

2 Stand der Wissenschaft

Die Ausarbeitung des Stands der Wissenschaft erfolgt ausgehend von unterschiedlichen Produktentstehungsprozessen (PEP) in Theorie und Praxis sowie bekannten Werkzeugen und Hilfsmitteln beim damit verbundenen methodischen Vorgehen. Ein besonderes Augenmerk wird auf die Themengebiete Fahrzeugkonzeption und Anforderungsmanagement gelegt. Neben dem Vorgehen beim Fahrzeugkonzept-Entwurf wird die Bedeutung der frühen Konzeptphase für die vorliegende Arbeit herausgestellt. Die damit verbundene Anforderungsklä rung erfordert eine differenzierte Betrachtung der Begriffe *Anforderung* und *Eigenschaft*. Diese werden nach einer allgemeinen Erläuterung auf den Bereich Fahrzeugentwicklung angewendet. In einem abschließenden Fazit erfolgen die Diskussion der dargestellten Literatur sowie die Ableitung von Folgerungen für die Arbeit.

2.1 Produktentstehungsprozesse und Entwurfsmethoden

Im Maschinenbau hat das methodische Vorgehen bei der Entwicklung neuer Produkte eine lange Tradition. Die Anfänge des eigentlichen strukturierten methodischen Konstruierens sind nach (Pahl et al. 2007, S. 13) zurückzuführen auf Wögerbauer (Wögerbauer 1942), der sich in den 1940er-Jahren mit der Klärung der Aufgabenstellung, der Zerlegung der Gesamtaufgabe in Teilaufgaben und dem Einschränken der erhaltenen Lösungsvielfalt befasste. Mit den Richtlinien des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) 2222 (VDI 2222) für Einzelmethoden und der VDI-Richtlinie 2221 (VDI 2221) für ein generelles Vorgehen erweiterten sich die Konstruktionsmethodiken hin zu ganzheitlichen Ansätzen für eine branchenübergreifende Produktentwicklung, vgl. (Pahl et al. 2007, S. 21).

Unter dem Begriff Methode wird im Allgemeinen das „planmäßige Vorgehen zum Erreichen eines bestimmten Ziels“ (VDI 2223, S. 88) verstanden und darauf aufbauend beschreibt Methodik den Zusammenschluss mehrerer Methoden, Arbeitsmittel und Instrumente (VDI 2223, S. 88). Beide Begriffe werden in der Literatur vielfach synonym verwendet. Im Zusammenhang mit der Entwicklung einer Methode beziehungsweise Methodik werden vorwiegend Prozesse analysiert und formuliert, die grundsätzliche Vorgehensweisen und Ablaufmodelle darstellen.

2.1.1 Produktentstehungsprozesse

Eine grundlegende Voraussetzung für eine effektive, zielbewusste und erfolgreiche Produktentwicklung stellen Produktentstehungs- beziehungsweise Produktentwicklungsprozesse (PEP) dar (Müller 2007, S. 17). Sie sind größtenteils standardisiert und beschreiben Arbeitsinhalte und -abläufe von der Idee eines Produkts – in der Regel Serienprodukte – bis zu dessen Serienherstellung (Gusig und Kruse 2010, S. 17). Das zumeist iterative Durchlaufen dieser interdisziplinären Vorgehensmodelle kann z. B. durch die Festlegung von Meilensteinen strukturiert werden.

Trotz der Vielfalt unterschiedlicher Produktentstehungsprozesse ist jeder ein Unikat, vgl. (Albers 2010, S. 49), (Stechert 2010, S. 7). Dieses Unikum ist nicht nur abhängig von den man-

nigfachen Herausforderungen und den weiten Einsatzmöglichkeiten in unterschiedlichen Fachgebieten, sondern auch firmenindividuell zu begründen. So hat jedes Unternehmen einen spezifischen Produktentstehungsprozess, angepasst auf ein spezielles Produkt.

Der allgemeine PEP zeigt sich dabei als nicht zeitstabiler Prozess, der je nach Informationen, Technologien etc. immer wieder angepasst, optimiert und erweitert beziehungsweise verkürzt wird. Nur durch die Parallelisierung von Prozessen und die integrierte, interdisziplinäre Produktentwicklung ist es möglich, die organisatorischen, methodischen und technischen Maßnahmen in zusammengehörigen Tätigkeiten umzusetzen, vgl. (Müller 2007, S. 15). Bei der Produktentwicklung in interdisziplinären Teams spielt das Simultaneous Engineering, d.h. die zielgerichtete, abteilungsübergreifende Zusammen- und Parallelarbeit von Produkt-, Produktions- und Vertriebsentwicklung (Ehrlenspiel und Meerkamm 2013, S. 227) eine große Rolle. Hierdurch ist es möglich, die Einzelschritte des Entwurfsprozesses zu Arbeitspaketen zu verknüpfen, sodass der Gesamtablauf optimiert durchgeführt werden kann (Bisinger 2001, S. 104).

Als Unterstützung des Entwicklers in der Praxis werden verschiedene Arten von Produktentstehungsprozessen eingesetzt, von denen eine Vielzahl auf phasenorientierte und gateorientierte Prozesse zurückzuführen ist. Ein phasenorientiertes Vorgehen basiert auf linear sequentiellen Modellen, bei denen von einer Analyse von Wissen durch Forschung und Entwicklung ausgegangen wird (Brockhoff 1999). Die Übergänge einzelner Phasen zunehmender Konkretisierung schließen mit Entscheidungsphasen und dem dort stattfindenden Abgleich der erarbeiteten Ergebnisse mit der zuvor festgelegten Zielsetzung ab (Cooper 2000, S. 8). Aufgrund der Verschiedenartigkeit der zu entwickelnden Produkte können Entwicklungsphasen auch mehrmals durchlaufen (Iterationen) oder übersprungen werden, siehe Abbildung 3a. Ein Beispiel für einen phasenorientierten Entwicklungsplan stellt die VDI-Richtlinie 2221 dar, die in Kapitel 2.1.2 näher betrachtet wird.

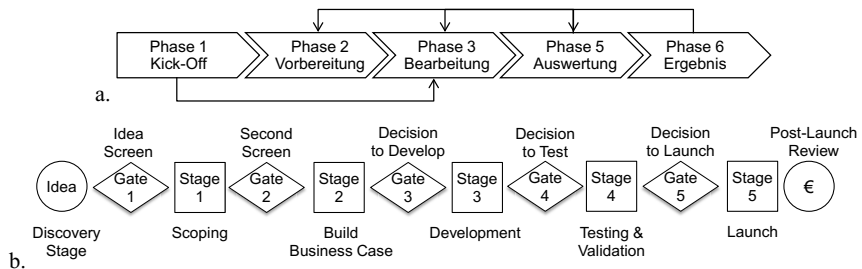


Abbildung 3: Beispielhafte Darstellung eines a. phasenorientierten Prozesses und eines b. gateorientierten Prozesses (Stage-Gate-Prozess nach (Cooper 2000, S. 7)).

Gateorientierte Modelle hingegen werden aus empirischen Untersuchungen und praktischen Erfahrungen entwickelt und bestehen aus parallel ablaufenden Aktivitäten mit zugeordneten Entscheidungspunkten, vgl. (Cooper 2000, S. 8). Stage-Gate-Prozesse stellen einen konzeptionellen und funktionsfähigen Ablaufplan für die Produktentwicklung von der Idee bis zur Markteinführung dar, vgl. (Cooper 2000, S. 7), siehe Abbildung 3b. Die Phasen (Stage) bestehen aus einem Satz festgelegter, funktionsübergreifender und parallel durchführbarer Tätigkeiten, die jeweils zu Beginn durch ein Gate als Qualitätskontrolle beziehungsweise Entscheidungszeitpunkt (Go-/Kill-Entscheidung) untermauert und abgesichert werden. In der

Automobilindustrie finden gateorientierte Prozesse weitreichende Anwendung. Eine Analyse und einen Vergleich von Fahrzeugentwicklungsprozessen zeigt z. B. (Bisinger 2001, S. 15–21).

Abgesehen von den allgemeinen Vorgehensmodellen für eine effiziente und effektive Produktentwicklung ist zu beachten, dass nur ein der jeweiligen Problemlage flexibel angepasstes Vorgehen zum Erfolg führt (Pahl 1999, S. 16).

2.1.2 Gängige Konstruktionsmethoden und Produktentstehungsprozesse

Die Konstruktionsmethodik wird nach (Pahl et al. 2007, S. 10) als „ein geplantes Vorgehen mit konkreten Handlungsanweisungen zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme“ beschrieben. Hierzu gehören unterschiedliche Methoden, Grundprinzipien und Arbeitstechniken, die durch konventionelle oder rechnerbasierte Konstruktionswerkzeuge (z. B. Zeichenbrett, CAD-Systeme) unterstützt werden, vgl. (Abramovici und Meimann 2010, S. 65), (Pahl et al. 2007, S. 10). Methoden dienen der Strukturierung des Konstruktions- und Konzeptionsprozesses eines Produkts und helfen dem Konstrukteur beim effizienten und systematischen Arbeiten. Sie sind daher „Hilfsmittel zur besseren Handhabung komplexer Sachverhalte“ (Lindemann 2009a, S. 57).

In der Literatur existiert eine Vielzahl etablierter Konstruktionsmethoden und Produktentstehungsprozesse (vgl. Übersichtstabelle aus (Pahl et al. 2007, S. 23–28)). Einige bekannte Vorgehensweisen sind:

- Methodisches Konzipieren nach Pahl und Beitz (Pahl et al. 2013),
- Münchner Vorgehensmodell nach Lindemann (Lindemann 2009a, S. 31–42),
- Vorgehenszyklus nach Ehrlenspiel (Ehrlenspiel und Meerkamm 2013, S. 92),
- VDI-Richtlinien 2221 (VDI 2221), 2222 (VDI 2222) und 2223 (VDI 2223).

Diese Vorgehensmodelle arbeiten zwar teilweise mit unterschiedlichen Begriffen und Definitionen, zeigen ihre Gemeinsamkeiten aber in ähnlichen Ablaufstrukturen (Kuchenbuch 2012, S. 21). Allgemein sind vier Konstruktionsphasen und die sich daraus ergebenden Ergebnisse zu unterscheiden (Suhm 1993, S. 11–12), (Müller 2007, S. 17–18), (Pahl et al. 2007), (Grote und Feldhusen 2014, S. F11), siehe Tabelle 1.

Tabelle 1: Allgemeine Konstruktionsphasen (vgl. (Pahl et al. 2007, S. 194–198)).

Konstruktionsphase	Ziel der Phase	Ergebnis der Phase
Klären der Aufgabenstellung	Informative Feststellung	Anforderungsliste, Zieldefinition
Konzipieren	Prinzipielle Feststellung	Konzepterstellung, prinzipielle Lösung
Entwerfen	Gestalterische Festlegung	Optimierter Gesamtentwurf
Ausarbeiten	Herstellungstechnische Festlegung	Fertigungsunterlagen

Repräsentativ für einige der gängigen Konstruktionsmethoden wird die VDI-Richtlinie 2221 näher vorgestellt. Durch die Mitarbeit fachkundiger Autoren aus Forschung, Lehre und Praxis (VDI 2221), (Pahl et al. 2007, S. 28) wird die VDI-Richtlinie 2221 als ein allgemein anerkanntes und produkt- und branchenunabhängiges Ablaufmodell angesehen. Sie beschreibt zwar ein lineares Vorgehen, doch können die vier Phasen und sieben Arbeitsschritte auch wiederholt iterativ durchlaufen beziehungsweise übersprungen werden, siehe Abbildung 4.

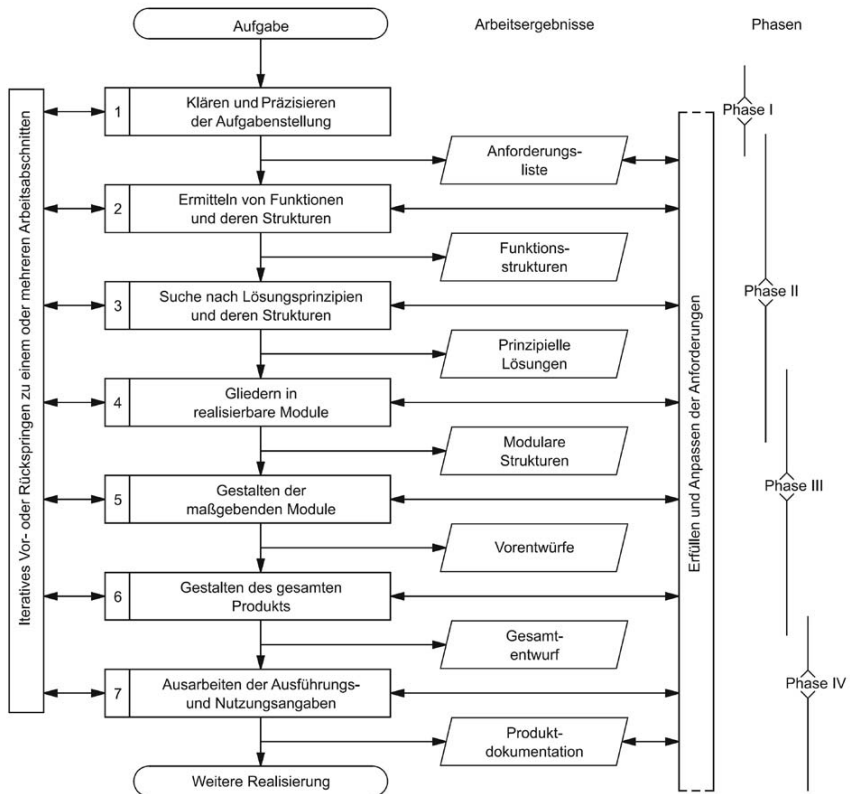


Abbildung 4: Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren (VDI 2221, S. 9).

Die vier Phasen stellen sich nach (VDI 2221, S. 9–11) folgendermaßen dar: In der ersten Phase erfolgt die Aufgabenklärung und -präzisierung, bei der Informationen und Anforderungen aufgenommen, überprüft und wenn nötig ergänzt werden. Durch das Schließen möglicher Informationslücken kann eine konsistente und strukturierte Aufgabenstellung formuliert werden. Als Ergebnis dieser Phase und als grundlegendes Dokument für die weiteren Phasen wird aus den Anforderungen von Kunden und Unternehmen eine Anforderungsliste abgeleitet. Infolge der meist iterativen Arbeitsweise bei der Produktentwicklung muss die Anforderungsliste

te durch Änderung bestehender oder Hinzukommen neuer Anforderungen jederzeit angepasst und auf dem aktuellen Stand gehalten werden.

Die zweite Phase umfasst zum einen die Funktionsermittlung (Gesamt- und Teilfunktionen) und deren Gliederung zur Ableitung von Funktionsstrukturen mit dem Ziel der Lösungssuche. Zum anderen werden, für die in Modulen angeordneten Funktionen, Lösungsprinzipien ausgewählt, die generelle Lösungen für das Konzipieren des Produkts darstellen.

Grundlage der dritten Phase ist die Einteilung der Lösungen in realisierbare Module, die mittels Konkretisierungsmaßnahmen zu Vorentwürfen abgeleitet werden. Nach diesem Grobgestalten erfolgt durch weitere Detailangaben die Ausführung zu einem Gesamtentwurf.

Die vierte Phase greift den detaillierten Gesamtentwurf auf und ermöglicht mittels weiterer, konkreter Vorgaben und Festlegungen die Ausarbeitung einer Produktdokumentation und die damit verbundene endgültige Ausgestaltung des Produkts.

Generell ist die VDI-Richtlinie 2221 theoretisch und eher abstrakt gefasst, wodurch eine allgemeine Anwendung in unterschiedlichen Bereichen gewährleistet wird. Sie trägt dadurch nicht hinreichend zur Abbildung des realen Konstruktionsprozesses mit seinen detaillierteren Arbeitsschritten in einem speziellen Fall, z. B. dem Fahrzeugentwurf, bei, vgl. (Franke 1999, S. 15). Weiterhin bleiben Aspekte der Teambildung sowie der Projektorganisation noch unberücksichtigt.

Die Problematik global ausgerichteter methodischer Vorgehen liegt in einer idealen, meist starren Beschreibung der Modelle mit dem Schwerpunkt auf mechanischen Produkten. Dadurch finden sie in der heutigen Praxis, in der konkrete, produktbezogene und flexible Ablaufprozesse benötigt werden, nur noch selten Anwendung (Abramovici und Meimann 2010, S. 67). Der Einsatz der Konstruktionsmethodik zur Beherrschung komplexer werdender Produkte und Prozesse bleibt sinnvoll, gerade aufgrund des Wandels von rein systemtheoretischen hin zu denkpsychologisch, empirisch und managementorientierten Lösungsansätzen (Abramovici und Meimann 2010, S. 65–66). Pahl schließt dabei einen „Königsweg“ (Pahl 1999, S. 11) als allgemeingültiges, ideales Vorgehen bei der Produktentwicklung aus. Aufgrund der Vielzahl und Unterschiedlichkeit der Einflussparameter, zu denen nicht zuletzt der Mensch gehört, kann es keine völlige Übereinstimmung der Situationen und Prozesse geben (Lindemann 2009b, S. 37). Es besteht daher die Forderung nach einem anpassungsfähigen, methodischen Vorgehen, das sich an den klassischen Vorgehensplänen orientiert, jedoch individuell und situationsabhängig arbeitet (Fricke 1993, S. 100).

