



Hendrik Abel (Autor)

Entwicklung einer Fahrwerksauslegungsmethode für Pkw zur Anwendung in der Konzeptphase



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8136>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

Das Fahrwerk und die Reifen eines Fahrzeugs stellen die einzigen Bindeglieder zwischen dem Fahrzeugaufbau und der Straße dar. Daher wird dem Fahrwerk mitsamt dem Reifen im Systemverbund Fahrzeug eine ausgesprochen wichtige Rolle beigemessen. Es muss zielgerichtet die Anforderungen des Fahrers auf der Straße umsetzen, den Fahrer zeitgleich vertikaldynamisch von der Straße entkoppeln und dabei jederzeit den Rad-Straße-Kontakt gewährleisten. Es prägt maßgeblich das Kundenempfinden hinsichtlich Fahrdynamik und Fahrkomfort. Nach einer Untersuchung von ATZWANGER ET. AL. stellen *Sportlichkeit, Spaß/Fun, Abenteuer/Activity, Individualität, Wohlfühlen* und *Sicherheit* die wesentlichsten zukünftigen Kaufentscheidungswerte für ein Fahrzeug dar. Die in Abbildung 1.1 gezeigten Gesamtfahrzeugeigenschaften wurden dabei allesamt hinsichtlich ihres Einflusses auf diese kaufentscheidenden Werte untersucht. Dabei ist zu beachten, dass eine Anordnung der jeweiligen Eigenschaft nahe des Kreismittelpunkts eine geringe Wichtigkeit in der Gesamtbewertung bedeutet. Es wird ersichtlich, dass die Fahrdynamik neben dem Design und der Fahrleistung am besten geeignet ist, die kaufentscheidenden Werte zu vermitteln (vgl. Abbildung 1.1). [AN06] Auch nach KRAFT ist das *Fahrverhalten* ein bedeutender Kaufwert bei der Entscheidung für einen Hersteller [Kra11].

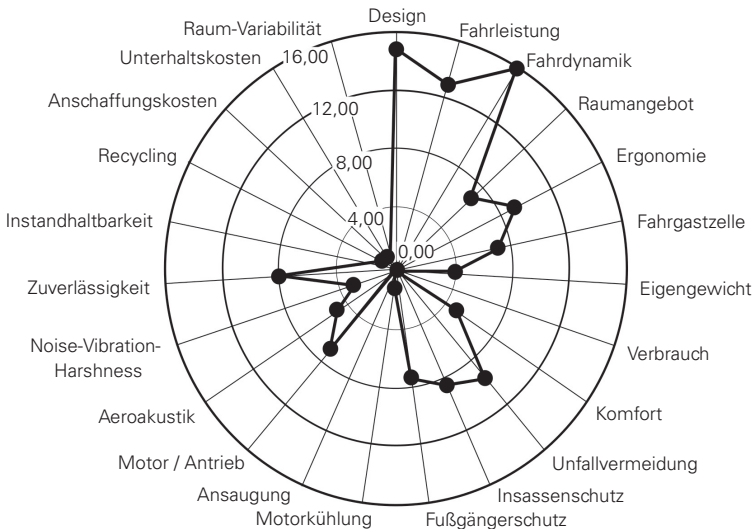


Abbildung 1.1.: Bedeutung der Gesamtfahrzeugeigenschaften als Transporteur der kaufentscheidenden Werte *Sportlichkeit, Spaß/Fun, Abenteuer/Activity, Individualität, Wohlfühlen* und *Sicherheit* auf Basis von kumulierten Wichtigkeitswerten, in Anlehnung an [AN06].

