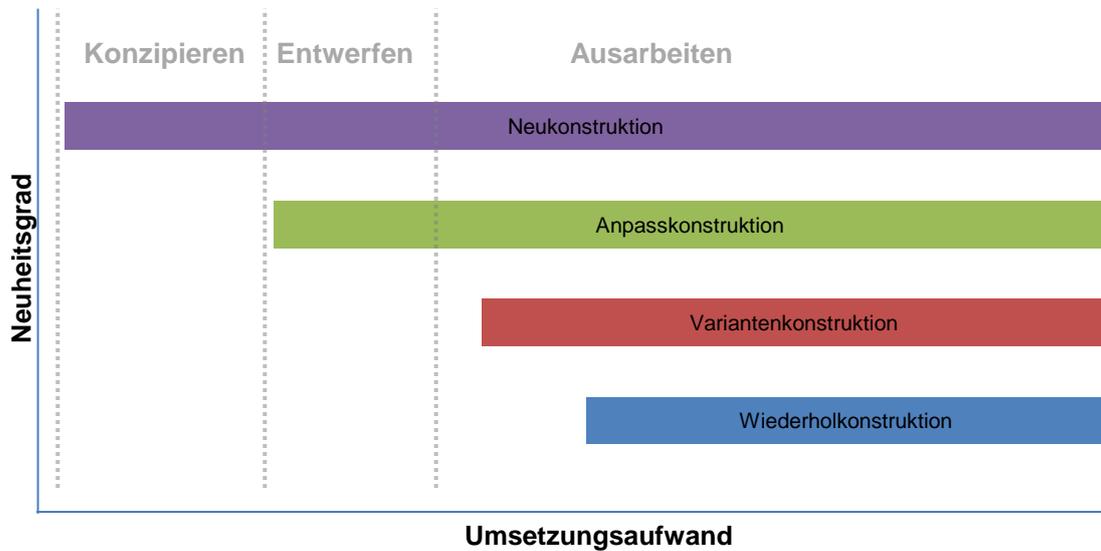


Abbildung 9: Neuheitsgrad und Umsetzungsaufwand (vergl. [FEL13])

Abbildung 9 zeigt den Umsetzungsaufwand gemessen am Neuheitsgrad einer Konstruktion. Bei einer Neukonstruktion werden dabei alle Konstruktionsphasen angefangen vom Konzipieren über Entwerfen bis hin zum Ausarbeiten durchlaufen. Gegensätzlich dazu ist bei der Wiederholkonstruktion nur mehr die Phase des Ausarbeitens abzuhandeln.

Bei der Produktentwicklung in der Technischen Logistik ist der Anteil an Varianten- und Wiederholkonstruktionen sehr hoch. Bei der Auftragsart handelt es sich fast ausschließlich um Kundenaufträge, welche sehr spezifische für den Kunden speziell angepasste Lösungen verlangen. Die Variantenkonstruktion erfolgt überwiegend durch Projektadaptierungen.

2 Methodisches Vorgehen bei der Produktentwicklung – Entwicklung von Maßnahmen

Durch die große Anzahl an Mitbewerbern steht den Ingenieuren immer weniger Zeit und Geld zur Verfügung. Um konkurrenzfähige Produkte zeitgerecht am Markt anbieten zu können, ist über das nötige Fachwissen des Entwicklers hinaus, eine methodisch-systematische Vorgehensweise bei der Produktentwicklung notwendig. Beim methodischen Vorgehen wird zwischen den Begriffen der Konstruktionswissenschaft und der Konstruktionsmethodik unterschieden. Die Autoren von [PB06] definieren diese folgendermaßen:

„Die Konstruktionswissenschaft strebt an, mit Hilfe wissenschaftlicher Methoden den Aufbau technischer Systeme und deren Beziehungen zu ihrem Umfeld so zu analysieren, dass aus den erkannten Zusammenhängen und Systemkomponenten Regeln zu deren Entwicklung abgeleitet werden können.“ [PB06]

„Unter Konstruktionsmethodik versteht man ein geplantes Vorgehen mit konkreten Handlungsanweisungen zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme, die sich aus den Erkenntnissen der Konstruktionswissenschaft und der Denkpsychologie, aber auch aus den Erfahrungen in unterschiedlichen Anwendungen ergeben haben.“ [PB06]

Zur Konstruktionsmethodik zählen somit die Vorgehensmodelle, wie sie im Kapitel 2.3 beschrieben sind, die Betrachtung von generellen Zielsetzungen, Vorgehensstrategien sowie Methoden und Werkzeuge (Kapitel 2.4) zur Lösung von Konstruktionsproblemen (vergl. [PB06] ,S.10).

2.1 Geschichte des methodischen Konstruierens

Den Ursprung des methodischen Konstruierens genau festzulegen ist schwierig. Viele Betrachter sehen in den Konstruktionen von Leonardo da Vinci schon eine sehr systematische Herangehensweise. Auch Redtenbacher stellt im 19.Jahrhundert Grundsätze auf, die heute noch von großer Bedeutung sind und von seinem Schüler Reuleaux weiterentwickelt wurden. Es folgen darauf Beiträge von Bach, Riedler, Röscher und Laudin. Methodische Gesichtspunkte im heutigen Sinn sind erstmals anfangs des 20.Jahrhunderts bei Erkens zu erkennen. Auch Wögerbauer mit seiner Arbeit „Die Technik des Konstruierens“ wird oft als Ausgangspunkt des methodischen Konstruierens genannt. Wichtige Beiträge lassen sich auch in Werken von Franke, Bischoff, Hansen, Rodenacker, Niemann, etc. finden. (vergl. [PB06] ,S11f)

Es kann also festgehalten werden, dass es an Vorschlägen in den letzten Jahrzehnten nicht gemangelt hat. Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden vor allem die Beiträge von Rodenacker, Roth, Koller, Pahl/Beitz, Ehrlenspiel, Daenzer, Dörner, Altschuller und die VDI-Richtlinie 2221 genau studiert.

Nachfolgende Abbildung soll prägende Personen in der Geschichte der Konstruktionsmethodik aufzeigen.

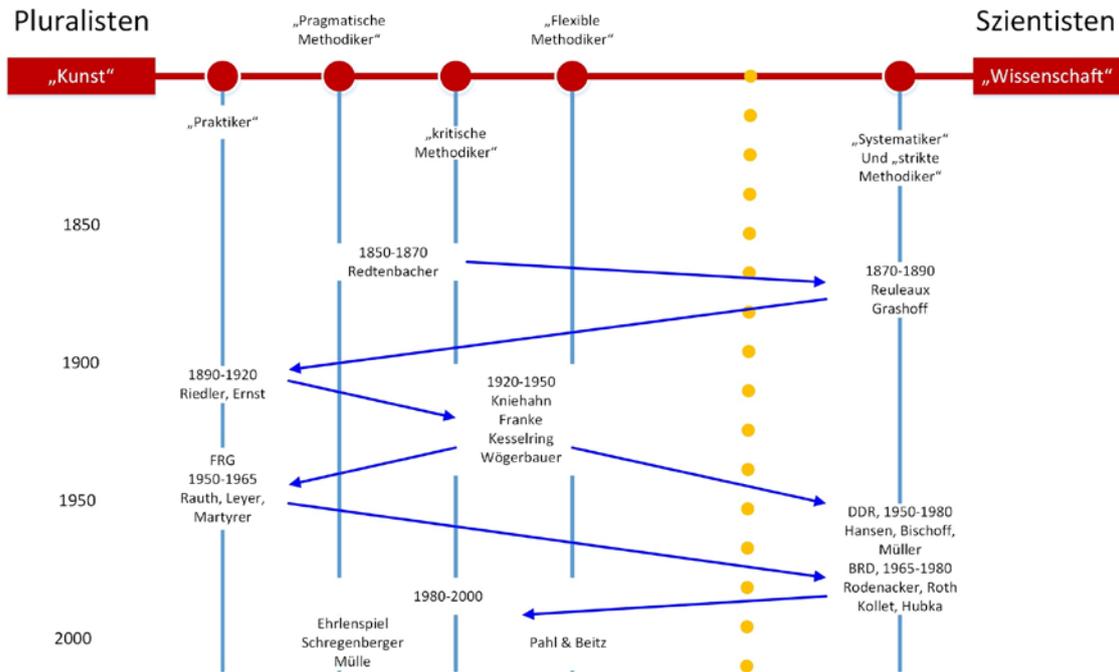


Abbildung 10: Prägende Personen der Konstruktionswissenschaft (vergl. [FEL12])

2.2 Ziel der Konstruktionsmethodik

Eine Konstruktionsmethodik soll dem Ingenieur behilflich sein, ideale Lösungen zu finden. Dabei sollten die Kreativität und der Lösungsraum nur insofern eingeschränkt werden, dass die ideale Lösung möglichst effektiv und effizient, ohne Umwege, erreicht wird. Die Methodik soll also den Konstrukteur in zweckmäßige Bahnen und Vorstellungen lenken und nicht die Erfahrung und Begabung des Konstrukteurs schmälern. Durch richtige Anwendung einer Konstruktionsmethodik kann die Leistungsfähigkeit und Erfindungsfähigkeit gesteigert werden und das Konstruieren selbst einsichtig und lernbar gemacht werden. Besonders bei Neukonstruktionen ist ein methodisches, schrittweises Vorgehen anzustreben, um wiederverwendbare Lösungsdokumente zu erhalten. Mit einer strukturierten Problemformulierung können die Anwendungsmöglichkeiten von bewährten Lösungen und Konstruktionskatalogen leichter ersichtlich werden. Durch den schrittweisen Aufbau vom Abstrakten zum Konkreten ist eine frühzeitige Auswahl und Optimierung der Lösungsprinzipien ohne viel Aufwand möglich. Für rechnerunterstützte Konstruktionsprozesse mit der Verwendung von wissensbasierten Programmen, Simulationssoftware, Berechnungsprogrammen, etc. ist die Verwendung einer Konstruktionsmethodik eine unabdingbare Voraussetzung. ([PB06] , S.10f)

Laut [PB06] soll eine Konstruktionsmethodik folgende Punkte erfüllen:

- ein problemorientiertes Vorgehen ermöglichen, das heißt branchenunabhängig anwendbar sein,
- erfindungs- und erkenntnisfördernd sein,

- mit Begriffen, Methoden und Erkenntnissen anderer Disziplinen verträglich sein,
- Lösungen nicht nur zufallsbedingt erzeugen,
- Lösungen auf verwandte Aufgaben leicht übertragen lassen,
- geeignet sein für den Rechnereinsatz,
- lehr- und erlernbar sein,
- den Erkenntnissen der Denkpsychologie und Arbeitswissenschaft entsprechen, das heißt Arbeit erleichtern, Zeit sparen, Fehlentscheidungen vermeiden und tätige, interessierte Mitarbeit gewährleisten,
- die Planung und Steuerung von Teamarbeit in einem integrierten und interdisziplinären Produktentstehungsprozess erleichtern,
- Anleitung und Richtschnur für Projektleiter von Entwicklungsteams sein.

In folgender Abbildung soll der Unterschied zwischen einer Lösungsfindung ohne explizite Methodenfindung, die Anwendung einer klassischen Ideenfindungsmethode und die Anwendung einer Konstruktionsmethodik illustriert werden. [FEL12]

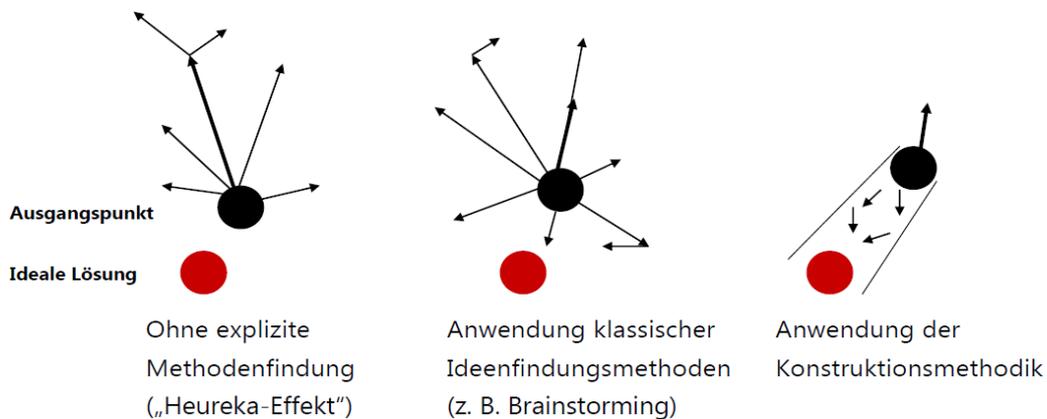


Abbildung 11: Ziel einer Konstruktionsmethodik [FEL12]

2.3 Vorgehensmodelle

Wie im Kapitel 2.2 bereits erwähnt, gibt es unzählige Versuche ein Modell zum richtigen Vorgehen bei der Produktentwicklung zu entwerfen. Es hat sich als schwierig herausgestellt, ein einziges ideales Vorgehen zu entwerfen, das branchenübergreifend und für alle Produkte angewendet werden kann. Aufgrund der vielen Einflussfaktoren (siehe Kapitel 1.4) welche auf einen Produktentwicklungsprozess einwirken und der großen Vielfalt an unterschiedlichen Produkten ist es praktisch unmöglich, ein einziges perfektes Modell für alle Anwendungen zu entwickeln. Dörner beschreibt dieses Problem folgendermaßen:

Ein einziges ideales Vorgehen, eine „kanonisierbare Optimalform“ für alle möglichen sich darstellenden Entwicklungsprozesse, kann es aufgrund der Vielzahl und Verschiedenartigkeit der Einflussfaktoren nicht geben. [Dörner 2003]

Aus diesem Grund ist nachfolgend eine Vielzahl von Vorgehensmodellen angeführt. Dabei wird der Produktentwicklungsprozess aus verschiedenen Blickwinkeln und unter einem bestimmten Auflösungsgrad betrachtet, wie es auch der Autor von [LIN09] vorschlägt. Ehrlenspiel strukturiert die Prozessmodelle ähnlich, indem er sie beginnend mit den sehr einfachen Strukturen, wie dem TOTE-Modell, bis hin zu sehr komplexen Ablaufdarstellungen mit klar definierten Arbeitsschritten und zeitlichen Bezügen nach Komplexität unterteilt.

Nach Abbildung 12 ist der Auflösungsgrad auf der Ebene der *elementaren Handlungsabläufe* am höchsten und die Komplexität am geringsten. Man spricht von der Mikrologik und als typisches Beispiel kann das TOTE-Modell herangezogen werden.

Betrachtet man *operative Arbeitsschritte* so ist der Detaillierungsgrad nicht mehr ganz so groß. Als Vertreter dieser Kategorie kann das Münchner Vorgehensmodell gesehen werden. (vergl. [LIN09])

Die Bekanntesten und mit dem Begriff Vorgehensmodell am meisten in Verbindung gebrachten Prozesse sind jene auf der Ebene von *Phasen beziehungsweise Arbeitsschritten*. Hierzu können das generelle Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach VDI 2221 sowie das Prozessmodell nach Roth oder das V-Modell gezählt werden. (vergl. [LIN09] , [ROT00] , [VDI04])

In der Makrologik stehen die termingerechte Planung der Abläufe eines Projektes und die Kapazitätsplanung im Vordergrund. Es soll ein Überblick über das Gesamtprojekt gegeben werden.

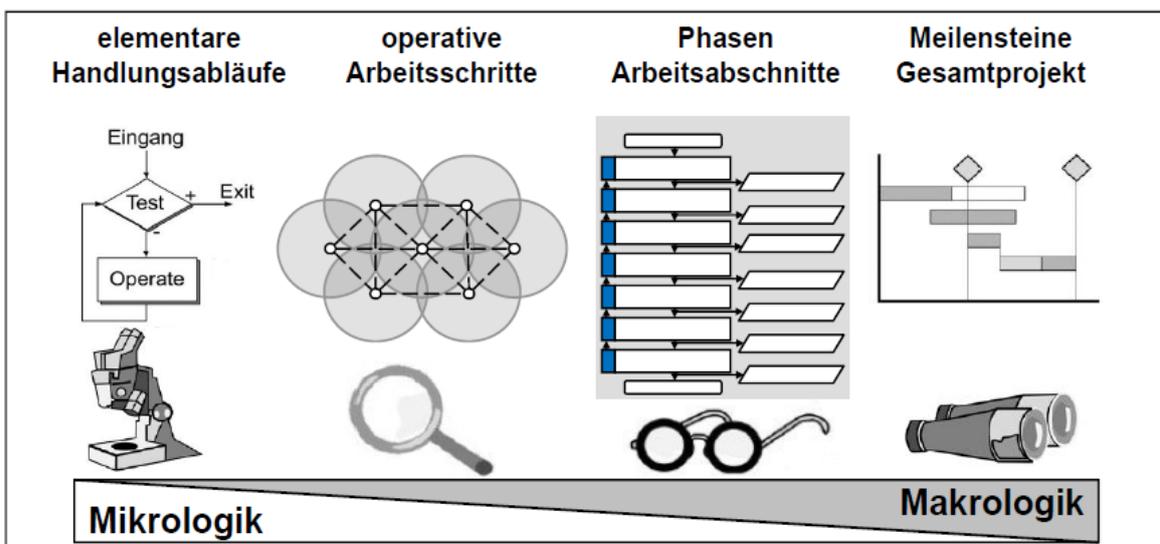


Abbildung 12: Einteilung der Prozessmodelle nach Lindemann [LIN09]

Abbildung 13 gibt einen Überblick der in diesem Kapitel betrachteten Vorgehensmodelle und soll die Zuordnung zu den Ebenen verdeutlichen. Dabei wurde die Einteilung an jene der Autoren von [LIN09] angelehnt.

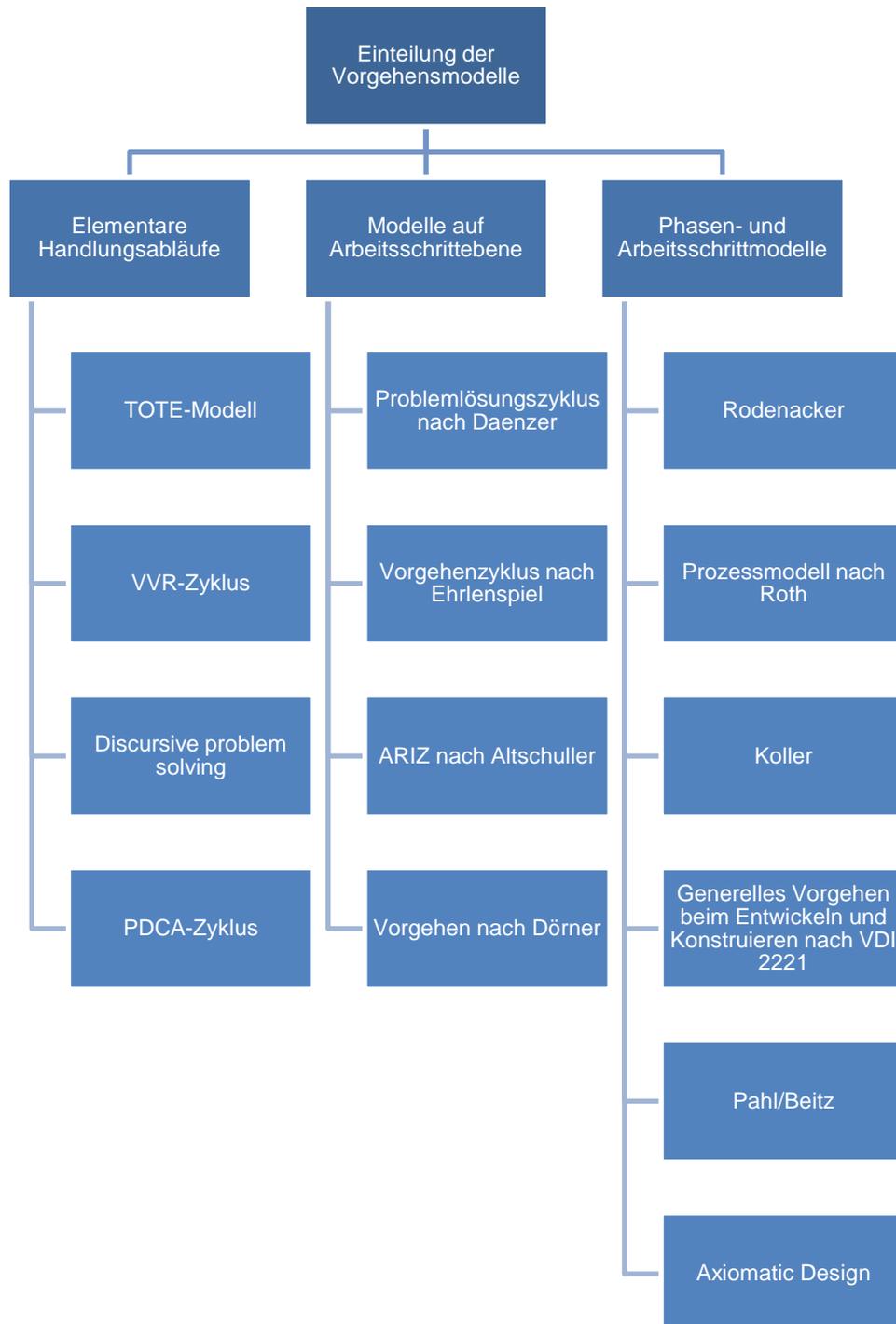


Abbildung 13: Strukturierung der Vorgehensmodelle (vergl. [LIN09])

2.3.1 Elementare Handlungsabläufe (Ebene der Mikrologik)

Prozessmodelle auf der Ebene der Mikrologik werden auch als elementare Denk- und Handlungsabläufe angesehen, da sie eine einfache Struktur und sehr allgemeine Arbeitsschritte besitzen. Der bekannteste Vertreter dieser Modelle ist das TOTE-Modell. Des Weiteren soll der VVR-Zyklus, das Modell der diskursiven Problemlösung und der PDCA-Zyklus genauer betrachtet werden. Letztere bauen auf dem TOTE-Modell auf und werden deshalb meist als Weiterentwicklungen dieser Vorgehensweise gesehen.

TOTE-Modell

Als natürliche Vorgehensweise des Menschen bei der Lösung von Problemen wird sehr oft das TOTE-Modell, **TEST-OPERATE-TEST-EXIT**, herangezogen, da auch bei elementarsten Denkprozessen dieses iterative Vorgehen zu beobachten ist.

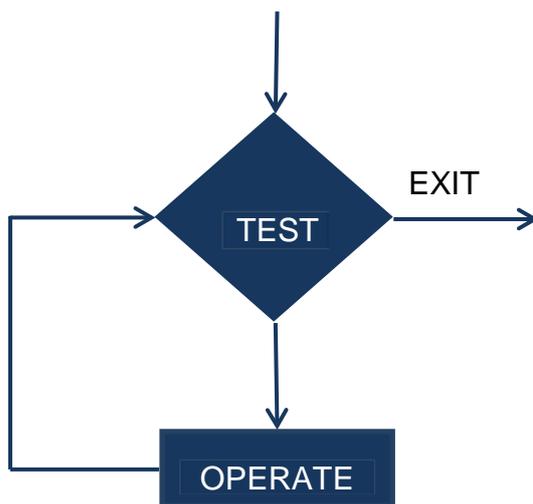


Abbildung 14:TOTE- Modell

Dieses kybernetische Modell besteht aus zwei Prozessen. TEST wird dabei als Prüfprozess gesehen und OPERATE als Ausführungsprozess. Im ersten Schritt folgt eine Analyse der Ausgangssituation, was dem ersten „Test“ entspricht. Darauf folgend kommt die Sequenz „Operate“, in der die eigentliche Handlung erfolgt. Im anschließenden „Test“ wird das Ergebnis überprüft. Falls der gewünschte Zustand zufriedenstellend erreicht wurde, kann der Prozess mittels „Exit“ verlassen werden, anderenfalls wird die Handlungsoperation abgewandelt und erneut durchgeführt. Somit wird diese Schleife so oft durchlaufen bis das Ergebnis befriedigend ist. ([LIN05] ,S.35; [PB06] , S.63)

VVR-Zyklus

Hacker greift den Gedanken des TOTE-Modells auf, um ihn in seiner Vergleichs-Veränderungs-Rückkopplungseinheit weiter zu entwickeln. Er bezieht die durch das Handeln veränderte Umwelt mit ein und der „Vergleich“ kann durch gestellte und übernommene Aufträge sowie durch die Umweltwirkungen beeinflusst werden. Das Ergebnis wird der Ausführung vorweggenommen und die Handlung selbst bewirkt

eine Veränderung, die über eine Rückkoppelung Einfluss auf den Prozess nimmt. (vergl. [LAU01] , S.79)

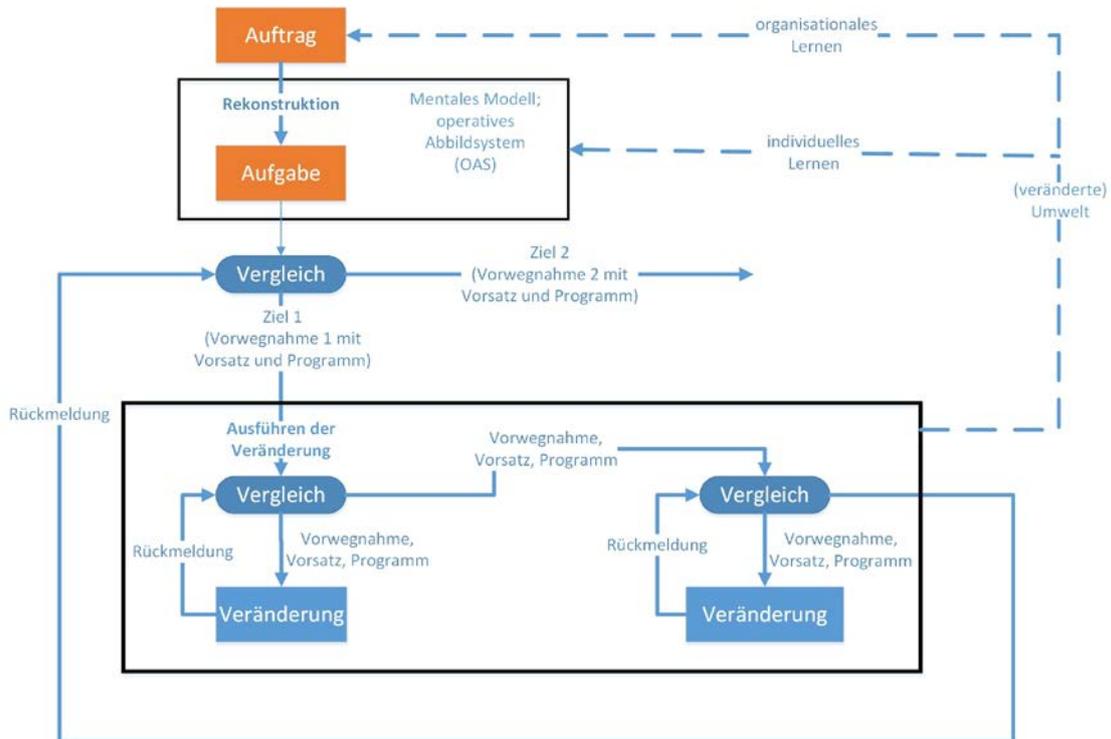


Abbildung 15: Struktur von VVR-Einheiten nach Hacker (vergl. [HAR05] , S.63)

Discursive problem solving (DPS)

Bei dem Modell der diskursiven Problemlösung wird vor allem auf die abstrakte Formulierung des Zieles großer Wert gelegt. Als entscheidende Impulse für die Lösungsfindung, werden vorhandene Lösungsalternativen evaluiert, oder die gegebene Situation analysiert. Dieses von Wulf entworfene Modell kann ebenfalls als eine Weiterentwicklung des TOTE Ablaufs gesehen werden. [LIN05]

2.3.2 Modelle auf der Ebene der operativen Arbeitsschritte

Das oben beschriebene Vorgehen nach dem TOTE-Schema ist meist ein intuitiv ablaufender Denkprozess, indem man im Allgemeinen unbewusst zwischen Problemebenen wechselt. Diese Problemebenen kann man nach [EHR09] als *Zielsuche*, *Lösungssuche* und *Lösungsauswahl* bezeichnen. Hauptziel der Modelle nach Daenzer, Ehrlenspiel und Altschuller ist es nun den Wechsel dieser Problemebenen nicht dem Zufall zu überlassen, sondern ein Grundmuster für das Lösen dieser Probleme vorzuschlagen. (vergl. [EHR09] , S.85)

In der nachfolgenden Abbildung 18 ist die Entstehung des Vorgehenszyklus nach Ehrlenspiel aus dem TOTE-Schema ersichtlich. Links in der Abbildung ist das einfache Test-Operating-Test-Exit Schema zu sehen, das immer wieder, auch mit unterschiedlichen Inhalten, durchlaufen wird. Reiht man nun dieses einfache Schema sequentiell mit unterschiedlichen, vorgegebenen Inhalten aneinander so erhält man schlussendlich das Vorgehensmodell nach Ehrlenspiel. (vergl. [EHR09] , S.87)

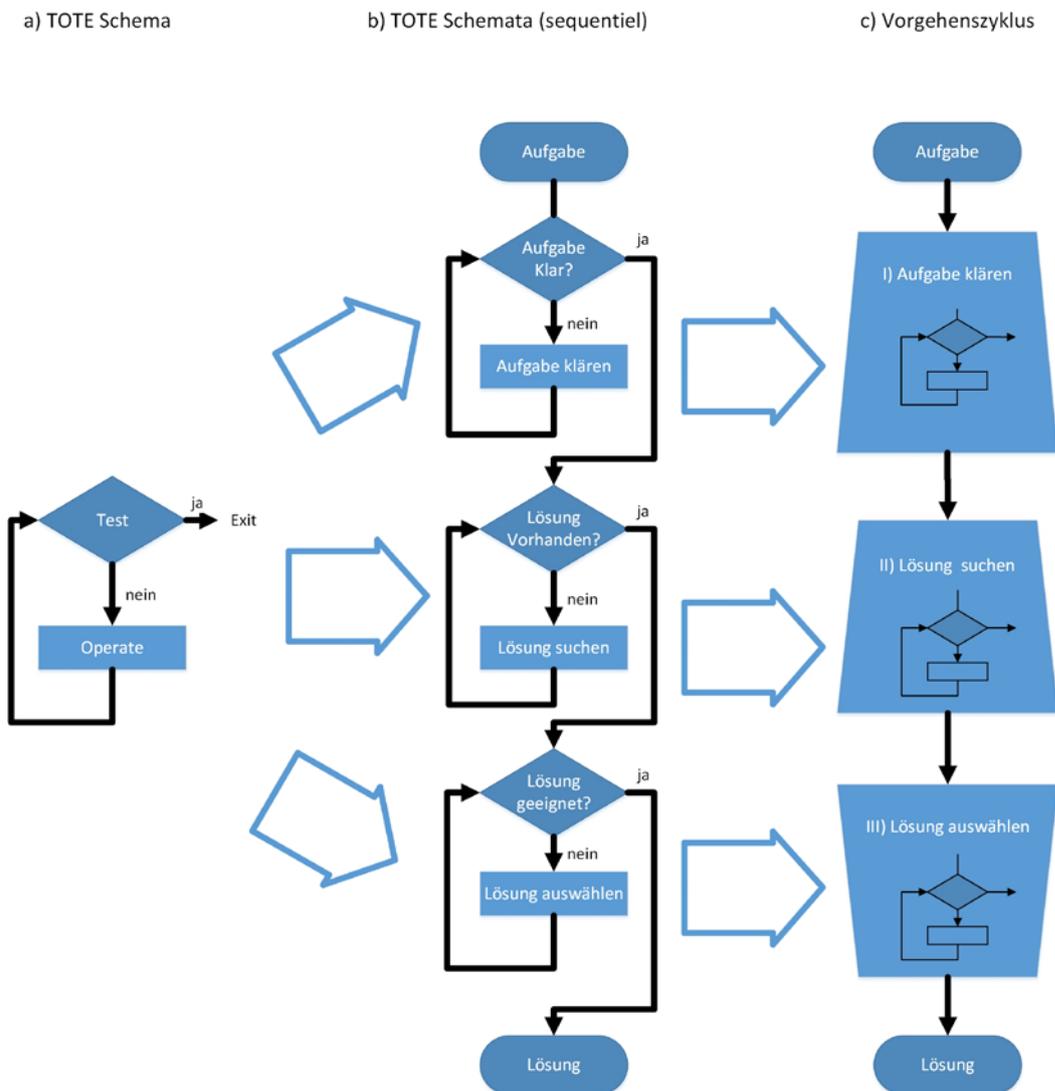


Abbildung 18: Entstehung des Vorgehenszyklus nach Ehrlenspiel (vergl. [EHR09] , S.88)

Vorgehenszyklus nach Ehrlenspiel

Der Vorgehenszyklus nach Ehrlenspiel [EHR09] besteht ebenfalls aus den drei schon bekannten Hauptschritten, *Aufgabe klären*, *Lösungen suchen* und *Lösung auswählen* die in folgende Unterschritte unterteilt werden können. (vergl. [EHR09] , S.87)

- I. Aufgabe (Problem) klären
 - Aufgabe analysieren
 - Aufgabe formulieren
 - Aufgabe strukturieren
- II. Lösungen suchen
 - Vorhandene Lösungen suchen
 - Eventuell neue Lösungen generieren
 - Lösungen systematisieren und ergänzen
- III. Lösungen auswählen
 - Lösungen analysieren
 - Lösungen bewerten
 - Lösungen festlegen

Der Vorgehenszyklus kann für die Produktentwicklung, Prozessentwicklung und auch für Informationsprozesse eingesetzt werden. Die von oben bis zur Mitte hingehende Verbreiterung in der graphischen Darstellung soll die Informationszunahme verdeutlichen. Im Gegensatz dazu erfolgt dann beim Auswählen der Lösung wieder eine Einschränkung auf die geeignetste Lösung. (vergl. [EHR09] , S.89)

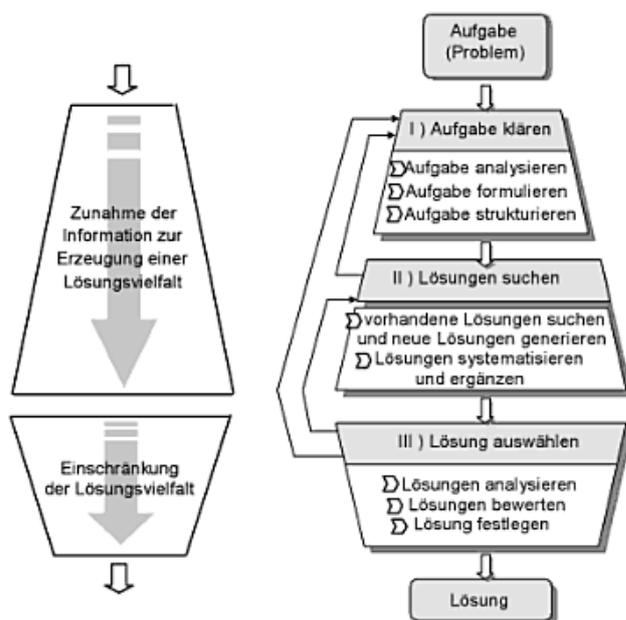


Abbildung 19: Vorgehenszyklus nach Ehrlenspiel ([EHR09] , S.98)

Problemlösezyklus nach Daenzer

Ziel des Problemlösungszyklus nach Daenzer ist es, einen Leitfaden für die Bearbeitung von Problemen jeglicher Art bereit zu stellen. Dem von Daenzer entwickelten Modell lassen sich die schon bekannten drei Hauptschritte Zielsuche, Lösungssuche und Auswahl zuordnen. Nach dem Anstoß folgt eine Situationsanalyse und im nächsten Schritt die Zielformulierung. Damit ist der erste Hauptschritt der Situationsanalyse abgeschlossen. Bei der Lösungssuche erfolgt ein ständiger Wechsel zwischen Analyse und Synthese. Im letzten Hauptschritt, der Auswahl, ist eine Bewertung und Entscheidung zu tätigen. (vergl. [LIN05] , S.37)

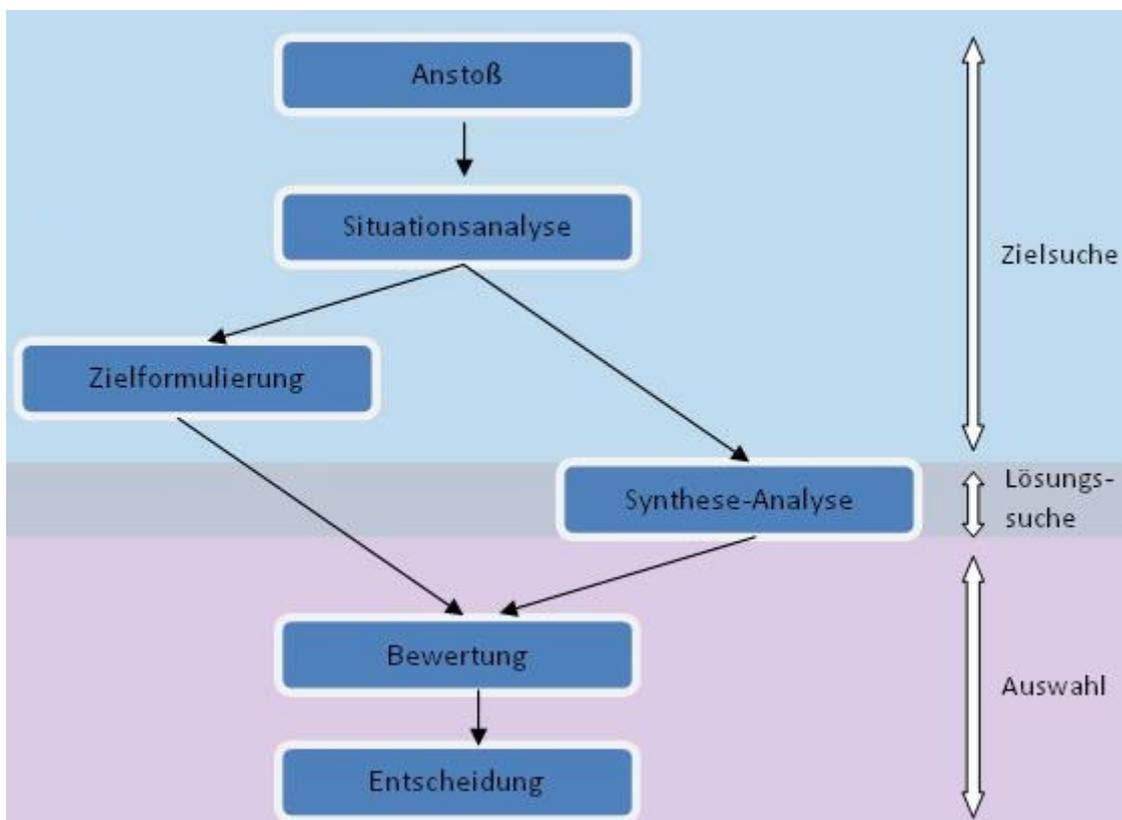


Abbildung 20: Problemlösezyklus nach Daenzer

Vorgehensplan zur Lösung von Erfindungsaufgaben (Altschuller)