2.1.3 *Werkzeuge und Hilfsmittel in der Konstruktionsmethodik*

Unter Werkzeugen und Hilfsmitteln sind Methoden und meist rechnerbasierte (z. B. Excel-, CAD-basierte etc.) Programme, sogenannte Tools, zu verstehen, die dem Entwickler als Arbeitsunterstützung dienen. Es gibt eine Vielzahl methodischer Werkzeuge und Hilfsmittel in der Konstruktionstechnik, die bei Planung, Entwicklung und Beurteilung von Produkten zum Einsatz kommen. Aufgrund der Vielseitigkeit einzelner Werkzeuge lassen sich diese nicht bedingungslos einer Phase in der Produktentwicklung zuordnen, sondern werden vielmehr individuell, entsprechend des Produktkonkretisierungsgrads eingesetzt, vgl. (Pahl et al. 2007, S. 93). Eine beispielhafte Phasen-Zuordnung einiger bekannter Hilfsmittel zeigt Abbildung 5.

Die Planungsphase dient als Grundlage für die Entwicklung eines Produkts, indem gestellte Anforderungen analysiert und verarbeitet sowie die Situation des Unternehmens durchleucht-

tet werden. Aus der Positionierung von Produkten des Unternehmens anhand der Technologie- und Marktsituation können beispielsweise in der Portfolio-Matrix entsprechend Handlungsempfehlungen abgeleitet werden, vgl. (Pahl et al. 2007, S. 106–110).

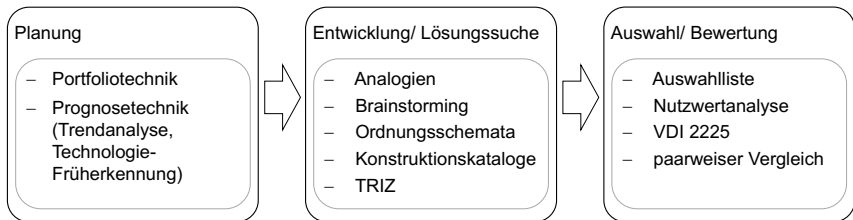


Abbildung 5: Beispielhafte Auswahl an Hilfsmitteln bei der Produktentstehung (vgl. (Pahl et al. 2007, S. 93–182)).

In der Phase der Entwicklung wird aufbauend auf den zuvor erarbeiteten Anforderungen an das Produkt durch geeignete Methoden ein Lösungsraum aufgespannt, der es dem Konstrukteur ermöglicht, für Teil- und Gesamtfunktionen geeignete Lösungen zu finden. Zu den konventionellen Ansätzen zählt beispielsweise die Analogiebetrachtung, die zur Lösungssuche ein Problem auf ein analoges System überträgt. Um die Intuition zu fördern und durch Gedankenassoziationen neue Lösungswege zu erschließen kommen Methoden (z. B. Brainstorming, Synektik) zum Einsatz, die gruppendynamische Aspekte nutzen, vgl. (Pahl et al. 2007, S. 127). Ordnungsschemata helfen beim Erkennen von Merkmalsverknüpfungen. Hierzu werden Parameter in einer Matrix einander gegenübergestellt. Ein bekannter Vertreter eines solchen Lösungskatalogs ist der morphologische Kasten. Konstruktionskataloge zeigen „eine Sammlung bekannter und bewährter Lösungen für bestimmte konstruktive Aufgaben oder Teilfunktionen“ (Pahl et al. 2007, S. 150). Sie eignen sich wie die Ordnungsschemata zur Erstellung einer Gesamtlösung durch Kombination von Teillösungen basierend auf abgelegtem technischem Wissen.

Die Entwicklung einer Lösung für ein vorgegebenes Problem kann zu mehreren Ergebnisalternativen führen, sodass mit Hilfe von Auswahl- und Bewertungsmethoden die geeignetste Gesamtlösung auszusuchen ist. Um die vorhandene Lösungsvielfalt einzuschränken, werden in einer Auswahlliste die Alternativen hinsichtlich verschiedener Kriterien beurteilt, ungeeignete Resultate aussortiert und aus den verbleibenden durch Favorisieren besser erscheinende Lösungen näher betrachtet, vgl. (Pahl et al. 2007, S. 162). Durch einen paarweisen Vergleich kann eine Grobbewertung durchgeführt werden. Ein präziseres Vorgehen stellt die Nutzwertanalyse dar, bei der auf Grundlage von (Mindest-) Anforderungen, Wünschen und technischen Eigenschaften Ziele und Bewertungskriterien abzuleiten sind. Mittels zugeordneter Gewichtungsfaktoren erfolgt die Bestimmung des Gesamtwerts einer Lösungsvariante, womit ein Vergleich zwischen den einzelnen Alternativen möglich ist (Pahl et al. 2007, S. 180–181).

Eine weitere Bewertungsmöglichkeit sind Kennzahlen. Sie dienen insbesondere zum relativen Vergleich von Lösungsalternativen und ermöglichen eine direkte Einschätzung von Optimierungsbemühungen (Pahl et al. 2007, S. 274).

Für einen sicheren Umgang mit komplexen Sachverhalten kommen Methoden zum Einsatz. Sie tragen durch Verbesserung der Abstimmung von Abläufen sowie der Handhabung und Dokumentation von Wissen zur Minimierung von Risiken innerhalb der Produktentwicklung bei und unterstützen dadurch Entscheidungsvorgänge während der Entwicklung, vgl. (Linde-

mann 2009a, S. 57). Generell sind Methoden aber kein Allheilmittel für jegliche Probleme im Entwicklungsprozess (Lindemann 2009a, S. 57). Keine Methode kann alle Eventualitäten alleine und optimal erfüllen, daher ist der zielgerichtete Einsatz situationsangepasster Einzelmethode entscheidend, die konkrete Arbeitsschritte innerhalb der bekannten Vorgehensmodelle (siehe Kapitel 2.1.2) unterstützen, vgl. (Pahl 1999, S. 16), (VDI 2221, S. 32). Die Unterschiedlichkeit von Produkten erfordert des Weiteren produkt- und branchenspezifisches Wissen und entsprechende Methoden, um eine zielgerichtete Entwicklung und somit eine schnelle Lösung zu erzielen (Pahl 1999, S. 15–17).

Entgegen der genannten und weiteren Vorteile identifiziert Jänsch in (Jänsch 2007, S. 53) eine Akzeptanzproblematik bei der Anwendung von Konstruktionsmethoden in der Praxis. Sie sieht daher zu behebende Defizite unter anderem in dem hohen Anpassungsbedarf, der wenig benutzerorientierten Darstellung, den mäßigen Maßnahmen für eine flexible Methodenanwendung sowie der geringen praxisnahen Bedarfsdeckung von Konstruktionsmethoden. Für den Praxiseinsatz werden daher einfach lernbare, schnell und wirkungsvoll einsetzbare Methoden gefordert (Ehrlenspiel und Meerkamm 2013, S. 13).

2.2 Fahrzeugentwicklung und Fahrzeugkonzeption

Der technologische und wirtschaftliche Wandel der letzten Jahre stellt auch die Fahrzeugentwicklung vor eine Herausforderung. Nicht nur deutliche Forderungen nach Kostensenkung und Reduzierung von Entwicklungs- und Produktionszeiten, auch steigende Vielfalt von Kundenwünschen und das Bedürfnis nach individuelleren Produkten führen zu einer gestiegenen Variantenvielfalt und erhöhten Komplexität des Produkts Automobil, siehe Abbildung 6. Somit nimmt zugleich auch die Bedeutung der Fahrzeugentwicklung zu, vgl. (Gühl 2003, S. 4).

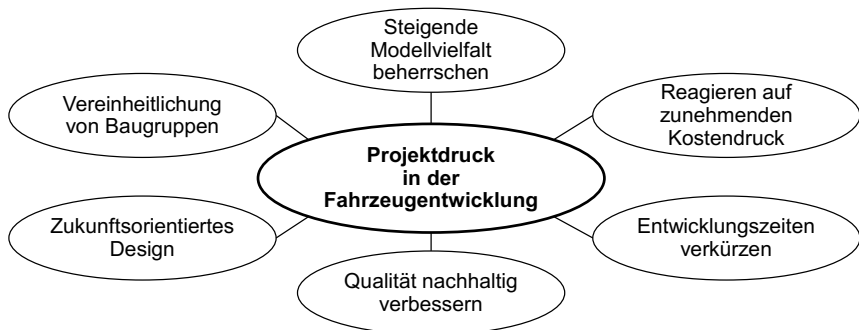


Abbildung 6: Veränderungsimpulse für die Fahrzeugentwicklung (vgl. (Gusig und Kruse 2010, S. 26)).

Braess befasst sich bereits seit mehr als 40 Jahren mit der Fahrzeugkonzeption. Als wesentliche Schritte hierbei nennt er: Festlegung eines Fahrzeug-Zielsystems, Definition der Marktposition, Aufstellen eines technischen Grundkonzepts mit Hauptmaßen und Anordnung der wesentlichen Baugruppen, Konstruktion und Berechnung sowie eine abschließende Beurteilung und Freigabe (Braess 1975, S. 8–9).

Die Beschäftigung mit den Themen frühe Phase und Fahrzeugkonzeption im Forschungs- bereich führt gerade in Hinblick auf die Abgrenzung zur Serienentwicklung zu der Auseinander- setzung mit den in Tabelle 2 dargestellten zentralen Zielkonflikten.

Tabelle 2: Zielkonflikte bei der Konzeption von (Forschungs-) Fahrzeugen.

Frühe Phase	Serienentwicklung
Grobkonzept	Ausgereiftheit
Flexibilität	Standardisierung
Vision	Umsetzung

Diese Diskrepanz zielt auf die zentrale Betrachtung der Problemstellung ab, wie abstrakt oder detailliert und in welchem zahlenmäßigen Umfang Vorgaben an ein Fahrzeugkonzept bei Entwicklungs- beziehungsweise Konzeptionsbeginn vorliegen sollten. Die nachfolgenden Kapitel sollen Ansätze zur Aufklärung liefern.

2.2.1 Vorgehen bei der Fahrzeugkonzeption

Die Entwicklung eines Gesamtfahrzeug-Konzepts ist eine ganzheitliche Aufgabe, an der unterschiedliche Fachbereiche beteiligt sind, vgl. (Rasenack 1998, S. 8), (Gusig und Kruse 2010, S. 27), (Hahn et al. 2013, S. 24). In einem meist iterativen Prozess (Hamm 1992, S. 7), (Seiffert und Gotthard 2008, S. 29), (Rasenack 1998, S. 1), (Prinz 2011, S. 57), werden die Ergebnisse zusammengetragen und zu schlüssigen Lösungen – im Sinne eines konsistenten Gesamtentwurfs (Rasenack 1998, S. 8) – verbunden. Dieser Prozess umfasst die Arbeitsabläufe Entwerfen, Testen, Evaluieren und Anpassen (Weber 2009, S. 89).

Ein Fahrzeug-Konzept kann eine Abwandlung gegenwärtiger Serienfahrzeuge (Derivat, Nachfolgemodell) bis hin zu gänzlich neuartigen, unkonventionellen Fahrzeugkonzepten darstellen (Hahn et al. 2012, S. 447). Es beinhaltet eine übergeordnete konzeptionelle Zusammenfassung aller Komponenten und Eigenschaften, die den Charakter eines Fahrzeugs ausmachen und stellt damit einen konstruktiven Entwurf einer Produktidee dar, mit dem die grundsätzliche Realisierbarkeit sichergestellt wird, vgl. (Braess und Seiffert 2013, S. 130).

Die wesentliche Aufgabe bei der Erstellung eines ganzheitlichen Fahrzeugkonzepts ist die Erarbeitung eines Packages auf Grundlage vorgegebener Anforderungen und Daten. Es stellt den Aufbau eines Fahrzeugkonzepts hinsichtlich technischer, ergonomischer, funktionaler und gesetzlicher Gesichtspunkte dar (Hänschke 2010, S. 106) und dient zur Überprüfung des kollisionsfreien Arrangements aller Baugruppen und Komponenten sowie der technischen Machbarkeit des Konzepts (Hazelaar 2010, S. 1.7), (Braess und Seiffert 2013, S. 131). Braess definiert Package als „eine geometrisch und physikalisch kompatible Anordnung aller Komponenten“ – mit Schwerpunkt auf den Hauptkomponenten Antrieb, Energiespeicher, Getriebe, Fahrwerk und Raumbedarf für Insassen beziehungsweise Sitze sowie Laderaumvolumina (Braess und Seiffert 2013, S. 131). Es fungiert als „Basisplan“ (Hahn 2008, S. 22) für die Erstellung eines Fahrzeugkonzepts und wird daher laufend aktualisiert und weiter detailliert. Die Darstellung eines Packageplans erfolgt im Allgemeinen als Kombination von Längsschnitten

durch das Fahrzeug (siehe hierzu auch standardisierte Maßpläne in (GCIE Documentation)) und beinhaltet neben sämtlichen geometrischen Eckdaten und Mindestmaßen Grundzüge der Fahrzeug-Silhouette, sodass eine optische Bewertung und weitere Analysen (z. B. Ergonomieüberprüfung, Sichtfeldanalysen) möglich sind. Abbildung 7 zeigt den Schnitt eines rudimentären Packagemodells in der frühen Phase und einen detaillierten Packageplan eines Serienfahrzeugs.

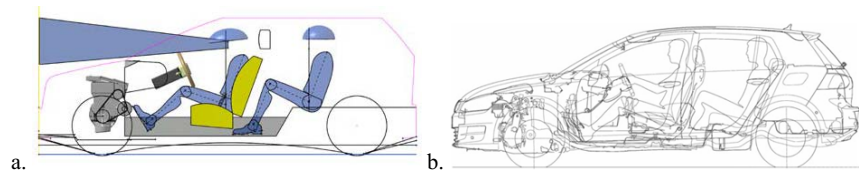


Abbildung 7: Package-Schnitt durch ein a. einfaches Fahrzeugmodell (Prinz 2011, S. 10) und b. detaillierteres Fahrzeugmodell (Braess und Seiffert 2013, S. 157).

Mit Hilfe sogenannter Sitzkisten, als rudimentärer Aufbau von Fahrzeuggeometrie und Fahrzeugfunktionen, lässt sich das erarbeitete Package in Hardware darstellen. Sitzkisten unterstützen dadurch z. B. bei der Durchführung frühzeitiger Ergonomieuntersuchungen. Als nächster Schritt erfolgt auf Grundlage detaillierter Daten der Aufbau eines funktionalen Prototypen zur Absicherung der Komponenten und deren Anordnungen im Gesamtfahrzeug, vgl. (Hazelaar 2010, S. 2.51). Dies ermöglicht eine erste fachübergreifende Darstellung der Konzeptidee im Maßstab 1:1 hinsichtlich Technik und Design.

Tabelle 3: Übersicht der Fahrzeugdetaillierungen.

	Grobkonzept	Konzept	Serienfahrzeug
Vorgabe	Konzeptidee, wenige Anforderungen	Konzeptidee, konkretere Anforderungen	Konzeptidee, konkrete Anforderungen (z.B. aus Kundenclinik), Packageplan Vorgängermodell
Datengrundlage	häufig keine, Referenzfahrzeug	ggf. ähnliche Konzepte (Wettbewerber), Referenzfahrzeug	ähnliche Konzepte (Wettbewerber), Vorgängerfahrzeug
Darstellung	2D-Zeichnung, grobes 3D-Modell	3D-Modell, Sitzkiste, funktionaler Prototyp	fertiges Serienfahrzeug
Package	rudimentär	detailliert	vollständig
Ziel	theoretische Umsetzung der Konzeptidee	Aufzeigen der generellen Machbarkeit	Fahrzeug für Kunde
Detaillierungsgrad insgesamt	gering	mittel	hoch

Die Vorstufe zu einem Fahrzeug-Konzept ist das Fahrzeug-Grobkonzept, welches ebenfalls als Grundlage einen Packageplan aufweist und mit seinen Parametern einen Grundentwurf

darstellt, vgl. (Prinz 2011, S. 134). Dieser liegt als rudimentäre beziehungsweise vereinfachte Grundrissdarstellung der Konzeptidee vor und beinhaltet häufig lediglich Bauraumdummies, die als grobe geometrische Formen die späteren Komponenten der großen Baugruppen abbilden. Sie sind meist durch (Mindest-) Maßketten aufgespannt in den Raumrichtungen X, Y und Z. Definiert werden vorrangig grobe Fahrzeugabmessungen und die Platzierung des Fahrers als zentralen Auslegungspunkt. Im Gegensatz zum Konzept ist der Detaillierungsgrad des Grobkonzepts insgesamt geringer (siehe Tabelle 3).