Diese Aussage wird durch eine Vielzahl von Untersuchungen und Umfragen in der Literatur und Presse bestätigt. Bei einer in 2005 und 2006 durchgeführten Umfrage der Zeitschrift „Automobilwoche“ nahm der *Fahrspaß* den wichtigsten Stellenwert zur Beeinflussung eines Autokäufers ein [NN06]. TISCHLER ET. AL. konnten einen großen Einfluss des positiven Fahrerlebens im Rahmen von Fahrversuchen aufzeigen [TR07]. Bei einer Umfrage des Insurance Institute for Highway Safety aus dem Jahr 2010 wurden 928 Personen zu Kaufkriterien für einen Neuwagen befragt. Dabei befindet sich das Kaufkriterium *Handling* weit im oberen Drittel der wichtigen Kriterien wie Preis, Kraftstoffverbrauch, Sicherheit und Verarbeitungs-



qualität. [MW10] Aktuellere Umfragen aus den Jahren 2013 und 2016 bestätigen ebenfalls die Bedeutung dieser Kriterien für den Fahrzeugkauf. Die maßgeblich durch das Fahrwerk und den Reifen geprägten Kriterien *Handling/Fahrfreude* bzw. *Leistung/Fahrverhalten* sowie *Fahrkomfort* bzw. *Ausstattung & Komfort* befinden sich direkt nach *Sicherheit*, *Kosten* und *Praktikabilität* im oberen Drittel noch vor dem *Design* und der *Umweltfreundlichkeit*. [Par16, NN16a, NN16b]

Durch den akuten Wettbewerbsdruck, den entstehenden Trend zur Digitalisierung sowie die immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen streben die Fahrzeughersteller eine Reduktion der Entwicklungskosten und -zeiten an. 20 % der gesamten Entwicklungskosten eines Fahrzeugs sind dabei auf die Fahrwerkentwicklung zurückzuführen [KG15]. Ein möglicher Ansatz zur Reduktion dieses hohen Kostenanteils bietet der frühzeitige Einsatz von simulativen Methoden zur Effizienzsteigerung, um kostenintensive Versuchsträger und Versuche einzusparen [NPG⁺13]. Dabei wird der bisherige sequenzielle Bau-und-Test-Ansatz durch einen digitalen Entwicklungsablauf ersetzt [RD15]. Folglich gewinnen simulative Methoden in der frühen Fahrzeugentwicklungsphase zunehmend an Bedeutung.

Die vorliegende Arbeit leistet durch die Entwicklung einer Fahrwerkauslegungsmethode für die frühe Konzeptphase einen maßgeblichen Beitrag zur Effizienzsteigerung und Kostenreduktion. Nachfolgend werden die Motivation der Arbeit, deren Entwicklung sowie geltende Einschränkungen erläutert.

1.1. MOTIVATION ZUR ENTWICKLUNG EINER FAHRWERKAUSLEGUNGSMETHODE FÜR DIE KONZEPTPHASE

In der Fahrwerkentwicklung ist es das Ziel, durch eine Digitalisierung der Entwicklungsprozesse schnellere Entwicklungsmethoden zu erhalten, sowie durch das „Frontloading“¹ in der Entwicklung Kosten einzusparen. Ein wichtiges Hilfsmittel sind dabei virtuelle Methoden, die bereits dann zum Einsatz kommen sollen, wenn noch keine realen Bauteile zur Verfügung stehen. Durch die simulative Fahrwerkauslegung können somit kostenintensive Versuchsträger und Tests eingespart werden. Die Fahrwerkauslegung findet dabei entsprechend des V-Modells der Produktentwicklung innerhalb und zwischen der Gesamtfahrzeug-, Subsystem- und Komponentenebene statt. Es ist die Aufgabe, aus Gesamtfahrzeugzielen für Fahrdynamik und Fahrkomfort Komponenteneigenschaften für Lenkung, Achskinematik, Achselastokinematik sowie Reifen abzuleiten. Bisher verwendete Auslegungsmethoden basieren dabei auf komplexen Simulationsmodellen, mit deren Hilfe direkt der Einfluss einer Komponentenänderung auf die Gesamtfahrzeugeigenschaften analysiert wird. Durch die notwendige Komplexität dieser Simulationsmodelle ist es jedoch nicht möglich, eine strukturierte Zielableitung von der Gesamtfahrzeug- zur Komponentenebene auf Basis physikalischer Wirkzusammenhänge durchzuführen. Diese komplexen Simulationsmodelle werden daher als Blackbox betrachtet. Die reguläre Fahrwerkauslegung basiert dabei auf einer Trial-and-Error-Methode, bei der die Fahrwerkeigenschaften über einen Iterationsprozess modifiziert werden, bis das Fahrzeug die Gesamtfahrzeugziele erreicht. Ihre Anwendung birgt folgende Nachteile:

1. **Hoher Zeitaufwand:** Durch das manuelle, iterative Modifizieren der Komponenteneigenschaften benötigt diese Form der Achsauslegung sehr viel Zeit. Zielkonflikte zwischen Fahrdynamik und Fahrkomfort erschweren dabei die Auslegung, da die Berechnung beider Disziplinen oftmals mit unterschiedlichen Simulationsmodellen stattfindet.
2. **Verlust von Lösungen:** Durch das manuelle, iterative Modifizieren wird am Ende der Auslegung lediglich eine mögliche Lösung der Komponenteneigenschaften gefunden.

¹ „Frontloading“ bezeichnet das Verschieben des Entwicklungsaufwands in Richtung der frühen Phase, um Entwicklungszeiten zu verringern.



Da es sich bei der Fahrwerksauslegung um ein unterbestimmtes Optimierungsproblem handelt, sind jedoch mehrere Lösungen zur Zielerreichung vorhanden. Folglich muss die gefundene Lösung nicht zwangsläufig die beste Lösung aus Anwendersicht sein.

3. **Unkenntnis über Lösungsstrategien:** Durch die Betrachtung des Simulationsmodells als Blackbox ist es nicht möglich, eine strukturierte Auslegung auf Basis eines Wirkkettenverständnisses durchzuführen. Es ist anzunehmen, dass nicht alle Komponenteneigenschaften alle Gesamtfahrzeugeigenschaften in gleichem Maße beeinflussen. Verdeutlicht wird dies beispielsweise durch stationäre Gesamtfahrzeugeigenschaften, die durch Dämpfungseigenschaften der Komponenten nicht beeinflusst werden können. Demnach ist zu vermuten, dass für einige Auslegungsschritte eine sinnvolle Auslegungsreihenfolge existiert. Diese kann bei einem Blackbox-Modell nicht nachvollzogen werden.
4. **Geringe Robustheit:** Die Lösung der Auslegung benötigt innerhalb eines Fahrwerksauslegungsprozesses eine hohe Robustheit². So kann es sein, dass die erarbeitete Lösung aufgrund weiterer Randbedingungen aus anderen Auslegungsbereichen in dieser Form nicht realisierbar ist und einer Veränderung bedarf. Diese Veränderung kann bei der bisherigen Methode durch deren unbekannte Robustheit auch zu einem Verlust der Lösung führen. So muss bei einer minimalen Veränderung auf Komponentenebene eine neue Lösung erarbeitet werden.
5. **Baukästen nicht auslegbar:** Durch die zunehmende Bedeutung der Modularisierung mithilfe von Baukästen ist es notwendig, Fahrwerke nicht nur für ein Zielfahrzeug auszulegen, sondern für eine Vielzahl von Fahrzeugen unterschiedlicher Segmente. Durch die sich zusätzlich ergebenden Zielkonflikte führt das für die bisher etablierte Auslegungsmethode zu einer hohen Komplexität der manuellen Lösungsfindung und folglich zu einem deutlichen Anstieg der Entwicklungszeit.
6. **Zeitaufwendige Optimierung:** Um die bisherige, manuelle Auslegung zu verbessern, wurden Auslegungsansätze auf Basis von Optimierungsalgorithmen entwickelt. Die Optimierung bietet den Vorteil der Automatisierung der manuellen Auslegung. Da jedoch die verschiedenen Ansätze gradientenbasierte oder genetische Optimierungsalgorithmen auf komplexe Simulationsmodelle anwenden, ist für eine Auslegung eine Vielzahl an Iterationen notwendig. Das führt einerseits zu einem erhöhten Bedarf an Rechenleistung (der beispielsweise durch die Verwendung von Cluster-Rechnernetzwerken gedeckt werden muss) und andererseits zu einem sehr hohen Zeitaufwand der Auslegung. Der erhöhte Zeitaufwand für die Anwendung von Optimierungsalgorithmen auf komplexe Simulationsmodelle relativiert den Zeitgewinn durch Automatisierung.
7. **Getrennte Betrachtung von Fahrdynamik und Fahrkomfort:** Bisherige Achsauslegungsmethoden nutzen oftmals getrennte Simulationsmodelle auf Subsystemebene für Fahrdynamik und Fahrkomfort. Diese Vorgehensweise ist auf die unterschiedlichen Manöverszenarien zurückzuführen. So benötigt ein Simulationsmodell, das auf objektive Kennzahlen für Komfort ausgerichtet ist, in der Regel nicht die Abbildung der querdynamischen Eigenschaften. Daher werden häufig die querdynamischen Anteile des Fahrzeugs bei Fahrkomfortuntersuchungen aus Gründen der hohen Komplexität und des hohen Zeitaufwands vernachlässigt. Gleiches gilt für querdynamische Modelle, bei denen die Abbildung hochfrequenter Eigenschaften (wie beispielsweise Aggregateschwingungen) von untergeordneter Bedeutung ist. Dies führt jedoch in der Achsentwicklung zu verschiedenen Simulationsmodellen und damit auch zu einer