Bei diesem Vorgehensplan wird der Ablauf dem Anwender bis ins kleinste Detail vorgegeben und ihm wird vorgeschrieben, welche spezifischen Methoden er in einem bestimmten Schritt anzuwenden hat. Nach Patentrecherchen ermittelte Altschuller ein Muster für das Vorgehen zum Problemlösen, welches er weiterentwickelt zum „Vorgehen zum erfinderischen Problemlösen“ (ARIZ algorithm rešinja izobretatel'skich zada). Dieses Modell findet Anwendung in der TRIZ Methode (Teorija reschenija isobretatjelskich sadatsch) und ist gekennzeichnet durch den hohen Abstraktionsgrad. Für das sehr stark abstrahierte Problem werden Lösungsansätze gefunden, welche im nächsten Schritt für die eigentliche Problemstellung konkreti-

siert werden. Nach dem *Vorgehensplan zur Lösung von Erfindungsaufgaben* können vier Hauptschritte unterschieden werden (Abbildung 21): [LIN05]

- A: Information zum Problem
- B: Definition des Problems
- C: Lösung des Problems
- D: Bewertung der Lösung und des Ablaufs

ARIZ: Vorgehensplan zur Lösung von Erfindungsaufgaben
algoritm rešinja izobretatel'skich zadač

A	Information zum Problem
A1	Informationsbeschaffung zum Problem, zur Situation
A2	Informationsbeschaffung zu Freiräumen
B	Definition des Problems
B1	Problemanalyse
B2	Konzentration / Zuspitzung der Problembeschreibung
C	Lösung des Problems
C1	Formulierung des idealen Ergebnisses bzw. des Widerspruchs
C2	Stoff-Feld-Betrachtung
C3	Nutzung von Wissensbasen
C4	nochmalige Überprüfung der Problemstellung
D	Bewertung der Lösung und des Ablaufs
D1	Analyse des Konzeptes
D2	Maximierung der Verwendbarkeit des Konzeptes
D3	Analyse des Problemlösungsprozesses

Abbildung 21: ARIZ [LIN09]

Vorgehenszyklus nach Dörner

Der deutsche Psychologe Dörner untersucht das menschliche Verhalten beim Lösen von Problemen aus psychologischer Sicht. Aus den gewonnenen Erkenntnissen versucht er ein Muster für das Vorgehen zu erzeugen. Sein Modell „Allgemeine, rekursive analytisch synthetische Konzeptamplifikation“, welches ebenfalls einen sequentiellen Aufbau besitzt, unterteilt er in fünf Hauptschritte: [LIN05]

- Zielausarbeitung
- Modellbildung und Informationssammlung
- Prognose und Extrapolation
- Planung, Entscheidung und Durchführen von Aktionen
- Effektkontrolle und Revision

Wobei diese Begriffe nichts anderes darstellen als die schon bekannten Schritte „Systemanalyse“, „Erstellung des Lösungskonzeptes“ und „Entwurf gestalten“. Ein Unterscheidungskriterium zu anderen Modellen liegt in der Prognose und Extrapo-

lation. Dörner versucht ähnlich wie Hacker ein Bild des Ergebnisses vorwegzunehmen und das Handeln zielorientiert auszurichten. [LIN05]

Vorgehenszyklus aus der Denkpsychologie

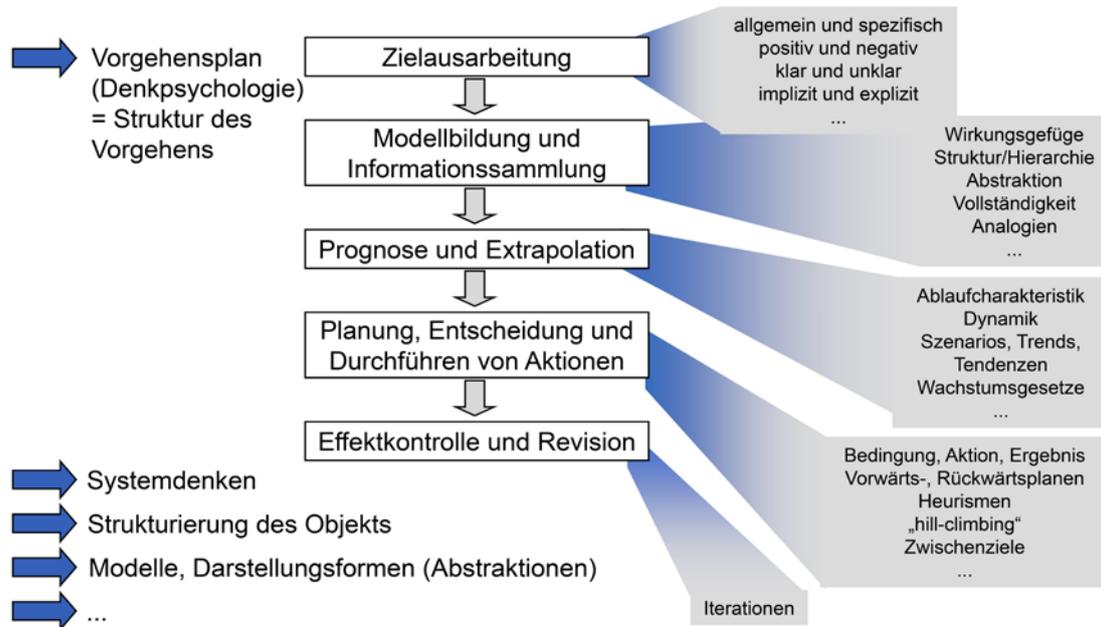


Abbildung 22: Vorgehenszyklus aus der Denkpsychologie [LIN09]

2.3.3 Phasen- und Arbeitsschrittmodelle

Vorgehensmodelle auf Ebene von Phasen und Arbeitsschritten waren Thema zahlreicher Forschungsarbeiten und wurden vor allem geprägt durch Arbeiten von Roth, Pahl/Beitz, Kesselring, Koller und Rodenacker. Das bekannteste und meist angewandte Modell auf dieser Ebene ist das Vorgehen nach VDI Richtlinie 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ bei derer Entwicklung auch viele der genannten Personen mitgewirkt haben.

Rodenacker

Rodenacker betrachtet das Konstruieren vor allem als einen Informationsbeschaffungs- und Informationsverarbeitungsprozess. Er entwickelt die Arbeitsschritte beim Konstruieren indem er versucht ein physikalisches Experiment in einem Vorgehensprozess zu beschreiben. Beginnend mit der Definition der Funktionen einer Maschine, achtet er auf ein stets lösungsneutrales und abstraktes Darstellungsniveau. Diese Funktionen verknüpft er mit physikalischen Eigenschaften um Prinziplösungen zu erhalten. Anschließend werden die Konstruktionsmerkmale beziehungsweise die Wirkflächen zugeordnet und die Kinematik erzeugt. [BEN04]

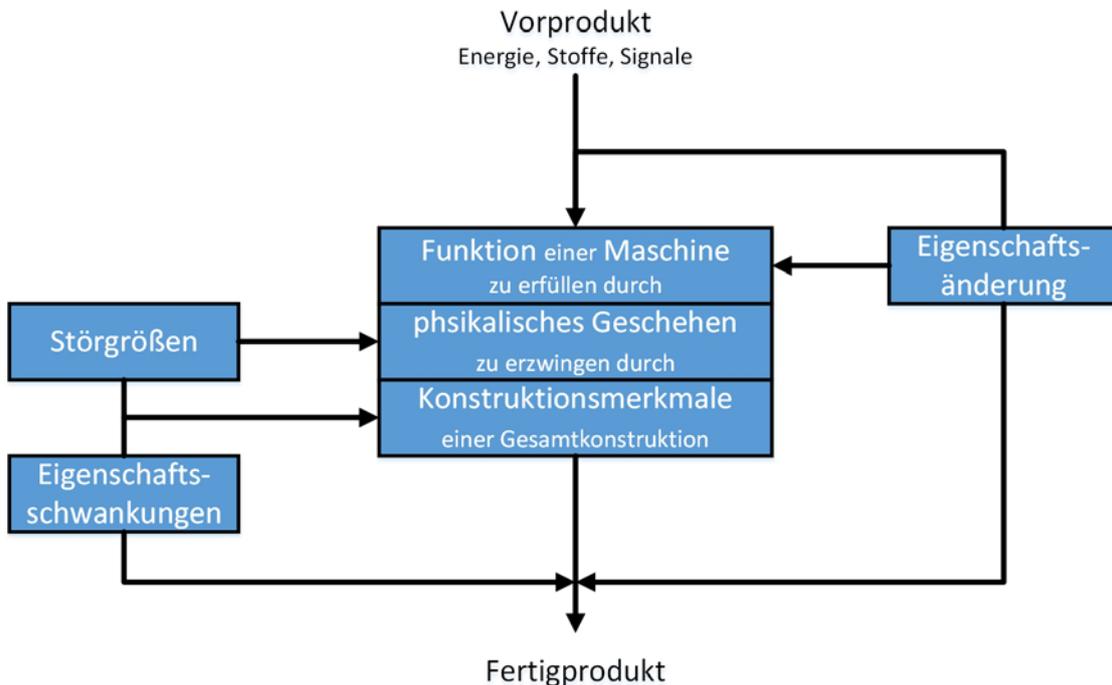


Abbildung 23: Vorgehen nach Rodenacker [BEN04]

Prozessmodell nach Roth

Dieser Ablaufplan stellt das methodische Gerüst des Algorithmischen Auswahlverfahrens zur Konstruktion mit Katalogen (AAK) dar, es wurde also für das Arbeiten mit Konstruktionskatalogen entwickelt, kann aber auch allgemein verwendet werden. Der Aufbau mit dem iterativen Durchlaufen der Arbeitsschritte, einer Anforderungsliste und dem Arbeiten mit Konstruktionskatalogen diene als Vorlage nachfolgender Vorgehensmodelle. In vielen Punkten besteht deshalb eine Übereinstimmung mit anderen Prozessmodellen wie beispielweise dem Vorgehen nach Pahl/Beitz oder nach VDI 2221. Das Modell nach Roth gliedert sich in folgenden vier Phasen: ([ROT00], S.24)

- In der *Aufgabenformulierungsphase* wird die Aufgabe analysiert, ergänzt und ihr technischer Inhalt präzise ausgedrückt, um als Ergebnis eine Aufgabenstellung zu erhalten.
- Die *Funktionelle Phase* stellt eine funktionelle Beziehung zwischen Eingangs- und Ausgangsgröße dar. Es erfolgt eine Untergliederung in Teilfunktionen, die wiederum durch netzartige Verknüpfung zur Gesamtfunktion führen. Ziel dieser Phase ist eine Ermittlung der Funktionen und die Darstellung dieser in einer Funktionsstruktur.
- In der *Prinzipiellen Phase* erfolgt die Weiterentwicklung des Produkts. Die Darstellung von „black boxes“, Funktionsgrößen und anderen Symbolen wird durch Wirkprinzipien (Effekte) und Wirkstrukturen (Effektträger) konkretisiert bis schlussendlich eine oder mehrere Prinzipskizzen erstellt werden können. Dabei sollen

wieder durch Variation der Effekte und geometrische Änderung der Effekträger möglichst viele Varianten erzeugt werden.

- Die letzte Phase wird *Gestaltende Phase* bezeichnet und wird in die Geometrisch-Stoffliche und die Herstellungstechnische Produktgestaltung unterteilt. Bei der Geometrisch-Stofflichen Produktgestaltung wird aus der Prinzipskizze in weiteren konstruktiven Schritten ein „Konturbild“ erstellt welches mit Körpern aus möglichst einfach herstellbaren Oberflächen zusammengesetzt wird. In der Herstellungstechnischen Produktgestaltung erfolgt die Detailarbeit, wie das Ausarbeiten der Einzelteile, das Erstellen von Stücklisten, Fertigungs-, Montage- und Gebrauchsanweisungen.

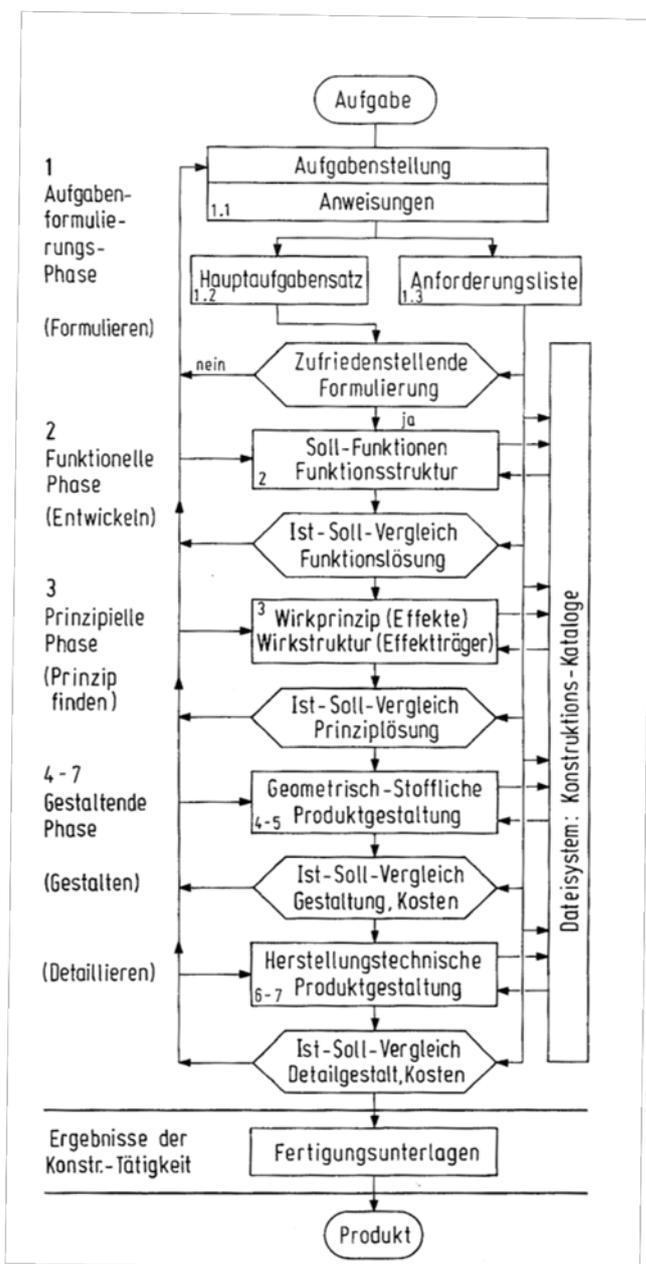


Abbildung 24: Prozessmodell nach Roth [ROT00]

Koller

Koller sieht den Ausgangspunkt für die Durchführung eines Konstruktionsprozesses in der Aufgabenstellung. Sie soll im Wesentlichen den Zweck des zu konstruierenden Produkts aufzeigen und besteht aus Restriktionen und Forderungen unter welchen der betreffende Zweck erfüllt werden soll. (vergl. [KK98])

„Konstruieren heißt, Zweck und Forderungen einer Aufgabenstellung in entsprechende Funktionen oder sonstige Eigenschaften eines technischen Produktes umzusetzen.“
[KK98]

Der Konstruktionsprozess nach Koller gliedert sich in sechs Konstruktionsschritte, welche jeweils aus Analyse- und Synthesetätigkeiten bestehen: (vergl. [KK98])

- Im ersten Schritt, der *Funktionssynthese*, sollen die am schwierigsten zu lösenden Teil- oder Elementaraufgaben der Gesamtaufgabe erkannt werden und physikalische Vorgänge beziehungsweise physikalische Elementarfunktionen für deren Erfüllung gefunden werden. Durch eine Kombination dieser Elementarfunktionen wird eine Systemstruktur erstellt, welche in der Lage ist, den Systemzweck zu realisieren.
- Bei der anschließenden *Effektsynthese* werden den, im vorhergehenden Schritt erstellten, Funktionsstrukturen physikalische Effekte zugeordnet, welche die geforderten Tätigkeiten realisieren können und in einer Effektstruktur dargestellt.
- Im nächsten Konstruktionsschritt werden den Effekten so genannte Effektträger zugeordnet. Effektträger können Werkstoffe, Flüssigkeiten, Gase aber auch ein Raum als Träger elektromagnetischer Wellen etc. sein. Das Arbeitsergebnis der *Effektträgersynthese* ist die Prinziplösung.
- Diese Prinziplösung wird im nächsten Konstruktionsschritt, der *Gestaltungssynthese*, konkretisiert. Dabei werden qualitative und quantitative Gestaltungsparameterwerte festgelegt, welche die Funktionen realisieren und in Form eines technischen Gebildes darstellen. Das heißt, es wird die optimale Produktgestalt dahingehend festgelegt, dass die Lebensdauer genügend hoch ist, die Herstellung kostengünstig ist und sonstige Anforderungen an das Produkt erfüllt werden.
- Das Festlegen der erforderlichen Bauteiloberflächen, hinsichtlich Oberflächenart und *Oberflächenbeschaffenheit* ist der Gegenstand des fünften Konstruktionsschrittes.
- Zum Schluss ist es notwendig die für das Produkt erforderlichen Energiearten und deren Zustände festzulegen, um die definierten Zwecke und Forderungen zu erfüllen. Das kann sowohl das Festlegen der elektrischen Spannung, Strom, Gasdruck bis hin zur Bestimmung der Schraubenanzugsmomente beinhalten.

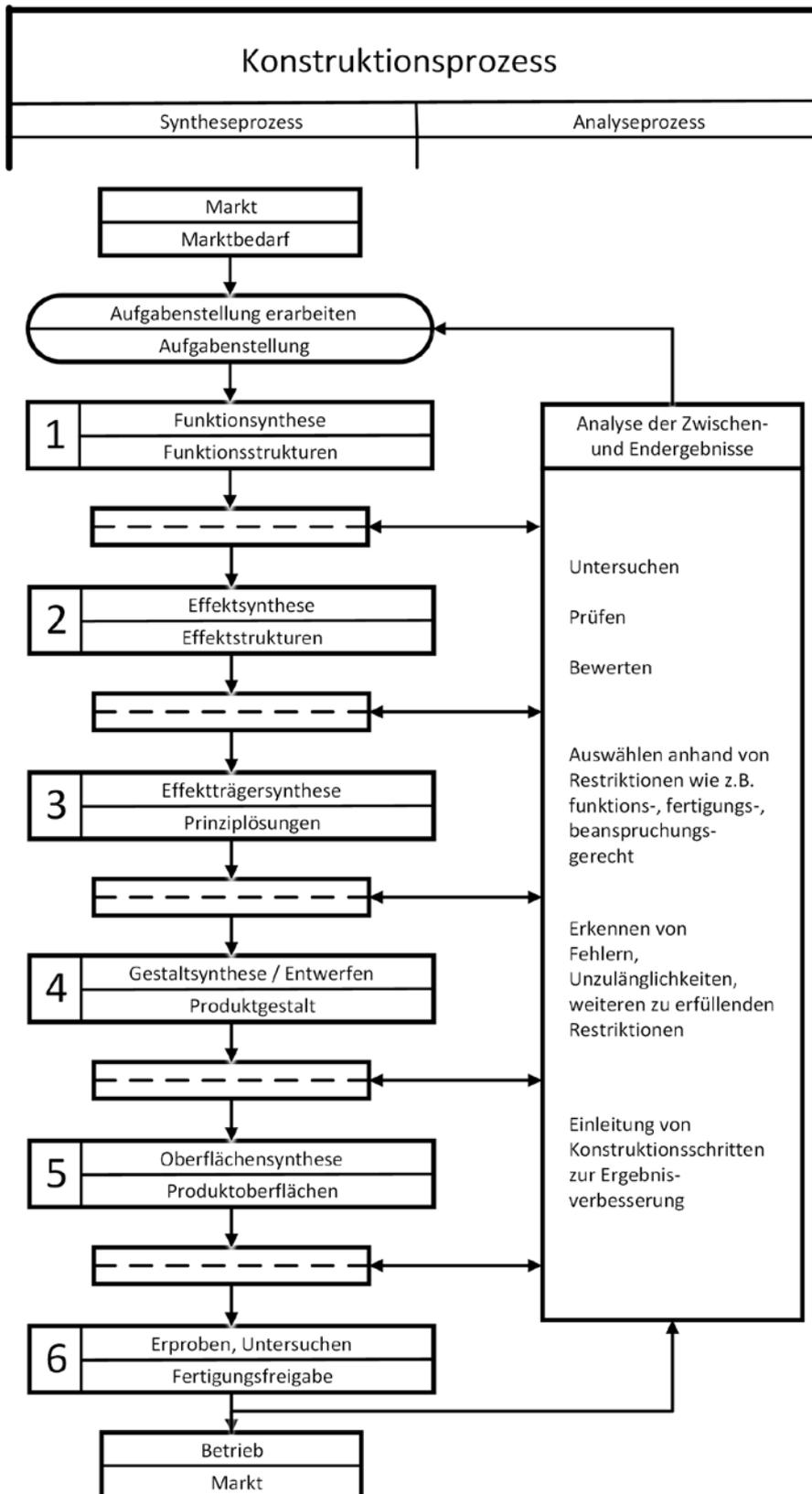


Abbildung 25: Prozessmodell nach Koller (vergl. [KK98])

Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach VDI 2221 (vergl. [VDI93] ; [VDI97])

Die Richtlinie VDI 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ gibt eine allgemeine Orientierung vor. Sie behandelt allgemeingültige, branchenunabhängige Grundlagen methodischen Entwickelns und Konstruierens und kann als eine Dachrichtlinie gesehen werden, welche durch die Richtlinien VDI 2220 „Produktplanung“, VDI 2222 Bl.1 „Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien“ und VDI 2223 „Methodisches Gestalten“ erweitert wird. [VDI97] ; [VDI97]



Beim Vorgehen nach VDI 2221 unterscheidet man sieben Hauptarbeitsschritte in denen Prüf-, Bewertungs- und Auswahloptionen vorgesehen sind, um am Ende eines jeden Schrittes zu einem möglichst guten Arbeitsergebnis zu gelangen. Die einzelnen Schritte können dabei vollständig, nur teilweise oder auch mehrmals iterativ durchlaufen werden. Durch iteratives Vorgehen kann ein optimales Arbeitsergebnis erreicht werden. In der Praxis werden oft die einzelnen Arbeitsschritte, je nach Branche und Unternehmen, zu Entwicklungs- beziehungsweise Konstruktionsphasen zusammengefasst. Im Maschinenbau wird meist in folgende vier Phasen unterschieden: [VDI93]

- Phase I: Aufgabe klären
- Phase II: Konzipieren
- Phase III: Entwerfen
- Phase IV: Ausarbeiten

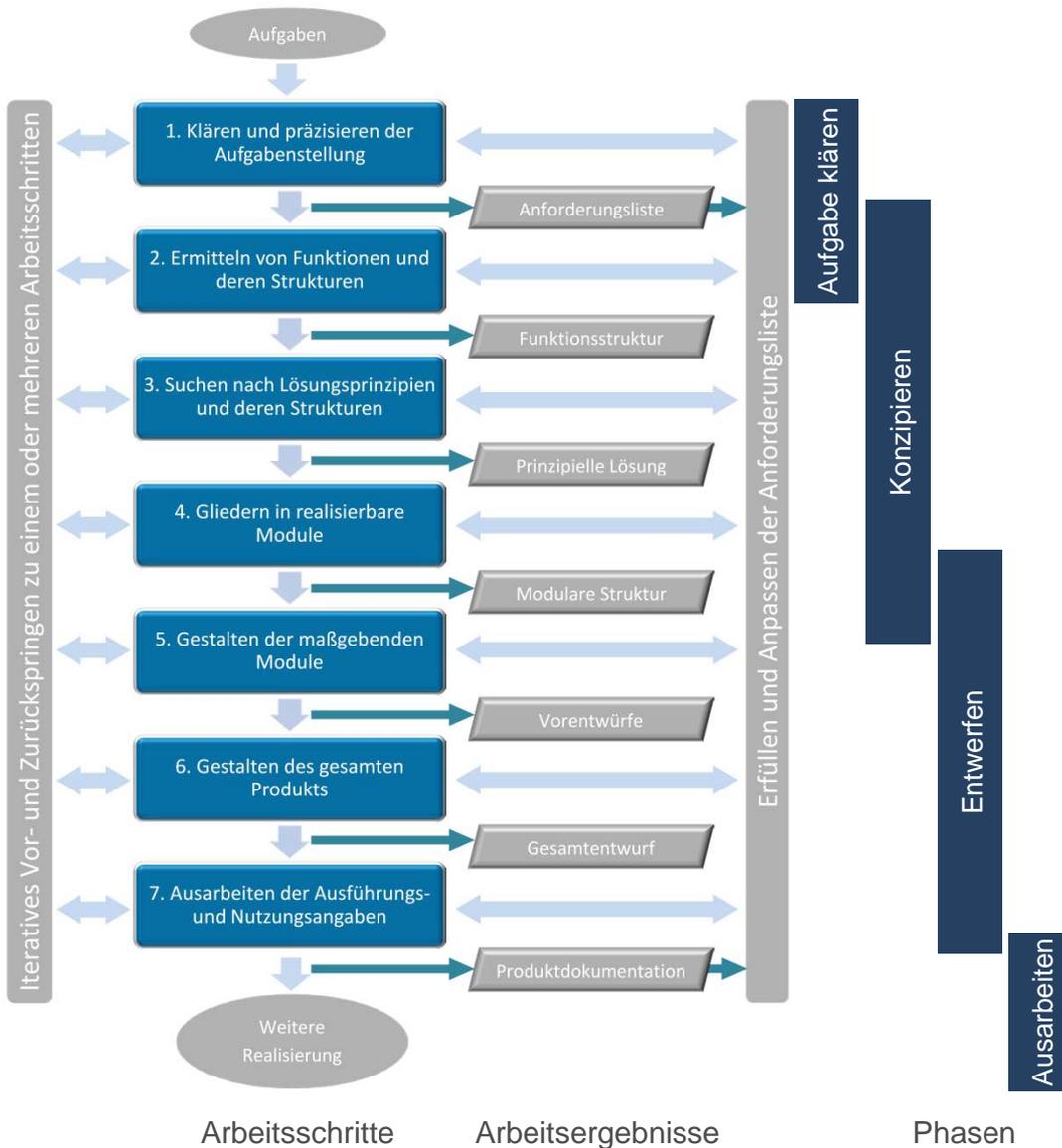


Abbildung 26: Vorgehen nach VDI 2221 (vergl. [VDI93])

Im *ersten* Arbeitsschritt, der zugleich der allerwichtigste ist, wird die Aufgabenstellung geklärt und präzisiert. Ist die Aufgabenstellung nicht klar und eindeutig definiert, kann es zu Problemen bei der Durchführung des gesamten Prozesses kommen. Die Aufgabenstellung kann durch eine Anfrage eines Kunden, extern, oder durch die Produktplanung, unternehmensintern, formuliert werden.

„Klärung der Aufgabenstellung:

dient zur Informationsbeschaffung über die Anforderungen, die an das Produkt im Einzelnen gestellt werden, sowie über die bestehenden Bedingungen und deren Bedeutung.“ [PB06]

Das Ergebnis des ersten Arbeitsschrittes „Klären und präzisieren der Aufgabenstellung“ ist die Anforderungsliste. Diese informative Auflistung ist eine für alle Arbeitsschritte begleitende Informationsunterlage. Anforderungen können sich während des Entwicklungsablaufes ändern und auch neu hinzukommen, deshalb ist die Lis-

te ständig zu erweitern und auf den aktuellsten Stand zu halten. In der Praxis ist es jedoch notwendig, zu einem bestimmten Zeitpunkt die Liste einzufrieren, um die Entwicklungsdauer nicht durch ständige Änderungen maßlos in die Höhe zu treiben. Quellen für die Anforderungsliste können zum Beispiel Dokumente wie Normen und Marktdaten, Vorgängerprodukte, oder Personen sein. Nach Pahl/Beitz [PB06] können drei grundlegende Anforderungstypen unterschieden werden.

Es gibt *grundlegende Anforderungen*, die nicht vom Kunden ausgesprochen werden. Diese teils impliziten Forderungen sind für den Kunden von höchster Bedeutung und deren Erfüllung wird als selbstverständlich angenommen.

Die *technisch-kundenspezifischen Anforderungen* sind explizit und werden vom Kunden meist sehr genau und ausführlich beschrieben.

Bei den *Attraktivitätsanforderungen* handelt es sich wiederum um implizite Forderungen, die dem Kunden meist selbst nicht bewusst sind, aber eine gute Differenzierung zu den Mitbewerbern darstellen können.

Beim Erkennen und Aufstellen der Anforderungen bereiten die expliziten Forderungen meist kaum Schwierigkeiten, hingegen sind die vom Kunden unausgesprochenen, aber als selbstverständlich vorausgesetzten, impliziten Forderungen jene, die als problematisch einzustufen sind. Diese sind nur durch Kenntnisse des Kunden und des Marktsegmentes zu finden. Als Hilfe zur Aufstellung und Erweiterung von Anforderungslisten können zum Beispiel Produktfragelisten, Assoziationslisten, Checklisten, Suchmatrizen und Hauptmerkmalisten verwendet werden.

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Beispiel einer Suchmatrix. Dabei werden in den Zellen der ersten Spalte die Lebenslaufphasen eines Wagenhebers angefangen von der Herstellung bis hin zur Rückführung (Recycling) eingetragen und in den Zellen der ersten Zeile die technisch-physikalischen Eigenschaften und Bedingungen beziehungsweise die menschenbezogenen Eigenschaften und Bedingungen. Eine sehr ausführliche Erklärung und Beschreibung dieser Thematik ist in [ROT00] zu finden.

Eigenschaften, Bedingungen Lebens- lauf- phasen	Technisch - physikalische		Menschenbezogene			
	Nr.	1	2	3	4	5
Herstellung	1	1.1 modern aufgezugene Produktplanung, Entwicklung und Konstruktion	1.2 einschlägige Fachwerke mit Konstruktionskatalogen und Werkstoffdaten	1.3 Möglichkeiten, ergonomische Versuchsmodelle herzustellen und zu prüfen	1.4 Konstruktionsmethodisches Vorgehen teilweise eingeführt. Erfahrung vorhanden	1.5
	2	2.1 Maschinen für Massenfertigung, Kalt-, Warmverformun, ziehen, stanzen, zerspanen	2.2 Material für werkseigene Fertigungsverfahren verfügbar, keine besonderen Belastungen	2.3 Handlichkeit beeinträchtigende Formgebung vermeiden	2.4 berücksichtigen besonderer Fertigungsverfahren (bei Formgebung)	2.5
	3	3.1 Vorrichtung zur Erleichterung der Bandmontage	3.2 keine außergewöhnlichen Montagebelastungen	3.3 Gewicht und Form für Handmontage geeignet	3.4 unproblematische Montierbarkeit vorsehen	3.5
Verteilung	4	4.1 Lademaße für Produkt immer gegeben	4.2 Transportbedingungen werden durch Verpackung berücksichtigt	4.3 besondere Transportgriffe nicht nötig	4.4 Kennzeichnung für besondere Sorgfalt bei Transport nicht nötig	4.5
	5	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5
Verwendung	7	7.1 siehe Funktionssatz Lebensdauer: 10 Jahre Benutzungshäufigkeit: 100mal zusammenlegbar für Gepäckraum Höhe PKW-Chassis: 0.2 m Ausfederung Räder: 0.15 m	7.2 Belastung: etwa 500 N Schubbewegung, Benutzung im Freien	7.3 sicheres halten der Wagenlast, bei Rücklauf keine Verletzung, leichtes absenken	7.4 Hand - evtl. Fußbedienung. Bequemlichkeitsgrenzen: Handkraft ? 100 N Fußkraft ? 200 N hin- und gehende Bewegung bevorzugen	7.5
	8	8.1 keine Wartung	8.2 entfällt	8.3 entfällt	8.4 entfällt	8.5
	9	9.1 Verschleißteile austauschbar einbauen	9.2 entfällt	9.3 Zugänglichkeit der Betätigungsstellen, Bewegungsspielraum	9.4 entfällt	9.5
Rückführung	10	10.1 Weiterverwendung der Werkstoffe durch leichte Trennbarkeit vorsehen	10.2 keine Umweltbelastung	10.3 entfällt	10.4 entfällt	10.5

Abbildung 27: Ausschnitt aus Suchmatrix für Wagenheber nach Roth (vergl. [ROT00] , S.77)

Im *zweiten* Arbeitsschritt werden die Funktionen und deren Strukturen ermittelt. Zunächst soll dabei das Augenmerk auf die Gesamtfunktion gelegt werden, um dann anschließend die wichtigsten Teilfunktionen, Hauptfunktionen, ermitteln zu können. Im diesem Abschnitt ist es besonders wichtig die vielen möglichen Funktionen auf die wesentlichen zu reduzieren und so zu abstrahieren, dass diese dann beispielsweise aus einem Konstruktionskatalog entnommen werden können. Um auf die Funktionen eines Objektes zu kommen, ist es notwendig, die Zustandsänderungen der drei allgemeinen Größen *Stoff*, *Energie* und *Information* zu betrachten.

Eine Zustandsänderung eines *Stoffes* kann die Umformung eines Stahlrohrlings in einer Presse sein. *Energie* kann beispielsweise in einem Getriebe oder durch einen Hebel umgeformt werden. *Information* kann zum Beispiel mit einem Rechner gespeichert oder umgewandelt werden.

Das Zusammenfügen und die Variation dieser Teilfunktion zu einer Funktionsstruktur bildet die Grundlage zur Suche nach Lösungsprinzipien für die Gesamtfunktion. Das Aufstellen einer Funktionsstruktur erweist sich häufig als sehr schwierig, besonders für junge, unerfahrene Konstrukteure stellt oft der hohe Abstraktionsgrad eine große Herausforderung dar.

Das Arbeitsergebnis sind eine oder auch mehrere Funktionsstrukturen in Form von Schaltungen und Darstellungen.

Der *dritte* Arbeitsschritt dient zur Suche nach Lösungsprinzipien. Dabei werden wieder beginnend bei den wesentlichen Teilfunktionen, Hauptfunktionen, mehrere Lösungsprinzipien gesucht indem den Funktionen physikalische, chemische, biologische oder andere Effekte zugeordnet werden. Diese Effekte, welche von theoretischer Natur sind, wie beispielsweise der Kraftmanipulatoreffekt, lassen sich dann mittels Effekträgern praktisch umsetzen. Für den Kraftmanipulatoreffekt wären Hebel, Keile, Rad- oder Schraubpaarungen mögliche Effekträger. Mit Hilfe eines morphologischen Kastens wird versucht alle denkbaren Lösungsmöglichkeiten und -richtungen in geordneter Form festzuhalten und durch die Kombination der Teillösungen zu einer großen Anzahl an verschiedenen Lösungsprinzipien zu gelangen. Als Vorzeigebeispiel soll wiederum der Wagenheber dienen. In Abbildung 28 sind einige verschiedene Kombinationen der Teillösungen zu möglichen Prinziplösungen angedeutet. Ebenfalls gut ersichtlich ist die Entstehung von Teillösungen aus den allgemeinen Funktionen mit der Hilfe von geeigneten mechanischen Effekten und Effekträgern.

Phasen	Funktionelle		Prinzipielle				
	Funktion	Wirkprinzip	Wirkstruktur				
Modelle	Allgemeine Funktionen	Geeignete mechan. Effekte	Geeignete Teillösungen mit Effekträgern				
	Nr.	1	2	3	4	5	6
1	St Stoff speichern	1.2 Abstütz-Effekt	1.3 	1.4 	1.5 	1.6	1.7
			2.1 St Stoff leiten	2.2 Führungs-Effekt	2.3 	2.4 	2.5
3	E Energie umformen	3.2 Kraftmultiplikator-Effekt (Energie leitender Systeme)	3.3 	3.4 	3.5 	3.6 	3.7
			4.1 E Energie einseitig leiten	4.2 Rücklauf-Sperr-Effekt	4.3 	4.4 	4.5
			Nr.3	Nr.1	Nr.4+6	Nr.5	Nr.2

Abbildung 28: Funktionsstruktur Wagenheber([ROT00] , S.91)

Ziel dieses dritten Arbeitsschrittes sind prinzipielle Lösungen, welche in Form von Prinzipskizzen, Grobentwürfen, Schaltplänen oder auch Beschreibungen festgehalten werden. Diese dokumentierten Unterlagen enthalten meist auch noch funktionelle, kinematische und geometrische Bedingungen und stellen den Ausgangszu-

stand für die nächsten Arbeitsschritte des Gestaltens (Phase IV) dar und bilden ein grobes Modell des zu entwickelnden Produkts. [VDI97]

Im *vierten* Arbeitsschritt, Gliedern in realisierbare Module, ist es zuerst notwendig die gestaltungsbeeinflussenden Anforderungen und Bedingungen zu erkennen und hinsichtlich ihrer Wichtigkeit zu kategorisieren. Es sollten erste Auslegungsberechnungen mit Überschlagsformeln durchgeführt werden, um einen groben Überblick über die Hauptmaße des Produktes zu bekommen. Jetzt erst ist es zweckmäßig die prinzipielle Lösung in realisierbare Module zu unterteilen. Dabei ist es sehr dienlich einige Dinge zu beachten:

- Module immer so gliedern, dass möglichst unabhängig voneinander daran weiterentworfen werden kann. Dabei kann es sinnvoll sein in Bau- beziehungsweise Montagegruppen zu gliedern.
- Module, welche für das Erfüllen der Anforderungen besonders wichtig sind, sind zu priorisieren.
- Mit terminlich kritischen Modulen beginnen
- Können Module aus anderen Produkten direkt oder abgeändert übernommen werden oder müssen sie neu entworfen werden?