Das Grobkonzept spielt vor allem bei Neukonstruktionen von Fahrzeugen eine Rolle, da bei ihnen – im Gegensatz zur Variantenkonstruktion – keine Datenverfügbarkeit (z. B. Packageplan mit detaillierten Abmessungen) eines Vorgängermodells vorhanden ist. Als Basis für ein Fahrzeug wird das Grobkonzept auf Grundlage weniger, zumeist unscharf und unpräzise formulierter Anforderungen zur Spezifikation der Kernbotschaft des zukünftigen Fahrzeugs erstellt. Die Kernbotschaft beschreibt das übergeordnete Ziel des Fahrzeugkonzepts und beinhaltet erste Anforderungen, die Auskunft über dessen Charakterisierung und Ausrichtung geben (z. B. kleines Pendlerfahrzeug).

Neben Ansätzen für die Fahrzeugkonzeption aus der Literatur (z. B. (Braess 1975), (Macey und Wardle 2009), (Helm et al. 2012)) finden in der Praxis vorwiegend zwei grundlegende Vorgehensweisen Anwendung:

Vorgehen von innen nach außen

Für die technikgetriebene Konzeption und das Package kommt, ausgehend von der Sitzposition des Fahrers, das Vorgehen von innen nach außen zum Einsatz (VDI 2223, S. 21), (Rasenack 1998, S. 8), (Bandow und Stahlecker 2001, S. 913), (Hänschke 2010, S. 109, 111), (Braess und Seiffert 2013, S. 149). Bei vorwiegend designgeprägten Fahrzeugkonzepten wird parallel dazu der Ansatz von außen nach innen (VDI 2223, S. 21), (Rasenack 1998, S. 8) verfolgt, um diese beispielsweise hinsichtlich ihrer technischen Kongruenz zu prüfen.

Die Positionierung des Fahrerplatzes, inklusive Festlegung der Körperhaltung und Sitzposition, bilden die Basis des Vorgehens von innen nach außen. Hinzu kommt die Positionierung der Bedienelemente wie Lenkrad, Fahrpedal und Schalter (Hänschke 2010, S. 111). Bei der Auslegung der Sitzposition spielen vor allem ergonomische Gesichtspunkte und die Anthropometrie des Fahrers eine Rolle. Um eine möglichst große Fahrerpopulation abzudecken, wird bei der Auslegung typischerweise mit den Perzentilen Fünf-Prozent-Frau (fünf Prozent aller Frauen sind kleiner) und 95-Prozent-Mann (fünf Prozent aller Männer sind größer) gearbeitet (Wallentowitz 2004, S. 75–78), (DIN 33402-2, S. 3). Weiterhin kann zwischen Sitzriese (kurze Beine und langer Oberkörper) und Sitzzwerg (lange Beine und kurzer Oberkörper) unterschieden werden, um nuancierter die Betrachtung der Extremitäten in die Auslegung mit einzubeziehen. Hierbei spielt die Festlegung des Hüftpunkts (H-Punkt als Schnittpunkt der Oberkörper-Drehachse mit der Oberschenkelinie) als körperfester Bezugspunkt eine wesentliche Rolle. Fahrzeugseitig wird mit dem Sitzreferenzpunkt (R-Punkt, auch SgRP (Seating Reference Point)) gearbeitet, der ungefähr dem H-Punkt eines 95-Prozent-Mannes in hinterster normaler Sitzposition entspricht (Wallentowitz 2004, S. 78–79), (GCIE Documentation, S. 3.5). H-Punkt und R-Punkt sind ebenso mitbestimmend für die Fahrzeuglänge und die Fahrzeughöhe und damit auch für die Stirnfläche sowie für den Ein- und Ausstiegskomfort und die Übersichtlichkeit des Fahrzeugs. Ihre Festlegung beeinflusst wesentlich das Gesamtkonzept eines Fahrzeugs, vgl. (Hamm 1992, S. 64).

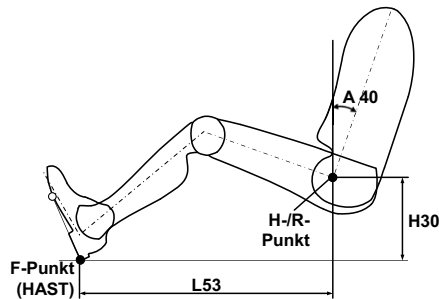


Abbildung 8: Einfaches Maßmodell für die Fahrer-Sitzposition (vgl. (SAE-Norm J826, S. 6, 8), (GCIE Documentation, S. 70)).

Für die Bestimmung der Sitzhaltung sind der horizontale Abstand (Maß L53) und der vertikale Abstand (Maß H30) vom R-Punkt zum Aufstandspunkt der Ferse (F-Punkt, auch Hackenaufstandspunkt HAST) entscheidend, siehe Abbildung 8. Die Lehneneigung wird durch den Torsowinkel (A40) bestimmt.

Anknüpfend an die Positionierung des Fahrers und der zugehörigen Komponenten, wird der verbleibende Fahrzeuginnenraum gestaltet. Die Festlegung der Anordnung und des Platzbedarfs für weitere Insassen inklusive Sicherheits- und Komfortanforderungen sowie die Raumbestimmung für große Komponenten wie Motor, Energiespeicher und das benötigte Volumen für den Laderaum sind vorzunehmen, vgl. (Macey und Wardle 2009, S. 73), (Hänschke 2010, S. 111). Weiterhin hat die Positionierung des Fahrwerks mit Pedalerie und Lenksäule zu erfolgen.

Aus diesen vorhandenen Daten wird in einem nächsten Schritt ein detailliertes Maßkonzept mit den wesentlichen Fahrzeugabmessungen erstellt, welches ferner zum einfachen Vergleich mit Wettbewerbern fungiert, vgl. (Hazelaar 2010, S. 1.13).

Vorgehen vom Groben zum Feinen

Ein weiteres Vorgehen in der Fahrzeugentwicklung ist der Ansatz *vom Groben zum Feinen* (Prinz 2011, S. 12), (Braess und Seiffert 2013, S. 1156), beziehungsweise wie in der Konstruktionsmethodik dargestellt: *vom Abstrakten zum Konkreten* (VDI 2221, S. 3), (Pahl 1999, S. 16), (Ehrlenspiel und Meerkamm 2013, S. 80), vgl. auch (Grote und Feldhusen 2014, S. F5). Bei diesen Ansätzen erfolgt auf Basis der Konzeptidee eine sukzessive Detaillierung hin zur endgültigen Gestaltung unter Berücksichtigung von Anforderungen und Verträglichkeiten.

Eine anfängliche Verallgemeinerung nimmt die Komplexität aus der Konzeptidee und erleichtert das Finden eines übergeordneten Zusammenhangs (Grote und Feldhusen 2014, S. F5), (Pahl et al. 2013, S. 287). Die Abstraktion ist daher hilfreich für eine erste Analyse der Konzeptidee und zur Klärung des Kernproblems, da eine eng formulierte Konzeptidee mit bereits sehr genauen Anforderungen (z. B. Packagemaße, Verbau bestimmter Komponenten) eine mögliche Lösungsvielfalt (z. B. neue Technologien und Fahrzeugarchitekturen) erheblich einschränkt (Ehrlenspiel und Meerkamm 2013, S. 407).

Die vorgestellten Verfahren zur Fahrzeugkonzeption *von innen nach außen* und *vom Groben zum Feinen* finden häufig nicht losgelöst voneinander, sondern vielmehr simultan Anwendung. Ähnliche Entwurfsvorgehen werden auch in anderen Disziplinen verfolgt, wie beispielsweise beim Flugzeugentwurf oder im Designprozess. Eine Analyse hierzu ist z. B. in (Prinz 2011, S. 25-30, 128-130) zu finden.

Der bewusste Schritt der Erstellung eines Grobkonzepts, also die Erzeugung eines ersten konsistenten Datensatzes, wird in der Praxis selten durchgeführt. Es handelt sich eher um einen fließenden Prozess zunehmender Detaillierung – ausgehend vom Grobkonzept über das (Detail-) Konzept hin zu einem Serienkonzept. Das Grobkonzept erlaubt einen ersten Abgleich wesentlicher geometrischer, physikalischer und funktioneller Zielgrößen und dient somit als erste Produktbeschreibung (Braess und Seiffert 2013, S. 1154). Darüber hinaus kann es Grundlage für weitere Entwicklungsschritte und Entscheidungen bei der Fahrzeugkonzeption sein und bietet ebenso eine gute Daten- und Kommunikationsgrundlage für die Zusammenarbeit mit anderen Fachabteilungen.

Fazit Vorgehen bei der Fahrzeugkonzeption

Es hat sich gezeigt, dass das Vorgehen bei der Fahrzeugkonzeption von der Ausgangssituation (frühe Phase versus Serienentwicklung) und der damit verbundenen Datenbasis des zu entwickelnden Fahrzeugkonzepts (Neukonstruktion versus Variantenkonstruktion) abhängt. Bei einer Variantenkonstruktion (z. B. Golf Sportsvan) liegt häufig ein Packageplan des Vorgänger- beziehungsweise Basismodells (z. B. Golf) vor, der hinsichtlich der Charakteristik des neuen Fahrzeugkonzepts angepasst und erweitert wird. Die Herausforderung bei einer Neukonstruktion besteht in der Erarbeitung der primären Fahrzeug-Eigenschaften zur ganzheitlichen Beschreibung der Konzeptidee mittels (technischer) Fahrzeug-Parameter. Als wesentlicher Schritt im Konzeptionsprozess dient hierfür das Fahrzeug-Grobkonzept, welches aus Prozess- und Umsetzungssicht als Vorstufe des Fahrzeug-Konzepts gesehen werden kann.

2.2.2 Zeitliche Einordnung der Fahrzeugkonzeption und ihrer Prozesse

Wie bereits in Kapitel 2.1.1 dargestellt, existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Vorgehenspläne zur Unterstützung der Produktentstehung von der Idee bis zur Fertigung und darüber hinaus (z. B. Modellpflege, Recycling). Zur Erreichung einer möglichst effizienten Produktentwicklung sind die Prozesse branchen- beziehungsweise produktspezifisch ausgearbeitet, um den jeweiligen Anforderungen an kürzere Entwicklungszeiten, gutes Zeit- und Kostenmanagement sowie höhere Produktkomplexität gerecht zu werden (Conrad 2008, S. 25).

In der Automobilindustrie wird vornehmlich mit sequenziellen Produktentstehungsprozessen gearbeitet, die sich aus Phasen und Meilensteinen zusammensetzen. Meilensteine dienen als Phasenabschluss beziehungsweise Zwischenergebnis zur Synchronisation zwischen den Fachbereichen und dem Zielabgleich, vgl. (Braess und Seiffert 2013, S. 1160). In der Literatur sind viele Prozessvarianten mit unterschiedlichem Fokus zu finden, siehe z. B. (Weber 2009), (Gusig und Kruse 2010), (Hab und Wagner 2010), (Prinz 2011). Abbildung 9 zeigt eine allgemeine Zusammenstellung unterschiedlicher Sichtweisen und Darstellungen des Produktentstehungsprozesses für die Automobilindustrie mit den drei Hauptphasen Produktdefinition, Produktentstehung und Serienbetreuung sowie den dazugehörigen Meilensteinen beziehungsweise Freigaben für die nächsten Bearbeitungsabschnitte.

Vor Projektstart werden in der vorgelagerten Innovationsphase (auch Initialphase, frühe Phase) Scouting-Tätigkeiten, Ideengenerierung sowie Markt- und Wettbewerbsanalysen durchgeführt. Diese Vorarbeiten finden unter anderem in den Forschungs- und Vorentwicklungs-bereichen statt und bilden die Grundlage für das zu entwickelnde Fahrzeugkonzept. Mittels der erarbeiteten Informationen werden in der Definitionsphase das Projektziel abgeleitet und erste technische Konzeptideen anhand der Fahrzeugarchitektur, virtueller und realer dreidimensionaler Modelle sowie eines Packagemodells aufbereitet (Rasenack 1998, S. 1), (Weber 2009, S. 33). Die konstruktive Ausarbeitung und weitere Konzeptverfeinerungen im Sinne eines umfassenden Maßkonzepts erfolgen in der Phase der Konzeptentwicklung während der Detailentwicklung. Sie bildet den Abschluss der Produktdefinition mit einem Projektentscheid über das weitere Vorgehen des Projekts. Die konkrete Entwicklung des Fahrzeugkonzepts zu einem Serienfahrzeug wird in den weiteren Abschnitten der Produktentstehungsphase ausgeführt. Die Festlegung des Designs (Designfreeze) und der Aufbau eines ersten virtuellen Prototyps während der Serienentwicklung fixieren das Fahrzeugkonzept. Aufbauend darauf kann die Erprobung des Konzepts und der Komponenten erfolgen. Nach Fertigung einer erfolgreichen Nullserie und Durchführung eventueller Änderungen startet die Produktion.

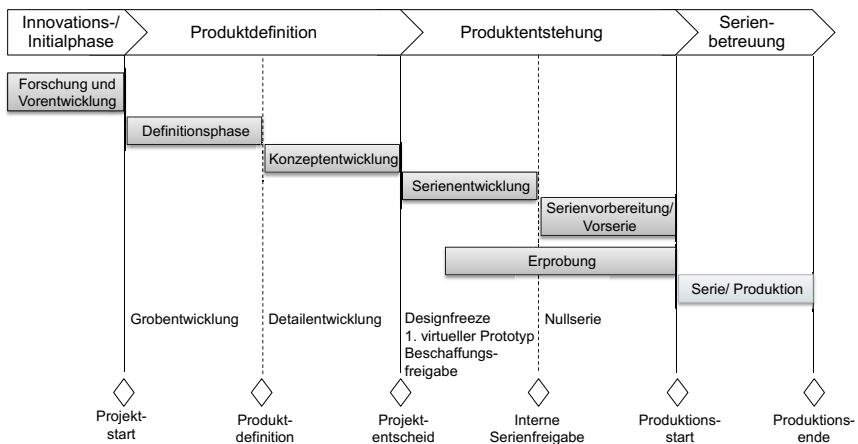


Abbildung 9: Produktentstehungsprozess in der Automobilindustrie (vgl. (Gusig und Kruse 2010, S. 19), (Braess und Seiffert 2013, S. 1160), (Form 2013, S. 4–5)).

Die Darstellung des Produktentstehungsprozesses in Abbildung 9 zeigt einen idealisierten Referenzprozess, der sich in der Praxis um ein Vielfaches komplexer darstellt und durch sich überschneidende Bearbeitungsphasen und Iterationen geprägt ist (siehe Kapitel 2.2.1) sowie von Aktivitäten weiterer Geschäftsbereiche (Vertrieb, Finanz, Beschaffung etc.) flankiert wird. Ferner liegen der Fokus und die detaillierte Darstellung dieser Produktentstehungsprozesse überwiegend auf den Phasen der Konzept- und Serienentwicklung (Phasen Produktdefinition und Produktentstehung), deren Hauptaufgabe die optimierte Serienproduktion ist (Bisinger 2001, S. 2).

Grundlegende Tätigkeiten in Forschungs- und Vorentwicklungsbereichen werden in Prozessmodellen nur vage beschrieben, da diese individuell von den jeweiligen Innovationen abhängen, firmenspezifisch sind und häufig der Geheimhaltung unterliegen. Dieser Phase, in der

grundlegende Informationen erarbeitet, unkonventionelle Lösungen entwickelt und konzeptbeeinflussende Entscheidungen für die spätere Fahrzeugentwicklung getroffen werden, kommt eine besondere Bedeutung zu (Kläger 1993, S. 290), (Bisinger 2001, S. 2). Die Wichtigkeit dieser Phase wird auch in (Heinke 1994, S. 152) betont, da hier die Festlegung wesentlicher Fahrzeugmerkmale für die Fahrzeugentwicklung erfolgt. Auf dieser, auch als *frühe (Konzept-, Innovations- Initial-) Phase*, bezeichneten Zeitspanne der Forschung und Vorentwicklung liegt der Fokus der vorliegenden Arbeit.

Die Abgrenzung der frühen Phase zu den folgenden Entwicklungs- und Gestaltungsphasen des Produktentstehungsprozesses ist durch den Meilenstein Projektstart (siehe Abbildung 9) gegeben. Der Beginn hingegen wird häufig durch einen Impuls, eine Idee oder eine Gelegenheit, die sich ergibt, ausgelöst und ist daher schwieriger zu bestimmen (Herstatt und Verworn 2007, S. 8). Des Weiteren ist die frühe Phase aufgrund dieser Unterschiedlichkeit der Startpunkte (z. B. Idee, konkreter Auftrag) und den damit verbundenen differenzierten Abläufen (z. B. Methodenwahl, Ressourcen, Arbeitsschritte) „schnellen Änderungszyklen“ (Braess und Seiffert 2013, S. 1156) unterlegen. Ein generelles und allgemeines Prozessvorgehen für Forschungsprojekte ist daher schwierig umzusetzen, vgl. (Bisinger 2001, S. 251).