²Der Begriff Robustheit beschreibt nachfolgend die Konstanz des Gesamtfahrzeugeigenschaften bei Parameterschwankungen.



getrennten Auslegung von Fahrdynamik und Fahrkomfort. Beide Auslegungen werden dann unter Kompromissen zu einer abschließenden Auslegung zusammengesetzt. Es ist jedoch schnell ersichtlich, dass beide Disziplinen gemeinsam ausgelegt werden sollten. So können Nachteile in der Fahrdynamik durch eine Fahrkomfoteinstellung durch weitere Parameter in der Fahrdynamik kompensiert werden.

8. **Frühzeitige Definition des Achskonzepts:** Entsprechend des V-Modells der Produktentwicklung ist es die Aufgabe, Gesamtfahrzeug- in Komponenteneigenschaftsziele abzuleiten. Sind die Komponenteneigenschaftsziele bekannt, erfolgt die Realisierung des Konzepts. In vielen bisherigen Auslegungsmethoden ist es dagegen notwendig, bereits zu Beginn der Zielwertableitung das Achskonzept zu bestimmen. Dadurch werden die verfügbaren Lösungsmöglichkeiten bereits zu Beginn der Achsauslegung stark eingeschränkt.

Die vorgestellten Nachteile der aktuell verwendeten Auslegungsmethode begründen den Bedarf an einem neuen Verfahren und definieren zeitgleich die nachfolgende Zielstellung und Struktur der Arbeit.

1.2. ZIELSTELLUNG UND STRUKTUR DER ARBEIT

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Fahrwerksauslegungsmethode für die frühe Konzeptphase, mit deren Hilfe es möglich ist, Gesamtfahrzeugeigenschaftsziele für Fahrdynamik und Fahrkomfort strukturiert in Subsystem- bzw. Komponenteneigenschaftsziele zu überführen. Die Vorgehensweise zur Entwicklung dieser Methode wird nachfolgend anhand der Struktur der Arbeit in Abbildung 1.2 vorgestellt.