Spätestens ab diesem Arbeitsschritt ist es auch sehr sinnvoll im Sinne von „Simultaneous Engineering“ fortzufahren. Beim „Simultaneous Engineering“ erfolgt eine Überlappung der Ablaufschritte, in extremen Fällen kann es zur Parallelisierung einzelner Phasen bei der Produktentwicklung kommen, um Gesamtkosten und Entwicklungszeit zu reduzieren. Mehr dazu ist im Kapitel 1.3 „Simultaneous Engineering“ zu finden.

In diesem Arbeitsschritt fallen auch noch weitere organisatorische Handlungen, wie eine Terminplanung mit Meilensteinen und welche Aufgaben lassen sich besser im Team oder durch Einzelpersonen erledigen. Mittel dazu sind: Balkendiagramm und Netzpläne.

Das Arbeitsergebnis ist eine Produktstruktur, modulare Struktur, die eine Gliederung der Lösung in reale Gruppen, Elemente und deren Verknüpfung erkennen lässt und mit der das weitere Vorgehen nun hinsichtlich Zeiten und Kapazitäten geplant ist. ([VDI97] S.21; [VDI93] , S.10)

Der *fünfte* Arbeitsschritt „Gestalten der maßgebenden Strukturen“ beginnt mit der Erstellung von Gestaltstudien der vorher definierten Module in Form von maßstäblichen oder grobmaßstäblichen Skizzen. Es soll bewusst unscharf gearbeitet werden. Der Konkretisierungsgrad und Vollständigkeitsgrad soll nur so weit getrieben werden, bis ein Erkennen des Gestaltungsoptimums möglich ist, aber noch Spielraum für Kreativität bewahrt wird. Zur Lösungsfindung kann man auf vorhandene Lösungen zurückgreifen oder auch mittels Kreativitätstechniken zu neuen Ansätzen gelangen. Erste Überlegungen über die Fertigungsverfahren, Qualität, Stückzahlen und Kosten sollten miteingebracht werden. Diese ersten Vorentwürfe sollten dann beurteilt werden. Hierzu ist es zweckmäßig die Anforderungsliste hinzuzuziehen, erfahrene Konstrukteure um deren Rat zu bitten, und außerdem können Berechnungen und Versuche Schwachstellen aufzeigen.

Arbeitsergebnis sind freigegebene, beurteilte Vorentwürfe der maßgeblichen Module in Form von Zeichnungen, Plänen oder ähnlichem.

Im *sechsten* Arbeitsschritt „Gestalten des gesamten Produkts“ werden die Vorentwürfe der maßgeblichen Module, um die noch nicht bearbeiteten Gruppen und Elemente erweitert. Es werden ein grobmaßstäblicher und anschließend ein maßstäblicher Gesamtentwurf erarbeitet. Falls es die Zeitplanung zulässt, sollten immer alternative Entwürfe vorgesehen werden. Das Erstellen vorläufiger Stücklisten gibt einen Überblick über Zulieferkomponenten und Bauteile, die in Eigenfertigung entstehen sollen. Natürlich ist es sehr hilfreich diese Gesamtentwürfe bewusst zu analysieren um Probleme aufzudecken und diese auch mit zu dokumentieren. Durch systematische Variation von Teilverbänden, Einzelteilen, Formelementen oder Einzelteilflächen können problematische Gestaltungselemente gezielt verbessert werden. Durch einen ständigen Wechsel der Betrachtungsweise vom Detail auf das Ganze und umgekehrt, ist es möglich, ein Gesamtoptimum für das Produkt zu erkennen und Schnittstellenprobleme zu vermeiden. Es kann nicht immer zwangsläufig davon ausgegangen werden, dass eine Kombination optimaler Teillösungen auch das optimale Gesamtprodukt ergeben. Als Zwischenergebnis dieses Arbeitsschrittes steht ein grobmaßstäblicher Gesamtentwurf mit optimalen Gestaltungselementen der hinsichtlich der Einhaltung der in der Anforderungsliste bestimmten Forderungen zu überprüfen ist. Dabei ist besonders auf Störeffekte, die beispielsweise durch Reibung oder Schwingungen entstehen, zu achten. Je weiter der Gestaltungsprozess fortgeschritten ist, desto exakter ist der erreichte Zustand durch die Nutzung mathematischer Verfahren und mit Hilfe rechnerunterstützter Instrumente abzubilden. Besonders häufig finden hier Finite-Elemente-Methoden, Mehrkörpersimulationen und ähnliche Verfahren Anwendung. Eine Analyse und Beurteilung des maßstäblichen Gesamtentwurfs ist unumgänglich, um Mängel im Entwurf aufzudecken und die bei der Ausarbeitung mit zunehmender Konkretisierung exponentiell ansteigenden Änderungskosten zu verhindern. Erst nach dieser Kontrolle kann die Phase des Entwerfens abgeschlossen werden und die Freigabe zum Ausarbeiten erfolgen.

Das Arbeitsergebnis des sechsten Schrittes ist ein maßstäblicher Gesamtentwurf, der alle wesentlichen gestalterischen Festlegungen zur Produktrealisierung enthält. Darstellung findet er in Zeichnungen, Stücklisten, Fertigungs- und Montageanweisungen. ([VDI93] , S.11)

Im *letzten* Arbeitsschritt, „Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben“ wird die endgültige Produktdokumentation erstellt. Diese beinhaltet neben Einzelteil-, Gruppen-, Gesamtzeichnungen auch Stücklisten, Fertigungs-, Montage-, und Transportvorschriften. Betriebsanleitungen und Benutzerhandbücher sind auch Teil einer vollständigen Produktdokumentation.

Pahl/Beitz

Der Konstruktionsprozess nach Pahl/Beitz [PB06] ist angelehnt an die VDI Richtlinie 2221. Im Gegensatz zu der sehr allgemeingültigen branchenunabhängigen VDI Richtlinie wurde dieser Ablaufplan gezielt auf den Maschinenbau abgestimmt. Auch

hier wird der Entwicklungs- und Konstruktionsprozess in vier Hauptphasen unterteilt: [PB06]

- Planen und Klären der Aufgabenstellung
- Konzipieren
- Entwerfen
- Ausarbeiten

Anstelle der Einteilung nach Phasen kann auch eine Einteilung nach Tätigkeiten getroffen werden. In diesem Fall erfolgt die *informative Festlegung* in der ersten Phase (Planen und Klären der Aufgabenstellung). Beim Konzipieren wird die *prinzipielle Festlegung* getätigt. Das Entwerfen ist geprägt durch die *gestalterische Festlegung* und dem Ausarbeiten wird die *Herstellungstechnische Festlegung* als Haupttätigkeit zugeordnet. Obwohl die Einteilung in Hauptphasen für die Planung und Kontrolle eines Entwicklungsprozesses sehr hilfreich ist, ist eine strikte Trennung dieser Phasen oft nur schwer möglich. Des Weiteren lassen sich beispielsweise Nebenfunktionen oft erst beim Entwerfen erkennen, dies erfordert ein Rückspringen auf die Konzeptphase um die geeigneten prinzipiellen Lösungen für diese Funktionen zu finden. Den Hauptphasen werden Hauptarbeitsschritte zugeordnet, die als zweckmäßige strategische Handlungsanweisungen zum Erreichen des Arbeitsergebnisses zu sehen sind. In der Regel sind aber noch zahlreiche Unterschritte erforderlich, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erlangen. Beim Durchlaufen des Prozesses sind immer wieder Entscheidungsschritte vorgesehen. Speziell nach Hauptphasen und wichtigen Haupthandlungsschritten ist der erreichte Zustand zu prüfen und zu beurteilen. Bei einer positiven Beurteilung des Arbeitsergebnisses, erfolgt die Freigabe für den nächsten Arbeitsschritt beziehungsweise für die nächste Phase. Bei nicht zufriedenstellenden Ergebnissen kann es zum erneuten Durchlaufen der Iterationsschleife kommen oder sogar zum Abbruch der Entwicklung. (vergl. [PB06])

Auch das Vorgehen nach Pahl/Beitz unterscheidet wie die VDI Richtlinie sieben produktdarstellende Modelle. ([DÜS07] , S.26)

Tabelle 3: Gegenüberstellung von Pahl/Beitz und VDI 2221

Pahl/Beitz	VDI 2221
Anforderungsliste	Anforderungsliste
Funktionen/Funktionsstrukturen	Funktionsstrukturen
Wirkprinzipien/Wirkstrukturen	Prinzipielle Lösungen
Baustruktur	Modulare Strukturen
Vorentwurf	Vorentwürfe
Gesamtentwurf	Gesamtentwurf
Produktdokumentation	Produktdokumentation

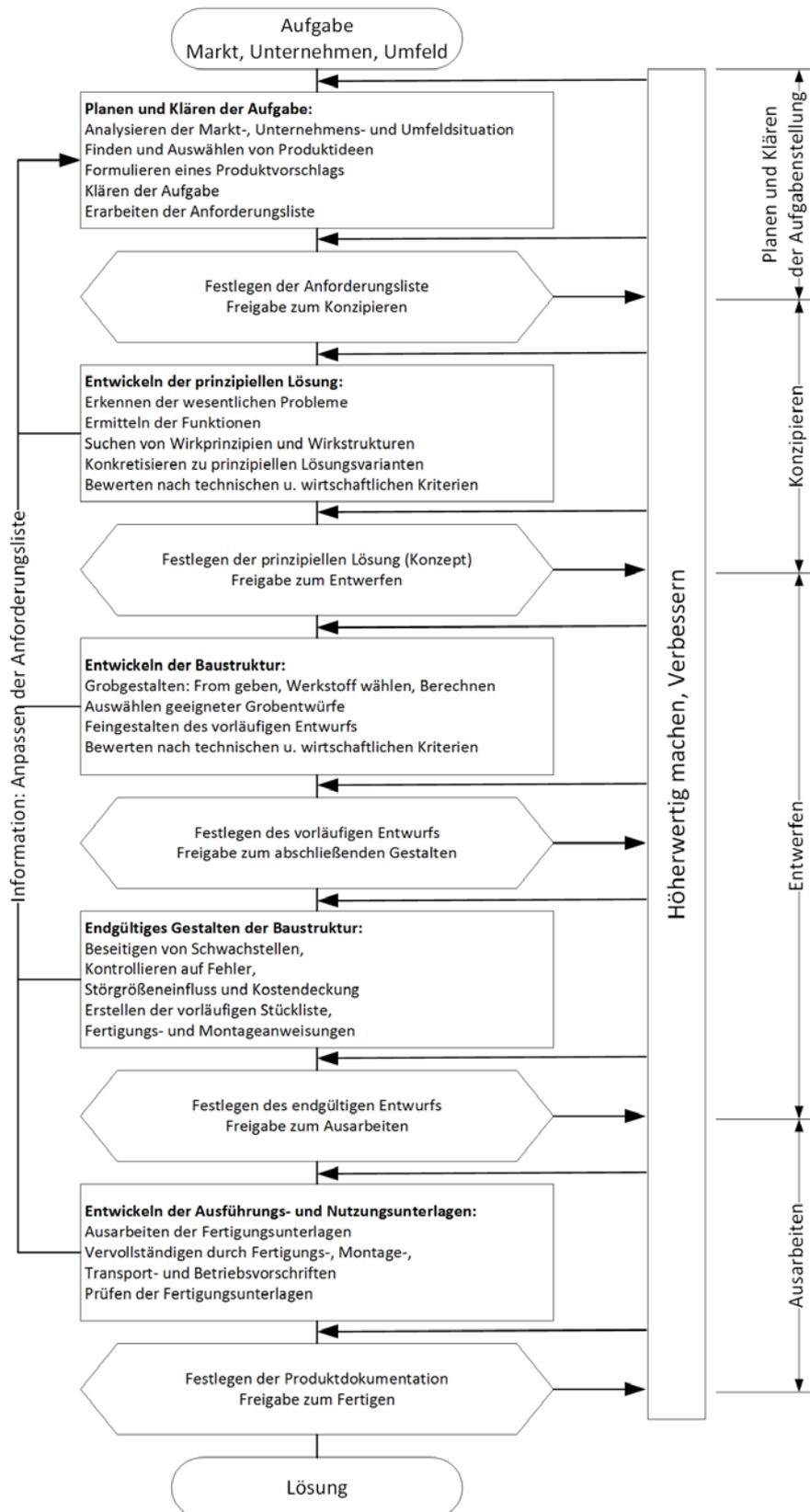


Abbildung 29: Vorgehensmodell nach Pah/Beitz ([PB06] , S.198)

Axiomatic Design

Bei der von Suh entwickelten Technologie soll die Produktentwicklung, wie in der Mathematik als ein System aufgebaut werden, das auf Axiomen basiert. Damit unterscheidet sich dieses Modell von den vorher genannten, die mehr auf die Erfahrung und Intuition des Entwicklers aufbauen. Ein weiteres Ziel bei der Entwicklung von Axiomatic Design war es, die sehr kostspieligen Trial-Error-Prozesse zu minimieren. Axiomatic Design ist ein Domänenkonzept. Es gibt 4 verschiedene Domänen, die alle während eines Produktentwicklungsprozesses durchlaufen werden. Mittels Restriktionen soll der Lösungsraum eingeschränkt werden. Die Zuordnung von Anforderungen zu den Lösungen erfolgt mittels Matrizen und für die Beurteilung und den Vergleich von Konstruktionslösungen, werden Axiome angewendet. (vergl. [STE12] , S.55f ; [BNS08] ,S.3f)

Domänen

Zu Beginn steht die *Kundendomäne*, in der die Kundenanforderungen erfasst und strukturiert werden. Diesen Kundenanforderungen werden in der zweiten Domäne, der *Funktionalen Domäne*, funktionale Anforderungen zugeordnet. Das heißt, die Forderungen an den Entwurf werden aus fiktionaler Sicht betrachtet. In der *Physischen Domäne* werden die Lösungsmerkmale (Designparameter), auf Basis der vorliegenden Funktionsforderungen, für die Lösung ermittelt. Restriktionen sollen dabei helfen den Lösungsraum einzuschränken. Die *Prozessdomäne* stellt die letzte Domäne dar und sie beinhaltet die Prozessvariablen, welche das Vorgehen zur Umsetzung der Lösung beschreiben. (vergl. [STE12] ,S.55)

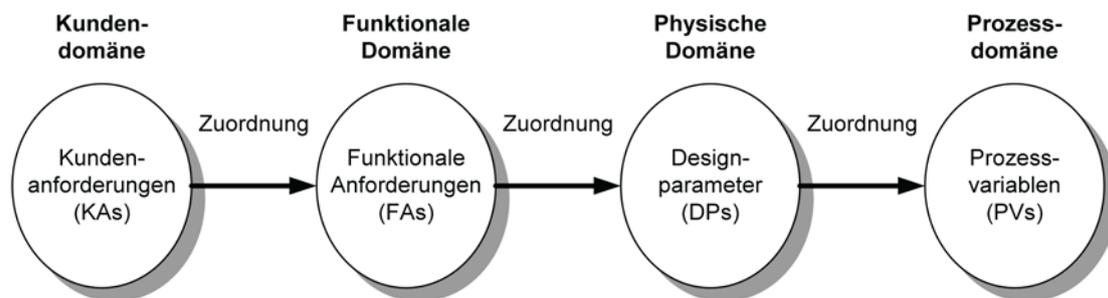


Abbildung 30: Domänen in Axiomatic Design ([BNS08] , S.4)

Restriktionen

Restriktionen definieren Grenzen für die Lösungssuche, die eingehalten werden müssen. Man unterscheidet zwischen Eingangsrestriktionen, welche die Planungsaufgaben bestimmen und Systemrestriktionen. Letztere bilden die Randbedingungen in welchen die Lösungen funktionieren müssen. (vergl. [STE12] , S.56)

Matrizen

Eine Entwurfsmatrix stellt den Zusammenhang zwischen den funktionalen Anforderungen und den Lösungsparametern her. Dabei kann die Qualität der Konstruktion mit der Hilfe eines Zahlenverhältnisses zwischen den Designparametern und den Funktionsanforderungen bewertet werden. Eine optimale Konstruktionslösung liegt vor, wenn keine Parameterzahlabweichung vorhanden ist. Falls die Anzahl der Designparameter größer ist als jene der Funktionsparameter, spricht man von einer

redundanten Konstruktion. Ist die Anzahl der Designparameter kleiner als die Anzahl der Parameter aus der Funktionsdomäne, so sind nicht alle Anforderungen erfüllt, oder es liegen unerwünschte Wechselbeziehungen vor. ([STE12] , S.57f)

Axiom

Für die Bewertung von Konstruktionslösungen wird das *Unabhängigkeitsaxiom* herangezogen, indem es Regeln für die Zuverlässigkeit von Entwürfen definiert. Das *Informationsaxiom* stellt einen quantitativen Vergleich zweier Entwürfe her. (vergl. [STE12] , S.58f)

Zuordnungsprozess

Zwischen den Funktionsanforderungen und den Designparametern bestehen auf verschiedenen hierarchischen Ebenen Verbindungen. Beginnend mit der obersten Ebene werden den Parametern aus der funktionalen Domäne Designparameter zugeordnet. Im nächsten Schritt erfolgt ein Rücksprung auf die Funktionsdomäne. Nun wird die zweite Ebene analysiert und auf die physische Domäne projiziert. Dieser Vorgang wird als „Zigzagging“ bezeichnet. Er dient zur Produktstrukturierung, die aufgrund einer rekursiven Projektion von Anforderungen auf Produktfunktionen entsteht. (vergl. [STE12] , S.57)

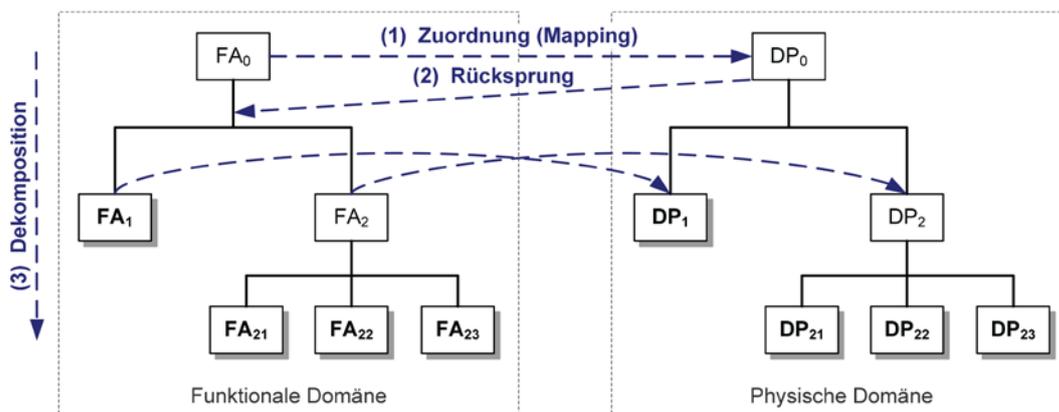


Abbildung 31: Zuordnungs- und Dekompositionsprozess ([BNS08] , S.8)

In der nachfolgenden Abbildung ist der Ablaufplan eines Axiomatic Design Prozesses dargestellt.

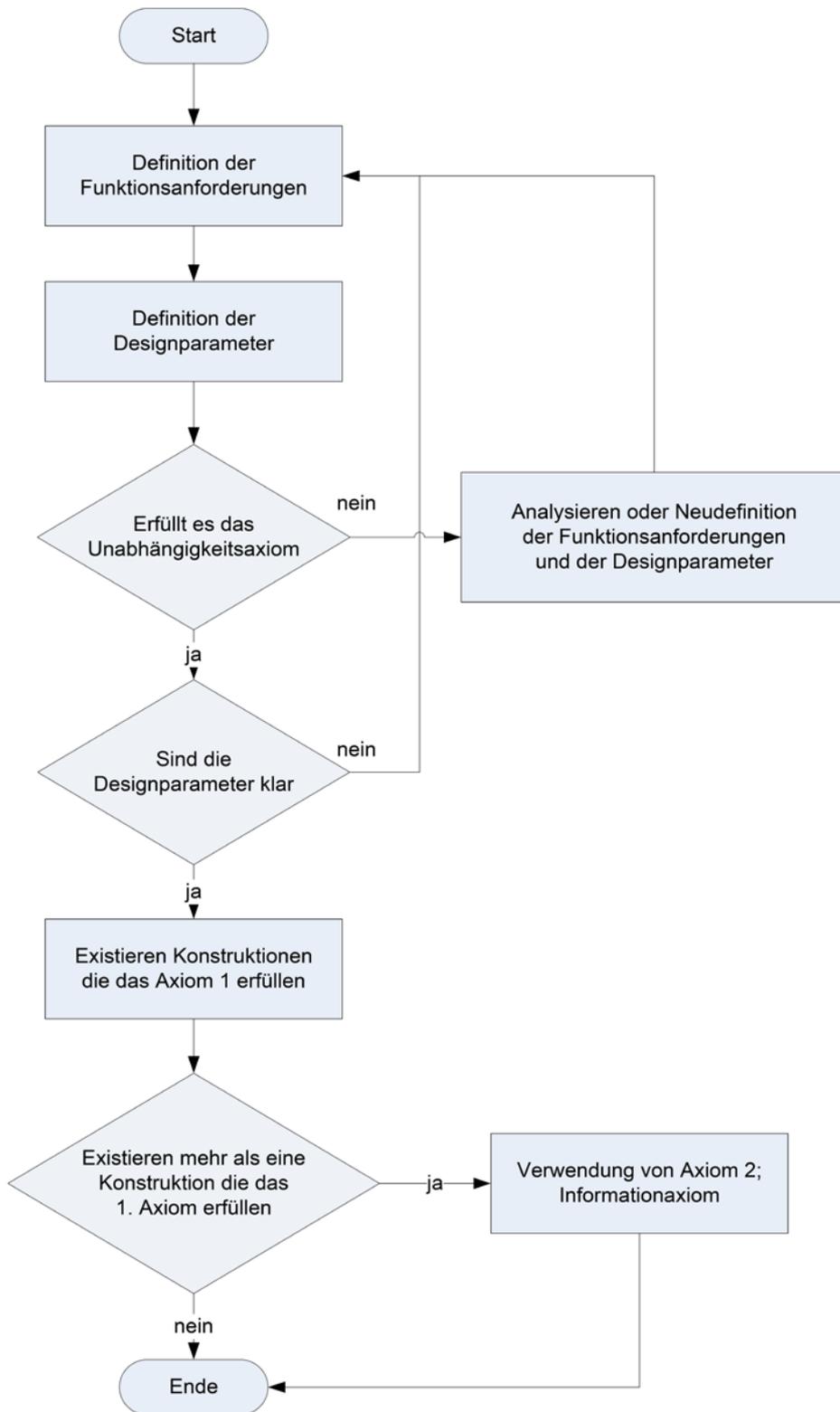


Abbildung 32: Ablaufdiagramm des Axiomatic Design ([STE12] , S.58)

2.3.4 Gegenüberstellung und Bewertung der Vorgehensmodelle

Trotz der großen Anzahl in der Literatur beschriebenen Modelle, unterschiedlichster Benennungen, hinsichtlich Phasen, Arbeitsschritten und Arbeitsergebnisse ist bei allen Modellen eine vergleichbare Vorgehensweise zu erkennen. Besonders die Vorgehensmodelle von Pahl/Beitz, VDI 2221 und Roth sind sehr ähnlich. Ein Grund dafür mag sein, dass die VDI-Richtlinie eine Vereinheitlichung verschiedener früher erschienenen Werke ist, beziehungsweise nachfolgende Veröffentlichungen auf ihr aufbauen. Selbst bei dem in erster Linie sehr fremd anmutenden Axiomatic Design sind Parallelitäten zu anderen Vorgehensprozessen ersichtlich. In der Tabelle 4 ist eine Gegenüberstellung der untersuchten Phasen- und Arbeitsschrittmodelle dargestellt. Eine ähnliche Gegenüberstellung ist auch in [ROT00] zu finden allerdings unterscheidet sich diese vor allem dadurch, dass das Axiometric Design ebenfalls mitaufgenommen wurde und die im Rahmen diese Arbeit gewonnen Erkenntnisse miteingezogen wurden. (vergl. [ROT00])

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Vorgehensmodelle

	Pahl/Beitz	VDI 2221	Roth	Koller	Rodenacker	AD
Aufgabenformulierung	Planen und klären der Aufgabe <i>Anforderungsliste</i>	Klären und präzisieren der Aufgabenstellung <i>Anforderungsliste</i>	Aufgabenformulierungsphase <i>Anforderungsliste</i>	Aufgabenstellung erarbeiten <i>Aufgabenstellung</i>	Aufgabenstellung, Vorprodukt	Kunden-domäne
Funktionelle Phase	Funktionen/ Funktionsstrukturen Wirkprinzipien/ Wirkstrukturen	Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen <i>Funktionsstrukturen</i>	Funktionelle Phase <i>Funktionslösung</i>	Funktions- oder Funktionsstruktursynthese <i>Funktionsstrukturen</i>	Festlegung logischer Zusammenhänge	Funktionale Domäne
Prinzipielle Phase	<i>Prinzipielle Lösung</i>	Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen <i>Prinzipielle Lösungen</i>	Prinzipielle Phase <i>Prinzipiellösung</i>	Effektsynthese <i>Effektstrukturen</i> Effektträgersynthese <i>Prinzipiellösungen</i>	Festlegung physikalischer Zusammenhänge Prinzipiellösungen	Physikalische Domäne
Gestaltende Phase	Entwickeln der Baustruktur Grobgestalten <i>Vorentwurf</i>	Gliedern in realisierbare Strukturen <i>Modulare Strukturen</i> Gestalten der maßgebenden Module <i>Vorentwürfe</i>	Gestaltende Phasen geometrisch-stoffliche Produktgestaltung Herstellungstechnische Produktgestaltung <i>Detailgestalt, Kosten</i>	Gestaltungssynthese <i>Produktgestalt</i>	Kinematischer Wirkzusammenhang Konstruktiver Wirkzusammenhang Fertigungstechnischer Wirkzusammenhang	
	Gestalten der Baustruktur <i>Gesamtentwurf</i>	Gestalten des gesamten Produkts <i>Gesamtentwurf</i>			Oberflächensynthese <i>Produktoberflächen</i>	Prozess-domäne

Ausarbeiten	Entwickeln der Ausführungs- und Nutzungsunterlagen <i>Produktdokumentation</i>	Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben <i>Produktdokumentation</i>	Fertigungsunterlagen	Erproben, Untersuchen <i>Fertigungsfreigabe</i>		
-------------	-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------	----------------------	----------------------------------------------------	--	--

Die Vorgehensmodelle werden unter Berücksichtigung der verwendeten Literatur hinsichtlich einiger Kriterien bewertet. Aufgrund dieser Bewertung und der nachfolgenden Auflistung wurde die Entscheidung getroffen, das Vorgehensmodell nach VDI 2221 weiterzuverfolgen.

Tabelle 5: Bewertung der Vorgehensmodelle

	Pahl/Beitz [PB06]	VDI 2221 [VDI93]	Roth [ROT00]	Koller [KK98]	Rodenacker [BEN04]	Axiomatic Design [BNS08]
Dokumentation	+	+	+	+	-	~
Bekanntheit Praxisanwendung	~	+	~	~	-	~
Anwendungsbeispiele	+	+	+	~	-	~
Aktualität (letzte wesentliche Veränderung)	~	+	~	~	-	+
Darstellung (Struktur, Einfachheit, Übersichtlichkeit, Klarheit der Aufgaben)	+	+	+	+	~	~
Berücksichtigung des Rechnereinsatzes	~	~	~	~	-	+

+....gut ~....befriedigend -....mangelhaft

Gründe die für das Vorgehensmodell nach VDI 2221 sprechen:

- Allgemeingültigkeit
- Branchenunabhängig
- Rechnereinsatz wird berücksichtigt
- Übersichtliche Darstellung mit klaren definierten Arbeitsergebnissen
- Hohe Praxisanwendung im Vergleich mit anderen Modellen
- Vereinheitlichung aus Vorschlägen anderer, früherer Modelle
- In Zusammenarbeit von Industrievertretern und Konstruktionswissenschaftlern entstanden

- Gute Dokumentation mit einigen Anwendungsbeispielen

2.3.5 Kritik an den Vorgehensmodellen

Grundlage für die folgende Argumentation ist [BEN04] in der die Anwendbarkeit und Akzeptanz der präskriptiven Konstruktionsmethodik sehr ausführlich dokumentiert und mit Einzelnachweisen belegt ist. Aus diesem Grund wird hier auf die explizite Zitierweise verzichtet und auf [BEN04] verwiesen.

Seit dem Beginn der ersten Versuche das Entwickeln und Konstruieren an methodische Konzepte zu binden und den Prozessablauf vorzuschreiben, gibt es Kritik vor allem aus der industriellen Entwicklungspraxis. Nach Beobachtungen in der Praxis ist klar zu erkennen, dass die Akzeptanz mangelhaft ist und überwiegend nicht methodisch konstruiert wird. Vor allem der hohe Zeitaufwand, der Zwang zur Abstraktion, die Einschränkung der Kreativität, die Unklarheit und Uneinigkeit von Begriffen in der Konstruktionsmethodik, die mangelnde Flexibilität und Komplexität und eine zu starre Regelung wurde an den Vorgehensmodellen kritisiert. Der sehr lineare und sequentielle Ablauf ist in vielen Fällen einfach nicht zielführend und ein iteratives Vorgehen, falls es überhaupt vorhanden ist, wird meist nur angedeutet. Vielmehr führt eine Überlappung beziehungsweise eine Parallelisierung der Ablaufschritte, im Sinne von Simultaneous Engineering, zum Erfolg. Des Weiteren ist oft die Rede von zu viel Wissenschaft und einer Überbewertung von logischen Abläufen, zu komplizierten und nicht merkfähigen Abläufen und heuristisch zu schwachen konstruktionsmethodischen Handlungsempfehlungen. Der Fokus der Phasenmodelle liegt auf Neukonstruktionen, während in der Praxis der Anteil an Wiederhol-, Varianten- und Anpasskonstruktionen stark überwiegt. Oft ist es nicht sinnvoll die Aufgabenstellung in Teilaufgaben zu zerlegen, da viele Probleme erst durch eine Betrachtung des Gesamtsystems erkennbar sind beziehungsweise auch durch die Kombination der vermeintlich idealen Teillösungen entstehen können. Technische Systeme können nicht immer auf eindeutig bestimmbare Grundelemente zurückgeführt werden und oft ist es sinnvoller und effektiver auf schon bekannte Lösungen für ähnliche Objekte zurückzugreifen. Konstruktionstätigkeiten sind größten Teils Rutinetätigkeiten, deshalb ist die Vorgehensweise der Konstrukteure meist pragmatisch und wird durch die Erfahrung gelenkt. (vergl. [BEN04])

Eine sehr umfangreiche Auflistung unterschiedlichster Meinungen und Aussagen zu dem Thema „Anwendbarkeit und Akzeptanz präskriptiver Konstruktionsmethodik“ ist in [BEN04] zu finden.

Trotz und größtenteils auch auf Grund dieser Kritiken an dem methodischen Vorgehen und den Vorgehensmodellen hat sich der Autor dieser Arbeit das Ziel gesetzt, die Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte nach VDI 2221 Richtlinie aufzugreifen, zu untersuchen und deren Anwendung zu forcieren. Dabei wird Wert darauf gelegt Unklarheiten zu beseitigen, den hohen Zeitaufwand mittels Rechnerunterstützung zu reduzieren und Methoden und deren Anwendung zu erklären. Diese sollen im Entwicklungsprozess an gebrauchter Stelle vorgeschlagen und passendes Werkzeug wie Formblätter und Vorlagen bereitgestellt werden.

2.4 Methoden und Werkzeuge

Methoden und Werkzeuge helfen dem Konstrukteur und Produktentwickler bei der Durchführung eines Konstruktionsprozesses mittels Vorgehensmodellen. Dabei können Werkzeuge als Unterstützung für die Methoden gesehen werden und für den erfolgreichen Einsatz dieser beitragen. Unter einem Werkzeug kann ein einfaches Formular aber auch ein komplexes Softwareprogramm verstanden werden. So ist die im nachfolgenden Kapitel 4 vorgestellte ME-app als Werkzeug zu kategorisieren. In der Literatur existieren verschiedene Definitionen des Begriffs „Methode“.

„Unter dem Begriff Methode wird die Beschreibung eines regelbasierten und planmäßigen Vorgehens verstanden, nach dessen Vorgabe bestimmte Tätigkeiten auszuführen sind. Methoden sind präskriptiv, das heißt als eine Vorschrift zu verstehen. Sie sind zielorientiert, also auf die Lösung eines Problems oder einer Aufgabenstellung fokussiert.“ [LIN05]

Methoden unterscheiden sich also von Vorgehensplänen durch ihren operativen Charakter und behandeln neben dem „WAS“ auch das „WIE“ etwas auszuführen ist. Methoden sind adaptierbar und es ist oft nötig sie an die gegebenen Verhältnisse anzupassen. [LIN05]

Nach [FEL12] besteht der Unterschied zwischen einer Methode und einer Methodik wie folgt:

Methode: *„Planmäßiges Vorgehen zur Erreichung eines bestimmten Ziels“*

Methodik: *„Planmäßiges Vorgehen unter Einschluss mehrerer Methoden und Hilfsmittel“*

Leider gibt es auch bei dem Begriff der Methode keine klare Abgrenzung. So wird ein paarweiser Vergleich, der aus nur wenigen Handlungsschritten besteht als Methode bezeichnet, genauso wie das sehr komplexe Quality Function Deployment, welches eigentlich einer Kombination von Einzelmethoden entspricht und somit eher mit dem Begriff der Methodik gleichzusetzen wäre. Selbst das sehr einfache Brainstorming, beinhaltet verschiedene Einzelmethoden wie Mindmapping oder Galeriemethode und auf der anderen Seite kann man wiederum in der Galeriemethode Brainstormingmethoden finden. Somit ist es sehr schwierig Methoden hierarchisch zu strukturieren (vergl. [LIN05])

Es gibt eine unzählige Menge an Methoden, die zur Unterstützung des Entwicklungsprozesses herangezogen werden können. Einige können für die Definition der Aufgaben und Ziele herangezogen werden, mit manchen fällt das Suchen nach Problemen und deren Lösungen leichter, wiederum andere helfen bei der Entscheidungsfindung. Das Problem liegt also nicht in der Anzahl der Methoden als vielmehr in der Unsicherheit bezüglich ihrer Anwendung, welche wieder auf eine mangelnde Erfahrung des Anwenders zurückgeführt werden kann. [VDI93] In diesem Kapitel wurde eine Einteilung der Methoden ähnlich der VDI 2221 in *Analyse- und Zielvorgabemethoden, Methoden zum Generieren von Lösungsideen, Methoden zur Bewertung und Entscheidungsfindung* und in *Entwicklungsunterstützende Methoden* getroffen. In den nachfolgenden Kapiteln sind einige wichtige Methoden und deren Charakteristika kurz beschrieben, welche später auch in der VDI-app

Anwendung finden. Eine sehr ausführliche Auflistung von Methoden ist in [LIN05] zu finden.

2.4.1 Analyse- und Zielvorgabemethoden

Mit Hilfe der Analyse- und Zielvorgabemethoden sollen die Eigenschaften des zu erzeugenden Produktes und deren Produktumgebung herausgefunden werden, um daraus Ziele definieren zu können. Diese Methoden finden vor allem in den frühen Phasen des Konstruktionsprozesses Anwendung und deren Ergebnisse sollen den gesamten Entwicklungsprozess unterstützend begleiten. (vergl. [VDI93])

Nachfolgende Tabelle zeigt die untersuchten Analyse- und Zielvorgabemethoden. Eine Erklärung zu den einzelnen Methoden, deren Vorteile, Nachteile und Einsatzmöglichkeiten sind im Anhang zu finden.

Tabelle 6: Analyse- und Zielvorgabemethoden

Methode	Durchführung	Moderation	Organisatorische Vorbereitung	Formblätter, Fragebögen, etc. sinnvoll
ABC-Analyse	Einzelperson / Team	Nein	Ja	Ja
Abstraktion/Blackbox	Einzelperson	Nein	Nein	Nein
Anforderungsliste	Team	Ja	Ja	Ja
Benchmarking	Team	Ja	Ja	Ja
Eigenschaftsliste	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Ja
Freiheitsgradanalyse	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Ja
Funktionsmodellierung	Einzelperson / Team	Nein	Ja	Ja
Kano-Modell	Team	Ja	Ja	Ja
Problemformulierung	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Ja
QFD (Quality Function Deployment)	Team	Ja	Ja	Ja
Reverse Engineering	Einzelperson / Team	Nein	Ja	Nein
Technische Evolution	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Ja
Trendanalyse	Einzelperson / Team	Nein	Ja	Ja

2.4.2 Methoden zum Generieren von Lösungsideen

Um optimale Resultate bei dem Entwickeln von technischen Produkten zu erhalten ist es sehr wichtig, eine möglichst große Anzahl von Lösungsideen zu generieren. Zu dieser Kategorie zählen sowohl heuristische als auch diskursive Ideenfindungstechniken. In den meisten Fällen führt eine Kombination der beiden vorher genannten Techniken zum Erfolg. Beim Suchen von Lösungsideen ist ein iteratives Vorgehen sehr empfehlenswert. (vergl. [VDI93])

Diese Methoden können sowohl in der Phase der Aufgabenklärung, beim Konzipieren auch in der Entwurfsphase hilfreich eingesetzt werden.