Den Versuch, das abstrakte Forschungsvorgehen in einem strukturierten Prozess zu verdeutlichen, ist in Abbildung 10 dargestellt. Der Prozess der Fahrzeugkonzeption wird in (Prinz 2011) in die Bereiche Aufgabe, Anforderungsliste, Grobkonzept sowie Konzept untergliedert. Die Kernbereiche Grobkonzept und Konzept weisen ein iteratives Vorgehen auf, das bei unlösbaren Zielkonflikten Rücksprünge in vorangegangene Betrachtungen ermöglicht. Sie unterscheiden sich hauptsächlich im Detaillierungsgrad der Teillösungen sowie der Simulations- und Überprüfungsmethoden. Während die Eigenschaften des Grobkonzepts meist mit einfachen und schnellen Methoden abgeschätzt werden, lassen sich die Fahrzeugdaten des Konzepts bereits für umfangreiche Berechnungs- und Simulationswerkzeuge verwenden. Der Fahrzeug-Konzeptionsprozess nach (Prinz 2011) zeigt einen der wenigen in der Literatur zu findenden Prozesse für den Bereich der Fahrzeugforschung.

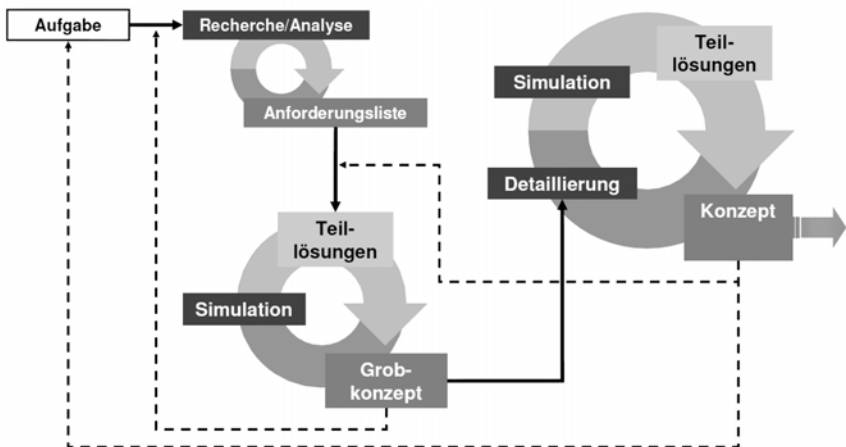


Abbildung 10: Grober Fahrzeug-Konzeptionsprozess in der Volkswagen Konzernforschung (Prinz 2011, S. 60).

Im Gegensatz zur Serienentwicklung sind in der frühen Phase lediglich wenige Anforderungen an ein Fahrzeugkonzept bekannt, siehe hierzu auch Kapitel 2.2.1, Tabelle 3. In dieser Phase starten vorwiegend Forschungs- und Vorentwicklungsabteilungen mit der Erarbeitung von Neukonstruktionen, bei denen Fahrzeuganforderungen nur als grobe Vision des zu erstellenden Fahrzeugkonzepts vorliegen (Hahn et al. 2012, S. 448). Auch bei einem Einstieg auf Grundlage einer Variantenkonstruktion sollte bei der Fahrzeugkonzeption von vorne, das heißt mit der Sichtung, Plausibilisierung und gegebenenfalls Anpassung vorhandener Daten begonnen werden, um diese kritisch zu hinterfragen und so einen konsistenten Datensatz zu erhalten.

Fazit zeitliche Einordnung der Fahrzeugkonzeption

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der Forschungsprozess nicht statisch ist und sich insbesondere durch technische Innovationen und die Kreativität der Mitarbeiter auszeichnet, wodurch eine flexible Darstellung und Beschreibung des Prozesses notwendig wird, vgl. (Bisinger 2001, S. 64). Unterstützung in der frühen Phase der Fahrzeugentwicklung bietet die Möglichkeit mit geringem Aufwand viele Informationen zu sammeln und aufzubereiten, sodass fundierte Entscheidungen für den weiteren Projektverlauf getroffen werden können, vgl. (Herstatt und Verworn 2007, S. 352). Ziel ist, bereits in der frühen Konzeptphase einen hohen Reifegrad in der Umsetzung von Konzeptideen in fertige Fahrzeuge zu erreichen, vgl. (Seiffert und Gotthard 2008, S. 7–8), (Braess und Seiffert 2013, S. 1160). Gerade die Erarbeitung und Festlegung von Anforderungen ist hierbei die Grundlage für eine strukturierte und detaillierte Produktplanung, vgl. (Müller 2007, S. 15).

2.2.3 Werkzeuge und Hilfsmittel in der Fahrzeugkonzeption

Es wurde gezeigt, dass sich das Themengebiet der Konzeption und des Entwurfs von Fahrzeugen in unterschiedliche Richtungen (zeitliche Einordnung, Konzept-Detaillierungsgrad, Anfangsbedingungen und -informationen) aufspannen lässt. Nachfolgend werden vorhandene Arbeiten auf dem Gebiet vorgestellt, die ihren Fokus auf die frühe Konzeptphase sowie die Konzeption von Forschungsfahrzeugen beziehungsweise neue Fahrzeugkonzepte legen. Der Vergleich der verschiedenen Ansätze und das Herausstellen der jeweiligen Schwerpunkte dienen als unterstützender Schritt zur Identifikation der Forschungslücke für diese Arbeit (siehe Kapitel 2.4).

Eigenschaftsbasierte Ansätze

Eigenschaftsbasierte Ansätze erlauben die Konzeption von Fahrzeugen durch gezielte Festlegung und Änderung von Fahrzeugeigenschaften. So kann der Fahrzeugentwurf vorrangig über globale Ziele und weniger über technische Parameter gesteuert werden, wodurch er lösungsneutral bleibt.

Heinke (Heinke 1994) stellt einen über Eigenschaften gesteuerten geometrischen Entwurfsansatz vor, bei dem die durchgängige Umsetzung der Änderung einer Fahrzeugeigenschaft im Fokus steht. Da zwischen den Parameterebenen Zusammenhänge existieren, wird die direkte Eigenschaftsänderung durch Parametrisierung des Fahrzeugs unterstützt. Über diese Beziehungen lassen sich Fahrzeugeigenschaften (z. B. Innenraumangebot) durch Systemparameter (z. B. Sitzplatzanzahl) quantifizieren, siehe Abbildung 11. Ein vorhandenes Fahrzeugentwurfssystem dient als Basis für den erarbeiteten Entwurfsansatz, welcher nur geometrische

Parameter verarbeitet und dadurch nicht alle Konzeptinformationen berücksichtigt. Die Möglichkeit, lediglich einen Eigenschaftsparameter zu ändern, führt zu vielen Iterations- und Anpassungsvorgängen.

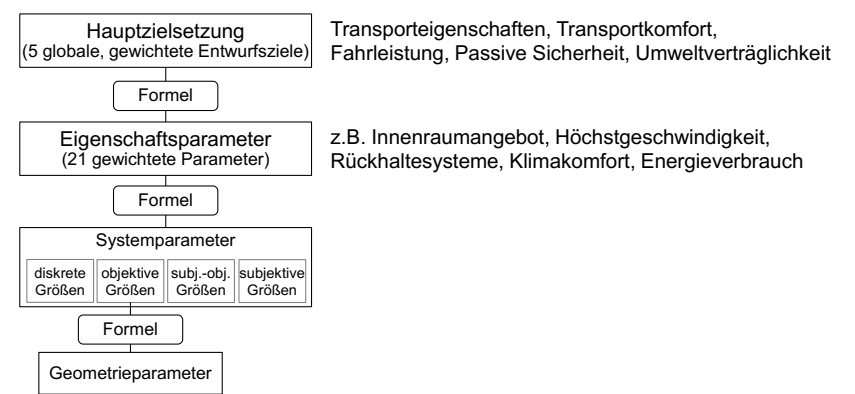


Abbildung 11: Entwurfsablauf über Eigenschaftsparameter (vgl. (Heinke 1994, S. 106)).

Zur Ableitung von Elektrofahrzeugkonzepten aus vorgegebenen Eigenschaftszielen hat Wiedemann (Wiedemann 2014) einen abstrahierten Entwicklungsprozess erarbeitet. Sein Fokus liegt auf der erhöhten Einbeziehung kundenrelevanter Eigenschaften im Konzeptionsprozess. Durch das automatisierte Simulationsmodell EOKET (Eigenschaftsorientierte Konzeptentwicklung) erfolgt ein Ist-Ziel-Abgleich von Eigenschaftsausprägungen anhand definierter Eigenschaftsfelder beziehungsweise objektivierter Eigenschaften, siehe Abbildung 12. Eine einheitliche Skalierung zwischen technischen und kundenrelevanten Eigenschaften wird durch die QFD-Methode unterstützt. Dies ermöglicht mit einem rein mathematischen Modell Aussagen über Eigenschaftskongruenzen zu treffen. Die dezimierte Berücksichtigung physikalischer Modelle und die Einschränkung auf nur quantifizierbare Eigenschaften gehen zu Lasten der Ergebnissenauigkeit.

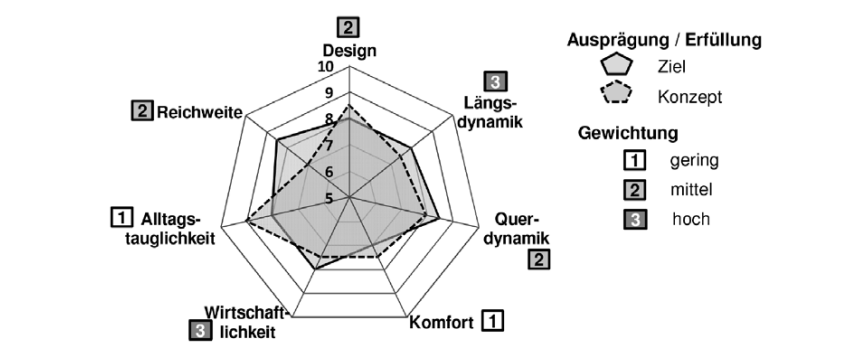


Abbildung 12: Ist-Ziel-Darstellung von Eigenschaftswerten eines technischen Konzepts (Wiedemann 2014, S. 93).

Parameterbasierte Ansätze

Die Grundlage parameterbasierter Ansätze ist die Möglichkeit der einfachen Variation (Generierung und Manipulation) von Fahrzeug-Parametern zum Aufbau und zur Modifikation von Fahrzeugentwürfen. Durch Festlegung und Definition von (mathematischen) Abhängigkeiten und Relationen zwischen diesen Variablen kann ein parametrisiertes Fahrzeugmodell erstellt werden.

Rasenack (Rasenack 1998) stellt eine Methode zur Unterstützung der Packageentwicklung mit Hilfe geometrischer Parametervariation vor. Diese gezielten geometrischen Änderungen erfolgen auf Basis formulierter Entwurfsparameter sowie Relationen und Randbedingungen (z. B. Bauraumrestriktionen) zwischen einfach aufgebauten Geometrien. Über festgelegte Zielgrößen (z. B. freie Deformationslänge) aus Anforderungen (z. B. Crashesicherheit) lassen sich die Entwurfsparameter optimal variieren. Der Wert einer Zielgröße im Vergleich zu einem Gebrauchswert wird über eine Nutzenfunktion ausgedrückt. Daraus lässt sich eine Ersatzzielfunktion für Fahrzeugteilbereiche ableiten, bestehend aus einem Gewichtungsfaktor und dem Ergebnis einer Nutzenfunktion. Deren Wert legt die Gewichtung des Entwurfsergebnisses fest und dient als Kriterium für die Parametervariation mit Hilfe der Evolutionsstrategie. Der Einsatz in der frühen Phase wird eingeschränkt durch eine große Anzahl von Parametern und Nebenbedingungen, die Betrachtung von lediglich Fahrzeugteilbereichen sowie die Notwendigkeit einer vorhandenen Systemstruktur.

Das ganzheitliche Entwurfssystem ConceptCar von Rossbacher (Rossbacher et al. 2009) ermöglicht die parameterbasierte Erstellung geometrischer Fahrzeugkonzepte sowie deren Überprüfung hinsichtlich z. B. gesetzlicher Vorgaben. Eine Datenbank für administrative Aufgaben und ein CAD-Modul zur geometrischen Visualisierung der Entwürfe stellen die Kernbereiche des Werkzeugs dar. Die Parameter-Datenbank enthält Geometriedaten, Gesetzesvorschriften sowie ein Tracking-System zur Sicherung und Verfolgung von Konzeptkonfigurationen. Parametrisch assoziativ aufgebaute Templates, als voreingestellte Parametersätze verschiedener Fahrzeugklassen, erleichtern die schnelle Generierung und Anpassung eines dreidimensionalen Fahrzeugpackages im CAD-Programm CATIA V5. Durch den modularen Aufbau ist die effiziente Erstellung, Anpassung und Weiterverarbeitung eines Gesamtfahrzeugpackages möglich (vgl. Abbildung 13). Allerdings ist für die frühe Phase die Systemtiefe mit über 600 Parametern sehr umfangreich.

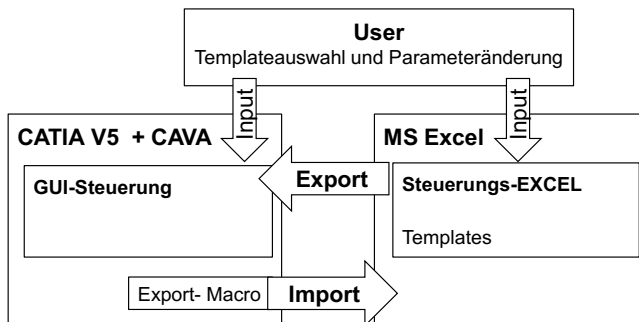


Abbildung 13: Ablaufschema des Entwurfssystems (nach (Rossbacher et al. 2009, S. 9)).

Package- und topologiebasierte Ansätze

Die Anordnung von Komponenten in einem vorgegebenen Bauraum und die damit einhergehende Beziehung zwischen diesen Komponenten sowie die Rückwirkungen auf Gesamtpackage und Maßkonzept sind Thema der package- und topologiebasierten Ansätze.

Die von Kuchenbuch (Kuchenbuch 2012) entwickelte Methodik zeigt einen mehrstufigen Prozess, mit dem sich Eigenschaftsziele in Fahrzeugkonzeptalternativen überführen lassen. Das dazugehörige Tool EVA_OS (Electric Vehicle Architecture Optimization System) nutzt ein parametrisches Fahrzeugmodell sowie einen daran gekoppelten evolutionären Optimierungsalgorithmus zur Identifikation unkonventioneller Fahrzeugarchitekturen für Elektrofahrzeuge. Für die ganzheitliche Topologieoptimierung mittels parametrischer Eigenschaftsabbildung setzt ein Abhängigkeitsmodell identifizierte Fahrzeugeigenschaften und unabhängig voneinander beeinflussbare Konzeptstellhebel in Verbindung. Die Struktur der Packageoptimierung lässt sich über ein 2,5D-Verfahren mittels Sequence-Pair-Positionscodierung abbilden. Als Ergebnisdarstellung beziehungsweise zum Vergleich generierter Konzeptalternativen werden Pareto-Fronten eingesetzt, die dem Anwender zwar einen Überblick über mathematisch optimale Lösungsalternativen in einem Zielkonflikt liefern, jedoch bei mehr als drei Optimierungszielen an die Grenzen der Übersichtlichkeit stoßen. Außerdem erfordert die Auswahl geeigneter Optimierungsziele ein gewisses Expertenwissen.

Der Fokus von Raabe (Raabe 2013) ist die Entwicklung eines rechnergestützten Werkzeugs zur Generierung konsistenter Maßkonzepte in Form von dreidimensionalen CAD-Modellen. Standardisierte Maße und verknüpfte Maßketten bilden die Grundlage für das erarbeitete Parametrische Maßkonzept Tool (PMKT), das benötigte Gleichungen und 166 definierte Konzeptmaße in einer Interdependenzen-Matrix vereint. Zwei Module (PMKT-Manager und PMKT-Explorer) dienen zur Generierung und Ausarbeitung von Maßkonzepten, zur zentralen Verwaltung der Maßkonzeptdaten sowie zur Visualisierung konsistenter Maßkonzepte. Trotz der Möglichkeit zur Einbindung verschiedener Programmbausteine (z. B. Ergonomieüberprüfung), ist die Datenrichtigkeit jedoch nur in Bezug auf einen speziellen Automobilhersteller gewährleistet. Das Tool erfordert die Mitarbeit aller projektbeteiligten Personen.

Ganzheitliche Ansätze

Die übergeordnete Betrachtung des gesamten Fahrzeug-Konzeptionsprozesses steht bei den ganzheitlichen Ansätzen im Vordergrund.

Braess stellt in (Braess et al. 1985) und (Braess und Stricker 1988) ein Fahrzeugentwurfsmodell vor, das auf der mathematischen Beschreibung von Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen Fahrzeugeigenschaften und konstruktiven Auslegungsparametern beruht. Erforderliche Beziehungsfunktionen sind interne und externe mathematische und physikalische Teilmodelle (z. B. Verbrauchsberechnungen), die durch weitere (Bezugs-) Quellen wie Erfahrungen und statistische Daten ergänzt werden können. Die quantitative Erfassung und Abschätzung wesentlicher konstruktiver Fahrzeugparameter (z. B. Karosseriedaten) auf Fahrzeugeigenschaften (z. B. Transportleistung) trägt als Entscheidungshilfe zur optimalen Konzeptauslegung bei. Die subjektive Gewichtung der Auslegungszielsetzung sowie die Änderungsmöglichkeiten der konstruktiven Fahrzeugparameter beeinflussen jedoch maßgeblich das Auslegungsergebnis. Ferner eignet sich das verwendete lineare Gleichungssystem nur für einfache Modelle.