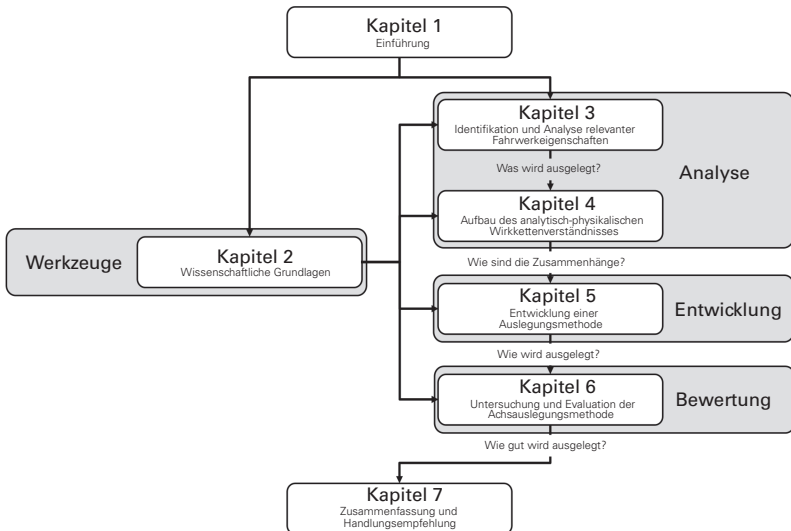


Abbildung 1.2.: Aufbau und Struktur der Arbeit zur Erstellung einer Fahrwerksauslegungsmethode für die Konzeptphase.



Zu Beginn dieser Arbeit ist es unabdinglich, dem Leser die nötigen Werkzeuge zur Entwicklung der Achsauslegungsmethode vorzustellen. Dazu beinhaltet Kapitel 2 alle relevanten wissenschaftlichen Grundlagen, die für das Verständnis der vorliegenden Arbeit essenziell sind. Da die Auslegungsmethode ausschließlich in der Konzeptphase Anwendung finden soll, ist zunächst die Einordnung der Konzeptphase in den Entwicklungsprozess erforderlich. Dabei stellt dieses Kapitel die Randbedingungen und Aufgaben der frühen Konzeptphase vor, um eine zielgerichtete Entwicklung der Auslegungsmethode zu ermöglichen. Anschließend erfolgt die Analyse des Aufenthaltsbereichs des Normalfahrers. Auf Basis dieser Erkenntnisse wird der Komplexitätsgrad der zu verwendenden physikalischen Modelle eruiert. Im Anschluss daran werden aktuelle Objektivierungsbeschreibungen des Fahrverhaltens vorgestellt, die als Ausgangspunkt für die Zieldefinition auf Gesamtfahrzeugebene dienen. Am Ende des Kapitels wird der Stand der Technik hinsichtlich Achsauslegungsmethoden analysiert, um in der Wissenschaft bekannte Ansätze einzuordnen und diese zur Erstellung der neuen Achsauslegungsmethode zu nutzen.

In Kapitel 3 beginnt die Analyse der auszulegenden Subsysteme. Dabei werden die Subsysteme aktive Lenkung, Achse und Reifen mithilfe physikalischer Modellvorstellungen analytisch beschrieben sowie deren Parametrierung anhand von Prüfstandsversuchen untersucht. Es ist das Ziel dieses Kapitels, die für eine Auslegung notwendigen Subsystem- und Komponenteneigenschaften zu identifizieren.

Daran angeschlossen erfolgt in Kapitel 4 die Entwicklung des analytisch-physikalischen Wirkkettenverständnisses durch die Verknüpfung der in Kapitel 3 ausgewählten Fahrwerkeigenschaften mit dem Gesamtfahrzeugverhalten hinsichtlich Fahrdynamik und Fahrkomfort. Dazu wird zu Beginn ein Allgemeinmodell zur Beschreibung des Fahrzeugverhaltens hergeleitet, das als Ausgangsbasis zur Ableitung der benötigten Einfachmodelle entsprechend der Randbedingungen dient. Weiterhin werden die abgeleiteten Einfachmodelle anhand von geeigneten Fahrversuchen hinsichtlich ihrer Validität zur Beschreibung von Fahrdynamik und Fahrkomfort überprüft.