Eine Erklärung zu den einzelnen Methoden, deren Vorteile, Nachteile und Einsatzmöglichkeiten sind im Anhang zu finden.

Tabelle 7: Methoden zum Generieren von Lösungsideen

Methode	Durchführung	Moderation	Organisatorische Vorbereitung	Formblätter, Fragebögen, etc. sinnvoll
Bionik	Einzelperson / Team	Nein	Ja	Ja
Brainstorming	Team	Ja	Nein	Nein
Checkliste nach Osborn	Team	Ja	Ja	Ja
Delphianalyse	Team	Ja	Ja	Ja
Einflussmatrix	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein
Galeriemethode	Team	Ja	Ja	Ja
Konstruktionskatalog	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Ja
Methode 635	Team	Nein	Nein	Ja
Moderation mit Karten	Team	Ja	Ja	Ja
Morphologischer Kasten	Team	Ja	Nein	Nein
Negation	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein
Ordnungsschema	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein
Reizwortanalyse	Team	Ja	Nein	Nein
Synektik	Team	Ja	Ja	Nein
Variation	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein

2.4.3 Methoden zur Bewertung und Entscheidungsfindung

Mit Hilfe der Methoden zur Bewertung und Entscheidungsfindung soll die hoffentlich große Anzahl an generierten Lösungsideen nach technischen, wirtschaftlichen oder auch anderen Gesichtspunkten bewertet werden. Dadurch erhält man im ersten Schritt eine Verdichtung der Lösungsideen, welche wiederum einer Bewertung unterzogen werden um die bestmöglichen Lösungen zu finden. Durch iteratives Vor- und Zurückspringen auf die nächsten Arbeitsschritte soll eine Entscheidung gefällt werden, um die optimale Gesamtlösung zu erhalten. [VDI93]

Bewertungen und Entscheidungen sollten immer in einer Gruppe getroffen werden. Manche Methoden können von einer Einzelperson ausgeführt werden, aber grundsätzlich ist immer eine Durchführung im Team zu bevorzugen. Eine Erklärung zu den einzelnen Methoden, deren Vorteile, Nachteile und Einsatzmöglichkeiten sind wiederum im Anhang zu finden.

Tabelle 8: Methoden zur Bewertung und Entscheidungsfindung

Methoden	Durchführung	Moderation	Organisatorische Vorbereitung	Formblätter, Fragebögen, etc. sinnvoll
Bewertung	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein
Ähnlichkeitsanalyse	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein
Fehlerbaumanalyse	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein
FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)	Team	Ja	Nein	Ja
Fragebogen	Team	Ja	Ja	Ja
Effektliste	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Ja
Fragetechnik	Team	Ja	Ja	Ja
Gefährdungsanalyse	Team	Ja	Nein	Nein
Gewichtete Punktbewertung	Team	Ja	Nein	Nein
Konsistenzmatrix	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein
Nutzwertanalyse	Team	Ja	Nein	Ja
Orientierender Versuch	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein
Paarweiser Vergleich	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein
Plausibilitätsanalyse	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Ja

Portfolio	Einzelperson / Team	Nein	Ja	Nein
Punktbewertung	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein
Stufenweise Konsistenz	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein
SWOT-Analyse	Team	Ja	Nein	Ja
Szenariotechnik	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Ja
Umsatzorientierte Funktionsmodellierung	Einzelperson / Team	Nein	Ja	Ja
Verknüpfungsmatrix	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein
Vorteil-Nachteil-Vergleich	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein
Wertfunktion	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein

2.4.4 Entwicklungsunterstützende Methoden

Neben den oben genannten Methoden gibt es noch weitere „Entwicklungsunterstützende Methoden“ welche beim Lösen von technischen Aufgabenstellungen und Problemen hilfreich sein können. Sie lassen sich in allen Phasen und bei verschiedenen Arbeitsschritten anwenden, sie können sowohl bei der Analyse und Zielvorgabe hilfreich sein, bei der Bewertung und Entscheidungsfindung helfen und für die Ideenfindung eingesetzt werden.

Eine Erklärung zu den einzelnen Methoden, deren Vorteile, Nachteile und Einsatzmöglichkeiten sind im Anhang zu finden.

Tabelle 9: Entwicklungsunterstützende Methoden

Methode	Durchführung	Moderation	Organisatorische Vorbereitung	Formblätter, Fragebögen, etc. sinnvoll
Handlungsplanungsblatt	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein
Checkliste	Einzelperson / Team	Nein	Ja	Ja
Clusteranalyse	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein
Mind Mapping	Einzelperson / Team	Ja	Nein	Nein
Numerische Simulation	Einzelperson / Team	Nein	Ja	Nein
Recherche	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein

Synthese	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein
Ursache-Wirkungsanalysen	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein
Versuch	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein
Wirkungsnetz	Einzelperson / Team	Nein	Nein	Nein

2.4.5 Zuordnung der Methoden zum Vorgehensmodell nach VDI 2221

Aufgrund der großen Anzahl der Methoden und der unterschiedlichen Anwendungsgebiete wird in der nachfolgenden Tabelle der Zusammenhang zwischen den Hauptarbeitsschritten im Vorgehensmodell der VDI-Richtlinie und den Methoden hergestellt. Auch die VDI 2221 bietet eine solche Zuordnung der Methoden zu den Vorgehensschritten an, wobei sich die hier angeführte Zuteilung deutlich von dieser unterscheidet. Zum einen sind die vorgeschlagenen Methoden andere, die Eignung wurde neu untersucht und speziell für die in Kapitel 3 angeführte ME-app fand eine Aufgliederung in die dort eingeführten Unterschritte nachträglich statt. Die Methodenauswahl selbst sowie die Zuordnung erfolgte nach dem Studium einschlägiger Literatur und den daraus gewonnen Erkenntnissen hinsichtlich der Anwendbarkeit, des Bekanntheitsgrades, der Durchführungsmöglichkeit, der Effektivität und der Komplexität der Methoden in mehreren Brainstormingsitzungen. Wie auch bei den Methoden erwähnt ist folgendes Schema ersichtlich:

- Analyse- und Zielvorgabemethoden werden vor allem in den frühen Phasen des Konstruktionsprozesses angewendet aber deren Ergebnisse können während des gesamten Entwicklungsprozesses zur Unterstützung herangezogen werden. Aus diesem Grund sind sie auch den späteren Arbeitsschritten zugeordnet, wenn auch in den meisten Fällen mit „mäßig geeignet“ deklariert.
- Methoden zum Generieren von Lösungsideen finden in allen Phasen und bei all jenen Arbeitsschritten Anwendung, bei denen eine große Anzahl an Lösungsideen gewünscht wird. Nur so ist es möglich, optimale Resultate zu erzielen. Den größten Nutzen bringen diese Methoden sicherlich beim 3. Hauptarbeitsschritt der VDI-Richtlinie (*Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen*).
- Methoden zur Bewertung und Entscheidungsfindung dienen zur Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten. Diese Methoden führen zu einer Verdichtung der Lösungen und werden hauptsächlich bei der Phase des Gestaltens herangezogen.
- Entwicklungsunterstützende Methoden sind universell und überall einsetzbar.

Die Tabelle 10 zeigt aus Gründen der Übersicht nur die 7 Hauptarbeitsschritte. Die Gesamte Zuordnung der Methoden zu den Arbeitsschritten ist im Anhang zu finden.

+....gut geeignet •....mäßig geeignet -....nicht geeignet

Tabelle 10: Zuordnung der Methoden zu den Hauptarbeitsschritten

		1. Klären und präzisieren der Aufgabenstellung	2. Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen	3. Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen	4. Gliedern in realisierbare Module	5. Gestalten der maßgebenden Module	6. Gestalten des gesamten Produkts	7. Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben
Analyse- und Zielvorgabe-Methoden	ABC-Analyse	+	•	•	+	+	+	•
	Abstraktion/Blackbox	-	+	•	-	-	-	-
	Anforderungsliste	+	+	+	+	+	+	•
	Benchmarking	•	•	+	+	+	+	•
	Eigenschaftsliste	•	•	+	+	+	+	•
	Funktionsmodellierung	-	+	+	+	•	•	-
	Kano-Modell	+	-	+	-	•	•	-
	QFD (Quality Function Deployment)	+	•	•	•	•	•	•
	Reverse Engineering	+	+	+	•	•	•	-
	Trendanalyse	+	-	-	-	-	-	-
Methoden zum Generieren von Lösungsideen	Bionik	-	-	+	•	•	•	-
	Brainstorming	•	+	+	•	•	•	•
	Checkliste nach Osborn	•	•	+	•	•	•	-
	Delphianalyse	•	-	+	-	-	-	-
	Einflussmatrix	-	-	+	+	-	-	-
	Galeriemethode	-	-	+	-	-	-	-
	Konstruktionskatalog	-	+	+	-	+	+	-
	Methode 635	•	+	+	-	-	-	-
	Morphologischer Kasten	-	-	+	+	•	-	-
	Negation	-	-	+	-	-	-	-
	Ordnungsschema	-	-	+	+	•	•	-
	Synektik	•	•	+	-	-	-	-
	Variation	-	-	+	-	+	+	-
	Methoden zur Bewertung und Entscheidungsfindung	Bewertung	•	•	+	+	+	+
Ähnlichkeitsanalyse		•	•	+	+	+	+	-
Fehlerbaumanalyse		-	+	+	-	+	+	+
FMEA		-	-	+	-	+	+	+
Fragebogen		+	+	+	-	-	-	-
Gefährdungsanalyse		•	+	+	-	•	•	•
Gewichtete Punktbewertung		•	•	+	•	+	+	-
Nutzwertanalyse		-	-	+	•	+	+	•

unterstützende Methoden	Paarweiser Vergleich	•	•	+	•	+	+	•
	SWOT-Analyse	+	-	+	-	+	+	-
	Vorteil-Nachteil-Vergleich	-	-	+	•	+	+	-
	Handlungsplanungsblatt	+	+	+	+	+	+	+
	Checkliste	+	-	+	+	+	+	+
	Mind Mapping	+	+	+	+	•	•	•
	Numerische Simulation	-	-	-	-	+	+	-
	Recherche	+	+	+	•	•	•	•
	Versuch	-	•	•	-	+	+	-
	Wirkungsnetz	-	-	-	+	+	+	-

Des Weiteren ist nicht jede Methode mit jeder Konstruktionsart sinnvoll. Wobei auch hier wiederum die Unterteilung der Art der Konstruktion in Neu-, Anpass-, Varianten- und Wiederholkonstruktion, wie im Kapitel 1, erfolgte. Tabelle 11 zeigt aus Gründen der Übersicht nur einen Auszug aus der Zuordnung der Methoden zu den Konstruktionsarten bei den beiden Extremfällen. Auf der einen Seite die Neukonstruktion bei der alle Methoden hilfreich angewendet werden können und auf der anderen Seite die Wiederholkonstruktion bei der die Anwendung sehr viele Methoden unsinnig und nicht zielführend wäre.

Tabelle 11: Zuordnung der Methoden zur Konstruktionsart

	Neukonstruktion	Wiederholkonstruktion
ABC-Analyse	+	+
Abstraktion/Blackbox	+	-
Anforderungsliste	+	+
Benchmarking	+	-
Eigenschaftsliste	+	+
Freiheitsgradanalyse	+	-
Funktionsmodellierung	+	-
Kano-Modell	+	+
QFD (Quality Function Deployment)	+	-
Reverse Engineering	+	-
Trendanalyse	+	-
Bionik	+	-
Brainstorming	+	-
Delphianalyse	+	-
Einflussmatrix	+	+
Konstruktionskatalog	+	-

+...geeignet -...nicht geeignet

3 Computergestützte Umsetzung des methodischen Entwickelns – Bewertung und Umsetzung der Maßnahmen

Nach den grundlegenden Betrachtungen des Produktentwicklungsprozesses und dem methodischen Vorgehen bei der Produktentwicklung mit den unterschiedlichsten Vorgehensmodellen, Methoden und Werkzeugen wird nun eine Möglichkeit gesucht das methodische Entwickeln computerbasierend zu unterstützen. Dafür ist zu Beginn eine Situationsanalyse durchzuführen, die den Stand der Technik abbildet und den Bedarf beziehungsweise das Potenzial für die Entwicklung einer neuen Software aufzeigt. In diesem Abschnitt der Arbeit wird auch die Entwicklung und Anwendung der „ME-app“ dargestellt. Das Programm wurde im Zuge dieser Diplomarbeit entwickelt und orientiert sich an der VDI 2221 und deren Töchterrichtlinien. Dieses Tool soll den Entwickler sicher und effizient durch den Produktentwicklungsprozess leiten, an richtiger Stelle die richtigen Methoden und Werkzeuge bereitstellen, zur einfachen und schnellen Umsetzung der Methoden beitragen indem es Vorlagen anbietet und das Ganze an einem Anwendungsbeispiel aus der Technischen Logistik demonstriert.

3.1 Situationsanalyse Softwareprodukte

Bei der Analyse der am Markt erhältlichen Softwareprodukte kann festgestellt werden, dass es eine erhebliche Anzahl an Wissensrepräsentationssoftware gibt, welche dazu dient, bestimmte Wissensbereiche formal abzubilden. Dies geschieht meist mit der Hilfe von semantischen Netzen und Ontologien. Produkte dafür sind beispielsweise die an der Technischen Universität Graz entwickelte xKBE-App, das Softwaretool Compendium [COM13], CampTools [IHM14], VUE-Tool (Virtual Understanding Environment-Tool) [TUF13], iMapping [IMA14], CAM (Cambridge Advanced Modeller) [CAM13] oder Set Visualiser [EDC14]. Eine gute Beschreibung dieser Softwareprodukte mit Anwendungsbeispielen ist in [STE12] zu finden.

Aufgrund der immer komplexer werdenden Produkte wird auch die Lösungsfindung immer schwieriger. Deshalb ist neben dem Grundziel, Komplexität zu reduzieren auch die Komplexitätsbeherrschung sehr wichtig. Bei Komplexitätssoftware handelt es sich vor allem um Produkte, die bei dem Umgang mit der Variantenvielfalt, Dateivielzahl und -komplexität sowie Produktvielfalt und -komplexität helfen können. Durch Analysen mittels Matrizen und Graphen lassen sich beeinflussende Elemente herausfinden und das Systemverständnis wird gefördert. Dadurch unterstützen diese Softwareprodukte auch die Problemlösung. Beispiele hierfür sind die xKBE-App, LOOME [LOO14], Complexity-Manager [COM14], METUS [MET14], TOOLNET und viele mehr.

Die RWTH Aachen hat ein Programm (IT-Tool für die Konzeptentwicklung) entwickelt, welches in der Konzeptphase unterstützend eingesetzt werden kann und Internetportale wie MEPORT [MEP14] und vor allem das MAP-Tool der Universität Karlsruhe [SCH00] helfen sehr bei der Methodenfindung und -anwendung.

Es kann also festgehalten werden, dass es Softwareprodukte gibt, die sehr hilfreich bei der Produktentwicklung an bestimmten Stellen eingesetzt werden können und in der Praxis auch erfolgreich verwendet werden. Diese Produkte unterstützen aber nicht unbedingt das methodische Vorgehen als Gesamtvorhaben bei der Produktentwicklung. Ein Tool das den Entwickler und Konstrukteur durch den gesamten Konstruktionsprozess leitet, das Vorgehensmodell, die Arbeitsschritte und auszuführenden Tätigkeiten klar darstellt, die Ziele eindeutig festlegt, Methoden und Hilfsmittel vorschlägt und Werkzeuge an gebrauchter Stelle anbietet, konnte bei den Recherchen aber nicht ausfindig gemacht werden. Aufgrund dieser Ergebnisse wurde die Entscheidung getroffen die ME-app zu entwickeln, welche in den nachfolgenden Kapiteln vorgestellt wird. Neben der Darstellung der Entwicklung werden im Folgenden auch die Anwendung und der Nutzen dieses Tools dargelegt.

3.2 Entwicklung der ME-app

Um die Branchen- und die Produktunabhängigkeit und die praktische Anwendung der VDI 2221 Richtlinie zu demonstrieren, wird auch das Vorgehen bei der Entwicklung der ME-app an diese Richtlinie angelehnt. Es wird also Schritt für Schritt das Vorgehensmodell abgearbeitet, um am Ende ein komplettes funktionierendes Produkt inklusive Dokumentation zu erlangen. Bei der Software-Entwicklung werden die Phasen meist als *Definition*, *Entwurf*, *Realisierung* und *Dokumentation* bezeichnet. Das Vorgehen ist nahezu ident dem Vorgehen bei Produkten aus dem Bereich des Maschinenbaus, lediglich die Nomenklatur ist anders. Zur Verdeutlichung der auszuführenden Tätigkeiten und der nötigen Arbeitsergebnisse wird das für die Softwareprodukte angepasste Ablaufdiagramm der VDI 2221 dargestellt.

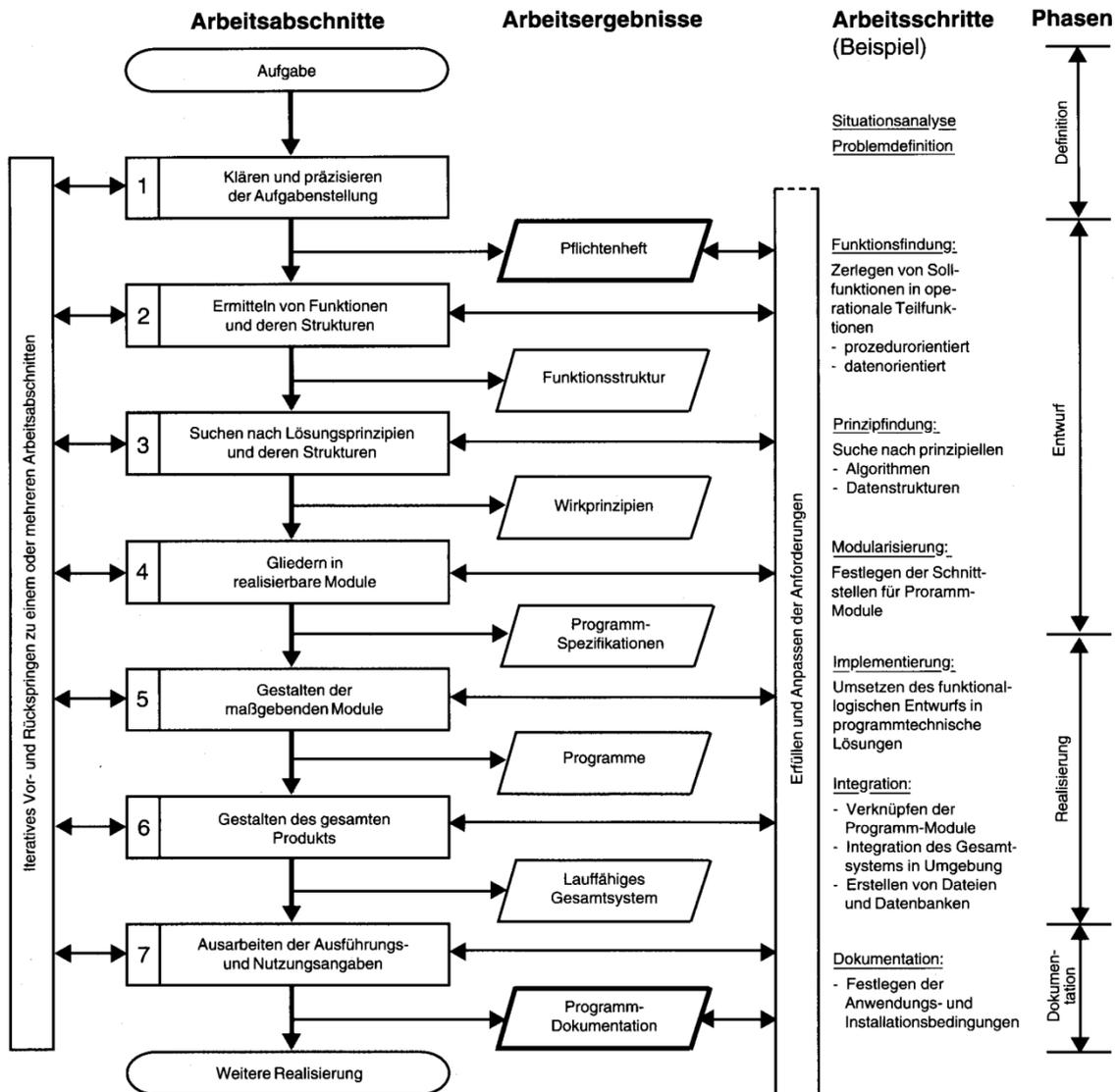


Abbildung 33: Vorgehen bei der Software-Entwicklung ([VDI93] ; S.31)

Während der gesamten Entwicklung wurden zahlreiche der im Kapitel 2.4 beschriebenen Methoden und Werkzeuge unterstützend verwendet. Es wurden Checklisten und Mind-Maps erstellt, Brainstorming Sitzungen durchgeführt. Einflussmatrizen haben die Zusammenhänge verdeutlicht und mittels Bewertungsmethoden konnten Entscheidungen getroffen werden. Aufgrund der großen Vielzahl der angewandten Hilfsmittel soll hier auf eine vollständige Beschreibung aller angewandten Methoden und Werkzeuge aber verzichtet werden.

3.2.1 Klären und präzisieren der Aufgabenstellung

Situationsanalyse

Mit den Erkenntnissen aus den vorherigen Kapiteln wird nun ein Tool erstellt, welches das methodische Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren computergestützt unterstützt. Durch die Untersuchung des Produktentwicklungsprozesses mit

der Darstellung des allgemeinen Lösungs- und Entscheidungsprozesses, den drei wichtigen Planungsaspekten und den Einflüssen aus dem Umfeld, wurden die Voraussetzungen für ein methodisches Vorgehen erarbeitet und das Potenzial aufgezeigt. Nach der Untersuchung der verschiedensten Vorgehensmodelle, der anschließenden Gegenüberstellung und der Bewertung konnte ein Favorit ausfindig gemacht werden. Eine Aufzählung und Analyse der Methoden (siehe Anhang 4A.1.1) stellte die Basis für die systematische Zuordnung dieser zu den Ablaufschritten des Konstruktionsprozesses dar.

Problemdefinition

Ziel ist es nun, eine graphische Benutzeroberfläche zu schaffen, die eine durchgängige und transparente Abbildung des Konstruktionsprozesses darstellt und den Entwickler sicher und effizient durch den Prozess leitet. Die für die Erfüllung der Arbeitsergebnisse benötigten Werkzeuge und Methoden sind nach Bedarf bereitzustellen. Dazu ist es nötig die zwei großen Bereiche, einerseits den Vorgehensplan nach VDI 2221 und auf der anderen Seite die Methoden und Werkzeuge mit ihren Eigenschaften, Vorteilen, Nachteilen und Anwendungsgebieten darzustellen und logisch miteinander zu verknüpfen. Ein Anwendungsbeispiel aus der Technischen Logistik demonstriert dabei den Ablauf und soll letzte Unklarheiten beseitigen. Die Abbildung 34 zeigt die drei Themenbereiche und deren Schnittmenge.

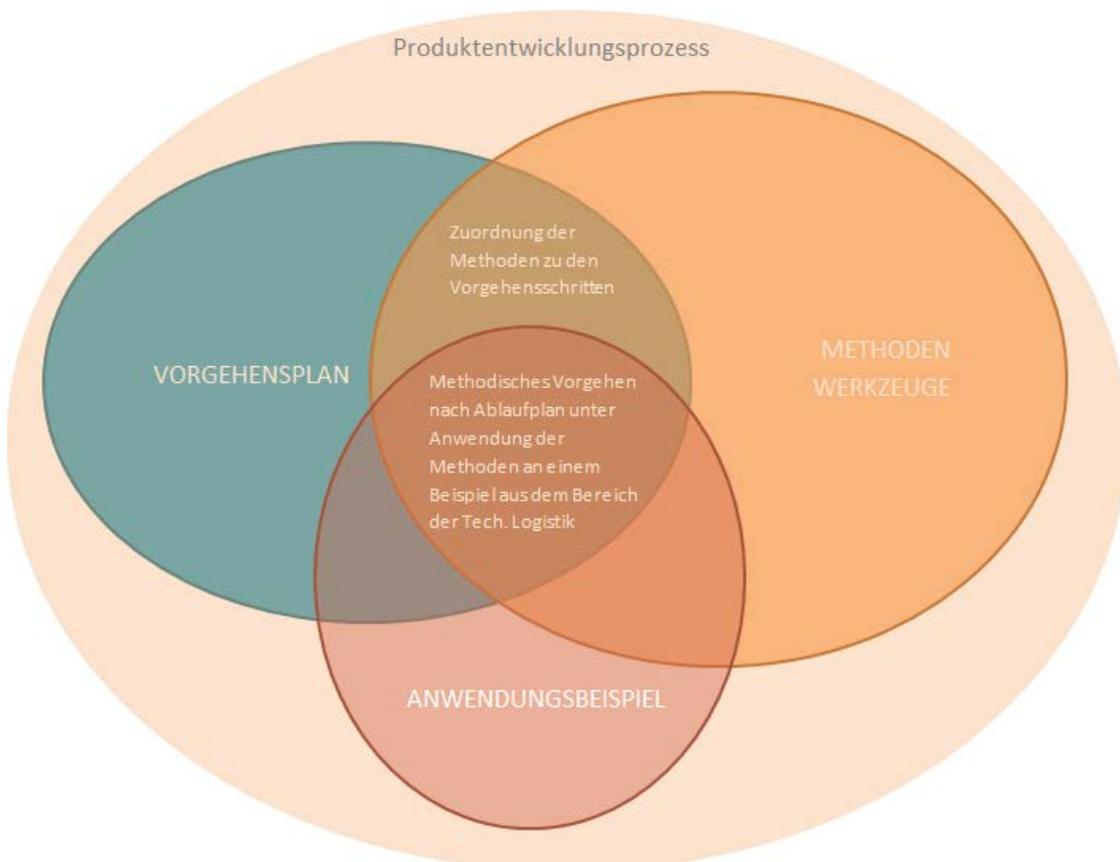


Abbildung 34: Die 3 Säulen für eine computergestützte methodische Entwicklung

Pflichtenheft

Beim Erstellen des Softwareprogrammes für die computergestützte Umsetzung des methodischen Entwickelns sind folgende Punkte einzuhalten:

Daten

Sämtliche Information und Daten sind in tabellarischer Form zu hinterlegen und dynamisch in die Benutzeroberfläche zu laden. So soll eine weitere Nutzung der Inhalte des Programms für andere Tools erleichtert werden.

Startseite

Eine Startseite soll den Anwender willkommen heißen und das Programm vorstellen.

Allgemeine Erklärung der VDI-2221

Bevor der Entwicklungsprozess startet, ist dem Anwender ein Überblick über das Richtliniengerüst der VDI-Richtlinien für die Bereiche der Produktplanung, Aufgabenstellung, Entwicklung und Konstruktion zu geben und der allgemeine Aufbau und die Anwendung der VDI 2221 zu erklären, sowie Literaturquellen für weitere Informationen bereitzustellen. Ein Nachlesen in den originalen VDI-Richtlinien muss möglich sein.

Vorgehensplan

Der Ablaufprozess nach VDI 2221 stellt mit seinen 7 Hauptarbeitsschritten das generelle Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren dar. Er bietet eine Übersicht über den Gesamtablauf und zeigt den aktuellen Stand der Entwicklung an. Nach jedem Hauptarbeitsschritt fordert er ein Ergebnis, welches die Voraussetzung für den nächsten Arbeitsschritt bildet. Da aber das Überspringen von Arbeitsschritten beziehungsweise ein mehrfaches Durchlaufen von ein und demselben Schritt auf einem höheren Informationslevel möglich ist, kann der Ablauf nicht als starr sequentiell angesehen werden. Es macht also Sinn den Vorgehensplan mit seinen Arbeitsschritten und Ergebnissen in seiner Gesamtheit darzustellen und somit das iterative Vorgehen zu unterstützen. Des Weiteren soll es dem Anwender einen besseren Überblick über den Projektstand geben.

Arbeitsschritte

Zu jedem Hauptschritt ist eine Erklärung der auszuführenden Tätigkeiten und des angestrebten Arbeitsergebnisses darzustellen. Es sind die Methoden und Werkzeuge für eine effiziente Ausführung vorzuschlagen. Das Ziel des Arbeitsschrittes, das Arbeitsergebnis, ist an dem Anwendungsbeispiel aufzuzeigen.

Methoden

Befindet man sich in einem Hauptarbeitsschritt so sind bei den auszuführenden Tätigkeiten genau jene Methoden vorzuschlagen, welche für diese gegebene Situation hilfreich sind und zum Erfolg, das Erreichen des Arbeitsergebnisses, beitragen. Die Anwendung der Methode muss erklärt werden und falls nötig sind Arbeitsunterlagen, wie beispielsweise eine Vorlage zur Durchführung einer FMEA oder einer ABC-Analyse bereitzustellen. Des Weiteren sind die Vor- und Nachteile, sowie die

Voraussetzung für das Arbeiten mit der Methode zu nennen. Zusätzliche Informationsquellen sind auf Linkbasis anzubieten.

Anforderungsliste

Während des ganzen Prozessdurchlaufs soll die Erfüllung der Anforderungen überprüft und gegebenenfalls auch ergänzt werden können. Das bedeutet, dass der Zugriff und die Editierbarkeit der Anforderungsliste während des gesamten Durchlaufs zu gewährleisten ist.

Anwendungsbeispiel

Die konkrete Umsetzung des methodischen Vorgehens ist an einem Beispiel aus dem Bereich der Technischen Logistik vorzuführen.

3.2.2 Ermitteln der Funktionen und deren Strukturen

Beim Ermitteln der Funktionsstruktur wurde die Gesamtaufgabe, einen computergestützten Leitfaden zum methodischen Entwickeln und Konstruieren nach VDI Richtlinie zu entwickeln, in Teilfunktionen zerlegt. Es kann festgestellt werden, dass zwei große Teilfunktionen existieren. Zum einen ist die VDI-Richtlinie allgemein zu erklären, dabei soll der Aufbau des Richtliniengerüsts, der Grundaufbau des Ablaufprozesses und die Anwendung erläutert werden und auf der anderen Seite soll die Vorgehensweise Schritt für Schritt beschrieben und demonstriert werden. Dabei ist die Konstruktionsart mit zu berücksichtigen, es sind die Aufgaben bei den jeweiligen Arbeitsschritten zu erklären und der gesamte Vorgehensprozess soll von einem Anwendungsbeispiel begleitet werden.

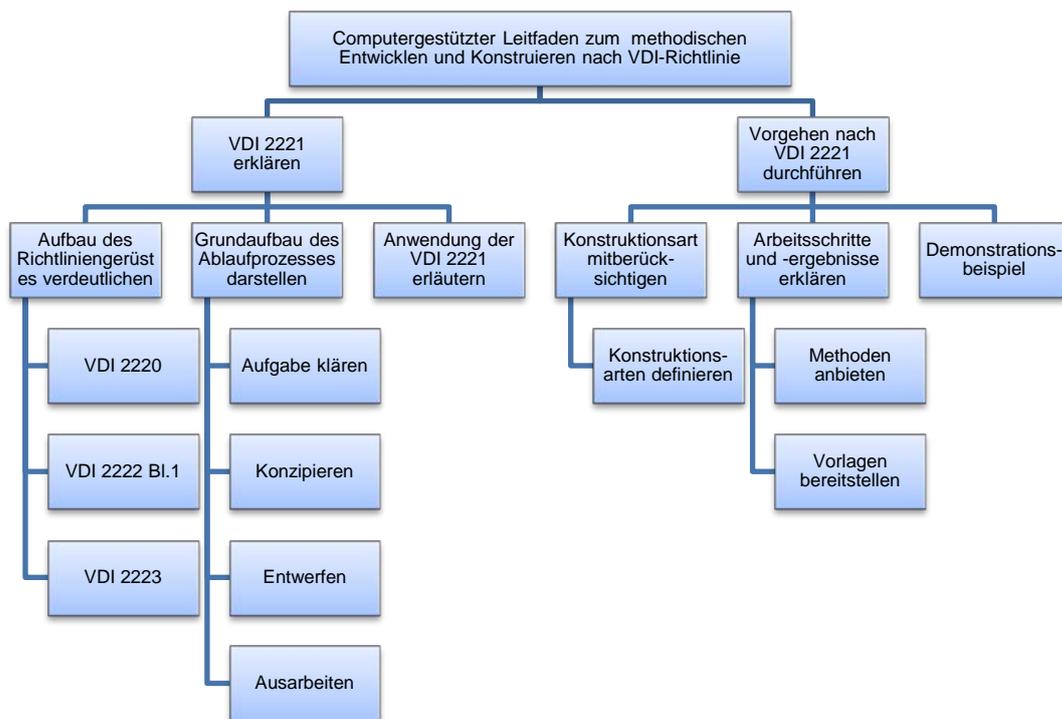


Abbildung 35: Funktionsstruktur der ME-app

3.2.3 Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen

Aus dieser Funktionsstruktur wird nun eine prinzipielle Lösung in Form einer Ontologie zur Erkennung der Entitäten und deren Abhängigkeiten entwickelt.



Abbildung 36: Lösungsprinzip der VDI-app

3.2.4 Gliedern in realisierbare Module

Für die weitere Realisierung wurde die Gesamtstruktur in zwei Hauptmodule, zum einen das Modul „Allgemeine Erklärung der VDI“ und zum anderen das Hauptmodul „Vorgehen nach VDI“ aufgeteilt. Wobei es sinnvoll war ein Hauptmodul („Vorgehen nach VDI“) aufgrund des Umfangs wiederum in weitere Module und Submodule auf zu splitten.

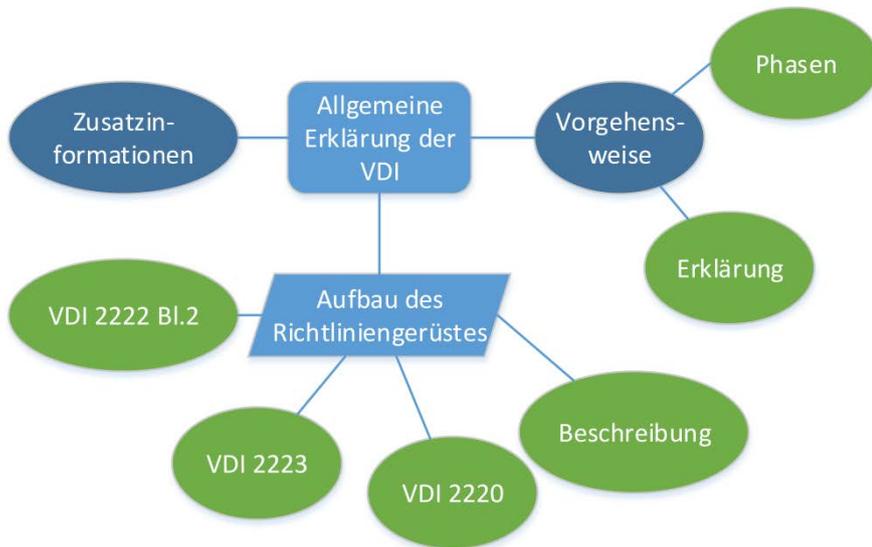


Abbildung 37: Hauptmodul 1 (Allgemeine Erklärung der VDI)

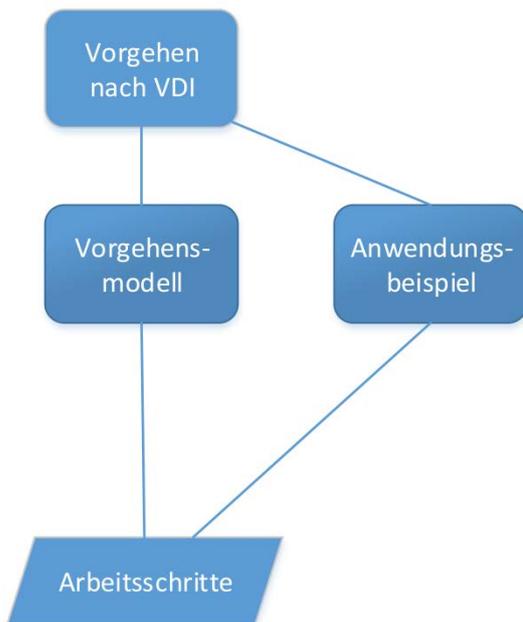


Abbildung 38: Hauptmodul 2 (Vorgehen nach VDI)

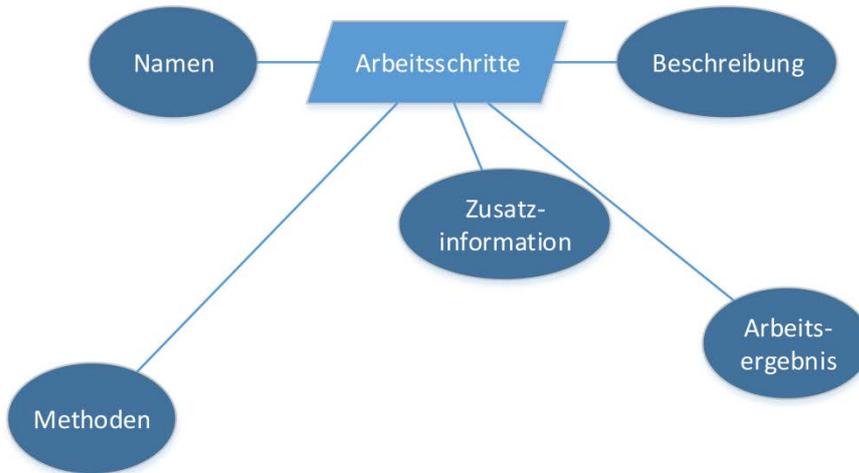


Abbildung 39: Modul 2.1 (Arbeitsschritte)

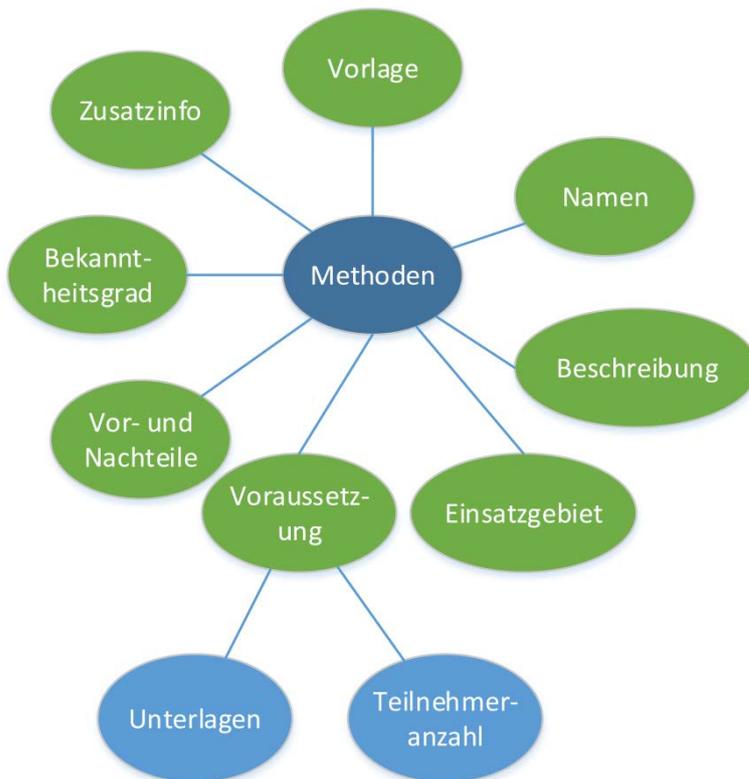


Abbildung 40: Submodul 2.1.1 (Methoden)

3.2.5 Gestalten der maßgebenden Module

In diesem Arbeitsschritt wurden die Anwenderoberflächen der maßgebenden Module designt, die Inhalte tabellarisch hinterlegt und der Quellcode für das dynamische Laden dieser Inhalte beziehungsweise zur Ausführung der nötigen Prozeduren geschrieben.