Zur ganzheitlichen Modellierung neuartiger Fahrzeugkonzepte hat Prinz (Prinz 2011) ein parametrisches Struktur- und Ablaufmodell entwickelt, das ca. 100 konzeptbestimmende Fahrzeugparameter in sechs Module gruppiert (vgl. Abbildung 14).

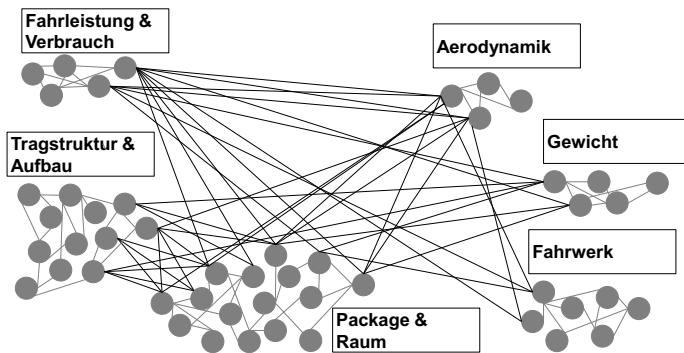


Abbildung 14: Abstrahierte Darstellung des Parametermodells (nach (Prinz 2011)).

Zur Parameterwertbestimmung kommen je nach Detaillierungskonzept Verfahren von der überschlägigen Abschätzung bis zur genauen Berechnung zur Anwendung. Dieses Parameter-Beziehungssystem kann ebenso als eigenständige Wissensdatenbank dienen. Der hohe Abstraktionsgrad bedingt Vereinfachungen im Strukturmodell, weshalb nicht für alle Parameterbeziehungen mathematische Zusammenhänge hinterlegt sind. Weiterhin stellt Prinz einen zur Eigenschaftsbestimmung begleitenden Konzeptentwurfsprozess vor. Entsprechend der Konzeptphase werden Strategien aufgezeigt für den Umgang mit Vorgaben im Prozess hinsichtlich Detaillierungsgrad, Zuordnung und Ergebnisgenauigkeit sowie mögliche Lösungswege zur Bestimmung unbekannter Parameter. Das Ablaufmodell wird durch konkrete einzelne Schritte und zugeordnete Hilfsmittel sowie Werkzeuge unterstützt.

Wissensbasierte Ansätze

Vorhandenes Konzeptions-, Prozess- und Fahrzeugwissen wird in wissensbasierten Ansätzen genutzt, um Werkzeuge und Methoden zur Effizienzsteigerung im Entwicklungsprozess zu entwerfen.

Dem mangelnden Wissensmanagement bei der Fahrzeugentwicklung setzt Gühl in (Gühl 2003) den gezielten Einsatz von Informationstechnologie entgegen. Seine entwickelte modulare Architektur FESII (Fahrzeugentwurfssystem) unterstützt die Konfiguration von Fahrzeugkonzepten durch Integration verschiedener Simulationsprogramme (z. B. Gewichts Berechnung). Als Grundlage dient ein objektorientiertes Datenmodell, das mittels eines Modellierungstools aus der Kombination gegebener Daten (z. B. Fahrzeugkomponenten) schnell Fahrzeugkonzeptvarianten erzeugen und aus geometrischen Angaben Fahrzeugkenn-daten ableiten kann. Die Konzeption gänzlich neuer Fahrzeugkonzepte scheint jedoch eher eingeschränkt möglich.

Bisinger verfolgt in (Bisinger 2001) das Ziel möglichst allgemeingültige Prozessleitfäden zu formulieren, als Zielrichtung und Orientierungshilfe für operative Tätigkeiten in der Gesamtfahrzeugforschung. Eine Analyse bestehender Entwicklungsprozesse zeigt übertragbares (Er-

fahrungs-) Wissen zur Gestaltung von Forschungsprozessen auf. Da es keine allgemeingültige Lösung gibt, erfolgt eine Projektklassifizierung für Forschungsfahrzeuge in Technologieträger, design- und technikgetriebene Konzeptstudien, siehe Abbildung 15. Die jeweils abgeleiteten Leitprozesse basieren auf einer Meilensteinstruktur und stellen eindeutige Richtlinien und Vorgehensweisen zur optimierten Prozessgestaltung dar. Der kraftfahrzeugspezifische Forschungsprozess lässt sich strukturieren, optimieren und umsetzbar dokumentieren, wobei die entwickelten Prozessleitfäden bereits ein sehr detailliertes und strukturiertes Arbeiten erfordern.

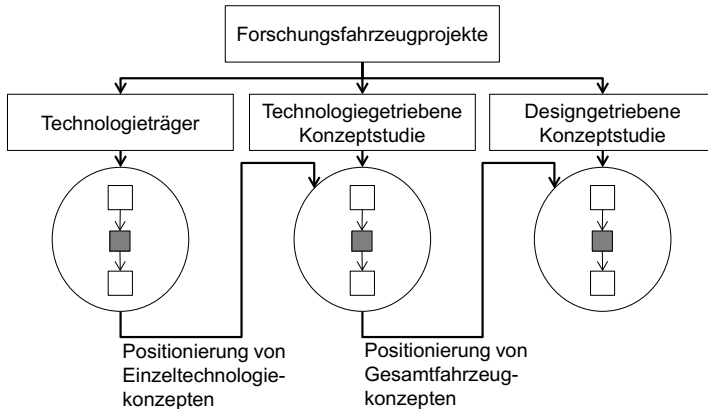


Abbildung 15: Standardphasenablauf für die Gesamtfahrzeugforschung (nach (Bisinger 2001, S. 168)).

Fazit Werkzeuge und Hilfsmittel für die Fahrzeugkonzeption

Um das komplexe System Fahrzeug zu handhaben, nimmt der Anteil rechnerunterstützter Systeme und Methoden zur Fahrzeugkonstruktion und -konzeption stetig zu, vgl. (Seiffert und Gotthard 2008, S. 7–8). Aufgrund der Schwierigkeit, ein rechnerunterstütztes Gesamtfahrzeug-Package zu erzeugen, befassen sich viele Ansätze lediglich mit der Auslegung von Fahrzeugkomponenten, Fahrzeugteilbereichen (z. B. (Braess et al. 1985), (Rasenack 1998)) oder speziellen Fahrzeugvarianten (z. B. Elektrofahrzeuge (Kuchenbuch 2012), (Wiedemann 2014)). Die Möglichkeit zur Nutzung vorhandener Systemstrukturen (z. B. (Heinke 1994), (Rasenack 1998)) sowie die Bereitstellung von Integrationsplattformen (z. B. (Gühl 2003)) unterstützen den Konstrukteur bei der komplexen Fahrzeugentwicklung. In diesem Zusammenhang spielt auch die parallele Prozessbetrachtung eine immer größere Rolle, weshalb einige Arbeiten verstärkt auf die Unterstützung in der Prozessebene eingehen (z. B. (Prinz 2011), (Bisinger 2001)).

2.3 Anforderungen und Eigenschaften

Bei der Entstehung komplexer Produkte sind unterschiedliche Unternehmens- und Entwicklungsbereiche beteiligt, die eine Vielzahl an Baugruppen und Komponenten entwickeln müs-

sen. Von großer Wichtigkeit ist hier die genaue Produktbeschreibung mit Hilfe von Eigenschaften und Anforderungen.

Aufbauend auf der allgemeinen Darstellung von Eigenschaften und Anforderungen sowie dem Anforderungsmanagement, werden die Begriffe auf den Bereich Fahrzeugkonzeption angewendet. Es wird aufgezeigt, inwieweit die Festlegung und Verwaltung von Anforderungen gerade in der frühen Phase der Fahrzeugkonzeption von Vorteil sein kann und welche Methoden und Hilfsmittel zur Anforderungsermittlung und Eigenschaftsverarbeitung bekannt sind und genutzt werden.

2.3.1 Einordnung von Eigenschaften und Anforderungen

Eigenschaften sind charakteristische, wählbare Merkmale und Kennzeichen, die zu Produkten gehören und zum Beschreiben und Unterscheiden dieser behilflich sind, vgl. (Bibliographisches Institut GmbH), (DIN 4000-1, S. 6–9), (DIN 55350-12, S. 2–3). Sie stellen das Produkt in seiner Gesamtheit dar. In dieser Arbeit werden die Begriffe Eigenschaft und Merkmal synonym verwendet. Anforderungen indes sind gewünschte Eigenschaften, die ein Produkt innehaben beziehungsweise erfüllen soll (DIN 69901-5, S. 6).

Hinsichtlich des Aufbaus und der Struktur haben Eigenschaften und entsprechend Anforderungen eine Bedeutung (Qualität) und eine zahlenmäßige Ausprägung (Quantität), vgl. (VDI 2221, S. 39), (DIN 55350-12, S. 2–3), (Ehrlenspiel und Meerkamm 2013, S. 30). Durch die Abhängigkeit und die starke Ähnlichkeit in Aufbau und Sinn beider Begriffe kann eine Anforderung als Eigenschaft verstanden werden, die möglichst zu quantifizieren ist, vgl. (Jung 2006, S. 68). Gerade bei Anforderungen ist die Definition der Ausprägung von Bedeutung, da über diese konkrete Formulierung die Möglichkeit zur Kontrolle der zugrunde liegenden Eigenschaft besteht.

Abbildung 16 zeigt, dass technisch quantitative Anforderungen mit einem Zahlenwert und gegebenenfalls einer entsprechenden Einheit beschrieben werden. Bei qualitativen (nicht-quantitativen) Eigenschaften hingegen erfolgt die Beschreibung der Ausprägung vielfach mittels einer Freitextangabe, vgl. (DIN 4000-1, S. 7, 11).

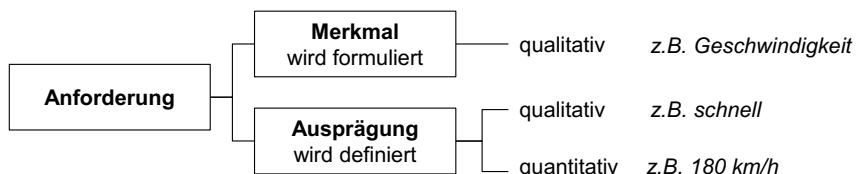


Abbildung 16: Aufbau einer Anforderung (siehe auch (Jung 2006, S. 68)).

Die zu Beginn des Entwicklungsprozesses definierten Anforderungen stellen eine wichtige Grundlage in sämtlichen Konstruktionsphasen und für eine Vielzahl von Auswahl-, Optimierungs- und Entscheidungsvorgängen dar, vgl. (Kläger 1993, S. 6). Ferner dienen sie als Basis für weitere Schritte im Entwicklungsprozess (Grande 2011, S. 11). Mit Hilfe anfänglich definierter Anforderungen lässt sich das endgültige Produkt hinsichtlich der Erfüllung von Vorgaben überprüfen und bewerten, wodurch eine gleichbleibende Qualität des Produkts gewährleistet wird. Nicht erreichte Anforderungen führen in Meilensteinprozessen zu zusätzlichen Iterationsschleifen.

In der Literatur wird im Allgemeinen von Anforderungen gesprochen. Für die vorliegende Arbeit erfolgt die Abgrenzung beider Begriffe insofern, dass Eigenschaften generell zur Beschreibung grundlegender Fahrzeugmerkmale verwendet werden und Anforderungen bestimmte Eigenschaften mit einer definierten beziehungsweise konkret festgelegten Ausprägung darstellen.

2.3.2 Anforderungsmanagement und Anforderungsklä rung

Gerade hinsichtlich verkürzter Entwicklungszeiten und zunehmender Änderungseventualitäten von Anforderungen während des Entwicklungsprozesses sollte sich frühzeitig mit ihnen befasst werden, siehe Abbildung 17.

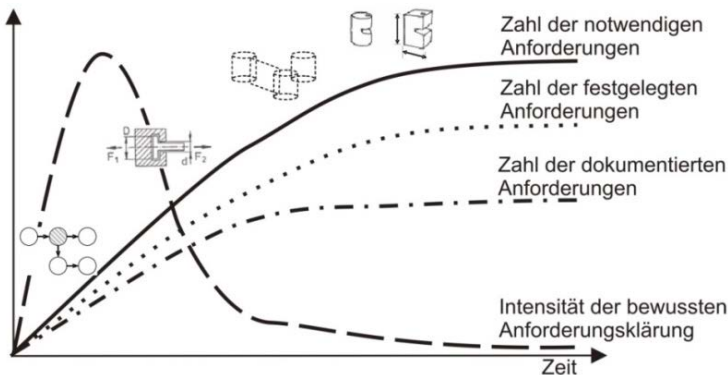


Abbildung 17: Zeitlich abhängige Anforderungsklä rung (Jung 2006, S. 18).

Als Grundlage zur umfassenden und systematischen Produktentstehung ist der gezielte Einsatz eines Anforderungsmanagements daher sinnvoll. Es bildet den Schlüssel zu einer strukturierten Definition, Analyse und Verwaltung von Anforderungen, wodurch Änderungsschleifen reduziert und Produkte schneller, effizienter und weniger fehlerbehaftet entwickelt werden können, vgl. (Grande 2011, S. 11), (Kickstein 2012, S. 32). Das vorwiegende Ziel des Anforderungsmanagements ist das Ableiten aller relevanten Anforderungen, die für die Produktentwicklung notwendig sind, vgl. (Grande 2011, S. 11).

In Abbildung 18 sind die grundlegenden Tätigkeiten des Anforderungsmanagements dargestellt. Zu Beginn einer Produktentwicklung müssen Anforderungen definiert werden, um festzulegen welche Vorgaben das endgültige Produkt zu erfüllen hat und um keinen Interpretationsspielraum in der Auslegung der Anforderungen zu gestatten (1). Die Dokumentation der Anforderungen stellt sicher, dass alle beteiligten Bereiche dieselbe Wissensgrundlage bei der Entwicklung des Produkts haben und ermöglicht eine Nachverfolgbarkeit der Vorgaben hinsichtlich ihrer Kongruenz mit dem fertigen Produkt (2). Damit die beteiligten Bereiche die gestellten Anforderungen an das Produkt erfüllen können, d.h. die Fähigkeit, das Wissen und das Material (z. B. Kapital, Ressourcen) besitzen, müssen Anforderungen zuvor abgestimmt werden (3).

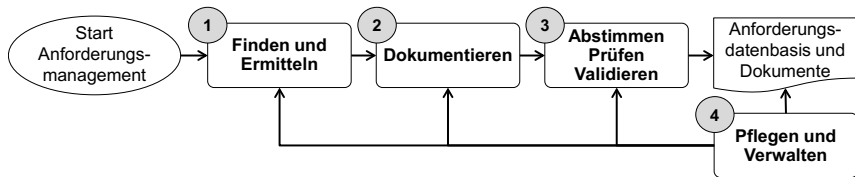


Abbildung 18: Haupttätigkeiten im Anforderungsmanagement (vgl. (Grande 2011, S. 14)).

Eine Anpassung ist auch dahingehend unerlässlich, dass Zielkonflikte zwischen gestellten Anforderungen aufgedeckt und wenn nötig behoben werden. Die Verwaltung von Anforderungen wird parallel zu den anderen Schritten des Anforderungsmanagements durchgeführt (4). Sie erfolgt überwiegend digital mit Hilfe von Datenbanken und speziellen Verwaltungsprogrammen (z. B. Doors, Polarion etc.). So können allen beteiligten Bereichen die festgelegten Anforderungen zugänglich gemacht, Änderungen und Anpassungen dokumentiert und die Wiederverwendung für andere Projekte ermöglicht werden. Dieses Anforderungsdokument ist anfangs immer vorläufig, da sich erst im Laufe des Entwicklungsprozesses Anforderungen konkret festlegen lassen (Pahl et al. 2013, S. 324, 326).

Für ein effizientes Vorgehen bei der Produktentwicklung ist es daher opportun möglichst früh im Entwicklungsprozess ein Anforderungsmanagement zu etablieren, um viel Wissen bezüglich Produkteigenschaften zu erlangen. Die Vorteile und Ziele eines umfassenden Anforderungsmanagements verdeutlichen die Wichtigkeit der Kommunikation während der frühen Phase der Produktentwicklung durch Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses sowie Wissenserhaltung, Wiederverwendung und Nachverfolgbarkeit mittels Dokumentation und demzufolge Erreichung einer konsistenten Anforderungsbasis ohne Widersprüche, vgl. (Grande 2011, S. 20). Um Anforderungen an ein Produkt festzulegen, bedarf es der Kommunikation zwischen allen Personen (-gruppen), die an der Produktentwicklung beteiligt sind. Diese sogenannten Stakeholder können auch als „Lieferanten“ für Anforderungen bezeichnet werden (Grande 2011, S. 22), deren festgelegte Anforderungen die Anforderungsdatenbasis für das Anforderungsmanagement darstellen.