Hauptmodul 1 (Allgemeine Erklärung der VDI)

Bei der Erzeugung dieses Hauptmoduls wird mit einer Userform, einer Multipage, Bildern, Textfeldern und Buttons gearbeitet. Die Abbildung 41 stellt das Vorgehensmodell nach VDI 2221 dar (vergl. S.32f). Es zeigt die 7 Hauptarbeitsschritte, deren Arbeitsergebnisse und die Unterteilung der 4 Phasen. Rechts ist die Multipage dargestellt, die aus 3 Seiten besteht. Auf der ersten Seite, welche als Beschreibung bezeichnet wurde, ist eine allgemeine Erklärung der VDI 2221 zu sehen. Des Weiteren ist das VDI 2221 Richtliniengerüst dargestellt, die Richtlinien sind in Dokumentform hinterlegt und lassen sich durch klicken auf den jeweiligen Button öffnen. Die Seite, Vorgehensweise, beschreibt das Arbeiten mit dem Vorgehensmodell und das Registerblatt Zusatzinformationen stellt weitere Quellen, wie Büchertitel, Internetseiten oder Zeitschriftenartikel bereit. Die Inhalte der Textfelder, wie beispielsweise die Erklärung der Vorgehensweise, sind in Tabellenform hinterlegt und lassen sich somit schnell ergänzen oder verändern.

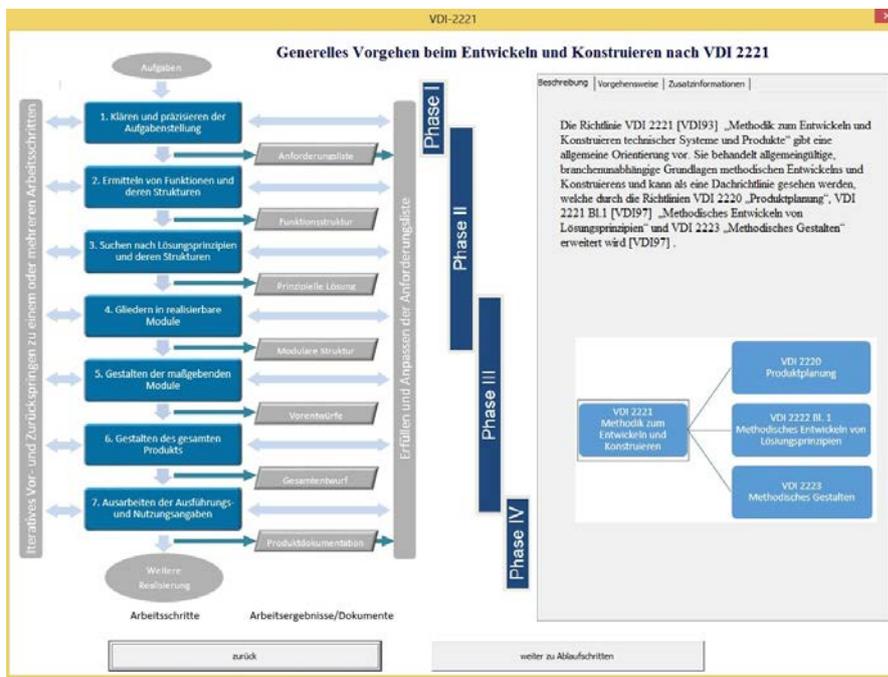


Abbildung 41: Allgemeine Erklärung der VDI 2221

Hauptmodul 2 (Vorgehen nach VDI)

Mit der Hilfe dieses Moduls wird der Entwickler beziehungsweise Konstrukteur durch den Konstruktionsprozess geleitet. Dieses Hauptmodul wurde auf Grund des Umfangs in weitere Module und Submodule unterteilt, welche auch im Folgenden Beschrieben werden. Durch die Auswahl der Art der Konstruktion (siehe Abbildung 50: Auswahl der Konstruktionsart) ändert sich entsprechend das Ablaufdiagramm. Beispielsweise ist bei der Wiederholkonstruktion meist eine volle technische Dokumentation vorhanden und es wäre nicht zweckmäßig den gesamten Vorgehensplan zu durchlaufen. Falls sich der Anwender unsicher bezüglich der Konstruktionsart ist, kann durch einen Klick auf den Informationsbutton ein Fenster mit der Erklärung und Definition geöffnet werden. Auf der linken Seite dieses Formulars ist

wiederum das Ablaufdiagramm dargestellt. Alle 7 Hauptarbeitsschritte und Arbeitsergebnisse sind mit Buttons hinterlegt. Durch klicken auf einen der Hauptarbeitsschritte erscheint eine Multiseite mit weiteren Informationen bezüglich dieses Arbeitsschrittes. Die erste Registerseite, Beschreibung genannt, beinhaltet eine grobe Erklärung des Zweckes und der Vorgehensweise in diesem Hauptarbeitsschritt. Da in den Hauptarbeitsschritten immer mehrere Tätigkeiten auszuführen sind, wurden aus Komplexitätsgründen und zur besseren und vollständigen Durchführbarkeit eines Hauptarbeitsschrittes, Unterschritte eingeführt. Diese Unterschritte werden im weiteren einfachhalber nur Arbeitsschritte genannt und sind in der VDI 2221 Richtlinie und deren Töchterraichtlinien nur teilweise verankert beziehungsweise erwähnt. Durch Wechseln auf die zweite Registerkarte (Arbeitsschritte) sind diese Arbeitsschritte zu sehen. Abbildung 43 zeigt beispielhaft diese Aufteilung. Der Hauptarbeitsschritt „1. Klären und präzisieren der Aufgabenstellung“ wurde in folgende Arbeitsschritte aufgeteilt:

- 1.1 Festlegen des Zweckes und der Rahmenbedingungen des Produktes
- 1.2 Anforderungen ermitteln
- 1.3 Analysieren und priorisieren der Anforderungen

Auf den beiden verbleibenden Registerkarten, sind zum einen die Methoden, welche zur Ausführung der Hauptarbeitsschritte herangezogen werden können und zum anderen Quellen für weitere Informationen aufgelistet. Auf Wunsch kann zur visuellen Unterstützung der gesamte Konstruktionsprozess von einem Anwendungsbeispiel begleitet werden. Dafür wurde ein Button vorgesehen, der das Beispiel anzeigt oder ausblendet.

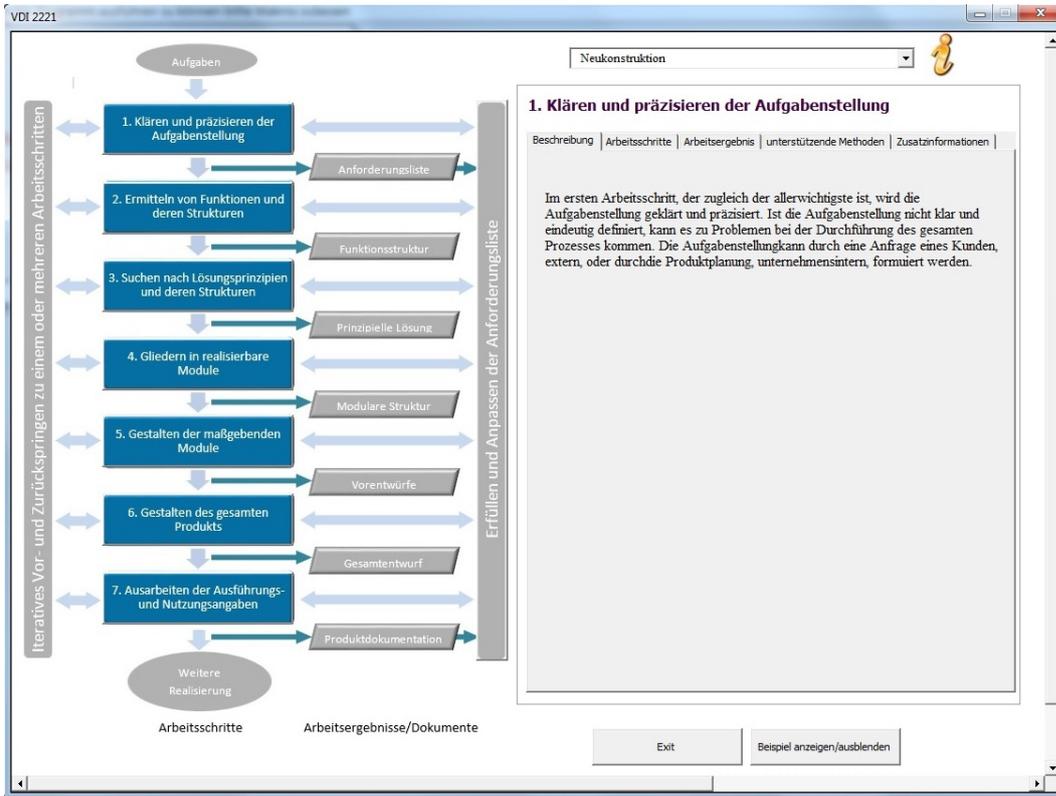


Abbildung 42: Vorgehen nach VDI

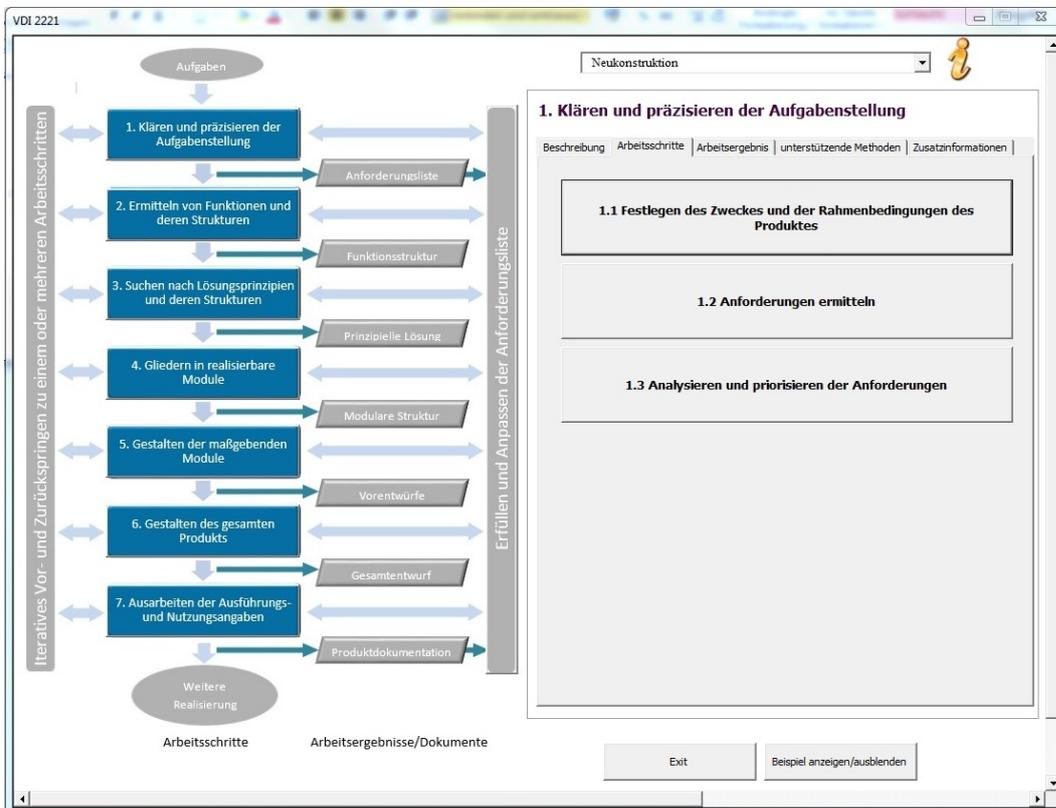


Abbildung 43: Untergliederung des Hauptarbeitsschrittes in Arbeitsschritte

3.2.6 Gestalten des gesamten Produktes

Neben den 2 Hauptmodulen war es zweckmäßig noch weitere Module und Submodule zu definieren.

Modul 2.1 (Arbeitsschritte)

Das Formular für einen Arbeitsschritt ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Es beinhaltet neben dem Namen des Arbeitsschrittes, die Erklärung der Tätigkeiten auch weitere Hilfsmittel wie beispielsweise hier dargestellt eine Liste mit Bedingungen und Restriktionen die ein Produkt erfüllen muss. Auch bei diesen Arbeitsschritten werden Methoden, welche das erfolgreiche Abarbeiten der Tätigkeiten unterstützen, vorgeschlagen. Dieser Methodenvorschlag beruht auf einer tabellarischen Zuordnung der Methoden zu den Arbeitsschritten. Einen Auszug dieser Zuteilung zeigt die Tabelle 12. Eine vollständige Version ist im Anhang 4A.1.3 zu finden.

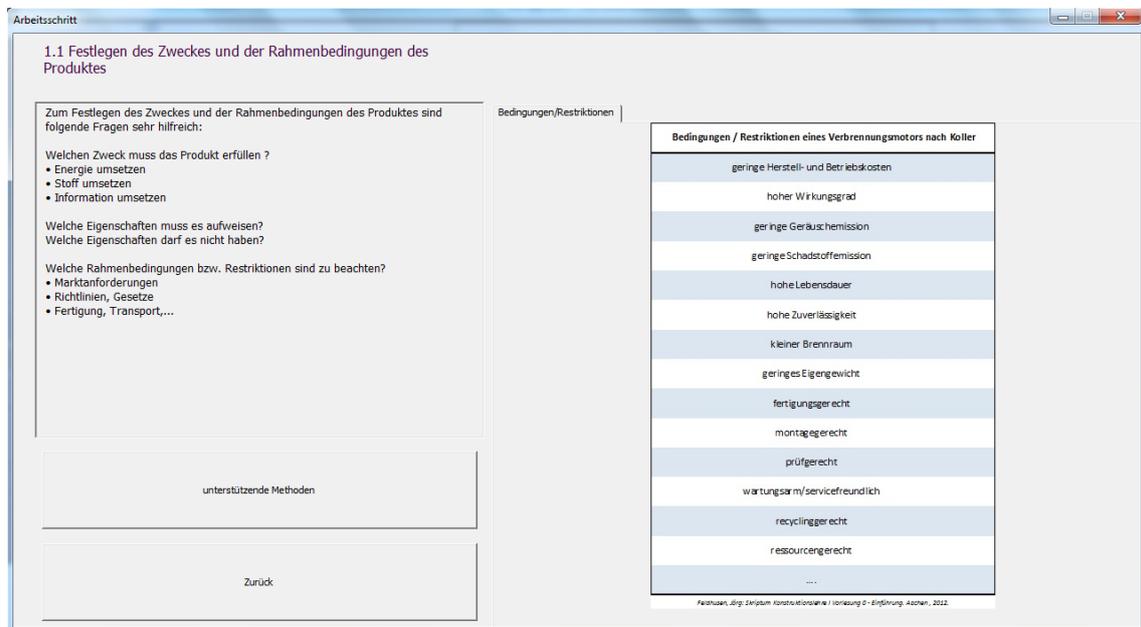


Abbildung 46: Arbeitsschritt

Tabelle 12: Zuordnung der Methoden zu den Arbeitsschritten (Auszug)

		1.1 Festlegen des Zweckes und der Rahmenbedingungen des Produktes	1.2 Anforderungen ermitteln	1.3 Analysieren und priorisieren der Anforderungen
Analyse- und Zielvorgabe-Methoden	ABC-Analyse	0	+	0
	Abstraktion/Blackbox	-	-	-
	Anforderungsliste	-	+	+
	Benchmarking	-	+	-
	Eigenschaftsliste	-	-	-
	Freiheitsgradanalyse	-	-	-
	Funktionsmodellierung	-	-	+
	Kano-Modell	-	-	+
	Problemformulierung	-	-	-
	QFD (Quality Function Deployment)	-	+	-
	Reverse Engineering	+	+	-
	Technische Evolution	-	-	-
	Trendanalyse	+	0	-
	Methoden zum Generieren von Lösungsideen	Bionik	-	-
Brainstorming		+	-	+
Checkliste nach Osborn		-	-	-
Delphianalyse		-	-	-
Einflussmatrix		-	-	+
Galeriemethode		+	-	-
Konstruktionskatalog		-	-	-
Methode 635		0	-	-
Moderation mit Karten		-	-	-
Morphologischer Kasten		-	-	-
Negation		-	-	-
Ordnungsschema		-	-	-
Reizwortanalyse		-	-	-
Relationsorientierte Funktionsmodellierung		-	-	-
Synektik		+	-	-
Variation		-	-	-
Bewertung		-	-	-
Ähnlichkeitsanalyse	0	-	0	

+...gut geeignet 0...geeignet -...nicht geeignet

Im Programm wird die Zuteilung basierend auf einer in tabellarischer Form (vergl.4A.1.3) festgelegten Zuordnung der Methoden zu den Hauptarbeitsschritten und Arbeitsschritten des VDI-Vorgehensmodell. Wobei an dieser Stelle noch einmal angemerkt sei, dass einige der in der App definierten Arbeitsschritte in der Norm nur erwähnt beziehungsweise nicht vorhanden sind. So wird beispielsweise in der Norm der 1.Hauptarbeitsschritt (*Klären und präzisieren der Aufgabenstellung*) nicht in die Arbeitsschritte *1.1 Festlegen des Zwecks und der Rahmenbedingungen des Produkts*, *1.2 Anforderungen ermitteln*, *1.3 Analysieren und Priorisieren der Anforderungen* untergliedert.

Auch in der ME-app wurde eine Unterteilung der in Kapitel 2.4 beschriebenen Methoden in vier Grundkategorien vollzogen (vergl. Abbildung 47):

- Analyse- und Zielvorgabemethoden
- Methoden zum Generieren von Lösungen
- Methoden zur Bewertung und Entscheidungsfindung
- Entwicklungsunterstützende Methoden

Die Darstellung der Sinnhaftigkeit der Methoden wird im Programm folgendermaßen umgesetzt:

- Methoden, welche nicht sinnvoll angewendet werden können, sind grau hinterlegt und nicht anklickbar.
- Methoden, welche verwendet werden können, aber nicht ideal sind, werden in „normaler“ Schrift dargestellt
- und Methoden, welche sich als sehr hilfreich herausgestellt haben, werden im Format „fett“ angezeigt.

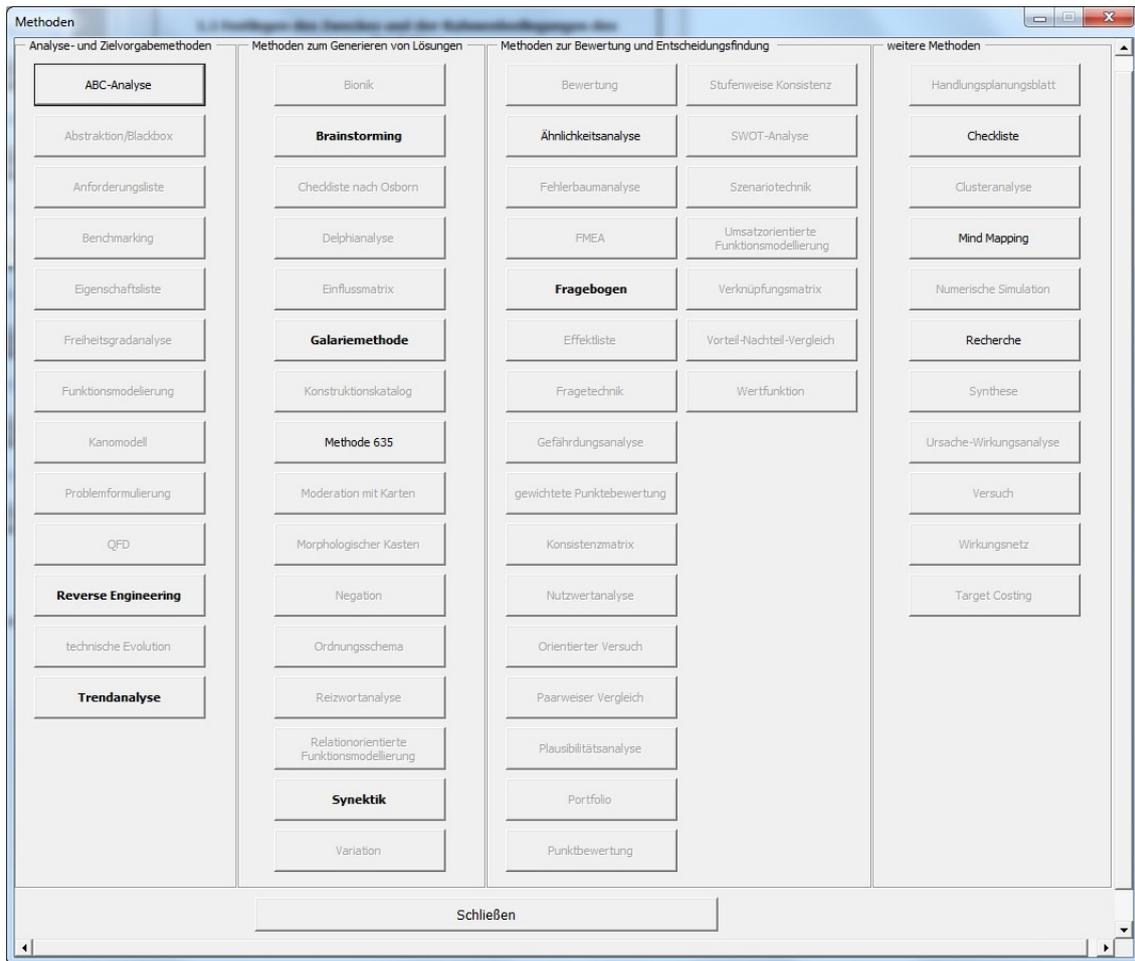


Abbildung 47: Methodenvorschlag in ME-app

Submodul 2.1.1 (Methoden)

Neben der Beschreibung und der Aufzählung der Einsatzgebiete einer Methode sind auch die organisatorischen Voraussetzungen, wie etwa die Durchführung im Team oder als Einzelperson, die nötige Zeit und die benötigten Hilfsmittel dargestellt. Unter dem Reiter *Anwendungsbeispiel* können Anwendungen, Formblätter oder vorhandene Beispiele geöffnet und bearbeitet werden. Anwendungsprogramme und Formblätter wurden teils für das Programm neu erzeugt oder von freizugänglichen Internetplattformen wie etwa MEPORT oder „Vom Produkt zum Markt“ entnommen und eingebunden. Dabei wurde darauf geachtet, dass die verwendeten Hilfsmittel von den Urhebern frei zur Verfügung gestellt werden und wurden mit Quellenangaben kenntlich gemacht.

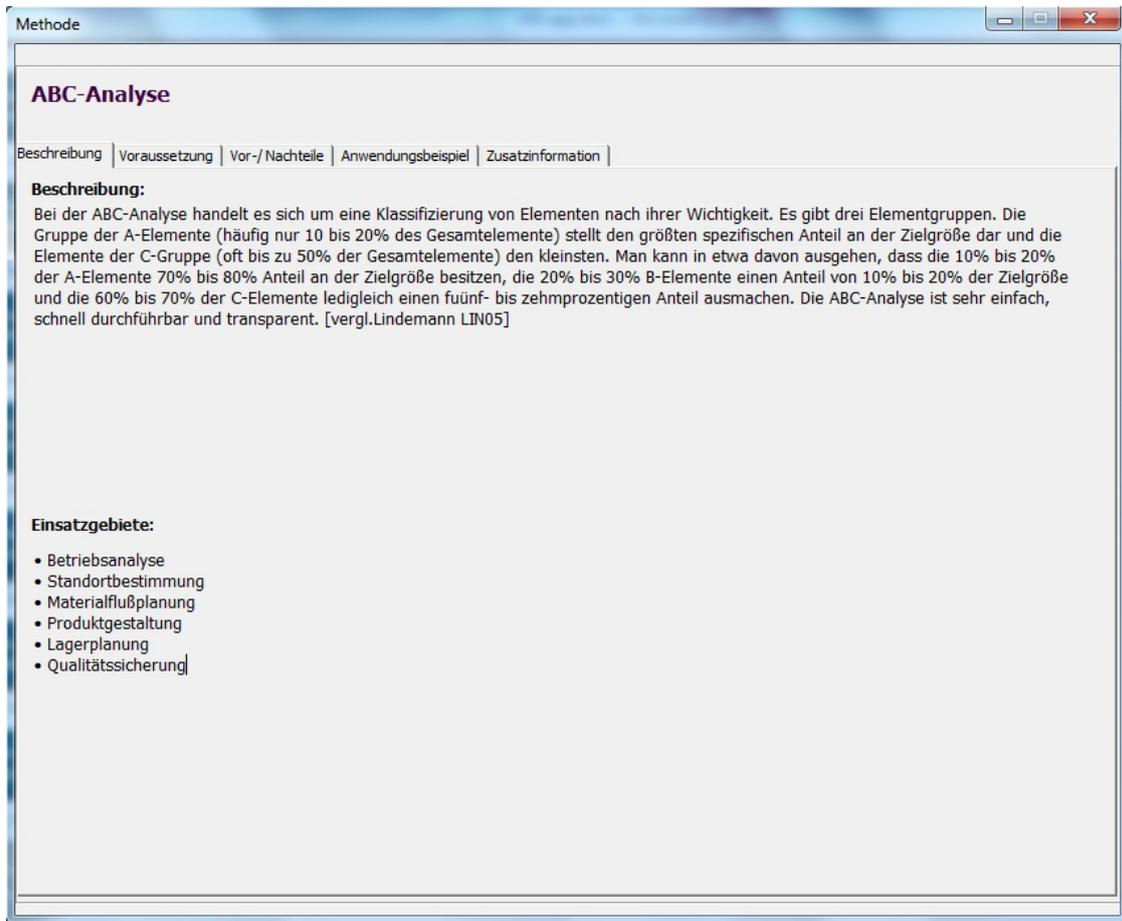


Abbildung 48: Methode ABC-Analyse

3.2.7 Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben

Die ME-app ist ein Programm, welches mit Microsoft Excel erzeugt wurde und kann deshalb auch mit jeder Excelversion ab Excel 2007 geöffnet werden und es bedarf keiner Installation. Um mit der App arbeiten zu können, müssen die Makros aktiviert sein. Automatisch erfolgt beim ersten Öffnen der Datei die Anfrage, ob Makros zugelassen werden sollen. Diese Anfrage ist mit ja beziehungsweise mit zulassen zu beantworten.

Ein Umbenennen der Programmdatei (ME-app.xlsm) oder der Dateinamen von den Formblättern kann zu Fehlern führen und sollte deshalb vermieden werden. Auch an der Ordnerstruktur sollte keine Änderung vorgenommen werden.

Zum Arbeiten der App genügt es, den Ordner „ME-app“ mit der gesamten Unterstruktur und Dateien an die gewünschte Stelle zu verschieben oder in das gewünschte Unterverzeichnis zu kopieren. Dieser Ordner beinhaltet die Datei ME-app.xlsm, welche das eigentliche Programm darstellt und geöffnet werden soll und einen Ordner mit den Vorlagen, Formblättern und sonstigen Dateien.

Der Anwender kann sich nach dem Öffnen einfach durch das Programm mittels Buttons durchklicken. Es sind keine weiteren Besonderheiten zu beachten.



Abbildung 49: Startseite ME-app

Bei den Ablaufschritten ist zu Beginn die Konstruktionsart zu wählen. Falls sich der Anwender unsicher bezüglich der Konstruktionsart ist, kann durch einen Klick auf den Informationsbutton ein Fenster mit der Erklärung und Definition geöffnet werden. Durch Auswahl der Art der Konstruktion (Abbildung 50) ändert sich entsprechend das Ablaufdiagramm. Beispielsweise ist bei der Wiederholkonstruktion meist eine volle technische Dokumentation vorhanden und es wäre nicht zweckmäßig den gesamten Vorgehensplan zu durchlaufen.

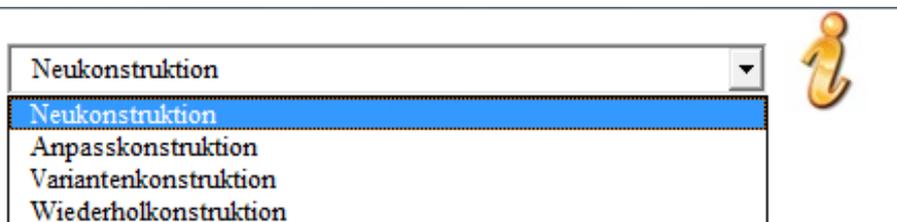


Abbildung 50: Auswahl der Konstruktionsart

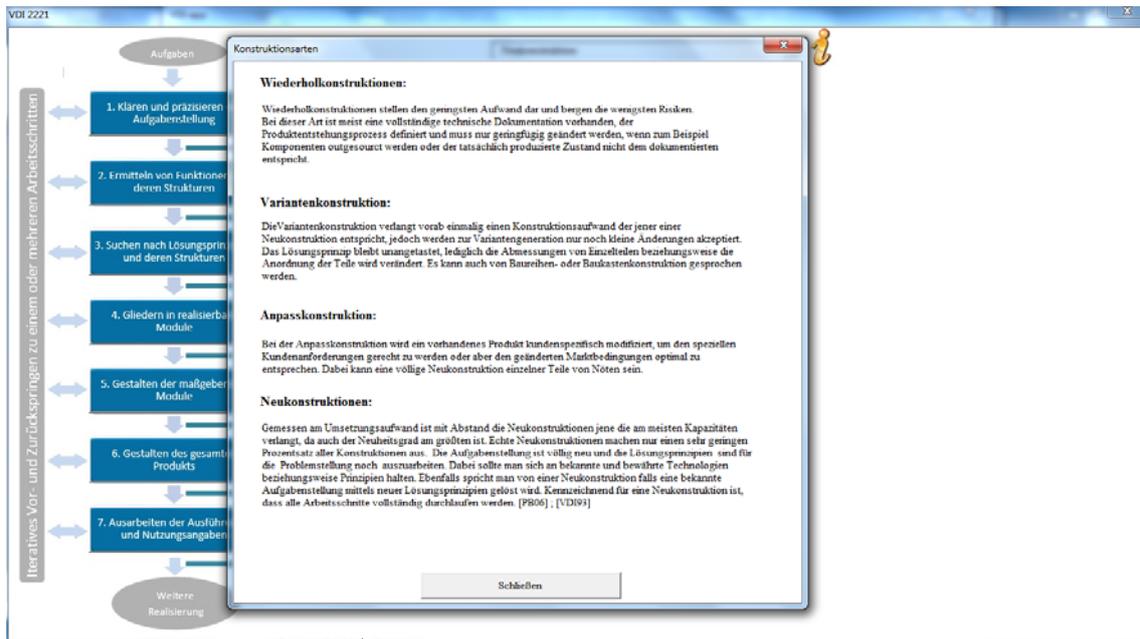


Abbildung 51: Information über die Konstruktionsarten

Nachfolgendes Ablaufdiagramm stellt den Prozessablauf beim Arbeiten mit der ME-app dar. Wie aus dem Modell ersichtlich sind Tätigkeiten beziehungsweise Aufgaben auszuführen und an bestimmten Stellen Entscheidungen zu treffen. Dazu können die in Abschnitt 1.1 dargestellten Lösungs- und Entscheidungsprozesse helfend herangezogen werden.

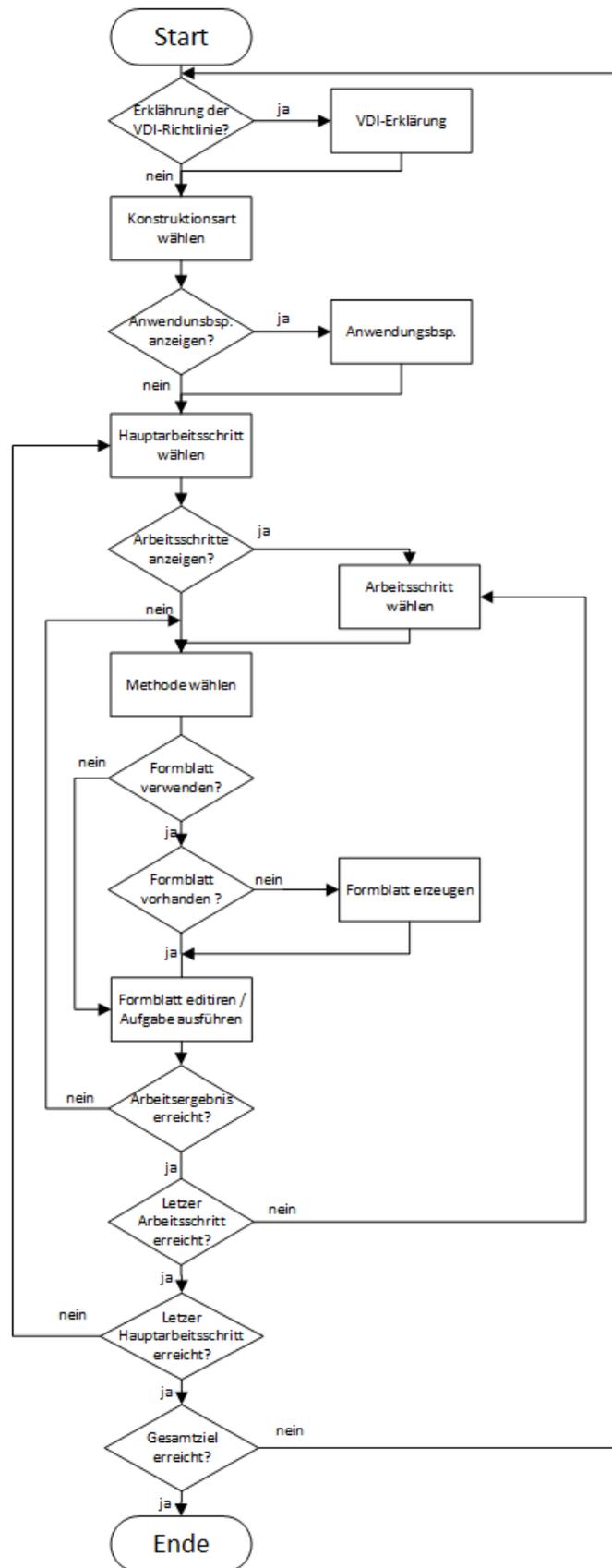


Abbildung 52: ME-app Prozessmodell

3.3 Anwendung und Nutzen der ME-app am Beispiel des tribologischen Prüfstandes

In diesem Abschnitt wird die Anwendung und der Nutzen der ME-app am Anwendungsbeispiel des tribologischen Prüfstandes erklärt. Dieser Prüfstand wurde in Rahmen einer Lehrveranstaltung von Studenten der Fakultät Maschinenbau in Zusammenarbeit mit dem Institut für Technische Logistik an der Technischen Universität entwickelt und in Betrieb genommen. Da auch der Autor dieser Arbeit an der Entwicklung involviert war, wurde dieses Projekt als Vorzeigebispiel ausgewählt.

Bei dem Projekt einen tribologischen Reibungsprüfstand zu entwickeln handelt es sich um eine Neukonstruktion, deshalb wurden alle Schritte des Vorgehensprozesses durchlaufen. In der Dropdownliste (siehe Abbildung 50) der ME-app ist somit auch „Neukonstruktion“ auszuwählen.

1. Klären und präzisieren der Aufgabenstellung

Nach dem Ausführen des ersten Hauptarbeitsschritts, dem „Klären und präzisieren der Aufgabenstellung“ und dessen drei Unterschritte, könnte eine Anforderungsliste erstellt werden. Die Anforderungsermittlung erfolgte über Kundenbefragungen (Fragebögen siehe Tabelle 41) und wurde mittels der Hauptmerkmalsliste, welche in der ME-app integriert ist, erweitert. Anschließend wurden die Anforderungen priorisiert und nach Baugruppen zusammengefasst. Um Anforderungen sinnvoll zu analysieren und priorisieren, bietet die App vor allem Analyse- und Zielvorgabemethoden (Kapitel 2.4.1) und Methoden zur Bewertung und Entscheidungsfindung (Kapitel 2.4.3) an.

Nachfolgende Tabelle (Tabelle 13) zeigt einen Auszug aus dem Arbeitsergebnis dieses ersten Hauptarbeitsschrittes, die Anforderungsliste des Reibungsprüfstandes. Die vollständige Auflistung aller Anforderungen ist im Anhang 4A.1.3 zu finden. Zur Erstellung dieser Anforderungsliste würde das Formblatt (Abbildung 45) der Anforderungsliste geladen und editiert.

Tabelle 13: Auszug aus Anforderungsliste - Prüfstand

Anforderungsliste für Projekt Reibungsprüfstand					
Ersteller: BG Blatt: 1		Name: Reib-Prüfstand Nr: 815 Erstellungs-Datum: 28.09.2013 Änderungs-Datum: 02.12.2013			
Nr.	Benennung	Wert und Dimension	Typ	Verantwortlich	Bemerkung
1	Haft- und Gleitreibungskoeffizienten ermitteln		f	Konstruktion	
2	marktübliche Kisten unterschiedlichster Größen zu prüfen	max. Abmaße 800 x 600 x 420 mm	f	Konstruktion	
3	Messgeschwindigkeiten	bis zu 0,3 m/s und 1,5 m/s ²	f	Konstruktion	
4	Um reale Bedingungen zu testen	Behälter bis 50 kg	w	Konstruktion	
5	Es sollen verschiedene Reibpaarungen geprüft werden können.		f	Konstruktion	
6	Prüfstand muss mobil ausgeführt sein		w	Konstruktion	
7	Der Prüfrahm soll auf Tischen montierbar sein		w	Konstruktion	
Anforderungen an die Prüfstandssteuerung					
8	Durch Betätigen des Startknopfes wird abgelegtes Fahrprofil abgearbeitet		f	Konstruktion	
9	mehrere Messzyklen durchführen können		f	Konstruktion	
10	Die Wartezeit zwischen den Messzyklen einstellbar		f	Konstruktion	
11	Prüfstandsgeschwindigkeit und Beschleunigung veränderbar		f	Konstruktion	
12	Die Prüfweglänge muss eingegeben werden können		f	Konstruktion	
13	Stoppbutton sowie ein Notausschalter müssen vorhanden sein		f	Konstruktion	
14	Endschalter vorsehen		f	Konstruktion	
15	Bei Fehler muss Prüfstand wieder in die Ausgangslage zu bringen sein		f	Konstruktion	

2. Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen

Zum Erstellen der Funktionsstrukturen, war zu Beginn das Aufstellen einer Gesamtfunktion hilfreich, welche wie von der ME-app vorgeschlagen, mittels Black-Box-Verfahren, abstrahiert und in Teilfunktionen zerlegt wurde. Abbildung 53 zeigt die vom Programm empfohlenen Methoden.

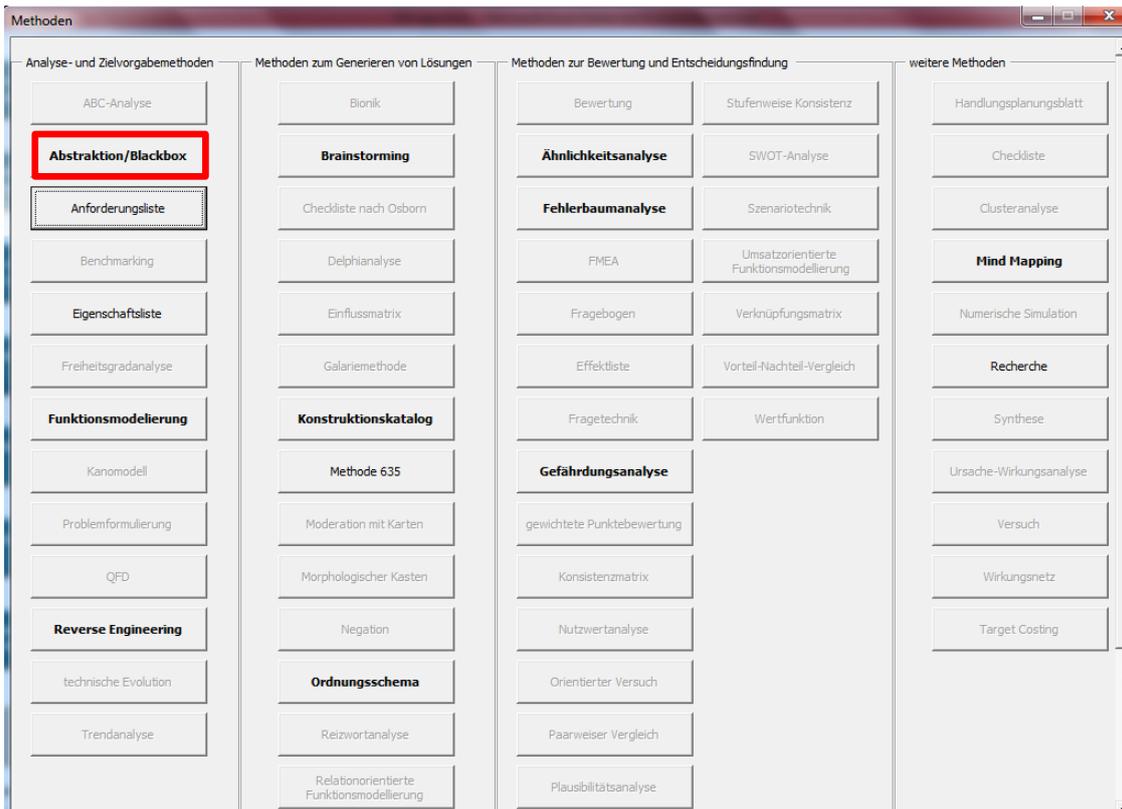


Abbildung 53: Methoden für das Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen

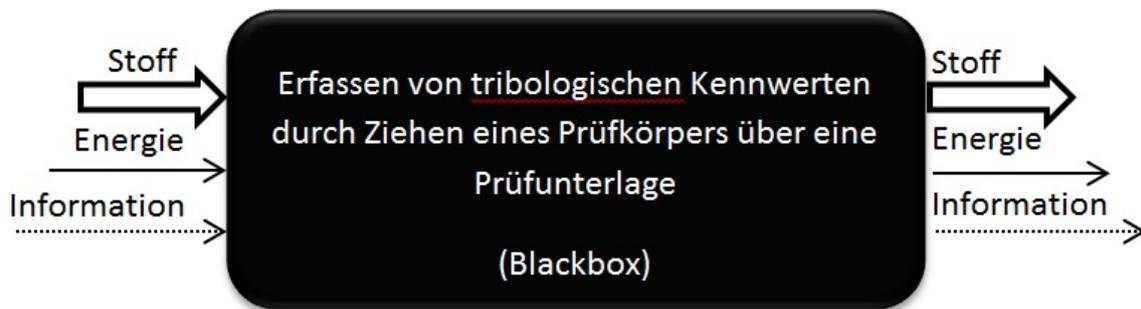


Abbildung 54: Gesamtfunktion – Reibungsprüfstand

Die Funktion „Prüfkörper über eine Prüfunterlage ziehen“ lässt sich folgendermaßen in einer allgemeinen Funktionsstruktur darstellen (Abbildung 55).

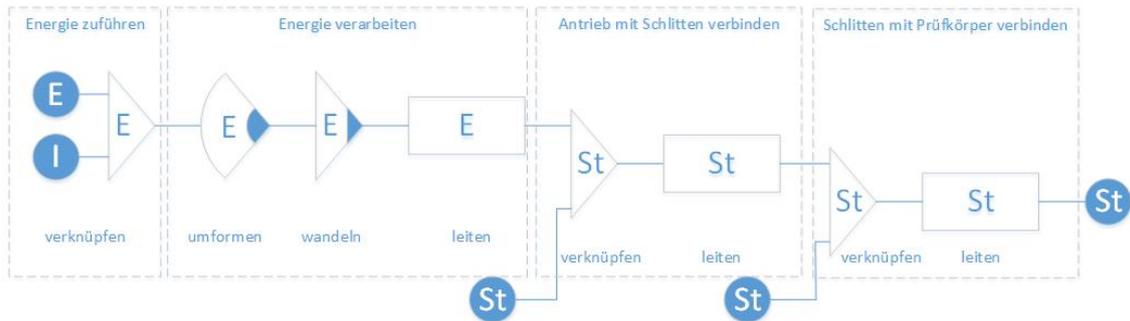


Abbildung 55: Allgemeine Funktionsstruktur – Reibungsprüfstand

Dabei wird der Informations-, Stoff- und Energiefluss betrachtet. Es werden die allgemeinen Symbole für eine Verknüpfung, Umformung, Leitung und Wandlung verwendet. Die Energiezufuhr zur Bewegung wird durch ein Steuersignal ausgelöst. Diese Energie wird eingeleitet und durch Umformen, Wandeln und Leiten verarbeitet. Der Antrieb und der Schlitten werden miteinander verknüpft und geleitet. Um eine Bewegung des Prüfkörpers zu erreichen, wird anschließend noch der Objektträger mit dem Schlitten verbunden und eventuell durch eine Vorrichtung geführt (geleitet).

Um nun aus dieser sehr abstrakten Struktur prinzipielle Lösungen generieren zu können, erfolgt eine Zuordnung von Intensitäts- und Quantitätsgrößen. Das Umformen der Energie kann beispielsweise durch einen Motor realisiert werden. Die Wandlung der Energie erfolgt in einem Getriebe und durch eine Kupplung kann Energie geleitet werden. Daraus lässt sich eine Funktionsstruktur nach Abbildung 56 aufstellen.

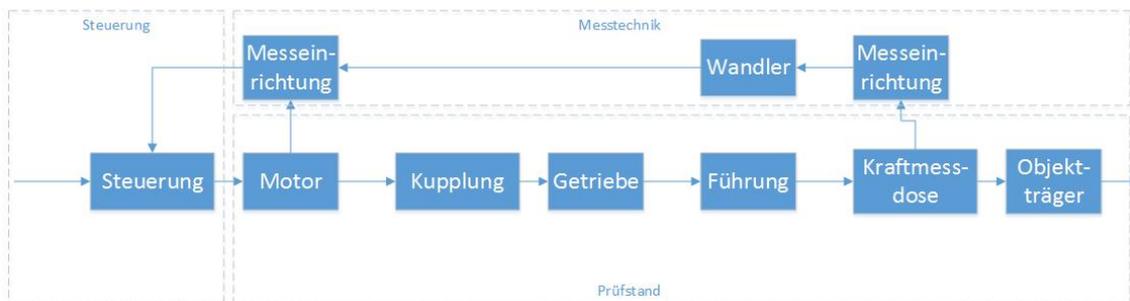


Abbildung 56: Funktionsstruktur - Reibungsprüfstand

3. Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen

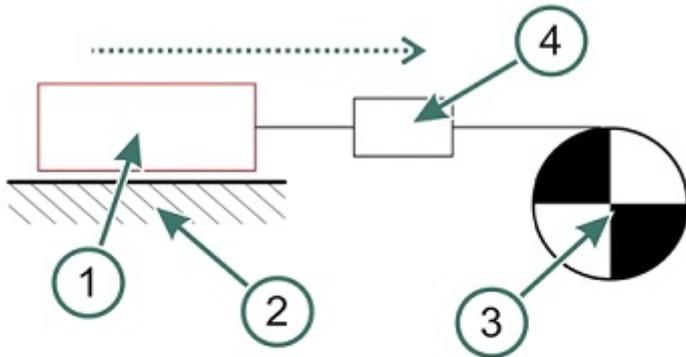
Mit Hilfe eines Morphologischen Kastens (Abbildung 57) wird eine Vielzahl von Prinziplösungen erzeugt. Beispielhaft soll dies an den Funktionen Motor, Kupplung, Getriebe, Führung gezeigt werden. Eine der vielen möglichen Kombinationen ist ein Gleichstrommotor als Antrieb, für das Übertragen des Drehmoments sorgt eine Scheibenkupplung, umgeformt wird die Energie mittels Zahnstangengetriebe und als Führung wird eine Gleitausführung ausgewählt.

Funktion	Realisierung						
Antrieb/Motor (Wandeln)	Gleichstrom-motor	Wechselstrom-motor	Drehstrom-motor	Schrittmotor	Drehmagnet		
Kupplung (Übertragen)	Klauen-kupplung	Scheiben-kupplung	Zahnrad-kupplung	Flansch-kupplung	Lamellen-kupplung		
Getriebe (Umformen)	Schubkurbel-getriebe	Zahnrad-getriebe	Zahnstangen-getriebe	Zahnriemen-trieb	Spindel-getriebe	Seiltrieb	Kettentrieb
Führung (Vereinigen)	Gleitführung	Wälzführung	Federführung	Luftführung			

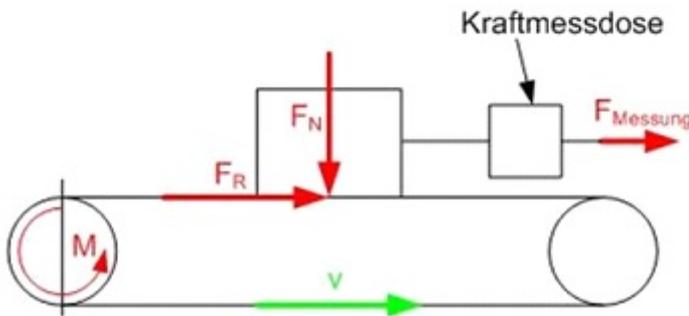
Abbildung 57: Morphologischer Kasten – Reibungsprüfstand

Nach dem Aufstellen zahlreicher Lösungsmöglichkeiten, erfolgte mittels einer „Gewichteten Punktebewertung“ (siehe Tabelle 8) und „Vorteil-Nachteil-Vergleichen“ eine engere Auswahl der geeignetsten Prinziplösungen. Abbildung 58 zeigt das Ergebnis des 3. Hauptarbeitsschrittes in Form von Prinzipskizzen.

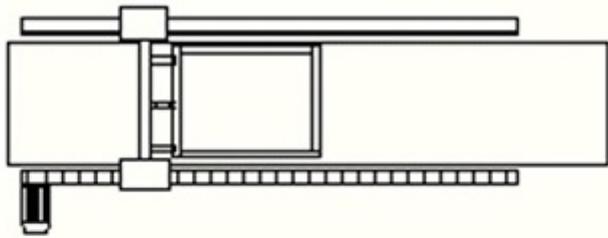
1. Lösungsprinzip: Der Prüfkörper wird über die Unterlage mittels Seiltrieb in eine Richtung gezogen und manuell in die Ausgangslage zurückgesetzt.
2. Der Prüfkörper steht auf einem Bandförderer und wird nur an einem Seil fixiert. Somit wird eine Relativbewegung zwischen Prüfkörper und Unterlage erzeugt ohne, dass sich der Prüfling selbst bewegt.
3. Der Prüfkörper wird mit einem Schlitten verbunden und mittels Riemetrieb kann er somit über die Unterlage gezogen werden.
4. Der Prüfkörper ist mit einem umlaufenden Seil verbunden ähnlich dem Prinzip eines Schlepliftes.



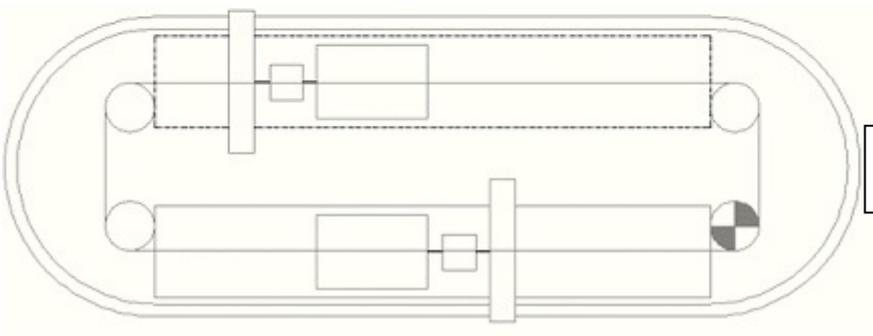
Lösungsprinzip 1



Lösungsprinzip 2



Lösungsprinzip 3



Lösungsprinzip 4

Abbildung 58: Prinzipielle Lösungen – Reibungsprüfstand (vergl., [SG12b])

4. Gliedern in realisierbare Module

Diese 4 prinzipiellen Lösungen wurden wiederum Bewertungen unterzogen bis eine favorisiert werden konnte. Nach der Auswahl dieses Lösungsprinzips erfolgte im nächsten Arbeitsschritt die Erzeugung der modularen Struktur, indem die Gesamtlösung in realisierbare Module unterteilt wurde. Dafür ist zu Beginn das Erkennen der gestaltungsbeeinflussenden Anforderungen und Bedingungen nötig um daraus die prinzipielle Lösung modularisieren zu können. Die Modulare Struktur des Projektes Reibungsprüfstand ist in der nachfolgenden Darstellung abgebildet.

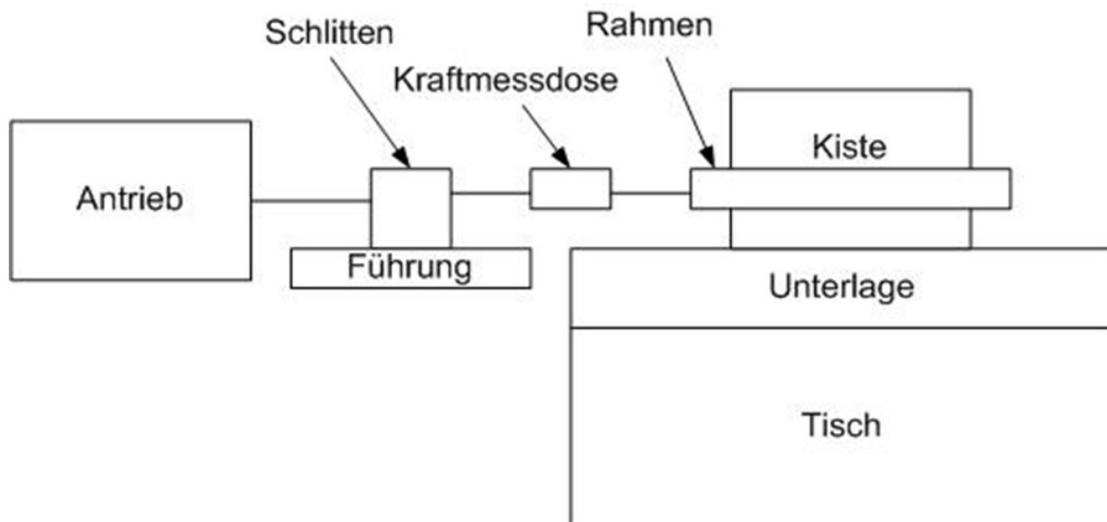


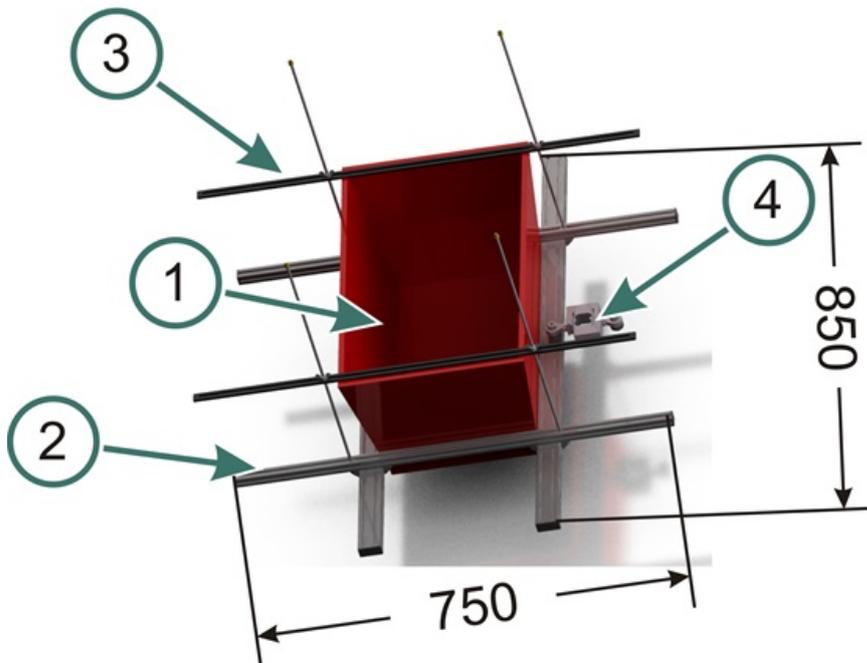
Abbildung 59: Modulare Struktur – Reibungsprüfstand [SG12b]

5. Gestalten der maßgebenden Module

Für die Module wurden Vorentwürfe und grobmaßstäbliche Entwürfe angefertigt, welche durch ständige Überarbeitung zu immer exakteren maßstäblichen Detailentwürfen und durch Zusammensetzen dieser letztlich zum Gesamtentwurf führten. Die Beurteilungen und Bewertungen der Entwürfe erfolgten auf verschiedenen Detaillierungsstufen. Hierfür wurden die von der ME-app vorgeschlagenen Methoden (Auszug siehe Abbildung 60) angewandt.

Methoden zur Bewertung und Entscheidungsfindung	
Bewertung	Stufenweise Konsistenz
Ähnlichkeitsanalyse	SWOT-Analyse
Fehlerbaumanalyse	Szenariotechnik
FMEA	Umsatzorientierte Funktionsmodellierung
Fragebogen	Verknüpfungsmatrix
Effektliste	Vorteil-Nachteil-Vergleich
Fragechnik	Wertfunktion
Gefährdungsanalyse	
gewichtete Punktebewertung	

Abbildung 60: Auszug aus dem Methodenvorschlag für die Bewertung der Entwürfe



1...Kiste 2...Rahmen 3...Höheneinstellung 4...Kraftmessdose

Abbildung 61: Vorentwurf Kistenhalter – Reibungsprüfstand [SCH13]

6. Gestalten des gesamten Produkts

Abbildung 62 soll beispielhaft den Gesamtentwurf des Reibungsprüfstandes darstellen. Alle Einzelteil-, Zusammenstellungs- und Explosionszeichnungen sind in [SG12a] zu finden.

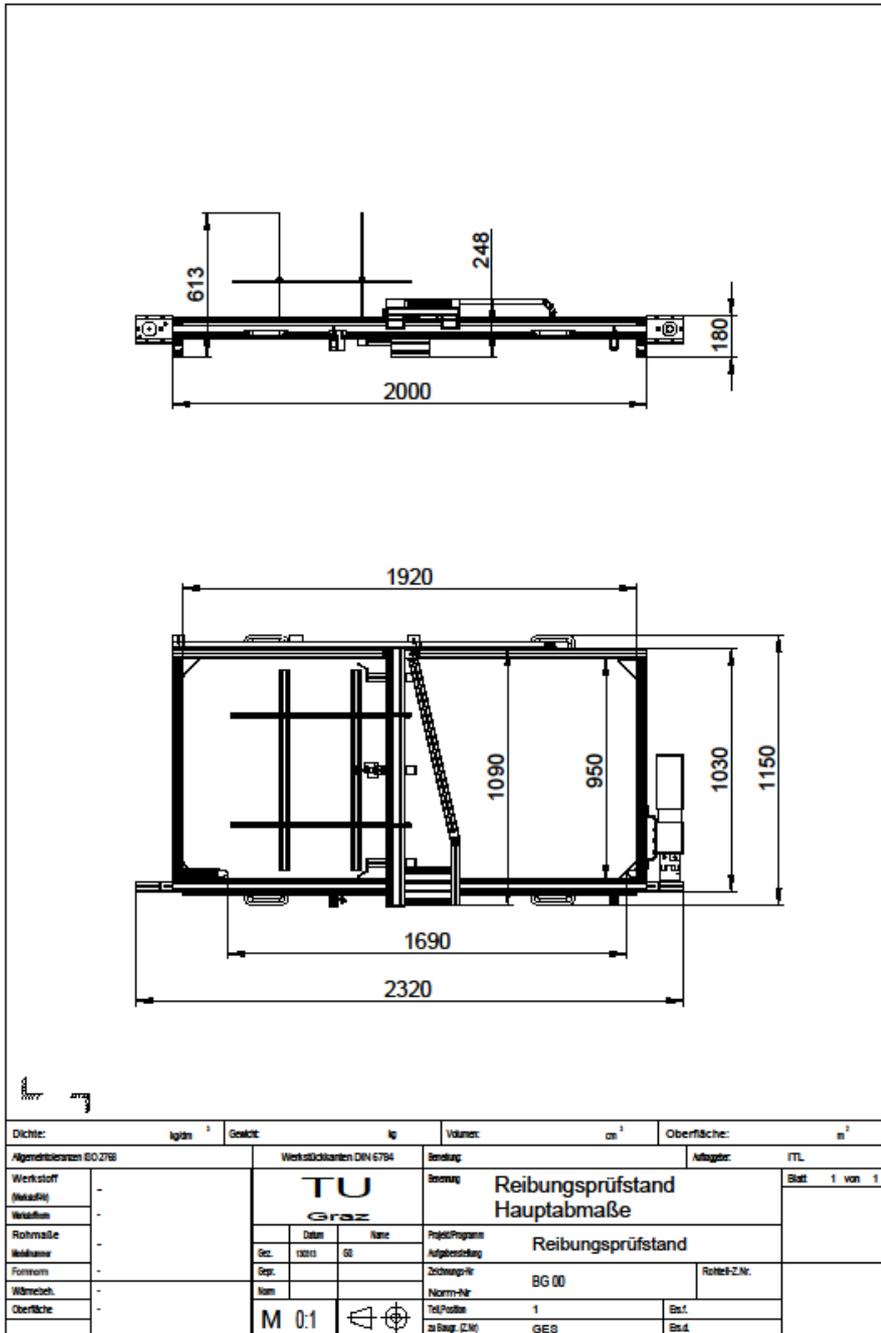


Abbildung 62: Gesamtentwurf – Reibungsprüfstand [SCH13]

7. Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben

Im letzten Schritt wurden die Ausführungs- und Nutzungsangaben erstellt. Als Ergebnisse dieses Arbeitsschrittes können die Arbeiten des Projekt-Konstruktiv „Reibungsprüfstand“ [SG12a] , die Laborübung „Reibungsprüfstand“ [SG12b] und die Diplomarbeit „Aufbau und Inbetriebnahme eines tribologischen Prüfstandes für Stückgüter“ [SCH13] herangezogen werden.

4 Zusammenfassung und Fazit

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den Möglichkeiten zur Unterstützung des methodischen Vorgehens bei der Entwicklung von technischen Produkten. Am Beginn erfolgte eine grundlegende Betrachtung des Produktentwicklungsprozesses. Es wurden die drei Planungsaspekte, die zu einer erfolgreichen Produktentwicklung beitragen, analysiert. Dabei beschreibt die inhaltliche Planung den Arbeitsfluss des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses. Bei der zeitlichen und terminlichen Planung wurde die Bedeutung von „Time to Market“ erklärt und der Netzplan als wichtiges Hilfsmittel zur Berechnung von Durchlaufzeiten und für die Kapazitätsplanung vorgestellt. In dem Kapitel 1.2.3 „Die Kostenplanung“ erfolgte die Aufschlüsselung der Kostenverantwortung und der Kostenentstehung auf die verschiedenen Bereiche eines Unternehmens. Simultaneous Engineering wurde als sehr sinnvolle Vorgehensweise vorgeschlagen und dessen Vorteile und Auswirkungen aufgelistet. Den Produktentwicklungsprozess beeinflussen zahlreiche Faktoren, wie beispielsweise die Art der Konstruktion. Es macht einen großen Unterschied, ob ein Einzelprodukt oder ein Serienprodukt zu entwickeln ist. Diese Einflüsse und deren Auswirkungen wurden analysiert. Das zweite Kapitel beschäftigt sich mit dem methodischen Vorgehen bei der Produktentwicklung nach dem Stand der Technik. In dieser Arbeit findet sich eine Auflistung zahlreicher Vorgehensmodelle, welche anschließend gegenübergestellt und bewertet sind. Dabei konnte die Erkenntnis gewonnen werden, dass das Vorgehen nach VDI 2221 zu favorisieren ist und weiterverfolgt werden soll. Um die in den Arbeitsschritten auszuführenden Tätigkeiten effizient durchführen zu können bedient man sich an Hilfsmitteln. Diese sogenannten Methoden und Werkzeuge helfen dem Konstrukteur und Entwickler bei der Durchführung des Konstruktionsprozesses mittels Vorgehensmodellen. Da es eine sehr große Anzahl an Methoden gibt, soll eine Bewertung mit Vor- und Nachteilen, Bekanntheitsgrad, Aufwand und nötige Voraussetzungen die Auswahl erleichtern. Daraufhin folgte eine Zuteilung der Methoden zu den Arbeitsschritten des Vorgehensmodells nach VDI 2221. Das dritte Kapitel beginnt mit einer Situationsanalyse der Softwareprodukte und bezieht die gewonnenen Erkenntnisse aus den vorherigen Abschnitten mit ein, um ein Konzept für eine computergestützte Umsetzung des Vorgehens nach VDI vorzuschlagen. Eine Definition von Inhalten und die Beschreibung der Struktur half bei der schlussendlichen Umsetzung in Form der ME-app in Microsoft Excel mit Visual Basic for Applications. Durch dieses Tool konnte das Ziel, eine durchgängige transparente Darstellung des Konstruktionsprozesses, realisiert werden. Das Programm leitet den Anwender sicher und effizient durch den Konstruktionsprozess und unterstützt das schnelle Auffinden der nötigen Methoden. Es beschreibt die Anwendung dieser, bietet Vorlagen und Werkzeuge zur Durchführung von beispielweise einer FMEA oder einer ABC-Analyse und zeigt dem User wie die Arbeitsergebnisse auszusehen haben und beschreibt den Weg zur Erreichung dieser Ergebnisse. Mit dem Anwendungsbeispiel aus dem Bereich der Technischen Logistik wird das computergestützte methodische Vorgehen nach VDI 2221 demonstriert und beseitigt somit letzte Unklarheiten mit der Handhabung und dem Umgang eines Vorgehensmodells allgemein und mit der ME-app.

Literaturverzeichnis

[VDI04] (Hrsg.), VDI-FML. 2004. Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme VDI 2206. Düsseldorf : Beuth Verlag GmbH Berlin, 2004.

[VDI93] (Hrsg.), VDI-FML. 1993. *VDI-Richtlinie 2221 - Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. VDI-Handbuch Konstruktion.* Berlin : Beuth Verlag, 1993.

[VDI97] (Hrsg.), VDI-FML. 1997. *VDI-Richtlinie 2222 Blatt 1; Konstruktionsmethodik; Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien.* Berlin : Beuth Verlag, 1997.

[VDI04b] (Hrsg.), VDI-FML. 2004. *VDI-Richtlinie 2223 Methodische Entwerfen technischer Produkte.* Düsseldorf : Beuth Verlag gmbH Berlin, 2004.

[BNS08] Bankhofer, U. (Hrsg.), et al. 2008. *Anwendung von Axiomatic Design für den Entwurf Serviseorientierter Architekturen.* s.l. : Institut für Wirtschaftsinformatik, Technische Universität Ilmenau, 2008. ISBN 978-3-938940-20-4.

[BAY10] Bayer, Paul. 2010. wandelweb.de. [Online] 19. 05 2010. [Zitat vom: 11. 01 2014.] http://wandelweb.de/galerie/11_PDCA/index.php.

[BEN04] Bender, Bernd. 2004. Erfolgreiche individuelle Vorgehensstrategien in frühen Phasen der Produktentwicklung. *Dissertation.* Technische Universität Berlin, Fakultät für Verkehrs- und Maschinensysteme : s.n., 2004.

[BL06] Bertsche, Bernd und Lechner, Gisbert. 2004. *Zuverlässigkeit in Maschinenbau und Fahrzeugtechnik: Ermittlung Von Bauteil- und System-Zuverlässigkeiten.* Berlin Heidelberg New York : Springer Verlag, 2004. 3-540-20871-2.

[CAM13] 2013. Cambridge Advanced Modeller. [Online] 2013. <http://www-edc.eng.cam.ac.uk/cam>.

[COM13] 2013. CompendiumInstitute. [Online] 2013. [Zitat vom: 28. 01 2014.] <http://compendium.open.ac.uk/institute/download/download.htm>.

[COM14] 2014. Complexity-Manager. [Online] 2014. [Zitat vom: 28. 01 2014.] <http://www.complexitymanager.de/>.

[DIL00] Dill, Christoph. 2000. Ursachen-Wirkungsdiagramm. [Online] 06. 10 2000. [Zitat vom: 16. 11 2013.] http://imihome.imi.uni-karlsruhe.de/nursache_wirkungsdiagramm_b.html.

[DÜS07] Düselmann, Sven. 2007. Konzept zur Unterstützung der Informationssuche in Konstruktionsprozess. *Dissertation.* Technische Universität Berlin, Fakultät für Verkehr- und Maschinensysteme : s.n., 2007.

[EDC14] 2014. EDC. [Online] 2014. [Zitat vom: 28. 01 2014.] http://www-edc.eng.cam.ac.uk/tools/set_visualiser/.

[EHR09] Ehrlenpiel, Klaus. 2009. *Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit.* München Wien : Carl Hanser Verlag, 2009. ISBN: 978-3-446-42013-17.

- [ES05] Eversheim, Walter (Hrsg.) und Schuh, Günther (Hrsg.). 2005. *Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung*. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2005. ISBN 3-540-21175-6.
- [FEL12] Feldhusen, Jörg. 2012. *Konstruktionslehre I Vorlesung 0 - Einführung*. Aachen : s.n., 2012.
- [FEL13] Feldhusen, Jörg. 2013. *Konstruktionslehre II - V0 Einführung*. RWTH Aachen : s.n., 2013.
- [FEL13b] Feldhusen, Jörg. 2013. *Vorlesungsskript: Konstruktionslehre II – V0 Einführung*. RWTH Aachen : s.n., 2013.
- [HAR05] Hartmann, Ernst Andreas. 2005. *Arbeitssysteme und Arbeitsprozesse*. Zürich : vdf Hochschulverlag AG, 2005.
- [IHM14] IHMC CampTools. [Online] [Zitat vom: 28. 01 2014.] <http://cmap.ihmc.us/>.
- [IMA14] iMapping. [Online] [Zitat vom: 28. 01 2014.] <http://www.imapping.info/>.
- [SKR10] Innovationsforschung, Institut für Industriebetriebslehre und. 2010. *Skriptum Kreativitätstechniken*. Graz : s.n., 2010.
- [LAU01] Lauche, Kristina. 2001. *Qualitätshandeln in der Produktentwicklung: theoretisches Modell, Analyseverfahren und Ergebnisse zu Förderungsmöglichkeiten*. Zürich : vdf Hochschulverlag AG, 2001. ISBN: 3-7281-2781-7.
- [LIN09] Lindemann, Udo. 2009. *Methoden der Produktentwicklung; Vorgehensmodelle - Grundprinzipien - Methoden*. München : s.n., 2009.
- [LIN05] —. 2005. *Methodische Entwicklung technischer Produkte*. Berlin, Heidelberg, New York : Springer Verlag, 2005. ISBN: 3-540-14041-7.
- [LOO14] 2014. LOOME complexity software. [Online] 2014. [Zitat vom: 28. 01 2014.] <http://www.teseon.de/loomeo>.
- [MEP14] 2014. MEPORT.net. *das Medienportal*. [Online] 2014. [Zitat vom: 11. 01. 2014.] <http://www.meport.net/index.php>.
- [MET14] 2014. METUS Software. [Online] 2014. [Zitat vom: 28. 01 2013.] <http://id-consult.com/metus/metus-software>.
- [PB06] Pahl, Gerhard, et al. 2006. *Konstruktionslehre*. 7.Aufl. Berlin/Heidelberg/New York : Springer, 2006. 3-540-34060-2.
- [PLÜ03] Plümer, Thomas. 2003. *Logistik und Produktion*. Oldenburg : Oldenburg Verlag, 2003. ISBN 3486274708.
- [PL11] Ponn, Josef und Lindemann, Udo. 2011. *Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte - Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltlösungen 2.Auflage*. s.l. : Springer Heidelberg Dordrecht London New York, 2011. ISBN 978-3-642-20579-8.
- [RB] Rebernik, Miroslav und Bradač, Barbara. Skriptum; Modul 3: Ideenbewertungsmethoden und -techniken.

- [RS12] Rieg, Frank (Hrsg.) und Steinhilper, Rolf (Hrsg.). 2012. *Handbuch Konstruktion*. München, Wien : Carl Hanser Verlag, 2012. ISBN 978-3-446-4343-5.
- [ROT01] Roth, Karlheinz. 2001. *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen Band 2: Kataloge*. Berlin Heidelberg New York : Springer-Verlag, 2001. ISBN 3-540-67026-2.
- [ROT00] Roth, Karlheinz. 2000. *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen; Band 1: Konstruktionslehre; 3.Auflage*. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2000. ISBN 3-540-67142-0.
- [KK98] Rudolf Koller, Norbert Kastrup. 1998. *Prinziplösungen zur Konstruktion technischer Produkte 2.Auflage*. Berlin Heidelberg : Springer, 1998. 3-540-63060-0.
- [SCH00] Scharer, Michael. 2000. Vom Markt zum Produkt. [Online] 09. 10 2000. [Zitat vom: 11. 10 2013.] http://imihome.imi.uni-karlsruhe.de/nkano_b.html.
- [SCH13] Schierz, Georg. 2013. *Aufbau und Inbetriebnahme eines tribologischen Prüfstandes für Stückgüter*. Graz : s.n., 2013.
- [SG12a] Schierz, Georg und Gartlacher, Benjamin. 2012. Projekt Konstruktiv "Reibungsprüfstand". Graz : s.n., 2012.
- [SG12b] Schierz, Georg; Gartlacher, Benjamin. 2012. *Laborübung Förder- und Lagertechnik "Reibungsprüfstand"*. Graz : s.n., 2012.
- [STE12] Steinkellner, Stefan. 2012. Knowledge-based Engineering in der Technischen Logistik. Graz : s.n., 2012.
- [TUF13] University, Tufts. 2013. Visual Understanding Environment. [Online] 2013. [Zitat vom: 28. 01 2014.] <http://vue.tufts.edu/>.
- [VOL12] 2012. Volkswagen Aktiengesellschaft. [Online] 04. 12 2012. [Zitat vom: 07. 10 2013.] http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/de/themes/2012/12/Exhibition_Generationen_Golf.html.