In Anbetracht der hohen Komplexität von Produkten ist der Einsatz eines Anforderungsmanagements mit gut strukturierter Ablage und Dokumentation von Anforderungen notwendig. Durch Gruppierungen ist es möglich, größere Mengen an Anforderungen – und demzufolge auch Eigenschaften – zu verarbeiten und sinnvoll zu nutzen. Dabei erfolgt das Ordnen nach festgelegten Merkmalen als übergeordnete Beschreibung der Anforderungen (Pahl et al. 2007, S. 569). Eine allgemeingültige Klassifizierung existiert nicht, dennoch wird in der Literatur häufig zwischen Festanforderungen (K.O.-Kriterien) und Wünschen (optionale Eigenschaft) unterschieden, da nicht alle Anforderungen die gleiche Relevanz für ein Produkt haben, vgl. (Gusig und Kruse 2010, S. 80), (Pahl et al. 2013, S. 334). Weitere mögliche Differenzierungsvarianten zeigen z. B. (DIN 2330, S. 7–8), (Kläger 1993, S. 120–123), (Suhm 1993, S. 105), (Kuschel 2003, S. 58), (Müller 2007, S. 11), (Pohl 2008, S. 14–16), (Fleischmann 2008, S. 43–44), (Grande 2011, S. 37–39), (Ehrlenspiel und Meerkamm 2013, S. 32–41) und (Pahl et al. 2013, S. 335–336).

Anforderungen beziehungsweise deren Ausprägungen lassen sich sehr unterschiedlich darstellen. Sie hängen stark vom Kontext ab, in dem sie betrachtet werden, z. B. Ursprung (Kunde, Fachabteilung) oder zeitliche Einordnung im Entwicklungsprozess (grobe Vorgabe, konkrete Anforderungsausprägung), siehe Tabelle 4.

Tabelle 4: Formen von Anforderungsausprägungen (vgl. (Fleischmann 2008)).

Darstellungsform	Beschreibung Vorteile	Beschreibung Nachteile
Formel	+ präzise „Formulierung“ + Möglichkeit der Automatisierung	- schwer validierbar - schlecht skalierbar
Informeller Text	+ Flexibilität in der Formulierung + allgemein verständlich und vertraut	- geringe Präzision - inhärente Missverständlichkeiten
Grafische Darstellung	+ formale Darstellung grafisch verständlich und anwendbar machen	- nicht skalierbar - kompliziert und schwer verständlich

In der frühen Phase genügen grafische Darstellungen und textuelle Beschreibungen, um einen Überblick über das Fahrzeugkonzept zu erhalten. Für die Fahrzeug-Entwicklung ist dieses Format aber nicht ausreichend, weshalb zunehmend konkrete Zahlenwerte, in Form von Formeln und Tabellen, verwendet werden. Ebenso verschieden sind die Dokumente, in denen die Anforderungsverwaltung stattfindet. Zu den bekanntesten Formaten zählt die Anforderungsliste als „schriftlich formulierte Sammlung der Anforderungen an ein Produkt“ (VDI 2221, S. 39), die häufig in digitaler Form mittels Anforderungsverwaltungsprogrammen geführt wird. Auch für sie gilt die Notwendigkeit, konsistent und redundanzfrei zu sein. Um eine übersichtliche Struktur zu gewährleisten, sollte eine Anforderungsliste ein minimales Anforderungskollektiv enthalten, d.h. auf die nötigsten Forderungen reduziert werden ohne dabei die Vollständigkeit zu verletzen, vgl. (Pahl et al. 2007, S. 226). In der Praxis ist eine vollständige Anforderungsliste hingegen unrealistisch, da im Laufe des Entwicklungsprozesses Forderungen fortwährend modifiziert und ergänzt oder sogar verworfen werden, siehe auch (Jung 2006, S. 70–71), (Müller 2007, S. 13), (Pahl et al. 2007, S. 226) – mit dem Ziel das Produkt immer detaillierter zu gestalten oder an geänderte Rahmenbedingungen anzupassen.

Im Schritt der Anforderungsdokumentation werden Anforderungen gruppiert und schriftlich festgehalten. Um aber die Qualität zu überprüfen und zu garantieren, gibt es bezüglich Anforderungen und Anforderungsdokumenten unter anderem folgende Kriterien, vgl. z. B. (IEEE Standard 830, S. 4–8), (Müller 2007, S. 9–10), (Fleischmann 2008, S. 26–27), (Grande 2011, S. 61), (Pahl et al. 2013, S. 324–325):

- Struktur: bessere Lesbarkeit und Wiederfinden von Inhalten im Dokument,
- Vollständigkeit und Aktualität: das Dokument enthält alle relevanten Anforderungen entsprechend des aktuellen Stands der Produktentwicklung,
- Erweiterbarkeit und Modifizierbarkeit: Anforderungen und Dokumente sind änderbar,
- Eindeutigkeit und Konsistenz: Anforderungen sind eindeutig und präzise formuliert, sie sind sprachlich und inhaltlich widerspruchsfrei,
- Notwendigkeit: Anforderungen müssen notwendig und hilfreich sein für die Produktentwicklung,
- Korrektheit: Anforderungen geben den dargestellten Sachverhalt richtig wieder,
- Testbarkeit und Verifizierung: Anforderungen sind überprüfbar und belegbar.

Über die oben genannten Kriterien wird eine Absicherung der Realisierung von Forderungen für das Produkt und gegebenenfalls weitere Produkte ermöglicht. Diese Qualitätskriterien lassen sich mit Hilfe verschiedener Techniken wie beispielsweise Checklisten auf ihren aktuellen Stand hin überprüfen, vgl. (Grande 2011, S. 62). Eine gute Übersicht über vorhandene Methoden und Literatur zum Anforderungsmanagement geben z. B. (Jung 2006, S. 25–76) und (Kumke 2013, S. 25).

Je nach zeitlicher Phase im Produktentstehungsprozess werden Anforderungen auf unterschiedliche Weise in verschiedenartigen Unterlagen gelistet, siehe Abbildung 19.

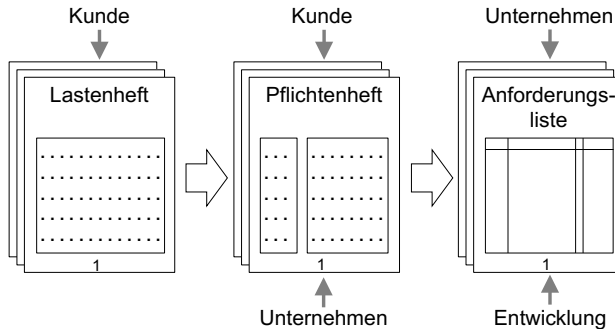


Abbildung 19: Anforderungsdokumente (nach (Kruse 1996, S. 113)).

Die Zusammenhänge zwischen Anforderungsdokumenten können folgendermaßen aufgezeigt werden, vgl. (Pahl et al. 2013, S. 319): Als schriftliche Anfrage eines Kunden beinhaltet das Lastenheft die gewünschten Anforderungen an das Produkt. Die technische Realisierbarkeit der gestellten Anforderungen und konkrete Lösungsmöglichkeiten aus Unternehmenssicht werden im Pflichtenheft als Beschreibung der Umsetzung des vorgegebenen Lastenhefts dargestellt. Auf Grundlage des Pflichtenhefts wird der Vertrag zur Entwicklung des Produkts geschlossen. Aus den vorangegangenen Dokumenten sind die lösungs- und gestaltbeeinflussenden Produktanforderungen abzuleiten und in der Anforderungsliste, als Zusammenstellung aller Anforderungen an das Produkt, zu dokumentieren. Diese Zusammenhänge sind ebenfalls dargestellt in (DIN 69901-5, S. 9–10), (Conrad 2008, S. 253), (Braess und Seiffert 2013, S. 1139–1142).

In der frühen Entwicklungsphase wird als eine zusätzliche Unterlage der Eigenschaftskatalog den dargestellten Dokumenten vorgeschaltet. Für die darin aufgeführten Anforderungen sind keine konkreten Ausprägungen hinterlegt, sodass sie in einem ersten Schritt lösungsneutral das Produkt beschreiben.

Fazit Anforderungsmanagement

Anforderungen sind sehr heterogen bezüglich Inhalt und Form. Gerade in Hinblick auf die Darstellung und Interpretation von Anforderungen spielt der Kontextbezug eine große Rolle, sodass der Zeitpunkt im Entwicklungsprozess und der Grad der Produktreife bei der Beschreibung und der Bearbeitung von Anforderungen miteinzubeziehen sind. Speziell bei komplexen Produkten lassen sich durch ein konsequentes Anforderungsmanagement Ver-

knüpfungen und Abhängigkeiten untereinander gezielter aufzeigen. So werden die Wirkung von Anforderungsänderungen einschätzbar und mögliche Diskrepanzen vermeidbar. Durch ihre entscheidende Einflussnahme auf nachgelagerte Konstruktionstätigkeiten dienen Anforderungen als ein Kontrollorgan. Mittels Anforderungsdokumenten sind eine Bewertung von erzielten Ergebnissen und eine Beurteilung von Lösungsvarianten sowie eine Schwachstellenanalyse mit nachfolgender Optimierung möglich (Kläger 1993, S. 7).

2.3.3 Anforderungen und Eigenschaften in der Fahrzeugentwicklung

Bei der Konzeption von Fahrzeugen spielen gerade die zu Beginn der Fahrzeugentwicklung festgelegten Anforderungen eine wichtige Rolle. Über sie wird der Charakter, d.h. das Alleinstellungsmerkmal des Fahrzeugkonzepts im Vergleich zum Wettbewerb, definiert und gerade diese Botschaft ist ausschlaggebend, um sich am Markt gut zu positionieren, vgl. (Hamm 1992, S. 18–19), (Weber 2009, S. 82–83), (Gusig und Kruse 2010, S. 43). Ein Fahrzeug weist unterschiedliche Eigenschaften auf, die zum einen objektiv festzustellen sind (z. B. Abmessungen, Verbrauch) und zum anderen subjektiven Wahrnehmungen unterliegen (z. B. Styling, Komfort) (Hamm 1992, S. 27).

In der Serienentwicklung werden Anforderungen sehr strukturiert in diversen Dokumenten – je nach Detaillierungsgrad und zeitlichem Einsatz vor SOP (Start of Production) – abgelegt, aufbereitet und weiter verwendet. Aufgrund des geringen Umfangs hinsichtlich der Anzahl und der zumeist nicht ausreichend vorhandenen Konkretisierung von Anforderungen ist in der frühen Phase der Konzeptentstehung eine Anforderungsdokumentation mit gewünschter Detaillierung schwieriger umsetzbar. Die Herausforderung besteht zum einen in der sprachlichen Formulierung bezüglich Verständlichkeit, Eindeutigkeit und Konsistenz der Anforderungen. Zum anderen sind organisatorische Aspekte wie Zugänglichkeit, Aktualität, Übersichtlichkeit und Vollständigkeit von Bedeutung. Dennoch müssen alle Anforderungen dokumentiert und den beteiligten Fachbereichen zur Verfügung gestellt werden.

Wichtig ist hier das Vorhandensein eines konkreten Ziels für ein Fahrzeugkonzept (vgl. Kernbotschaft, Kapitel 2.2), formuliert in entsprechend richtungsweisenden Anforderungen (z. B. das Fahrzeug soll alleine einparken können). Diese ersten ungefähren und globalen Anforderungen an ein Fahrzeugkonzept sind in Dokumenten (z. B. Eigenschaftskatalog, technische Konzept- und Produktbeschreibung) beschrieben, die als Basis der generellen und gängigen Anforderungsunterlagen aus Abbildung 19 dienen.

Eine Schwäche in der Kette der Anforderungsdokumentation stellen die nicht oder nur gering vorhandenen Verknüpfungen von Anforderungen in verschiedenen Dokumenten und Prozessen dar. Dies ist zum einen begründbar durch den unterschiedlichen Detaillierungsgrad der Anforderungen in den einzelnen Phasen der Fahrzeugkonzeption, zum anderen erschwert die Verwendung ungleicher Formate (z. B. Text, Tabelle, Grafik, CAD-Daten) die Zusammenarbeit der verschiedenen Fachabteilungen. Die Forderung nach einem übergreifenden Anforderungsdokument zur gemeinsamen Nutzung von Anforderungen ist daher folgerichtig, vgl. (Kickstein 2012, S. 33).

Bei der Aufstellung von Anforderungen an ein Fahrzeugkonzept gibt es grundlegende Aspekte, die konzeptunabhängig zu berücksichtigen sind – dazu zählen z. B. Sicherheit, Emotionalität, Kosten, Verbrauch, Komfort, Zuverlässigkeit, Fahrleistung sowie Transportvolumen, vgl. (Weber 2009, S. 107–108), (Braess und Seiffert 2013, S. 12). In der frühen Phase der Konzeptentwicklung liegen für diese und weitere Vorgaben meist wenig konkrete Annahmen vor, obwohl jedes Konzept zu diesen Anforderungen mindestens eine qualitative Aussage liefern

sollte, z. B. Sicherheit: fünf Sterne im Euro NCAP, Transportvolumen: best in class. Der Detaillierungsgrad dieser Anforderungen ist außerdem stark abhängig von ihrer unterschiedlichen Herkunft, siehe Abbildung 20.

Kunden der Forschung und Vorentwicklung können reale Fahrzeugkäufer (externe Kunden) oder z. B. andere Fachabteilungen (unternehmensinterne Kunden) sein. Interne Kunden äußern häufig bereits sehr konkrete Vorstellungen hinsichtlich eines Konzepts oder einer Konzeptidee (z. B. kleines Pendlerfahrzeug) mit ersten Randbedingungen für die Umsetzung. Fachabteilungen sind überdies bestrebt, ihre neu entwickelten Technologien oder bereits vorhandene Komponenten (z. B. Motor, Materialkonzept) in ein Fahrzeugkonzept einzubringen. Objektive Anforderungen und Randbedingungen werden hingegen vorwiegend durch die Gesetzgebung vorgeschrieben und betreffen größtenteils die Zulassung und die Sicherheitsvorschriften für das Fahrzeug. Lediglich ökonomische Unternehmensbelange sind bei der Fahrzeugkonzeption in der Forschung zunächst von untergeordneter Bedeutung, um Innovation nicht einzuschränken durch die Bindung an vorhandene Technologien und Fertigungsverfahren.



Abbildung 20: Anforderungen an Fahrzeugkonzepte in der frühen Konzeptphase.

Kundenanforderungen gelten zwar als Schlüssel zur Definition von Vorgaben für ein neues Fahrzeugkonzept. Eine frühzeitige Einbindung von Kundenbedürfnissen verlangt aber das Wissen von Marktentwicklungen und Trends, damit ein neues Fahrzeugkonzept nicht den aktuellen, sondern den relevanten Anforderungen zur Markteinführung in der mittelfristigen Zukunft entspricht, vgl. (Herstatt und Verworn 2007, S. 56). Nicht alle Kundenvorgaben können in gleichem Maße realisiert werden. Es erfolgt daher eine Kundensegmentierung und eine Fokussierung auf die sich aus der Kundengruppe ergebenden Anforderungen beziehungsweise Ausprägungen der Fahrzeugeigenschaften, vgl. (Ziemann 2007, S. 21). Diese meist heterogen formulierten Ansprüche müssen zur Konzepterstellung in quantifizierbare technische Merkmale zur Präzisierung und Vervollständigung einer Anforderungsliste übersetzt werden. Aus einer Kundenanforderung (z. B. guter Komfort) lassen sich häufig mehrere technische Vorgaben (z. B. große Beinfreiheit, Klimaanlage) ableiten, weshalb Methoden wie z. B. Conjoint Analyse (siehe z. B. (Herstatt und Verworn 2007, S. 51–53)) und Quality Function Deployment (QFD) (siehe z. B. (Engeln 2006, S. 185–186)) zum Einsatz kommen. Bei diesen Methoden erfolgt eine frühzeitige Fokussierung auf Produktmerkmale, wodurch keine weitere Erfassung unbekannter Kundenwünsche und neuartiger Eigenschaften stattfindet – sie er-

scheinen daher weniger für innovative als mehr für die Überarbeitung bestehender Produkte geeignet, vgl. (Seidel 2005, S. 47, 49), (Pahl et al. 2013, S. 302).

Fazit Anforderungsumgang in der Fahrzeugentwicklung

Es hat sich gezeigt, dass die an ein neues Fahrzeugkonzept gestellten Anforderungen von technisch sehr konkreten (Zahlen-) Werten bis zu emotionalen Kundenwünschen eine große Bandbreite abdecken. Die Erfüllung aller Anforderungen ist daher eine große Herausforderung. Je komplexer ein Produkt ist, umso schwieriger sind Anforderungen handhabbar und ihre Übersichtlichkeit im Prozess nimmt ab, daher sind systematische Vorgehensweisen erforderlich. Gerade auch im Hinblick auf die starke (Weiter-) Entwicklung von Anforderungen während des Konzeptionsprozesses und der subjektiven Interpretationsmöglichkeiten ist eine exakte und eindeutige Beschreibung von geforderten Fahrzeugeigenschaften notwendig, vgl. (Gusig und Kruse 2010, S. 57, 76).