A.1 Anhang

A.1.1 Methodenbeschreibung

ABC-Analyse

Bei der ABC-Analyse handelt es sich um eine Klassifizierung von Elementen nach ihrer Wichtigkeit. Es gibt drei Elementgruppen. Die Gruppe der A-Elemente (häufig nur 10 bis 20% der Gesamtelemente) stellt den größten spezifischen Anteil an der Zielgröße dar und die Elemente der C-Gruppe (oft bis zu 50% der Gesamtelemente) den kleinsten. Man kann in etwa davon ausgehen, dass die 10% bis 20% der A-Elemente 70% bis 80% Anteil an der Zielgröße besitzen, die 20% bis 30% B-Elemente einen Anteil von 10% bis 20% der Zielgröße und die 60% bis 70% der C-Elemente lediglich einen fünf- bis zehnpromzentigen Anteil ausmachen. Die ABC-Analyse ist sehr einfach, schnell durchführbar und transparent. (vergl. [LIN05])

Tabelle 14: Charakteristika ABC-Analyse

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	ja
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none">• statistische Unterlagen;z.B. Stücklisten
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none">• Betriebsanalyse• Standortbestimmung• Materialflussplanung• Produktgestaltung• Lagerplanung• Qualitätssicherung
Vorteile	<ul style="list-style-type: none">• einfach• transparent• übersichtlich
Nachteile	<ul style="list-style-type: none">• grobe Klasseneinteilung• Bereitstellung konsistenter Daten• Einseitige Ausrichtung auf ein Kriterium• keine qualitativen Faktoren berücksichtigt

Abstraktion/Blackbox

Durch eine Reduzierung auf das Allgemeingültige und Wesentliche und einer Ausblendung von Details soll ein besseres Verständnis für das Problem erlangt werden. Mittels Blackbox, welche eine spezifische Form der Abstraktion darstellt, können Zusammenhänge zwischen dem System und seiner Umgebung übersichtlich dargestellt werden. Eine Blackbox besitzt einen Input (Eingang) und einen Output (Ausgang). Was sich im Inneren der Box befindet wird nicht dargestellt. Zur Erstellung einer Blackbox soll zunächst das Ziel der Abstraktion bestimmt werden, um folglich das Wesentliche vom Unwesentlichen trennen zu können. Nach dem Abgrenzen des Systems von der Umgebung mittels der Systemgrenze erfolgt die Definition der Eingangs- und Ausgangsgrößen. (vergl. [LIN05])

Tabelle 15: Charakteristika Abstraktion/Blackbox

Abarbeitung	Einzelperson
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	• Anforderungsliste
Anwendungsgebiete	• in der Konzeptphase
Vorteile	• zum Auflösen von Vorfixierungen • neue Lösungswege
Nachteile	• muss trainiert werden • bedarf gewisser Übung

Anforderungsliste

Eine Anforderungsliste ist eine informative Zusammenstellung der qualitativen und quantitativen Anforderungen an ein Produkt. Sie wird am Beginn der Entwicklungsarbeit erstellt und ist eine begleitende Arbeitsgrundlage für den gesamten Entwicklungsprozess. (vergl. [LIN05]) Weitere Informationen über die Anforderungsliste finden sich im Kapitel 2.3.1 Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach VDI 2221.

Tabelle 16: Charakteristika Anforderungsliste

Abarbeitung	Team
Moderator nötig	ja
Organisatorische Vorbereitung	ja

reitung notwendig	
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Pflichtenheft • Formblatt
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • stellt die Grundlage für den gesamten Konstruktionsprozess dar
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • vollständige, systematische Erfassung aller Anforderungen • Anforderungen werden Übersichtlich dargestellt • Referenzdokument • Problem/die Aufgabe wird umfassend geklärt • Der Informationsaustausch wird unterstützt • Basis für Verständigung zwischen Kunden und Entwickler • Die Beurteilung von Lösungsalternativen wird erleichtert • kann für eine Produktabnahme entscheidend sein
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • muss ständig ergänzt werden • kann sehr umfangreich sein

Benchmarking

Benchmarking ist ein Instrument zur Wettbewerbsanalyse mit dem Ziel, bestmögliche Erzeugnisse zu erhalten. Es wird versucht den Klassenbesten in einer bestimmten Branche, eines bestimmten Prozesses oder eines bestimmten Produktes ausfindig zu machen, um die Gründe des Erfolges zu analysieren und diese für die eigene Produktentwicklung zu nützen.

Tabelle 17: Charakteristika Benchmarking

Abarbeitung	Team
Moderator nötig	ja
Organisatorische Vorbereitung notwendig	ja
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsblätter • Analysen des Betriebs oder • Kundenbefragungen
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • für alle Prozesse und Produkte anwendbar

	<ul style="list-style-type: none"> • vor allem in frühen Phasen
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • großes Potenzial • Verbesserung der Produktivität • kann zu Wettbewerbsvorteilen führen
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Daten nicht immer vergleichbar • oftmals Konkurrenzdenken

Eigenschaftsliste

Eine Eigenschaftsliste ist eine Tabelle in der die Materialeigenschaften, Gestalteeigenschaften und Eigenschaften jeglicher Art von Bauteilen aufgelistet werden. Sie soll einen Überblick über den Status *erfüllt*, *nicht erfüllt* oder *noch offen* geben. Somit stellt die Eigenschaftsliste einen Überblick aller Bauteileigenschaften dar und zeigt den Status dieser Eigenschaften an. Somit ist auch ein Überblick über den Projektstand gegeben und eventuell nötiger Handlungsbedarf wird angezeigt. (vergl. [LIN05])

Tabelle 18: Charakteristika Eigenschaftsliste

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Formblatt
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • kann während des gesamten Entwicklungsprozesses eingesetzt werden
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Absicherung der Zielerreichung • Überblick über Status der Produkteigenschaften • zeigt Projektstatus an • zeigt Handlungsbedarf an
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitaufwand

Funktionsmodellierung

Funktionsmodelle werden eingesetzt, um die Funktionen eines Produktes zu analysieren und sich somit ein besseres Verständnis zu erlangen. Sie bilden die Eigenschaften und Abhängigkeiten von Systemen auf abstrakter Ebene dar. Diese Modelle helfen somit auch beim Erkennen von Zusammenhängen, Aufdecken von Widersprüchen und bei der Dokumentation von Produkten beziehungsweise von Systemen. (vergl. [LIN05])

Tabelle 19: Charakteristika Funktionsmodellierung

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	keine Besonderen
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • nach Anforderungsklärung • zur Suche von Lösungsalternativen • Variation der Funktionsstruktur und Wirkprinzipien
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • fördert das Verständnis komplexer Strukturen • Erkennung von Zusammenhängen • Strukturierung komplexer Gesamtfunktionen in Teilfunktionen • Vereinfachung von Teilsystemen • Wiederverwendung von Teilsystemen wird gefördert • zeigt Projektstatus an • zeigt Handlungsbedarf an
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Abstraktes Niveau erfordert Übung

Kano-Modell

Das Kano-Modell dient zur Strukturierung von Kundenforderungen und zur Analyse der Kundenzufriedenheit mit dem Ziel, die Kundenzufriedenheit zu steigern. Des Weiteren ist es möglich sich einen Wettbewerbsvorsprung zu erarbeiten und für den Kunden individuell angepasste Produkte zu entwerfen. Beim Kano-Modell werden die Anforderungen in Klassen gegliedert. Man spricht von Grund- oder Basisanforderungen, Leistungsanforderungen und Begeisterungsanforderungen. Die Durchführung erfolgt in vier Schritten. Zu Beginn müssen die Kundenanforderungen identifiziert werden. Das kann beispielsweise mit der Hilfe von Fragebögen

realisiert werden. Aus diesen Anforderungen wird der Kano-Fragebogen konstruiert. Im nächsten Schritt wird eine Kundenbefragung durchgeführt und zu Letzt folgen die Auswertung und die Interpretation. (vergl. [SCH00])

Tabelle 20: Charakteristika Kano-Modell

Abarbeitung	Team
Moderator nötig	ja
Organisatorische Vorbereitung notwendig	ja
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Kundenbefragungen • Fragebogen
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Phase der Produktdefinition • Planung der Funktionen/Eigenschaften eines Produkts • bei der Bewertung von Produkteigenschaften
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • besseres Verständnis der Kundenanforderungen • Hilfsmittel bei der Entscheidungsfindung
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • hoher Aufwand • Ergebnisse stark von Auswahl und Motivation der Kunden abhängig

Quality Function Deployment

Quality Function Deployment, kurz QFD, ist eine durchgängige Planungsmethodik für Produkte, die mit der Ermittlung der Kundenbedürfnisse beginnt und mit der Umsetzung der Produktionsprozesse endet. Beim QFD-Prozess werden Maßnahmen und Funktionen des Qualitätsmanagements angewendet. Das Ergebnis sollte eine bessere, kostengünstigere, kundenorientiertere Lösung in kürzerer Zeit sein. [SCH00]

Tabelle 21: Charakteristika QFD

Abarbeitung	Team
Moderator nötig	ja
Organisatorische Vorbereitung notwendig	Ja
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Kundenbefragungen

	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogen
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • in allen Phasen des Produktentwicklungsprozesses
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Verkürzung der Entwicklungszeit • Verbesserung der Information und Kommunikation • Förderung teamorientierter Vorgehensweise • Reduktion der Anzahl nachträglicher Änderungen • frühzeitiges Erkennen der Wettbewerbsfähigkeit des Produkts • kundenanforderungsgerechte Produktentwicklung • Durchgängigkeit der Methode • präventive Methode
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • hoher Zeitaufwand • hoher personeller Aufwand • Kostenintensiv • hoher Planungsbedarf • Komplexität

Reverse Engineering

Beim Reverse Engineering wird im Gegensatz zum Forward Engineering nicht die Aufgabenstellung analysiert, sondern bereits vorhandene Lösungen oder Produkte. Aus der Untersuchung eines physikalisch vorliegenden Objektes wird versucht dessen Aufbau, Teile, Strukturen, Zustände, Verhaltensweisen und Eigenschaften möglichst exakt abzubilden und zu verstehen, um daraus eine abstrakte Beschreibung ableiten zu können. (vergl. [RS12] , S.814)

Tabelle 22: Charakteristika Reverse Engineering

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	ja
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Originalobjekt
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Anforderungsgenerierung • Lösungsfindung

Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Informationsgewinnung • Lösungen bereits erprobt • Qualitätsaussagen möglich
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • hoher Aufwand • Expertenmeinung nötig • zeitaufwendig • kostenintensiv • verhindert Innovationen

Trendanalyse

Mit Hilfe der Trendanalyse wird versucht Entwicklungstrends als sich langfristig abzeichnende Wandlungstendenzen zu ermitteln, zu quantifizieren, ihre Ursachen zu ergründen und ihren Einfluss auf den Markt zu bestimmen. [LIN05]

Tabelle 23: Charakteristika Trendanalyse

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	ja
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitungen • Zeitschriften • Informationen
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Analysephase • Planungsphase
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Ermöglicht Ausrichtung der Aktivitäten an zukünftige Gegebenheiten • sichert Handlungsvorsprung • Macht die Zukunft kalkulierbarer • Hält die Marketingaktivitäten eines Unternehmens auf dem aktuellen Stand
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Widersprüchlichkeit parallel existierender Trends • Subjektivität der Diagnose eines Trends • Abhängigkeit von Qualifikation und Erfahrung des Trendforschers

- Keine Allgemeingültigkeit
- Aussagen über die Länge und den Verlauf eines Trendzyklus nicht möglich

Bionik

Der Begriff Bionik setzt sich aus den Wörtern Biologie und Technik zusammen. Die Bionik verfolgt das Ziel, Baustrukturen, Mechanismen sowie energetische oder informatorische Systeme aus der Natur gezielt auf technische Lösungen zu übertragen. [SKR10] Diese Methode ist besonders gut anwendbar bei Neuentwicklungen und Innovationen und sie unterliegt keiner definierten Vorgehensweise.

Tabelle 24: Charakteristika Bionik

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	ja
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitungen • Zeitschriften • Informationen
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Lösungssuche
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • generiert Lösungsalternativen • Vollkommen neue Erfindungen möglich • großes Potenzial für Innovationen
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Barriere zwischen den unterschiedlichen Fachterminologien • hoher Aufwand • teilweise sehr unterschiedliche Randbedingungen zwischen biologischen und technischen Produkten

Brainstorming

Bei einem Brainstorming wird der Teilnehmerkreis, der im Idealfall aus 4 bis 7 Personen besteht, aufgefordert Ideen einzubringen, wobei der freien Phantasie keine Grenzen gesetzt sind. Jede Kritik oder Bewertung sollte vorerst vermieden werden. Das Brainstorming beginnt nach einer Vorstellung, Analyse und Definition des Problems durch den Moderator. Für eine erfolgreiche Anwendung dieser Methode sollten vier Grundregeln eingehalten werden [SKR10] :

- Jede Kritik oder Wertung an den geäußerten Ideen wird auf eine gesonderte, nachfolgende Phase verschoben
- Die Ideen anderer Teilnehmer können und sollen aufgegriffen und weiterentwickelt werden.
- Die Teilnehmer können und sollen ihrer Phantasie freien Lauf lassen
- Es sollen möglichst viele Ideen in kurzer Zeit produziert werden

Tabelle 25: Charakteristika Brainstorming

Abarbeitung	Team
Moderator nötig	ja
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Informationen • Flip-Chart • Tafel
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Ideengenerierung • Lösungssuche
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • schnelle Erlernbarkeit • einfache und rasche Durchführbarkeit • vielseitige Ideen • anregende und motivierende Arbeitsatmosphäre • unterstützt Teamentwicklung • unterstützt Informationsaustausch
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • nur für einfache Probleme geeignet • keine Vorgehenssystematik • bedarf der Einhaltung der vier Grundregeln

Checkliste nach Osborn

Die Checkliste nach Osborn dient vor Allem zur Varianten- und Alternativenbildung. Auch für die Optimierung und Weiterentwicklung eines bereits bestehenden Produktes können diese Listen sehr hilfreich eingesetzt werden. Die Fragen für die Checklisten können beispielsweise im Rahmen eines Brainstormings entwickelt werden. (vergl. [LIN05])

Tabelle 26: Charakteristika Checkliste nach Osborn

Abarbeitung	Team
Moderator nötig	ja
Organisatorische Vorbereitung notwendig	ja
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogen • Checkliste • Anschauungsobjekte
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Varianten und Alternativenbildung
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • bringt neue Sichtweisen durch strukturiertes Vorgehen
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • keine grundsätzlich neuen Lösungen • Ideenfindung auf einige Fragen schwierig

Delphi-Analyse

Die Delphi-Analyse kann zur Ideenfindung und Problemlösung schlechtstrukturierter, komplexer Probleme eingesetzt werden. Diese Methode kann als mehrstufiger Befragungsprozess, der durch einen Fragebogen oder im Zwiegespräch mehrmals durchgeführt wird, angesehen werden. Wichtig ist dabei, dass der Befragte keinerlei Kontakt zu anderen Mitgliedern der befragten Gruppe hat. Nach einer ersten Durchführungsrunde folgt eine Analyse der Umfrage und in einem weiteren Schritt entscheidet der Befragter, welchen Anteil der gewonnenen Informationen er den befragten Individuen zuleitet. In einer zweiten Runde werden die Individuen erneut um ihre Meinung gefragt. Dabei kann es vorkommen, dass die prognostizierten Aussagen erneut bestätigt oder widerrufen werden und der Sachverhalt neu eingeschätzt wird. Diese Prozedur kann sich ein weiteres Mal wiederholen bis eine deutliche Konvergenz der Meinungen festzustellen ist. (vergl. [SKR10] ; [LIN05])

Tabelle 27: Charakteristika Delphi-Analyse

Abarbeitung	Team
Moderator nötig	ja
Organisatorische Vorbereitung notwendig	ja
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogen

	<ul style="list-style-type: none"> • Checkliste •
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Bestimmung von Entwicklungsprognosen • Trendforschung
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklungstrends vorhersehbar • Einschätzung zukünftiger Ereignisse möglich
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • sehr zeitaufwendig • für akute, kurzfristig zu lösende Problemfälle nicht geeignet • Delphist bestimmt erheblich die Güte der Ergebnisse • Meinungen zu zwei gegensätzlichen Standpunkten polarisieren

Einflussmatrix (Design Strukture Matrix)

Eine Einflussmatrix, oder auch Design Strukture Matrix (DSM), ist eine quadratische Matrix welche, eine Beziehungszuordnung zwischen Elementen eines Systems darstellt. Diese Elemente können Funktionen, Produktkomponenten, Leistungsmerkmale, Konstruktionsanforderungen oder Prozessaufgaben sein. Auf der Ordinate und der Abszisse werden die Elemente in gleicher Reihenfolge aufgetragen. Im europäischen System wird die Matrix so gelesen, dass die Elemente der Zeilen die Spalten beeinflussen. Besteht nun eine Beziehung zwischen einem Zeilenelement und einem Element der Spalte, so wird in der sich schneidenden Zelle eine Markierung eingetragen. Die Diagonalzellen bleiben leer oder werden geschwärzt, da sich dort Elemente auf sich selbst beziehen würden. Sollten sich zwei Elemente gegenseitig beeinflussen, so werden die Zellen oberhalb und unterhalb der Diagonale markiert. Bei der Design Strukture Matrix sind keine quantitativen Abhängigkeiten ersichtlich, feststellbar ist lediglich, ob eine Beziehung vorhanden ist und welche Richtung die Abhängigkeit hat. Bei der numerischen DSM wird an Stelle der Markierung ein Faktor eingesetzt, um mehr Information über die Beziehung zu erhalten. ([STE12] , S.49)

	task 1	task 2	task 3	task 4	task 5	task 6
task 1		X			X	
task 2			X	X		
task 3	X					X
task 4						X
task 5				X		
task 6						

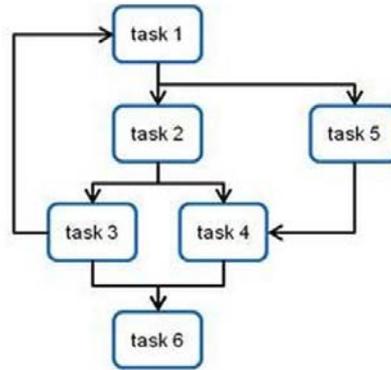


Tabelle 28: Charakteristika Einflussmatrix

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	• keine Besonderen
Anwendungsgebiete	• Entwurfsphase
Vorteile	• Art und Intensität der Beeinflussung zwischen Elementen möglich • Aussagen über kritische Elemente möglich
Nachteile	• bei größeren Matrizen erheblicher Zeitaufwand

Galeriemethode

Bei der Galeriemethode werden die Ideen auf großen Papierbögen oder auf Pinnwänden festgehalten. Nach einer Präsentation der Lösungen an die Gruppe, sollen neue Vorschläge ergänzt werden. Dabei ist es auch erwünscht, die Ideen anderer Teilnehmer konstruktiv aufzunehmen und als Basis für weitere Assoziationen zu nutzen. Diskussionen und Zwiegespräche sollen eine intensive Beschäftigung mit den Lösungsvorschlägen anderer unterstützen und zu neuen Ansätzen anregen. Die Galeriemethode beruht vor allem auf der offenen, zeichnerischen Darstellung, wechselseitigen Anregungen und Diskussionen von Lösungsvorschlägen. [LIN05]

Tabelle 29: Charakteristika Galeriemethode

Abarbeitung	Team
Moderator nötig	ja

Organisatorische Vorbereitung notwendig	ja
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Flip-Chart • Pinnwände • Filzschreiber • Papierbogen • Nadeln •
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Lösungsfindung
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Intuitives Arbeiten in der Gruppe ohne lange Diskussionen • Wirksame Vermittlung mit Hilfe von Skizzen • Individuelle Leistung bleibt erkennbar • Gut auswertbare, dokumentfähige Unterlagen • gut anwendbar bei Gestaltungsproblemen

Konstruktionskatalog

„Der Konstruktionskatalog ist ein für die Konstruktion nutzbarer, außerhalb des Gedächtnisses, meist in Tabellenform vorliegender Wissensspeicher, der nach methodischen Gesichtspunkten erstellt wird, innerhalb eines gegebenen Rahmens weitestgehend vollständig sowie systematisch gegliedert ist.“ ([ROT01] , S.421)

Konstruktionskataloge enthalten bekannte und bewährte Lösungen und können deshalb sehr hilfreich bei der Produktentwicklung eingesetzt werden. Es gibt Kataloge aus denen physikalische Effekte, Normteile, Werkstoffe, Zukaufteile bis hin zu ganzen Baugruppen entnommen werden können. Durch arbeiten mit Konstruktionskatalogen besteht die Gefahr, dass durch das Zurückgreifen auf Altbewährtes die Möglichkeiten für Innovationen geschmälert werden. ([PB06] , S.150; [LIN05])

Tabelle 30: Charakteristika Konstruktionskatalog

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Konstruktionskataloge
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Konzeptphase

	<ul style="list-style-type: none"> • Entwurfsphase
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Lösungsspektrum wird vergrößert • Lösungsauswahl wird erleichtert • bewerte Lösungen
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl der Kataloge ist begrenzt • es gibt nicht für jedes Problem Lösungen im Katalog • Fehlen der Zugriffsmerkmale bei mehrdimensionalen Katalogen

Methode 635

Die Methode 635 ist eine der bekanntesten schriftlichen intuitiv-kreativen Methoden zum Generieren von Ideen. Auch bei dieser Ideenfindungsmethode ist es erwünscht, Ideen aufzugreifen und weiter zu entwickeln. Dadurch soll eine Steigerung der Ideenqualität erreicht werden. Bei der Methode 635 sollen 6 Teilnehmer jeweils 3 Ideen in Zeitabschnitten von 5 Minuten niederschreiben. Die Teilnehmer gruppieren sich um einen Tisch und nach der Problemvorstellung beginnt jede Person 3 Ideen aufzuschreiben. Nun werden die Formulare reihum weitergegeben. Nun hat jeder Teilnehmer die 3 Ideen seines Vorgängers vor sich und schreibt weitere 3 Ideen dazu. Nach diesem Prinzip wird das Verfahren insgesamt 6-mal durchgeführt bis am Ende bestenfalls 108 Ideen (3 x 6 x 6) hervorgebracht wurden. [SKR10]

Tabelle 31: Charakteristika Methode 635

Abarbeitung	Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • 635 Formular
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Ideengenerierung • Lösungssuche • falls mehrschichtige Denkprozesse erforderlich sind
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • einfache und rasche Durchführbarkeit • tragende Idee wird systematisch ergänzt und weiterentwickelt • Moderator nicht nötig

	<ul style="list-style-type: none"> • viele Ideen in kurzer Zeit
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Geringere Kreativität des einzelnen • Zeitbeschränkung

Morphologischer Kasten

Mit der Hilfe eines Morphologischen Kastens können systematisch eine große Anzahl an Lösungen erzeugt werden. Bei der Vorgehensweise sollten folgende Punkte eingehalten werden (vergl. [SKR10]):

1. Analyse, Definition und Verallgemeinerung des Problems
2. Bestimmung der Parameter (wiederholt auftauchende Merkmale, die unterschiedlich gestaltet sein können) des Problems.
3. Anordnung der Parameter in der ersten Spalte.
4. Ausprägungen (Teillösungen) suchen und waagrecht neben Parameter auftragen
5. Kombination dieser Ausprägungen stellt die Lösung dar

Tabelle 32: Charakteristika Morphologischer Kasten

Abarbeitung	Team
Moderator nötig	ja
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Flip-Chart • Pinnwände • Filzschreiber • Nadeln •
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Phasen der Ideengewinnung • Varianten und Alternativenbildung
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • anwendbar auf alle Problemtypen • einfache Methode
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Fachwissen erforderlich • großer Zeitaufwand

- Das Zerlegen des Gesamtproblems in Teilprobleme ist nicht immer einfach oder nicht sinnvoll

Negation

Bei der Negation wird aus dem Problem ein Anti-Problem erzeugt. Wenn zum Beispiel das Problem „Lebensdauer eines Produktes erhöhen“ gegeben ist, so lautet das Anti-Problem „Wie können wir dafür sorgen, dass die Bauteillebensdauer sinkt“. Für dieses Anti-Problem werden Lösungen gesucht. Die Lebensdauer kann gesenkt werden, wenn die Bauteile nicht ausreichend dimensioniert werden oder nicht genügend gut gegen Schmutzeintritt gesichert werden. Die Anti-Lösungen werden dann einfach wieder in Lösungen für das wirkliche Problem umgewandelt. Negation soll helfen Denkbarrieren abzubauen und neue Lösungsideen hervorbringen. (vergl. [LIN05])

Tabelle 33: Charakteristika Negation

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	• keine Besonderen
Anwendungsgebiete	• Lösungsfindung
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Abbau von Denkblockaden • hilft neue Lösungen zu erhalten

Ordnungsschema

Ordnungsschemata verfolgen den Sinn Informationen beziehungsweise Daten zu systematisieren und zu ordnen. Dies erleichtert das Suchen nach neuen Lösungen und das Erkennen von Verknüpfungsmöglichkeiten. Es gibt sehr viele Ordnungssysteme und Schemata, jedoch haben alle einen ähnlichen Aufbau. Nach der Anzahl der Ordnungskriterien werden Schemata in Dimensionen unterschieden. Es gibt eindimensionale, zweidimensionale oder auch mehrdimensionale Ordnungsschemata. Bei mehrdimensionalen werden die ordnenden Gesichtspunkte hierarchisch gegliedert. Allgemein übliche zweidimensionale Ordnungsschemata bestehen aus Zeilen und Spalten, denen Parameter zugeordnet sind. Diese Parameter können unter ordnenden Gesichtspunkten zusammengefasst werden. Ordnungsschemata können als Lösungskataloge in allen Phasen der Lösungssuche hilfreich sein. Da diese Schemata auch beim Erarbeiten von Gesamtlösungen durch Kombination von Teillösungen benützt werden können, spricht man beim eindimensionalen Ordnungsschema auch von einem offenen morphologischen Schema, oder vom Morphologischen Kasten, und beim zweidimensionalen vom geschlossenen morphologischen Schema. ([PB06] , S.145, [LIN05] , S.254]

Numerierung (lfd.Nr.)			
Ordnender Gesichtspunkt für die Zeilenbenennung	1	2	3
	Z1		
Z2			
Z3			
Zeilenparameter			

Ordnender Gesichtspunkt für die Spaltenbenennung			
Ordnender Gesichtspunkt für die Zeilenbenennung	S1	S2	S3
	Z1		
Z2			
Z3			
Zeilenparameter			

[Lindemann LIN S.254]

Beim Aufstellen eines Ordnungsschemas sollte folgendermaßen vorgegangen werden ([PB06] , S.146) :

- Lösungsvorstellungen in den Zeilen ungeordnet eintragen
- Lösungen nach kennzeichnenden Merkmalen analysieren (Energieart, Wirkgeometrie, Bewegungsart und dergleichen)
- Nach Merkmalen ordnen

Tabelle 34: Charakteristika Ordnungsschema

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	• keine Besonderen

Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Lösungssuche • systematische Variation
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Bei allgemeiner Formulierung weiterverwendbar
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Unübersichtlichkeit der Tabelle kann entstehen

Synektik

Die Methode Synektik gilt als die Kreativitätstechnik schlechthin und wird in einer Gruppe angewandt. Auf Grund ihres skurrilen Verlaufs ist diese Methode sehr trainingsintensiv und stößt in der Praxis oft auf Kritik, Skepsis oder gar Ablehnung. Die Synektik versucht den Problemlöser über einen Verfremdungsprozess vom eigentlichen Problem weg in völlig andere Sachbereiche zu führen. Aus diesen Sachbereichen soll möglichst viel Wissen mit dem Problem in Verbindung gebracht werden, um daraus kreative Lösungen ableiten zu können. Dem synektischen Ablauf liegt folgendes Schema zugrunde [SKR10] :

1. *Problemanalyse und Information*
2. *Spontanreaktion*; spontane Lösungsansätze sollen genannt werden, damit die Teilnehmer offen und frei sind und nicht auf ihren Lösungen „sitzenbleiben“
3. *Neuformulierung des Problems*, das heißt Verdichtung und Einengung auf die wesentliche Problemsache. Wichtig ist, dass alle Teilnehmer ein gemeinsames Problemverständnis haben.
4. *Erste direkte Analogien* werden zur Verfremdung des Problems aus dem Bereich der Natur und Technik gesucht.
5. *Persönliche Analogien* dienen dazu, eine weitere Problementfernung zu erreichen und gleichzeitig eine starke Identifikation mit der ausgewählten direkten Analogie zu erlangen. Hier soll keine Beschreibung der Analogie stattfinden, sondern eine gefühlsbetonte Projektion, die in die Frage mündet: „Wie fühle ich mich als....?“
6. *Symbolische Analogien* sollen das Hauptgefühl der persönlichen Analogie verdichten und durch starke Konzentration eine weitere Problementfernung ermöglichen.
7. *Die zweiten direkten Analogien* fragen danach, wo die symbolische Analogie im Bereich der Technik oder im Bereich der Natur (im Gegensatz zur ersten direkten Analogie) auftreten.
8. *Die Analyse durch Beschreibung* der gefundenen Analogien soll eine ausführliche Betrachtung und Detailanalyse der jeweils betrachteten Analogie beinhalten.

9. Bei der *Projektion* werden dann die einzelnen gefundenen Betrachtungsmerkmale auf die ursprünglichen Ausgangsproblemstellungen zurückgeführt („Force-Fit“). Dies ist die Phase der eigentlichen Ideenfindung.

Tabelle 35: Charakteristika Synektik

Abarbeitung	Team
Moderator nötig	ja
Organisatorische Vorbereitung notwendig	ja
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Tafel • Flip-Chart oder Overhead-Projektor
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Lösungssuche • systematische Variation
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • gezielte Aktivierung des kreativen Denkens • neuartige Lösungen • zählt zu den leistungsfähigsten Methoden
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • anspruchsvollste und komplizierteste Methode der Ideenfindung • hohe Anforderungen an die kreativen Fähigkeiten der Teilnehmer • Erfolg abhängig vom Moderator • zeitaufwendig • Hemmungen der Teilnehmer

Variation

Durch systematische Veränderung bekannter Lösungsalternativen sollen neue denkbare Lösungen gefunden werden. Damit soll auch die Anzahl der deutlich unterschiedlichen Lösungsalternativen gesteigert werden. Durch diese Methode kann wirkungsvoll der Lösungsraum erweitert werden und die Qualität der Lösungsalternativen hinsichtlich einzelner Ausprägungen kann gesteigert werden. Die Variation ist eine Methode mit der man schnell und relativ leicht eine große Menge an Alternativen erzeugen kann. Funktionsstrukturvarianten lassen sich beispielsweise durch Umkehrung, Reihen- oder Parallelschaltung oder weglassen von Teilfunktionen erzeugen. Die Gestalt kann durch eine Modifikation der Form, Lage, Größe, Material, etc. variiert werden. [LIN05]

Tabelle 36: Charakteristika Variation

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Lösungen die variiert werden können
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Lösungsfindung auf allen Konkretisierungsebenen
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • schnell neue Lösungen • große Anzahl an Lösungen • Lösungsraum wird erweitert • Lösungsalternativen werden verbessert • Auflösen von Fixierungen möglich
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Qualität der Lösungen sehr unterschiedlich

Bewertung

Bewertungen werden verwendet um Entscheidungen vorzubereiten. Zu Beginn werden Kriterien ausgewählt, anhand dieser Merkmale wird ein Wertesystem gebildet. Die Bewertungskriterien sind auf Abhängigkeiten zu untersuchen und werden strukturiert und gewichtet. Aufgrund der Bewertungsergebnisse werden dann Entscheidungen getroffen. Bewertungsverfahren sind zum Beispiel ein paarweiser Vergleich oder eine Punktebewertung. (vergl. [LIN05])

Tabelle 37: Charakteristika Bewertung

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • keine Besonderen
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • um Entscheidung vorzubereiten • während des gesamten Produktentwicklungsprozesses
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Risiko für Fehlentscheidungen wird gesenkt • nachvollziehbare und abgesicherte Entscheidungen

	<ul style="list-style-type: none"> • gesteigertes Bewusstsein bezüglich der Eigenschaften der Lösungen • Teambildungseffekte
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • zeitaufwendig • hoher Kapazitätsaufwand

Ähnlichkeitsanalyse

Mit Hilfe der Ähnlichkeitsanalyse werden Erkenntnisse, zum Beispiel bezüglich der Funktion, der physikalischen Effekte, der Gestalt oder des Designs, auf das zu untersuchende Produkt übertragen. So lassen sich aus schon bekannten ähnlichen Produkten wertvolle Erkenntnisse für das zu entwickelnde Produkt gewinnen. Mit Hilfe von Ähnlichkeitsgesetzen lassen sich Rückschlüsse von realen Objekten auf ein noch nicht existierendes Produkt ziehen. Typische Anwendungsgebiete sind in der Strömungslehre (Reynoldszahl) aber auch bei der Motorenentwicklung zu finden. (vergl. [LIN05])

Tabelle 38: Charakteristika Ähnlichkeitsanalyse

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • keine Besonderen
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Synthese neuer Lösungen • Analyse von Eigenschaften
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • kann einen aufwendigen Versuch oder eine Simulation ersetzen
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • keine Innovationen

Fehlerbaumanalyse (Fault Tree Analysis)

Die Fehlerbaumanalyse dient der systematischen Suche nach Fehlerursachen mit dem Ziel, alle möglichen Ausfallursachen aufzudecken, die Eintrittshäufigkeit unerwünschter Ereignisse zu bewerten um die kleinste Ausfallkombination zu ermitteln. Die Vorgehensweise ist deduktiv. Ausgangspunkt ist ein unerwünschtes Ereignis. Daraufhin werden alle möglichen Ausfallkombinationen, die dieses Ereignis verursachen gesucht und in Form einer Baumstruktur aufgetragen. [DIL00]

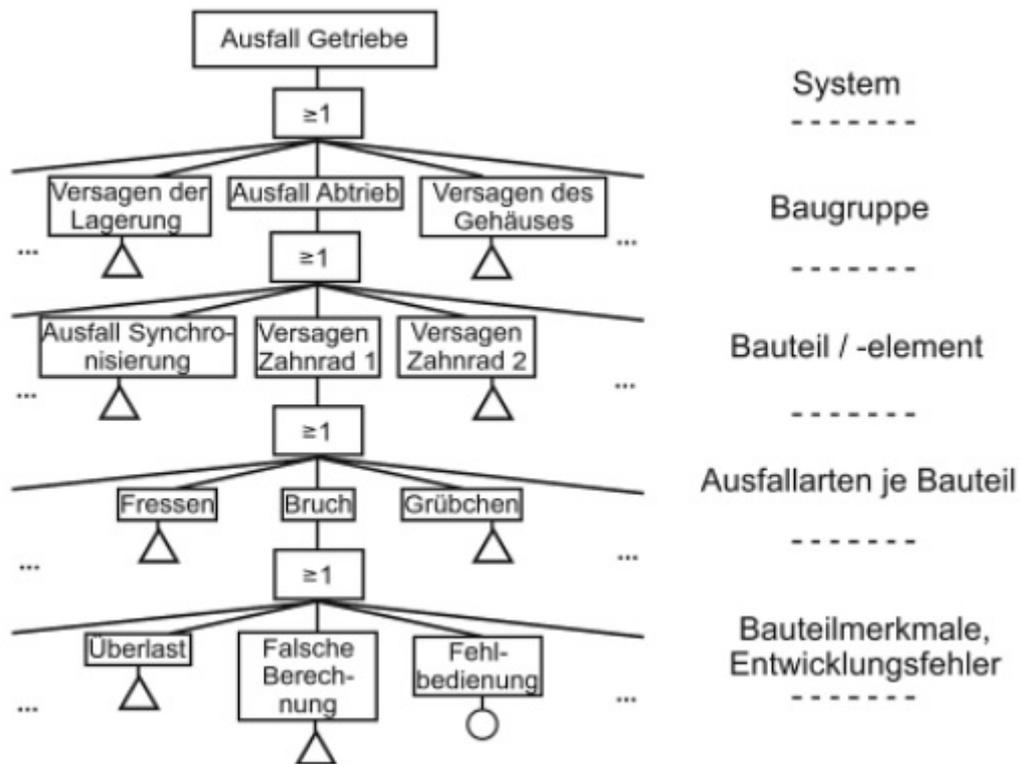


Abbildung 63: Fehlerbaumanalyse eines Getriebes ([BL06] , S.166)

Tabelle 39: Charakteristika Fehlerbaumanalyse

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	• keine Besonderen
Anwendungsgebiete	• zum Optimieren der Sicherheit und Zuverlässigkeit von Produkten
Nachteile	• keine Innovationen

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

Die FMEA ist eine systematische Methode mit dem Grundgedanken alle denkbaren Ausfallarten eines Produktes oder Systems zu ermitteln und die möglichen Ausfallfolgen und Ausfallursachen auf zu zeigen. Eine Bewertung des Risikos und die Festlegung von Optimierungsmaßnahmen sind auch Teil dieser Analyse. Das Ziel dieser Methode ist, die Risiken beziehungsweise die Schwachstellen eines Produktes so früh wie möglich zu erkennen, um gegebenenfalls Verbesserungen durch-

führen zu können. Es gibt die System-FMEA, Funktions-FMEA, Konstruktions-FMEA und Prozess-FMEA. Zur Durchführung einer FMEA wird meist ein Formblatt (siehe Anhang) herangezogen. ([BL06] , S.107f)

Dabei läuft der Vorgang einer FMEA folgendermaßen ab [LIN05] :

- Suche nach denkbaren Ausfallarten
- Ursachen des Ausfalls ermitteln
- Folgen des Ausfalls bestimmen
- Bewerten des derzeitigen Zustandes.
 - Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Fehler auftritt (A)?
 - Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Fehler entdeckt wird (E)?
 - Wie groß ist die Bedeutung der Ausfallfolge (B)?

Dafür werden Werte von 1 bis 10 vergeben. Wobei 1 positiv/günstig ist und 10 negativ/schlecht.