2.3.4 Werkzeuge und Hilfsmittel beim Anforderungsmanagement

Anforderungen haben im Entwicklungsprozess verschiedene Aufgaben: Zielbestimmung, Lösungssuche und Bewertung beziehungsweise Vergleich unterschiedlicher Lösungsvarianten. Sie sollten daher so früh wie möglich und dabei weitestgehend vollständig, exakt und lösungsneutral im Entwicklungsprozess beschrieben werden. Einige Arbeiten zu diesem Thema werden im Folgenden dargestellt und sind nach den Haupttätigkeiten im Anforderungsmanagement (siehe Kapitel 2.3.1, Abbildung 18) gegliedert.

Anforderungen ermitteln und festlegen

Bevor ein Produkt entwickelt werden kann, müssen Anforderungen an dieses erkannt, festgelegt und entsprechend verarbeitet werden.

Um Informationen aus realisierten Entwicklungsprojekten nutzen zu können, entwickelt Nottrodt (Nottrodt 1999) eine funktionale Produktstruktur, die den Anwender bei der Anforderungsfestlegung unterstützt. Als zentrales Dokument dient eine Informationstechnologie-gestützte Anforderungsliste zur Bereitstellung von aufgabenrelevanten Informationen und Ergebnissen sowie organisatorischen Daten mittels einer Semantik. Durch Kombination automatischer ProgrammROUTINEN und Interaktionen zwischen System und Benutzer wird z. B. die Bewertung der Relevanz realisierter Produktfunktionen für neue Aufgabenstellungen ermöglicht. Eine systematische Erfassung, Strukturierung und Bereitstellung von Anforderungen und Informationen erlauben z. B. die Überprüfung der Aufgabenstellung bezüglich Konsistenz. Zeitintensiv sind der detaillierte Aufbau einer Datenbank und das Bereitstellen von Wissen, um Vollständigkeit und Konsistenz der funktionalen Produktstruktur zu gewährleisten.

Ahrens (Ahrens 2000) stellt einen Ansatz zur umfassenden Unterstützung der Anforderungserfassung und -handhabung in der praktischen Anwendung vor, siehe Abbildung 21. Existierende wissenschaftliche Ansätze werden analysiert und ein allgemein anwendbares Konzept, bestehend aus Vorgehensmodell und Methodikbaukasten, abgeleitet. Aufbauend auf Kundenbedürfnissen beinhaltet das Vorgehensmodell verschiedene Einflussfaktoren, sogenannte Dimensionen, für eine positive Produktentwicklung. Diesen Dimensionen werden optimale Methoden und Hilfsmittel aus der erarbeiteten Methoden-Autoren-Matrix des Methodikbaukastens zugeordnet. Die Nutzung vorhandener Methoden und Hilfsmittel, die Ein-

beziehung industrieller Anforderungen und die praxisorientierte Gestaltung des Methodikkonzepts erhöhen die Anwenderakzeptanz in der Industrie. Ohne eine durchgängige Rechnerunterstützung ist das Konzept jedoch zeitaufwändig.

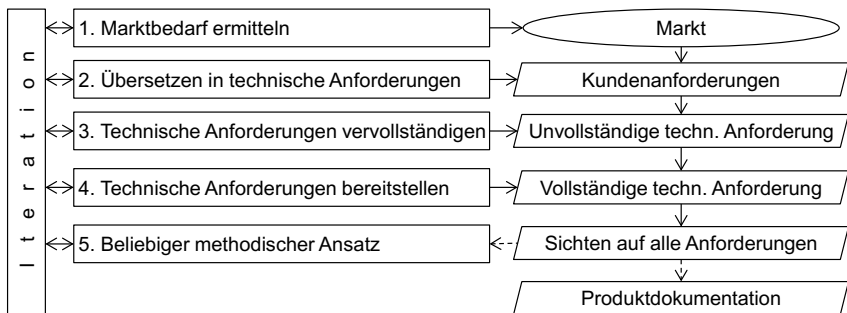


Abbildung 21: Erfassung und Handhabung von Anforderungen (nach (Ahrens 2000, S. 118)).

Jung (Jung 2006) entwickelt eine Methodik zur prozessbegleitenden Anforderungsklä rung mit dem Fokus auf ganzheitliches Erkennen von Anforderungen in der interdisziplinären Produktentwicklung, siehe Abbildung 22. Unter der Annahme, dass sich Anforderungen auf Beziehungen zwischen Elementen eines Systems und dessen Umgebung zurückführen lassen, erfolgt unter Einbindung bekannter Methoden die Zerlegung des Systems in seine Elemente. Die kontinuierliche Abfrage nach Relationen zwischen Anforderungen führt sukzessive zu immer höheren Detaillierungsstufen, woraus sich eine Anforderungsliste ergibt.

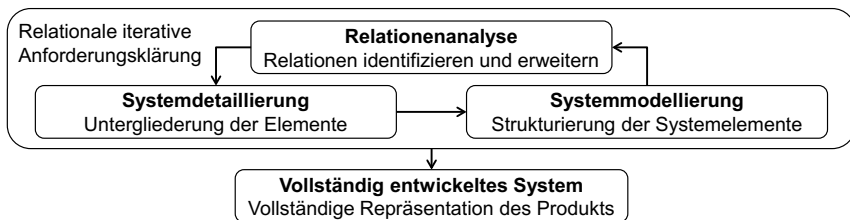


Abbildung 22: Ablauf des iterativen Systemaufbaus (nach (Jung 2006, S. 95)).

Das abgeleitete Tool RIA zur relationalen iterativen Anforderungsklä rung dient als gemeinsame Basis unterschiedlicher Fachbereiche, um ein kollektives Systemverständnis zu schaffen und das Erkennen disziplinübergreifender Anforderungen zu unterstützen. Der Systemaufbau hängt durch die unterschiedliche Art der Ausführung subjektiv vom Entwicklerteam ab.

Anforderungen strukturieren und dokumentieren

Um eine effiziente Nutzung von Anforderungen für die Produktentwicklung zu erreichen, ist es empfehlenswert, diese zu strukturieren und zu dokumentieren. So arbeiten alle beteiligten Bereiche auf derselben Wissensgrundlage.

Krusche (Krusche 2000) befasst sich mit einer konstruktionsprozessorientierten Strukturierung von Anforderungen in der Produktentwicklung und speziell mit dem Übergang von der Anforderungsermittlung zur Anforderungsverarbeitung. Durch die Zuordnung von Anforderungen zu den Phasen des methodischen Konstruierens lassen sich frühzeitig Informationen über einen möglichen Lösungsweg und relevante Lösungseigenschaften ableiten. Beziehungen zwischen Anforderungen können mittels Intermodellbeziehungen analysiert und deren Wichtigkeit abgeschätzt werden, sodass sich bereits bestimmte Lösungsvarianten ausschließen lassen. Als Ergebnis der strukturierten Anforderungen wird das Wissen in einer Beziehungsmatrix dokumentiert und als Anforderungsliste zur Verfügung gestellt. Das pragmatische Vorgehen bei der Anforderungsstrukturierung ist abhängig von der gestellten Aufgabe und lässt dem Anwender einen sehr großen Interpretationsraum.

Aufgrund der Komplexitätszunahme bezüglich Umfang und inhaltlicher Beziehungen von Anforderungsdokumenten und der damit verbundenen Informationsüberlastung stellt Müller (Müller 2007) ein semantisch erweitertes Klassifikationsschema zur Strukturierung von Anforderungen vor. Ziel ist die Optimierung modellbasierter Anforderungsdarstellung durch Integration einer modularen Methodik zur aufgabenorientierten Verarbeitung von Produktanforderungen. Eine Strukturierung und manuelle Analyse von Anforderungen sowie eine Prozessbeschreibung zur Umsetzung werden durch detaillierte Festlegung einzelner Aspekte zur Anforderungsfilterung dargelegt. Eine modulare Architekturplattform gewährleistet die Funktionalität jeder Architekturkomponente und erlaubt so eine eindeutige informationstechnische Verarbeitung der Anforderungen. Die Vorteile des Systems kommen aber erst bei einem komplexen Anforderungsumfang zum Tragen.

Röder (Röder 2014) entwickelt eine integrale Methodik der Anforderungcluster, die den Anwender strukturiert durch den Anforderungserfassungsprozess führt. Hierzu werden Produkt- und Prozessanforderungen separat voneinander definiert und in einem erarbeiteten Modellraum in Bezug zueinander gesetzt, siehe Abbildung 23.

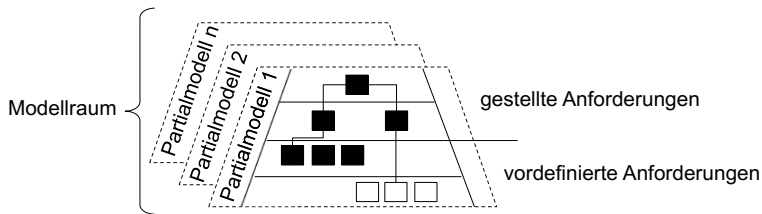


Abbildung 23: Modellraum mit Partialmodellen (nach (Röder 2014, S. 66)).

Aus dem Modellraum abgeleitete Clusterstrukturen gruppieren ähnliche Eigenschaften und Merkmale zu sogenannten objektorientierten Anforderungscustern, die gleichzeitig als implizite Wissensspeicher dienen. Die Verwendung des Modellraums ermöglicht die Ergänzung verschiedener Partialmodelle und die Erfassung nachträglich identifizierter Anforderungen im Prozess. Da die Methodik auf der Einspeisung von Wissen in Form von Anforderungen beruht, könnten sich Anwender durch viele Auswahlmöglichkeiten an Anforderungen veranlasst fühlen, entsprechend viele Spezifikationen festzulegen, wodurch der Lösungsraum unnötig eingengt wird.

Anforderungen abstimmen und validieren

Die Abstimmung von Anforderungen trägt zur besseren Zusammenarbeit der beteiligten Bereiche bei. Durch die Anforderungsvalidierung werden Zielkonflikte frühzeitig identifiziert.

Humpert (Humpert 1995) stellt einen Ansatz zur Anforderungsverarbeitung vor, bei dem Informationen formalisiert und in jeder Phase der Produktentwicklung weiter präzisiert werden. Für den Aufbau eines Anforderungsmodells dienen allgemeingültige und anwenderorientierte Beschreibungen von Anforderungen, die objektorientiert aus Anforderungsklassen und Beziehungen zwischen Anforderungen aufgebaut sind, siehe Abbildung 24. Ein ständiger Vergleichsprozess zwischen Anforderungsinformationen und Entwicklungsergebnissen ermöglicht z. B. die Anforderungspräzisierung und die Analyse der Modellinhalte. Die gewählte Systemarchitektur erlaubt eine softwaretechnische Wiederverwendbarkeit der Systemkomponenten, eine einheitliche Strukturierung von Anforderungen sowie die Nutzung von Informationen zur Aufgabenklärung und Anforderungserstellung sind aber nicht vorgesehen.

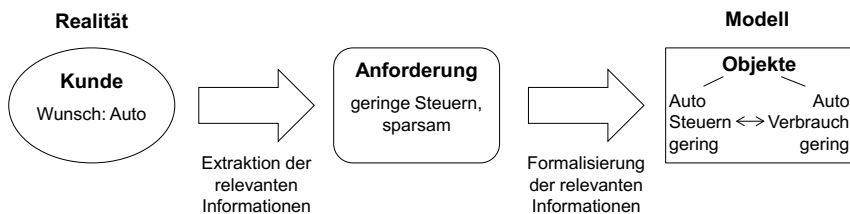


Abbildung 24: Relevante und formalisierte Anforderungen (nach (Humpert 1995, S. 65)).

Kickermann (Kickermann 1995) analysiert vorhandene methodische und softwaretechnische Ansätze rechnerbasierter Werkzeuge zur Unterstützung der Anforderungsverarbeitung. Eine Anforderungssyntax zur umgangssprachlich nahen Formulierung von Anforderungen dient als Basis für die Ableitung einer Zielfunktion aus der Anforderungsliste. Um unscharfe Anforderungen in den Beurteilungsprozess einzubinden, werden Methoden der Fuzzy-Logik eingesetzt. Neuronale Netze wiederum unterstützen bei Anforderungsverarbeitung und Abgleich zwischen Produktmodelldaten und Anforderungsinhalten durch das Erkennen von Eigenschaftsmustern. Die analysierten Ansätze ermöglichen die Prüfbarkeit der Konsistenz zwischen Produkteigenschaften und Anforderungen. Trotz der modularen Systemarchitektur können einige Tools nicht ohne weitere Anpassungsarbeiten in das übergeordnete Gesamtsystem übernommen werden.

Ganzheitliche Ansätze

Mayer-Bachmann (Mayer-Bachmann 2007) stellt eine analogiebasierte Methodik und einen Entwurf für ein integratives Anforderungsmodell vor. Dieses fungiert als Metaebene und hält die Produktdatenanteile über den gesamten Entwicklungsprozess logisch zusammen, wodurch eine in sich konsistente Anforderungsstruktur gegeben ist. Die Umsetzung des Anforderungsmodells (Produktorganismus) erfolgt durch die sogenannte Produkt-DNA als zentraler Ort aller Informationen, siehe Abbildung 25. Sie beschreibt die Struktur des Produkts und die Elementfunktionen zur Verarbeitung von Einflüssen auf Anforderungselemente, z. B. Änderung der Soll-/Ist-Werte. Zentrale Anforderungselemente in dem Modell sind Produktelemen-

te und ihre Eigenschaften, die in Beziehung zueinander stehen. Die hohe Anzahl an Anforderungselementen fordert geeignete Strukturierungs- und Visualisierungsmöglichkeiten sowie eine rechnerunterstützte Umsetzung.

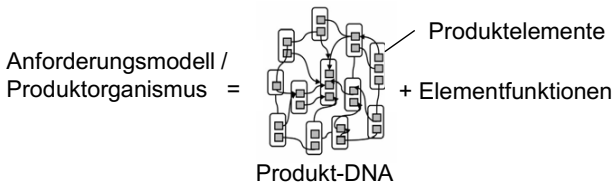


Abbildung 25: Schematischer Produktorganismus (Mayer-Bachmann 2007, S. 105).

Ein Modellierungskonzept zur systematischen Erfassung, Verarbeitung und Bereitstellung von Anforderungen stellt Stechert (Stechert 2010) vor mit dem Schwerpunkt auf mechatronischen Systemen und Aspekten der Baukastenentwicklung. Zur ganzheitlichen Betrachtung des Produkts auf Systemebene dienen Partialmodelle basierend auf der Beschreibungssprache System Modelling Language (SysML). Für Modellauswertung mittels Inter- und Intramodellbeziehungen (siehe Abbildung 26) sowie Identifikation von Zielkonflikten werden entwickelte Rechnerhilfsmittel zur Seite gestellt. Mit diesem umfassenden Modellierungskonzept lassen sich Merkmalsausprägungen und Abhängigkeiten von Objekten durch Bildung verschiedener Sichten filtern. Das Konzept ermöglicht allerdings systembedingt keine bidirektionale Kommunikation zwischen einzelnen Modellierungswerkzeugen, sodass es keine automatische Synchronisation bei Änderungen gibt.

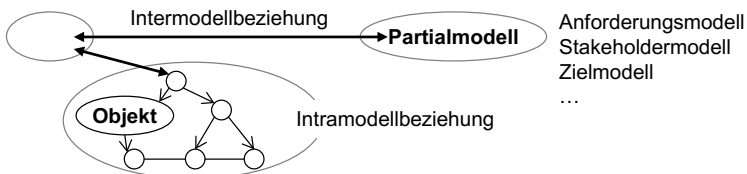


Abbildung 26: Modellhierarchie der Beziehungsarten (nach (Stechert 2010, S. 53)).

Fazit Werkzeuge und Hilfsmittel des Anforderungsmanagements

Als einziges Tätigkeitsfeld des Anforderungsmanagements wird *Anforderungen pflegen und verwalten* nicht direkt fokussiert, sondern indirekt z. B. in (Krusche 2000) und (Mayer-Bachmann 2007) bearbeitet, die mittels Datenbanksystemen und Softwareumgebungen auf Wissen zurückgreifen. Methoden zur Unterstützung der interdisziplinären Produktentwicklung zeigen z. B. (Jung 2006) und (Stechert 2010) und verdeutlichen die Relevanz von Kundenbedürfnissen und Umgebungsanalysen. Ebenso rücken die Beziehungen zwischen Anforderungen weiter in den Fokus (z. B. (Krusche 2000), (Röder 2014)). Die Validierung und Bewertung von Anforderungen (z. B. (Humpert 1995), (Kickermann 1995)) trägt dazu bei, Zielkonflikte zu vermeiden und ein konsistentes Produkt zu entwickeln. Durch den Praxisbezug wird z. B. bei (Ahrens 2000) die Anwenderakzeptanz von Anforderungsmanagement in der Industrie erhöht. Eine begleitende Prozessdarstellung (z. B. (Müller 2007), (Röder 2014)) führt schließlich zu einem umfassenden Umgang mit Anforderungen.