- Risikoprioritätszahl (RPZ) ausrechnen indem das Produkt aus A, B und E gebildet wird. RPZ ist eine Zahl zwischen 1 und 1000 und ist ein Indikator für die Dringlichkeit der Reduzierung der jeweiligen Fehlermöglichkeit. Eine hohe RPZ oder auch hohe Einzelbewertungen weisen auf erforderliche Abhilfemaßnahmen hin.
- Erforderliche Abstellmaßnahmen bestimmen
- Verbesserten Zustand erneut bewerten (A,B,E,RPZ)

Tabelle 40: Charakteristika FMEA

Abarbeitung	Team
Moderator nötig	ja
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	• FMEA Formblatt
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • um Versagensmöglichkeiten systematisch zu ermitteln • allgemeine Prozessplanung und -durchführung • Konstruktionsplanung und -durchführung • Fertigungs- und/oder Montageplanung und -durchführung
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Risiken werden minimiert • präventive Qualitätssicherung

	<ul style="list-style-type: none"> • fördert Zusammenarbeit verschiedener Unternehmensbereiche zu einem frühen Zeitpunkt
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • relativ hoher Zeitaufwand

Fragebogen

Fragebögen sind vor allem hilfreich, wenn die Meinung der Verbraucher im Hinblick auf Produktinnovationen untersucht werden soll. Es kann aber auch die Kundenzufriedenheit bezüglich eines Produktes überprüft werden. Zu Beginn der Erstellung eines Fragebogens ist der Fragegegenstand festzulegen und anschließend die Zielgruppe. Nach dem Erstellen des Fragebogens, soll immer zuerst eine Testbefragung durchgeführt werden und die Auswertbarkeit überprüft werden. Im Anschluss kann die Fragebogenaktion durchgeführt werden und im Anschluss erfolgt die Auswertung nach vorher definierten Richtlinien.

Tabelle 41: Charakteristika Fragebogen

Abarbeitung	Team
Moderator nötig	ja
Organisatorische Vorbereitung notwendig	ja
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebogen
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Meinung der Verbraucher im Hinblick auf Produktinnovationen • zur Ermittlung der Kundenzufriedenheit
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Auswertung oft schwierig und aufwendig • Art der Fragestellung und die Fragen sind genau zu prüfen

Gefährdungsanalyse

Die Gefährdungsanalyse wird bereits in der Konzeptphase der Produktentwicklung angewendet und ist gemäß EG-Maschinenrichtlinie verpflichtend auszuführen. Dabei wird versucht alle möglichen Gefährdungen von Menschen, die von einem Produkt in all seinen Lebensphasen ausgehen können, festzustellen. Im ersten Schritt werden die Gefahren ermittelt und dann die konstruktiven Möglichkeiten zur Beseitigung beziehungsweise Verminderung dieser.

Tabelle 42: Charakteristika Gefährdungsanalyse

Abarbeitung	Team
--------------------	------

Moderator nötig	ja
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	• keine Besonderen
Anwendungsgebiete	• Gefahrenermittlung • Konzeptphase
Vorteile	• Verhinderung von potenziellen Gefahren und Gefahrensituationen möglich

Gewichtete Punktebewertung

Mit einer Punktebewertung sollen die Lösungsalternativen nach bestimmten, definierten Kriterien sinnvoll gereiht werden. Im Gegensatz zu den qualitativen Verfahren, wie dem Vorteil-Nachteil-Vergleich oder dem paarweisen Vergleich ist diese Methode aussagekräftiger. (vergl. [LIN05])

Tabelle 43: Charakteristika Punktebewertung

Abarbeitung	Team
Moderator nötig	ja
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	• keine Besonderen
Anwendungsgebiete	• Entscheidungsfindung • wenn quantitative Bewertung von Nöten ist
Vorteile	• Rangfolge von Lösungsalternativen • qualitative Bewertung der Lösungen • intensive Auseinandersetzung mit den Lösungsalternativen
Nachteile	• mäßiger Aufwand

Nutzwertanalyse

Eine Nutzwertanalyse dient zur Entscheidungsfindung. Dafür werden subjektive Bewertungskriterien definiert und mittels Punktebewertung wird eine Rangfolge der Lösungen erzeugt. Somit zählt sie zu den analytischen Bewertungsverfahren. Eine

Addition der Erfüllungsgrade der Teilnutzen soll die Erfüllung des Gesamtnutzens repräsentieren und die verschiedenen Lösungen vergleichbar machen. (vergl. [MEP14])

Tabelle 44: Charakteristika Nutzwertanalyse

Abarbeitung	Team
Moderator nötig	ja
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	• Formblatt
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • zur Bewertung von Produktideen • Entscheidungsfindung • zur Beurteilung verschiedene Lösungsalternativen
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • weniger umfangreich und zeitraubend als Checklisten • direkte Vergleichbarkeit der einzelnen Kriterien • flexible Anpassung an spezielle Erfordernisse möglich
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • oft zeit- und arbeitsintensiv • verlangt ein hohes Maß an Subjektivität • Gefahr einer bloß schematischen, auf die aufgeführten Kriterien beschränkten Bewertung

Paarweiser Vergleich

Um einen Paarweisen Vergleich durchführen zu können werden zu Beginn Bewertungskriterien ermittelt und gewichtet. Es kommt zu einer Reihe direkter Vergleiche von je zwei Alternativen bei der die bessere bis zu 9 Punkte erhält. Bei einem Unentschieden werden keine Punkte vergeben. Jene Alternative mit den in Summe meisten Punkten gewinnt (vergl. [MEP14])

Tabelle 45: Charakteristika Paarweiser Vergleich

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein

Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • keine Besonderen
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • für qualitativen Vergleich von Lösungsalternativen oder Objekten
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • bei nicht zerlegbaren Einheiten anwendbar • geringer Aufwand • Die hohe Anzahl von Einzelurteilen führt durch das systematische Vorgehen zu einer hohen Aussagekraft
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • geringe Aussagekraft • Die Differenzierungsmöglichkeiten sind begrenzt

SWOT-Analyse (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats)

Durch eine systematische Vorgehensweise sollen die Chancen und Risiken, Stärken und Schwächen eines Produktes aufgezeigt werden. Gegebenenfalls sollen sich daraus auch entsprechende Maßnahmen ableiten lassen. Eine SWOT-Analyse kann für Transparenz sorgen und Entscheidungen erleichtern. (vergl. [LIN05])

Tabelle 46: Charakteristika SWOT-Analyse

Abarbeitung	Team
Moderator nötig	ja
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • keine Besonderen
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • wenn eine strukturierte Auseinandersetzung bezüglich einer Situation gefragt ist • wenn Transparenz gefordert wird • Entscheidungsfindung
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • einfache Struktur • mit wenig Aufwand leicht anwendbar • Erstellen eines Gesamtüberblicks • sowohl positive als auch negative Aspekte werden berücksichtigt • vielfältige Anwendungsbereiche

Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • oberflächlich • keine Bewertungsmaßstäbe für die vier Bereiche • Ergebnis kann stark von den beteiligten Personen abhängen • Reaktionen/Handlungen von Mitbewerbern werden nicht bzw. nur vage berücksichtigt • Ergebnisse nur unzureichend zu quantifizieren und evaluieren
------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Vorteil-Nachteil-Vergleich

Ziel des Vorteil-Nachteil-Vergleichs ist es, einen schnellen, ohne viel Aufwand durchführbaren, qualitativen Vergleich von Lösungsalternativen zu schaffen. Im ersten Schritt werden die zu vergleichenden Alternativen und eine Referenz bestimmt. Die Eigenschaften werden in Form von Nachteilen und Vorteilen aufgegliedert und dokumentiert. (vergl. [LIN05])

Tabelle 47: Charakteristika Vorteil-Nachteil-Vergleich

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • keine Besonderen
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Lösungsalternativen qualitativen Vergleich zu bewerten • Entscheidungsfindung
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • schnell • geringer Aufwand
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • nicht quantitativ • begrenzte Aussagekraft

Handlungsplanungsblatt

Besonders in krisenhaften Situationen ist es notwendig, dass Handlungsschritte einer Planung unterliegen und nicht opportunistisch erfolgen. Bevor eine Handlung initiiert wird, soll zunächst das verfolgte Ziel und der Grund dieses Zieles beschrieben werden. Darauf folgt eine Erläuterung des Vorgehens und eine Beschreibung wie die Ergebnisse zu dokumentieren sind. Somit kann überprüft werden, ob Ziel, Motivation und geplantes Vorgehen konsistent sind. Der geringe zeitliche Aufwand,

der zur Erstellung eines Handlungsplanungsblattes benötigt wird, ist durchaus gerechtfertigt. Die Gefahr von falschgesetzten Aktivitäten wird stark reduziert. [LIN05]

Tabelle 48: Charakteristika Handlungsplanungsblatt

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	• keine Besonderen
Anwendungsgebiete	• während des gesamten Produktentwicklungsprozesses
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • verhindert planloses Vorgehen und Handeln • geringer zeitlicher Aufwand • großer Nutzen

Checkliste

Checklisten dienen zur Bewertung verschiedener Ideen oder Lösungen hinsichtlich dessen ob sie passend, machbar und ökonomisch fundiert sind. Checklisten lassen sich in jeder beliebigen Situation im Entwicklungsprozess einsetzen. Es gibt beispielsweise Checklisten zur Unterstützung des Gedächtnisses, Checklisten mit Handlungsanweisungen oder Checklisten, die zum Nachdenken anregen sollen. Im Anhang findet sich eine Checkliste zur Bewertung neuer Produktideen.

Tabelle 49: Charakteristika Checkliste

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	ja
Benötigte Unterlagen	• Fragenkatalog
Anwendungsgebiete	• während des gesamten Produktentwicklungsprozesses
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Checklisten sind universell anwendbar und flexibel zur Anpassung unterschiedlicher Probleme • kein wichtiger Punkt wird vergessen • Quantitative Kriterien können einbezogen werden

	<ul style="list-style-type: none"> • Die Methode zwingt zum systematischen Durcharbeiten von Projekten und Ideen
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Tendenz zu umfangreichen Handbüchern • Alternativen sind schwierig zu vergleichen • neuartige Vorschläge passen nicht in standardisierte Checklisten

Mind Mapping

Eine Mind-Map stellt eine wirksame graphische Technik zur Erschließung unseres Gehirnpotentials dar. Dabei werden Informationen bewusst nicht linear in Listen oder Fließtexten dargestellt, sondern in einer visuellen, bildartigen Darstellung festgehalten. (vergl. [SKR10])

Tabelle 50: Charakteristika Mind Mapping

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	ja
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Flip-Chart • Tafel • Papierbogen
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • besonders zur Ideengenerierung in den frühen Phasen
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Kreativitätstechnik ist auch durch einzelne Personen einsetzbar • Förderung der Kreativität • Steigerung der Effektivität • guter Überblick über das Gesamtproblem • schnell und einfach erlernbar • flexibel anwendbar • Quantitative Kriterien können einbezogen werden • Die Methode zwingt zum systematischen Durcharbeiten von Projekten und Ideen
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitbedarf • Als Anfänger kann man bei der Stichwortsuche (Schlüsselwortsuche) Prob-

	lerne haben. • Oftmals konkrete Stichworte schon vor Astbildung
--	--------------------------------------------------------------------

Numerische Simulation

Bei einer numerischen Simulation sollen die Ausprägungen ausgewählter Merkmale in Abhängigkeit von anderen Eigenschaften mittels numerischer Modelle ermittelt werden. Dabei ist der Aufwand und Nutzen sehr situationsabhängig. (vergl. [LIN05])

Tabelle 51: Charakteristika Numerische Simulation

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	• keine Besonderen
Anwendungsgebiete	• besonders zur Ideengenerierung in den frühen Phasen
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Reproduzierbar • Kann teuren Versuch oder Analyse ersetzen
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitbedarf • Kosten/Nutzen situationsabhängig

Recherche

Recherchen dienen der Informationsbeschaffung und werden häufig in den frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses angewandt. Quellen für Rechercharbeit können Bücher, Zeitschriften, Kataloge, Datenbanken, Gespräche, Patente, etc. sein. [LIN05]

Tabelle 52: Charakteristika Recherche

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein

Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Bücher • Zeitschriften • Internet •
Anwendungsgebiete	• während des gesamten Produktentwicklungsprozesses
Vorteile	• Bestmögliche Informationsmenge
Nachteile	• keine völlig neuen Lösungen

Versuch

Versuche können besonders in den frühen Entwicklungsphasen hilfreich sein. Es ist aber immer der Aufwand im Verhältnis zum Nutzen abzuschätzen. Soll ein Versuch durchgeführt werden, müssen Parameter und Störgrößen, die Möglichkeit der Messtechnik und Messanlage, die Form und Auswertung festgelegt werden. (vergl. [LIN05])

Tabelle 53: Charakteristika Versuch

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Messtechnik • Messanlage •
Anwendungsgebiete	• während des gesamten Produktentwicklungsprozesses; besonders in Frühen Phasen
Vorteile	• kann eine teure Simulation ersetzen
Nachteile	• Aufwand/Nutzen situationsabhängig

Wirkungsnetz

Mit der Hilfe von Wirkungsnetzen lassen sich Zusammenhänge von Systemelementen darstellen. Das Wirkungsnetz dient auch als Grundlage zur Erstellung einer Einflussmatrix. Sich beeinflussende Elemente werden durch Pfeile miteinander verknüpft. Dabei stellt die Pfeildicke die Intensität der Abhängigkeit dar. Auch Farben können verschiedene Beziehungsarten hervorheben. Das Ergebnis ist eine graphische Übersicht des Systems, die schnell unübersichtlich werden kann. Im solchen Fällen empfiehlt es sich mit Einflussmatrizen arbeiten. (vergl. [LIN05])

Tabelle 54: Charakteristika Wirkungsnetz

Abarbeitung	Einzelperson/Team
Moderator nötig	nein
Organisatorische Vorbereitung notwendig	nein
Benötigte Unterlagen	• keine Besonderen
Anwendungsgebiete	• Darstellung von Systemelementen und deren Wirkzusammenhängen
Vorteile	• durch Visualisierung wird die zielführende Diskussion über Zusammenhänge im Team unterstützt
Nachteile	• schnell unübersichtlich

A.1.2 Glossar

Die meisten Definitionen sind den VDI-Richtlinien 2221 [VDI93] und 2223 [VDI04b] entnommen beziehungsweise stammen aus [PL11] oder [LIN05]. Auf explizite Zitierweise wird hier verzichtet.

Abstraktion

Grundprinzip des Denkens und Handelns. Bedeutet in der Anwendung, dass nur die wesentlichen Aspekte eines Systems betrachtet werden, die für die jeweilige Zielsetzung unwesentlichen Details werden weggelassen. Eine Abstraktion muss immer zielgerichtet erfolgen.

Anforderung

Qualitative oder quantitative Soll-Eigenschaften des zu entwickelnden Produkts

Anforderungsliste

Schriftlich formulierte Sammlung der Anforderungen an ein Produkt

Arbeitsergebnis

Resultat eines Arbeitsschrittes

Arbeitsschritt

Einzel Tätigkeit in Rahmen eines Arbeitsschrittes beim methodischen Entwickeln und Konstruieren

Ausarbeiten

Erarbeiten verbindlicher Festlegungen aller Einzelheiten der Beschaffenheit und Nutzung eines Produkts aufgrund eines Gesamtentwurfs und einer Anforderungsliste.

Beurteilen

Eigenschaften von Lösungen ermitteln und mit den Anforderungen vergleichen

Bewertungskriterium

Merkmal, das zum Vergleich und zur Beurteilung von Lösungsalternativen herangezogen wird. Die Auswahl von Bewertungskriterien ist in Abhängigkeit vom Konkretisierungsgrad der zu vergleichenden Lösungen zu treffen.

Black Box

Methode zur Abbildung der grundlegenden Funktion beziehungsweise des wesentlichen Zwecks eines Systems. Dabei wird der innere Aufbau vernachlässigt und nur die Interaktion mit der Umwelt betrachtet. Durch diese Form der Abstraktion lässt sich die Komplexität eines Sachverhalts deutlich reduzieren.

diskursiv

Schrittweise und weitgehend bewusst, durch Vorgehenspläne strukturiert und von einem kritischen Hinterfragen begleitet (im Gegensatz zu intuitiv).

Effekt

Das immer gleiche, voraussehbare, durch die Naturgesetze bedingte Geschehen physikalischer, chemischer oder biologischer Art.

Effektträger

Gebilde oder deren Teile die einen Effekt ermöglichen

Entscheiden

Festlegen der aussichtsreichsten Variante bzw. des weiteren Ablaufs des Entwurfprozesses

Entwerfen

Das Entwerfen umfasst das Gestalten sowie das Planen, Steuern und Überwachen des Gestaltungsprozesses

Entwickeln

Zweckgerichtetes Auswerten und Anwenden von Forschungsergebnissen und Erfahrungen, zum Beispiel technischer, ökonomischer und sonstiger Art.

Entwicklungsprozess

Unternehmerischer Prozess zur Festlegung von Sachprodukten und Dienstleistungen, der bei den Kundenanforderungen oder einem Entwicklungsauftrag startet und mit der Abnahme des Entwicklungsergebnisses durch den Auftraggeber abschließt.

Entwurf

Graphische Darstellung von Gestalt und Anordnung der Elemente eines zu entwickelnden Produktes.

Funktion

Lösungsneutral beschriebene Beziehung zwischen Eingangs-, Ausgangs- und Zustandsgrößen eines Systems.

Funktionsstruktur

Anordnung und Verknüpfung einzelner Funktionen zu ein oder mehreren komplexen Funktionen (z.B. Gesamtfunktion).

Funktionsträger

Technisches Objekt, dem eine Funktion zugeordnet werden kann.

Finite-Elemente-Methode (FEM)

Methode der numerischen Simulation zur Untersuchung von Körpern, die unter dem Einfluss von mechanischer und/oder thermischer Belastung stehen, hinsichtlich ihres Spannungs- und Verformungszustands.

Gestalt

Die Gestalt eines Produktes wird durch die Gesamtheit aller Gestalteigenschaften beschrieben.

Gestalten

Tätigkeit, bei der der Konstrukteur die Gestalt- und Werkstoffeigenschaften von Gestaltungselementen auf Grund einer Prinzipiellen Lösung, eines Vorgängerentwurfs und einer Anforderungsliste festlegt und sie in Produktmodellen (Skizzen, Zeichnungen, Stücklisten) dokumentiert.

Gestaltparameter

Beschreibungsmerkmal, das sich auf Gestaltaspekte eines technischen Systems bezieht.

Gruppenarbeit

Disziplinäre und länger dauernde Zusammenarbeit von Mitarbeitern, die nach funktions-, baugruppen-, eigenschafts- oder phasenorientierten Kriterien vorgenommen werden.

Hauptarbeitsschritt

Haupttätigkeiten beim methodischen Entwickeln und Konstruieren. Können meist in Arbeitsschritte unterteilt werden. (zum Beispiel die 7 Hauptarbeitsschritte beim Vorgehensmodell nach VDI 2221)

Hauptfunktion

Funktion, die unmittelbar zur Gesamtfunktion des Systems beiträgt.

Hauptumsatz

Umsatz in einem System (zum Beispiel Stoff, Energie oder Signal), der unmittelbar zum Systemzweck beiträgt.

intuitiv

Einfallsbetont, nach Gefühl (im Gegensatz zu diskursiv).

Iteration

Rücksprung im Entwicklungsprozess auf die gleiche Problemebene

Konkretisierungsgrad

Dimension zur Ordnung der vom Abstrakten zum Konkreten entstehenden Ergebnisse des Entwicklungsprozesses. Entgegengerichtet kann vom Abstraktionsgrad gesprochen werden. Zugehörige Tätigkeiten sind das Konkretisieren beziehungsweise das Abstrahieren.

Konstruieren

Gesamtheit aller Tätigkeiten, mit denen ausgehend von einer Aufgabenstellung die zur Herstellung und Nutzung eines Produkts notwendigen Informationen erarbeitet werden und in der Festlegung der Produktdokumentation enden. Diese Tätigkeiten schließen die vormaterielle Zusammensetzung der einzelnen Funktionen und Teile eines Produkts, den Aufbau zu einem Ganzen und das Festlegen aller Einzelheiten ein.

Konstruktionsphase

Abgrenzbarer Abschnitt des Konstruktionsprozesses, der sich aufgrund festlegbarer Tätigkeiten oder abgrenzbarer produktdarstellender Modelle im Vorgehensplan ergibt.

Konzipieren

Erarbeiten und Darstellen der Funktionen, der Funktionsstruktur, der Effekte und Effekträger und deren Gliederung sowie der Wirkstruktur aufgrund einer Aufgabenstellung und einer Anforderungsliste.

Kundenanforderung

Anforderungen mit direktem Bezug zum Kunden des Produktes.

Lösung

Erfüllt die gegebenen Anforderungen und wurde gegebenenfalls aus Lösungsalternativen ausgewählt.

Lösungsalternative

Unterscheidet sich von einer Lösungsidee dadurch, dass die grundsätzliche Eignung in Bezug auf die Anforderungen abgesichert ist, dass somit ein erster Prozess der Eigenschaftsanalyse und Bewertung durchlaufen wurde

ME-app

Softwareprogramm welches das methodische Vorgehen bei der Produktentwicklung unterstützt. Die Abkürzung ME steht für Methodisches Entwickeln.

Methode

Planmäßiges Vorgehen zum Erreichen eines bestimmten Ziels

Methodik

Planmäßiges Vorgehen unter Einschluss mehrerer Methoden, Hilfsmittel und Instrumente.

Modell

Gegenüber einem Original zweckorientiert vereinfachtes, gedankliches oder stoffliches Gebilde, das Analogien zu diesem Original aufweist und so bestimmte Rückschlüsse auf das Original zulässt.

Münchener Vorgehensmodell (MVM)

Vorgehensmodell der Produktentwicklung, das den Entwicklungsprozess als Prozess der Problemlösung beschreibt. Die grafische Darstellung des Vorgehensmodells wurde in Form eines Netzwerks realisiert, weil dadurch reale Prozesse mit ihrem sprunghaften Verlauf besser abgebildet werden können als durch lineare Darstellungen.

Operatives Vorgehen

Das operative Vorgehen beim Gestalten beschreibt im Unterschied zum strategischen Vorgehen das konkrete Vorgehen im Detail. Es verläuft anhängig von den Ergebnissen und Erkenntnissen der vorangegangenen Tätigkeiten kontext- bzw. situationsabhängig und hängt erheblich vom Know How des jeweiligen Unternehmens und den individuellen Erfahrungen und Qualifikationen der beteiligten Konstrukteure ab.

Physikalischer Effekt

Elementare physikalische Erscheinung, die als Gesetzmäßigkeit formuliert werden kann, wodurch sich physikalisches Geschehen voraussehbar beschreiben lässt. Die Beschreibung physikalischer Effekte erfolgt zumeist durch relevante physikalische Größen, die in einen formelmäßigen Zusammenhang gebracht werden können, sowie durch eine Skizze der Anordnung.

Prinzipielle Lösung

Darstellung der Lösungsprinzipien und deren Struktur

Produkt

Erzeugnis, das als Ergebnis des Entwickelns und Konstruierens hergestellt oder angewendet wird

Produktdokumentation

Gesamtheit der im Rahmen der Entwicklung und Konstruktion geschaffenen Unterlagen für Herstellung und Nutzung des Produkts.

Produktlebenszyklus

Umfasst den gesamten Zeitraum von der strategischen Produktplanung bis zur Außerbetriebnahme und Beseitigung des Produktes.

Prozess

Folge von Aktivitäten unter Nutzung von Information und Wissen sowie materiellen Ressourcen. Dabei werden Eingangsinformationen (Input) durch Aktivitäten zu Ausgangsinformationen (Output) verarbeitet.

Strategisches Vorgehen

Das strategische Vorgehen bei Gestalten beschreibt im Gegensatz zum operativen Vorgehen ein allgemein anwendbares, weitgehend brachen- und produktunabhängiges Vorgehen.

Teamarbeit

Zielgerichtete, projektbezogene Zusammenarbeit von Mitarbeitern, die zeitlich befristet und meist multidisziplinär angelegt ist.

TRIZ (Innovationsorientierte Methodik)

Methodik zur Unterstützung von Innovationsproblemen und zur Produktoptimierung

Vorgehensmodell

Beschreibung wichtiger Elemente einer Handlungsfolge für bestimmte Situationen oder Zielsetzungen. Die Formulierung erfolgt entweder im Sinne einer deskriptiven Beschreibung von Vorgehensmustern oder einer präskriptiven Vorgabe der Empfehlung von durchzuführenden Arbeitsschritten und ihrer zeitlichen Abfolge. Drei wesentliche Anwendungszwecke sind die Prozessplanung, die Prozessnavigation und die Prozessreflexion.

Werkzeug

Hilfsmittel, das die Anwendung von Methoden und die Generierung von Produktmodellen unterstützt. Beispiele für einfache Werkzeuge sind Formblätter, Checklisten und Konstruktionskataloge. Beispiele für komplexe Werkzeuge sind Softwareprogramme zur FEM-Simulation oder grafen- und matrizenbasierte Rechnerprogramme zur Analyse und Optimierung komplexer Strukturen.

Wirkfläche

Fläche eines Körpers, eines Teiles eines Produkts, an dem eine Wirkung erfolgt.

Wirkgeometrie

Teil eines Wirkmodells. Umfasst diejenigen Flächen und Körper sowie deren geometrische und kinematischen Beziehungen untereinander, die für die Funktion beziehungsweise den Systemzweck relevant sind.

Wirkprinzip

Grundsatz, nach dem eine Wirkung erfolgt.

Wirkstruktur

Anordnung und Verknüpfung mehrerer Wirkprinzipien.

Tabelle 57: Beispiel einer Checkliste [RB]

Kriterien	Übereinstimmung mit den Kriterien
Allgemeine Kriterien	
Ist die Idee legal?	
Welche Auswirkungen hat sie auf die Umwelt?	
Ist sie sicher?	
Hat sie eine hohe Qualität?	
Wird sie eine breite soziale Anerkennung finden?	
Wird sie einen negativen Effekt haben?	
Industrielle Kriterien	
Wer ist Ihre Konkurrenz?	
Benötigt Ihre Idee Unterstützung durch schon bestehende Produkte?	
Gibt es nur ein Produkt oder eine ganze Produktreihe?	
Wird der Preis wettbewerbsfähig sein?	
Marktkriterien	
Passt die Idee in einen Trend?	
Gibt es einen Bedarf dafür?	
Ist sie saisonabhängig?	
Ist es eine Modewelle, oder hat sie langfristigen Wert?	
Wer wird es kaufen?	
Braucht sie eine Anleitung?	
Produktkriterien	
Wieviel wird es kosten, die Idee auf den Markt zu bringen?	
Braucht sie Service und Wartung?	
Gibt es Garantie?	
Braucht sie eine Verpackung?	
Ist sie so einfach und attraktiv wie möglich?	

Tabelle 59: Vollständige Anforderungsliste des Projektes Reibungsprüfstand

Anforderungsliste für Projekt Reibungsprüfstand					
Ersteller: BG Blatt: 1			Name: Reib-Prüfstand Nr: 815 Erstellungs-Datum: 28.09.2013 Änderungs-Datum: 12.01.2014		
Nr.	Benennung	Wert und Dimension	Typ	Verantwortlich	Bemerkung
1	Haft- und Gleitreibungskoeffizienten ermitteln		f	Konstruktion	
2	marktübliche Kisten unterschiedlichster Größen prüfen	max. Abmaße 800 x 600 x 420 mm	f	Konstruktion	
3	Messgeschwindigkeiten	bis zu 0,3 m/s und 1,5 m/s ²	f	Konstruktion	
4	Um reale Bedingungen testen	Behälter bis 50 kg	w	Konstruktion	
5	Es sollen verschiedene Reibpaarungen geprüft werden können.		f	Konstruktion	
6	Prüfstand muss mobil ausgeführt sein		w	Konstruktion	
7	Der Prüfrahm soll auf Tischen montierbar sein		w	Konstruktion	
Anforderungen an die Prüfstandssteuerung					
8	Durch Betätigen des Startknopfes wird abgelegtes Fahrprofil abgearbeitet		f	Konstruktion	
9	mehrere Messzyklen durchführen können		f	Konstruktion	
10	Die Wartezeit zwischen den Messzyklen einstellbar		f	Konstruktion	
11	Prüfstandsgeschwindigkeit und Beschleunigung veränderbar		f	Konstruktion	
12	Die Prüfweglänge muss eingegeben werden können		f	Konstruktion	
13	Stoppbutton sowie ein Notauschalter müssen vorhanden sein		f	Konstruktion	
14	Endschalter vorsehen		f	Konstruktion	
15	Bei Fehler muss Prüfstand wieder in die Ausgangslage zu bringen sein		f	Konstruktion	
Anforderungen an die Messtechnik					
<i>Messtechnik</i>					
16	vorhandene Komponenten berücksichtigen		w	Konstruktion	
17	Verwendung von 2 Kraftmessdosen vorsehen		w	Konstruktion	
18	Geschwindigkeit und Motormoment gemessen und aufzeichnen		w	Konstruktion	
19	nur die relevanten Werte aufzeichnen (Trigger verwenden)		f	Konstruktion	
20	Echtzeit-Diagrammdarstellung implementieren		w	Konstruktion	
21	Ein Filtern des Eingangssignals soll zur schöneren Darstellung erfolgen.		w	Konstruktion	
<i>Benutzerschnittstelle (Input/Output)</i>					
22	Messwertaufnahme der Kraft, der Geschwindigkeit und des Momentes		f	Konstruktion	
23	Die Daten der Prüflinge sollen eingegeben werden können		w	Konstruktion	
24	Die Eingabe der Parameter für den jeweiligen Prüfzyklus soll möglich sein		w	Konstruktion	
25	Erstellen einer Ausgabedatei mit den jeweiligen Messwerten		f	Konstruktion	
26	Eine Erstellung von Messreihen (Faktorenpläne) soll ermöglicht werden		w	Konstruktion	
27	Notausfunktionen mittels Notataster müssen vorhanden sein		f	Konstruktion	
<i>Bedienung</i>					
28	Das Programm muss einfach zu bedienen sein.		w	Konstruktion	
29	Für die Bedienung der Funktionen soll ein Menü vorhanden sein.		w	Konstruktion	
30	Bei Bedarf muss eine programmatische Erweiterung des Programms bestehen.		f	Konstruktion	
31	Eingabemasken für verschiedene Funktionen vorsehen		w	Konstruktion	
32	Das Programm soll eine Fehlerbehandlungsroutine (Errorhandler) aufweisen.		w	Konstruktion	
33	Ein Fehler soll durch optische/akustische Fehlermeldungen erkennbar sein.		w	Konstruktion	
34	Das Programm soll kompatibel zu anderer Software sein, zum Beispiel MS Excel.		w	Konstruktion	
<i>Auswertung</i>					
35	Eine Darstellung der Messwerte als Diagramm soll erfolgen.		w	Konstruktion	
36	Überlagern mehrerer Messdiagramme soll möglich sein		w	Konstruktion	
37	Möglichkeit einer Normierung der überlagerten Messdiagramme soll bestehen.		w	Konstruktion	
38	Gleit- und Haftreibungskoeffiz. der Messungen müssen ermittelbar sein.		f	Konstruktion	
39	Eine Mittelung der jeweiligen Koeffizienten soll möglich sein.		w	Konstruktion	
40	Ermittlung von Unterschieden bezüglich der versch. Parameter und Messserien		w	Konstruktion	
41	Eine statistische Analyse der Messdaten muss ermöglicht werden.		f	Konstruktion	

Tabelle 60: Formblatt Ähnlichkeitsanalyse [MEP14]

		Formblatt Ähnlichkeitsanalyse																					
		1	2	3	ProduktD	ProduktE	ProduktF	ProduktG	ProduktH	ProduktI	ProduktJ	ProduktK	ProduktL	ProduktM	ProduktN	ProduktO	ProduktP	ProduktQ	ProduktR	m-1	m		
Nr.	Benennung	ProduktA	ProduktB	ProduktC	ProduktD	ProduktE	ProduktF	ProduktG	ProduktH	ProduktI	ProduktJ	ProduktK	ProduktL	ProduktM	ProduktN	ProduktO	ProduktP	ProduktQ	ProduktR	ProduktS			
1	Abmaße - Länge [cm]																						
2	Abmaße - Breite [cm]																						
3	Abmaße - Höhe [cm]																						
	Gewicht [g]																						
	Funktion - A [ja, nein]																						
	Funktion - B [ja, nein]																						
	Funktion - C [ja, nein]																						
	Funktion - D [ja, nein]																						
n-1	Farbe [Wertliste]																						
n	Oberfläche [Wertliste]																						
	Charakterisierende Kriterien																						

Tabelle 61: Formblatt Methode 635

Methode 6-3-5			
Projekt: _____ Thema/Problem: _____ Zielsetzung: _____ Verantwortlicher: _____ Datum: <u>11.01.2014</u>			
Person:	Idee 1	Idee 2	Idee 3
A			
B			
C			
D			
E			
F			

Tabelle 63: SWOT-Analyse [MEP14]

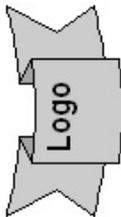
 <p>Logo</p>	<p>SWOT - Analyse www.hochleistungsorganisation.com</p>					
	<p>Stärken (Strengths)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1.</td></tr> <tr><td>2.</td></tr> <tr><td>3.</td></tr> <tr><td>4.</td></tr> <tr><td>5.</td></tr> </table>	1.	2.	3.	4.	5.
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
	<p>Schwächen (Weaknesses)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1.</td></tr> <tr><td>2.</td></tr> <tr><td>3.</td></tr> <tr><td>4.</td></tr> <tr><td>5.</td></tr> </table>	1.	2.	3.	4.	5.
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
	<p>Chancen (Opportunities)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1.</td></tr> <tr><td>2.</td></tr> <tr><td>3.</td></tr> <tr><td>4.</td></tr> <tr><td>5.</td></tr> </table>	1.	2.	3.	4.	5.
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
	<p>Risiken (Threats)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1.</td></tr> <tr><td>2.</td></tr> <tr><td>3.</td></tr> <tr><td>4.</td></tr> <tr><td>5.</td></tr> </table>	1.	2.	3.	4.	5.
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
Externe Analyse						
	<p>S-O-Strategien</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table>					
	<p>W-O-Strategien</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table>					
	<p>S-T-Strategien</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table>					
	<p>W-T-Strategien</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table>					
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>„Ist unsere gegenwärtige Strategie geeignet und ausreichend, um auf die zu erwartenden Veränderungen zu reagieren? „Um Chancen zu nutzen oder Risiken zu minimieren – welche Stärken müssen wir ausbauen und an welchen Schwächen müssen wir arbeiten? „Passen unsere bisherigen Stärken und Kernkompetenzen noch in die Welt von morgen? „Können heutige Stärken morgen zu Schwächen werden, wenn wir sie nicht weiterentwickeln?“</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>„Wie können wir im Hinblick auf die Chancen am besten unsere Stärken ausnutzen? „Wie können wir auf Basis unserer spezifischen Kompetenzen auf externe Veränderungen besser reagieren als der Wettbewerb? „Was speziell können wir besser? „Lassen sich daraus neue Kernkompetenzen / Geschäftsfelder / Serviceangebote ableiten?“</p> </div>					

Tabelle 64: Beispiel einer Funktionsmodellierung [MEP14]

Funktion	Kennzahl	Granzwert	Toleranz	IST-Wert	Grad der Funktionserfüllung
Rad beschleunigen	Beschleunigungsvermögen	$X_1 \text{ m/s}^2$	$-Y_1 \text{ m/s}^2$	$Z_1 \text{ m/s}^2$	erfüllt
Rad gleichförmig bewegen	Kraftübertragung Wirkungsgrad	X_2	$-Y_2$	Z_2	erfüllt
Richtung ändern	Änderungswinkel der Fahrtrichtung - bei der Fahrt				
	- im Stand	$X_{31} \text{ Grad}$	$-Y_{31} \text{ Grad}$	$Z_{31} \text{ Grad}$	erfüllt
	neg. Beschleunigungsvermögen	$X_{32} \text{ Grad}$	$-Y_{32} \text{ Grad}$	$Z_{32} \text{ Grad}$	erfüllt
Geschwindigkeit reduzieren		$X_4 \text{ m/s}^2$	$-Y_4 \text{ m/s}^2$	$Z_4 \text{ m/s}^2$	erfüllt
Sitz ermöglichen (Sattel)	Sitz vorhanden?	ja	-	ja	erfüllt
Sitz erhöhen (Rahmen)	Höhenverstellbar?	ja	-	ja	erfüllt
Umgebung beleuchten	Lichtmenge in 10 m Entfernung	$X_7 \text{ Lux}$	$-Y_7 \text{ Lux}$	$Z_7 \text{ Lux}$	erfüllt
"Gesehen werden" gewährleisten	Reflektoren vorhanden?	ja	-	ja	erfüllt
	Lichtmenge direkt am Rad?	$X_8 \text{ Lux}$	$-Y_8 \text{ Lux}$	$Z_8 \text{ Lux}$	erfüllt
Gepäck transportieren	Aufnahmeverrichtung vorhanden?	ja	-	ja	erfüllt
Eigenständigkeit gewährleisten	Anzahl Auflagepunkte	4	-1	3	erfüllt
Bodenebenenheiten ausgleichen	Dämpfungsfaktor	X_{11}	$-Y_{11}$	Z_{11}	untererfüllt
Gewicht gering halten	Gewicht des Fahrradestes	$X_{12} \text{ kg}$	$+Y_{12} \text{ kg}$	$Z_{12} \text{ kg}$	untererfüllt
Energieverluste gering halten	Reibungskoeffizient	$X_{16} \text{ N}$	$+Y_{16} \text{ N}$	$Z_{16} \text{ N}$	untererfüllt
ansprechendes Äußeres realisieren	Gestaltungsrichtlinien eingehalten	ja	-	ja	erfüllt
Oberflächen veredeln	Beschichtung	ja	-	nein	untererfüllt