2.4 Folgerungen für die Arbeit

Aus der Betrachtung der Produktentstehungsprozesse in Kapitel 2.1 wurden Grundvoraussetzungen identifiziert, die eine zu entwickelnde Methodik beziehungsweise ein Werkzeug zu erfüllen hat. Die Analyse der Methoden und Leitfäden der Fahrzeugkonzeption und des Anforderungsmanagements in den Kapiteln 2.2 und 2.3 ergaben weitere spezifische Kriterien, die zur Unterstützung der Fahrzeugkonzeption im Bereich der Fahrzeugforschung entscheidend sind. Diese Forderungen zeigt Tabelle 5.

Tabelle 5: Literatur-Bewertungskriterien für Werkzeuge und Hilfsmittel.

Kriterium	Bedeutung	Literatur
Eignung frühe Phase	geringe Komplexität, geringer Detaillierungsgrad, Variantenreichtum, angepasstes Wissen	(Kläger 1993, S. 290), (Heinke 1994, S. 152), (Pahl 1999, S. 15–17), (Bisinger 2001, S. 2), (Lindemann 2009a, S. 57)
Anwendungsnähe	praxisnah, situationsangepasst, aktuell	(VDI 2221), (Fricke 1993, S. 100), (Pahl 1999, S. 16), (Franke 1999, S. 15), (Jänsch 2007, S. 53), (Abramovici und Meimann 2010, S. 67)
Benutzerfreundlichkeit	einfacher Aufbau, schnell, intuitive Bedienung, kurze Rechenzeiten	(Jänsch 2007, S. 53), (Pahl et al. 2013, S. 416)
Flexibilität	anpassungsfähig, erweiterbar, änderbar, individuell einsetzbar	(Fricke 1993, S. 100), (Pahl 1999, S. 16), (Bisinger 2001, S. 64), (Jänsch 2007, S. 53), (Pahl et al. 2007, S. 9–11), (Abramovici und Meimann 2010, S. 67)
Umgang mit Anforderungen	Erfassung, Verarbeitung, Nachvollziehbarkeit, Pflege im Prozess	(Jung 2006, S. 101–102), (Müller 2007, S. 15), (Grande 2011, S. 11), (Kickstein 2012, S. 32), (Röder 2014, S. 152)
Grobkonzeptableitung	wenige Eingangsdaten, abschätzend, konsistentes erstes Ergebnis	(Geschka 1993, S. 135), (Rasenack 1998, S. 5), (Herstatt und Verwoon 2007, S. 352), (Weber 2009, S. 29–31)
Ergebniskontrolle	Bewertbarkeit, Ist-Ziel-Abgleich, Effektivität des Hilfsmittels	(Kläger 1993, S. 7), (Engeln 2006, S. 19), (Pahl et al. 2007, S. 11), (Pahl et al. 2013, S. 20)
Datendokumentation	Verfolgbarkeit, Tracking, Speicherung	(Pahl et al. 2007, S. 9), (Grande 2011, S. 20), (Kickstein 2012, S. 33)

Anhand dieser themenübergreifenden Beurteilungskriterien erfolgt die Bewertung der in der Literatur aufgezeigten Werkzeuge und Ansätze entsprechend für die beiden Bereiche Fahrzeugkonzeption (siehe Kapitel 2.2.3) und Anforderungsmanagement (siehe Kapitel 2.3.4).

Tabelle 6 zeigt die thematisch sortierten Literaturansätze für die Fahrzeugkonzeption. Für diesen Bereich ist die Erfüllung der Bewertungskriterien wechselhaft.

Tabelle 6: Literaturbewertung im Bereich Fahrzeugkonzeption.

Literatur	Merkmale/ Kriterien								Bemerkung
Erfüllungsgrad: <div><div></div> hoch</div> <div><div></div> mittel</div> <div><div></div> gering</div>	Eignung frühe Phase	Anwendungsnähe	Benutzerfreundlichkeit	Flexibilität	Umgang mit Anforderungen	Grobkonzeptableitung	Ergebniskontrolle	Daten-Dokumentation	
Eigenschaftsbasierte Ansätze									
Heinke 1994	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	+Durchgängige Datenverfolgung - Umfangreiches Datenmodell notwendig (Komplexität)
Wiedemann 2012	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	+Ableitung umfassender Eigenschaftsziele (Vergleich) - Verwendung von nur quantifizierbaren Eigenschaften
Parameterbasierte Ansätze									
Rasenack 1998	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	+Parametervariation durch vereinfachte Geometrien - Nur für Fahrzeugteilbereiche
Rosbacher/ Dietrich 2009	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	+Ganzheitliche Entwurfsunterstützung/-begleitung - Sehr komplex (> 600 Parameter)
Package- und topologiebasierte Ansätze									
Kuchenbuch 2012	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	+Schnelle Erzeugung vieler Konzeptvarianten - Plattformgenerierend, keine Aufbauveränderung
Rabe 2011	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	+Protokoll zur durchgängigen Änderungsdarstellung - Spezielle Entwicklung für einen Automobilhersteller
Ganzheitliche Ansätze									
Braess 1975, 1985, 1988	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	+Beziehungsmatrix für Eigenschaften - Für einfache Modelle
Prinz 2011	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	+Nachverfolgbarkeit von Parametern - Komplexe Darstellung von Parameterverknüpfungen
Wissensbasierte Ansätze									
Gühl 2003	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	+Schnelles Erzeugen von Fahrzeugvarianten - Nur Integrationsplattform für andere Werkzeuge
Bisinger 2001	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	+Ganzheitliche Optimierung für Forschungsprozesse - Bereits sehr detaillierte Festlegung von Prozessschritten

Existierende Ansätze der Fahrzeugkonzeption dienen einem besserem Verständnis der Fahrzeug-Zusammenhänge (z. B. (Rossbacher et al. 2009), (Prinz 2011)) und sind notwendig zur Beschreibung und Darstellung von Abhängigkeiten zwischen Fahrzeug-Parametern. Für die frühe Konzeptphase ist hier allerdings ein geringer Detaillierungsgrad – aufgrund der wenigen definierten Daten und für eine bessere Übersichtlichkeit – ausreichend. Die Einbeziehung von (Kunden-) Anforderungen ermöglicht die gezielte Entwicklung des Fahrzeugs, wodurch automatisch ein Kontrollorgan zur Überprüfung des Entwicklungsergebnisses vorhanden ist. Erarbeitetes Wissen zu dokumentieren und neuen Projekten zugänglich zu machen, sollte bei jeder Konzeptentwicklung selbstverständlich sein. Individuelle und anwenderfreundliche Ansätze sind vorhanden, fokussieren aber entweder ein spezielles Gebiet (z. B. Elektrofahrzeuge in (Kuchenbuch 2012)) oder sind bereits so umfassend umgesetzt, dass sie für den Einsatz in der frühen Phase bereits zu komplex und detailliert sind (z. B. (Rasenack 1998)). Die dargestellten Arbeiten ermöglichen zwar eine Ableitung von Fahrzeug-Grobkonzepten (z. B. auf Basis von Kundenanforderungen in (Wiedemann 2014) oder optimierter Eigenschaften in (Kuchenbuch 2012)), benötigen dafür aber bereits genaue Vorgaben in Form von Fahrzeugparametern, die in der frühen Phase noch wenig Relevanz haben, und Eigenschaftspräferenzen des Benutzers.

Die Literatur aus dem Bereich Anforderungsmanagement deckt die Bewertungskriterien überwiegend gut ab, weist aber in Bezug auf die Grobkonzepterstellung keinerlei Ausführung auf (Erfüllungsgrad gering), siehe Tabelle 7. Lediglich das Kriterium des Umgangs mit Anforderungen wird von allen vorgestellten Ansätzen in hohem Maße erfüllt.

Tabelle 7: Literaturbewertung im Bereich Anforderungsmanagement.

Literatur	Merkmale/ Kriterien								Bemerkung
Erfüllungsgrad: ● hoch ◐ mittel ○ gering	Eignung frühe Phase	Anwendungsnähe	Benutzerfreundlichkeit	Flexibilität	Umgang mit Anforderungen	Grobkonzeptableitung	Ergebniskontrolle	Daten-Dokumentation	
Anforderungsermittlung und -ableitung									
Nottrodt 1999	◐	●	◐	●	●	○	◐	●	+Visualisierung von Eigenschaftsabweichungen - Notwendigkeit einer detaillierten Datenbank
Ahrens 2000	◐	●	◐	●	◐	○	○	◐	+Einbeziehung praxisorientierter Anforderungen - Keine neuen Aspekte (Einsatz existierender Methoden)
Jung 2006	●	◐	◐	●	●	○	○	◐	+Disziplinübergreifendes Erkennen von Anforderungen - Systemerstellung individuell geprägt

Tabelle 7 (Fortsetzung): Literaturbewertung im Bereich Anforderungsmanagement.

Literatur	Merkmale/ Kriterien								Bemerkung
Erfüllungsgrad: ● hoch ⊘ mittel ○ gering	Eignung frühe Phase	Anwendungsnähe	Benutzerfreundlichkeit	Flexibilität	Umgang mit Anforderungen	Grobkonzeptableitung	Ergebniskontrolle	Daten-Dokumentation	
Anforderungsstrukturierung und -dokumentation									
Krusche 2000	⊘	●	⊘	⊘	●	○	●	●	+Strukturieren und Hervorheben zentraler Anforderungen - Anforderungsinformationen sehr umfangreich
Müller 2007	●	⊘	⊘	●	●	○	○	⊘	+Keine Bindung an ein zentrales System - Erst sinnvoll bei komplexem Umfang von Anforderungen
Röder 2014	⊘	●	⊘	●	●	○	⊘	⊘	+Objektive Modellerstellung auf physikalischen Effekten - Gefahr der Überspezifikation von Anforderungen
Anforderungsabstimmung und -validierung									
Humpert 1995	⊘	⊘	⊘	⊘	●	○	⊘	⊘	+Schnelle Erzeugung vieler Konzeptvarianten - Plattformgenerierend, keine Aufbauveränderung
Kickermann 1995	○	⊘	⊘	●	●	○	⊘	⊘	+Protokoll zur durchgängigen Änderungsdarstellung - Spezielle Entwicklung für einen Automobilhersteller
Ganzheitliche Ansätze									
Mayer-Bachmann 2007	⊘	●	⊘	⊘	●	○	⊘	⊘	+In sich konsistente Anforderungsstruktur - Variantenentwicklung mit hohem Aufwand verbunden
Stechert 2000	⊘	⊘	●	●	●	○	⊘	⊘	+Projektüberwachung durch Kennzahlenerfassung - Keine bidirektionale Kommunikation der Werkzeuge

Obwohl alle Ansätze eine Haupttätigkeit des Anforderungsmanagements (siehe Abbildung 18) fokussieren, liefern sie durch tätigkeitsübergreifende Betrachtungen vielmehr umfassende Arbeiten zum Umgang mit Anforderungen. Der Einsatz zentraler Systemarchitekturen sorgt für Flexibilität und die Möglichkeit der Anbindung weiterer Werkzeuge und Programmbausteine (z. B. (Kickermann 1995), (Nottrodt 1999), (Stechert 2010)). Dadurch ist die Verwendung der Hilfsmittel über ihre eigentliche Bestimmung hinaus denkbar. Mit der Daten-Dokumentation beschäftigt sich keiner der Ansätze explizit. Sie wird in allen Arbeiten erwähnt als Hilfsmittel, um zielgerichtet Entwürfe zu bewerten (z. B. (Krusche 2000)) oder zur Überprüfung von Anforderungen für eine Ergebniskontrolle (z. B. (Humpert 1995), (Mayer-Bachmann 2007), (Röder 2014)). Generell befassen sich die vorgestellten Arbeiten mit der Herkunft und der Weiterverarbeitung von Anforderungen, um ein konsistentes Produkt zu

entwickeln. Sie zeigen dabei aber keine Möglichkeiten auf, ein erstes Fahrzeug-Grobkonzept als Ergebnis aus einer Zusammenstellung von Anforderungen abzuleiten.

Fazit und Ableitung von Handlungsschwerpunkten

Das Potenzial für eine effiziente Fahrzeugkonzeption liegt in der frühen Phase der Fahrzeugentwicklung, vgl. (Gühl 2003, S. 30, 107). Denn zu diesem Zeitpunkt kann durch Eigenschaftsfrüherkennung bereitszeitig auf Zielkonflikte zwischen gestellten Anforderungen beziehungsweise Eigenschaftsausprägungen reagiert werden. Ebenso ist durch den noch vorhandenen kreativen Freiraum gleichzeitig eine große Vielfalt an Konzeptalternativen darstellbar.

Die Analyse des Stands der Wissenschaft hat gezeigt, dass in der Literatur für die unterschiedlichen Anwendungsgebiete der Fahrzeugkonzeption und des Anforderungsmanagements eine Reihe von Werkzeugen und Hilfsmitteln zur Unterstützung vorhanden sind. Eine adäquate Verbindung beider Themenbereiche bezogen auf die frühe Phase der Fahrzeugentwicklung wurde aber noch nicht thematisiert.

Es existiert in der Literatur kein geeignetes Hilfsmittel zur Unterstützung der Fahrzeugkonzeption für die frühe Phase, angepasst an den benötigten Informationsgehalt und Detaillierungsgrad – auch CAD-Systeme stellen kaum phasengerechte Funktionalitäten bereit, vgl. (Kläger 1993, S. 290), (Heinke 1994, S. 42–43), (Kickermann 1995, S. 1), (Raabe 2013, S. 143). Daher haben einige Autoren diesbezüglich Forderungen an ein mögliches Werkzeug und den entsprechenden Umgang mit Anforderungen in der frühen Phase formuliert:

- Ganzheitliche Betrachtung der Zusammenhänge auf Systemebene, vgl. (Kläger 1993, S. 8–9), (Heinke 1994, S. 42–43),
- Unterstützung und Erleichterung bei Routinearbeiten, aber keine Bevormundung des Anwenders, vgl. (Suhm 1993, S. 7), (Kläger 1993, S. 290), (Heinke 1994, S. 155), (Gühl 2003, S. 22), (Stechert 2010, S. 7),
- frühzeitige Anforderungserfassung (erkennen und berücksichtigen relevanter Anforderungen), vgl. (Heinke 1994, S. 42–43, 152), (Pahl 1999, S. 16), (Krusche 2000, S. 165), (Jung 2006, S. 141), (Helm et al. 2012, S. 1),
- (zentrale), flexible und strukturierte Anforderungsdokumentation, vgl. (Nottrodt 1999, S. 119), (Ziemann 2007, S. 62–63, 79), (Müller 2007, S. 32–33), (Stechert 2010, S. 8),
- Durchgängigkeit von Entwurfsdaten, Konzeptentwürfe generieren, vergleichen und bewerten, vgl. (Hänschke 1990, S. 143), (Kläger 1993, S. 6, 291–292), (Heinke 1994, S. 152),
- frühzeitiges Erkennen von Zielkonflikten, vgl. (Herstatt und Verworn 2007, S. 378), (Ziemann 2007, S. 62–63, 78), (Seiffert und Gotthard 2008, S. 7–8).

Unter Berücksichtigung der genannten Forderungen und Ergänzung der oben dargestellten Defizite vorhandener Werkzeuge und Hilfsmittel soll in der vorliegenden Arbeit die Erarbeitung einer Methodik zur Unterstützung des Anwenders bei der eigenschaftsbasierten Fahrzeugkonzeption in der frühen Phase der Fahrzeugentwicklung erfolgen. In diesem Ansatz sind speziell die Themengebiete Fahrzeugkonzeption und Anforderungsmanagement miteinander zu vereinen. So soll das Wissen aus der Fahrzeugkonzeption zur Ableitung erster überschlägiger Fahrzeug-Grobkonzepte auf Basis von Konzeptideen mit den Kenntnissen des Anforde-

rungsmanagements bezüglich des Umgangs und der Dokumentation von Anforderungen verbunden werden.

Bei komplett neuen Aufgabenstellungen, wie z. B. in Forschungsabteilungen, stehen zu Entwicklungsbeginn häufig nur wenige Anforderungen zur Verfügung. Die ganzheitliche Fahrzeugkonzeption unter der Vorgabe lediglich weniger Anfangsanforderungen ist daher für die Methodik zu fokussieren. Mit Hilfe von Beziehungen zwischen Fahrzeugparametern sind schlüssige Konzepte zu generieren, hinsichtlich der Anforderungserfüllung zu bewerten und miteinander zu vergleichen. Diese erstellten Grobkonzepte sollen als einfache und aussagekräftige Informationsdarstellung z. B. zur Entscheidungsunterstützung und für Entscheidungsträger bei Entwicklungsgesprächen sowie für die interdisziplinäre Zusammenarbeit verwendet werden können.

Die Methodik soll durch das Fahrzeug-Grobkonzept als Ergebnis der frühen Konzeptphase (siehe Innovationsphase im Produktentstehungsprozess in Abbildung 9) frühere und reifere Aussagen zu Fahrzeugkonzeptideen ermöglichen, mit dem Ziel den Produktentstehungsprozess des Gesamtfahrzeugs nachhaltig und effektiv zu unterstützen und zu verkürzen.

Eigenschaftsbasierte Fahrzeugkonzeption

Eine Methodik in der frühen Konzeptphase

Hahn, J.

2017, XIX, 133 S. 53 Abb., 10 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-658-20100-5