Aufbauend auf den Analysen in Kapitel 3 und 4 findet in Kapitel 5 die Entwicklung der Achsauslegungsmethode für die Konzeptphase statt. Dazu wird zunächst der Fahrwerkeauslegungsprozess für die Entwicklung der Auslegungsmethode aufgeteilt und strukturiert. Daran angeschlossen erfolgt die Erläuterung der entwickelten Auslegungsschritte auf Basis des erarbeiteten Wirkkettenverständnisses. Zuletzt wird die entwickelte Auslegungsmethode in den bestehenden Entwicklungsprozess der Konzeptphase integriert.

Nach Erarbeitung der Auslegungsmethode findet in Kapitel 6 deren Bewertung statt. Dazu sollen anhand einer Beispielauslegung die Funktionsweise der entwickelten Auslegungsmethode im praktischen Versuch vorgestellt und die Anwendbarkeit überprüft werden. Zudem wird die entwickelte Auslegungsmethode hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile den bestehenden Methoden gegenübergestellt.

Abschließend erfolgt mit Kapitel 7 die Zusammenfassung der Dissertation sowie der Ausblick auf offene Fragestellungen dieses Themengebiets.

1.3. EINGRENZUNG DER AUFGABENSTELLUNG

Um die Erarbeitung der Fahrwerkeauslegungsmethode in einem realisierbaren Rahmen zu halten, werden folgende Einschränkungen für die vorliegende Arbeit getroffen:

- Die Auslegung der Fahrdynamik beschränkt sich auf den Linearbereich des querdynamischen Fahrzeugverhaltens. Der Linearbereich ist nach der Literatur bis zu einer Querbeschleunigung von 4 m/s^2 bei trockener Fahrbahn gültig [MW14]. Da der fahrdynamische Aufenthaltsbereich eines Normalfahrers unterhalb dieser Grenze liegt, ist



eine nichtlineare Betrachtung zu diesem Zeitpunkt nicht notwendig. Eine genauere Erläuterung dieser Einschränkung kann in Kapitel 2 nachvollzogen werden.

- Die Fahrwerkauslegung beschränkt sich auf die Auslegung der Fahrdynamik und des Fahrkomforts für den Normalfahrbereich. Eine Auslegung von kippkritischen oder kombinierten längs- und querdynamischen Fahrmanövern wie beispielsweise in CHANG ET AL. findet in dieser Arbeit nicht statt, da diese den Bereich des Normalfahrens verlassen [CPP18].
- Die Auslegung des Fahrkomforts beschränkt sich aus Komplexitätsgründen auf den Primary Ride³. Vertikalanregungen infolge von Aggregate- oder Hilfsrahmenschwingungen, wie beispielsweise durch ANGRICK untersucht, werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt [Ang17].
- Diese Arbeit verzichtet auf eine eigenständige Untersuchung der Korrelation zwischen subjektiven Bewertungen und objektiven Messergebnissen. In der Literatur gibt es dazu bereits eine Vielzahl an Untersuchungen, die den Betrachtungsumfang dieser Arbeit überschreiten würden. Es werden alle Objektivierungskriterien in Anlehnung an die in der Literatur durchgeführten subjektiv-objektiv-Korrelationen aufgegriffen. Die Beschreibung der objektiven Kennwerte kann in Kapitel 2 nachvollzogen werden.
- Die Fahrwerkauslegung endet in dieser Arbeit mit der Definition der Lenkungs-, Dämpfungs- und Reifeneigenschaften sowie für die Achsen bei den relevanten Achskinematik- und Elastokinematikennlinien. Die Auslegung der Komponenteneigenschaften (beispielsweise Elastomerlagersteifigkeiten oder Lenkergeometrien), um diese Kennlinien bzw. Kennwerte zu realisieren, ist nicht Fokus dieser Arbeit. In der Literatur sind dazu weiterführende Methoden bekannt, welche in Kapitel 2 zur vollständigen Abbildung des Auslegungsprozesses näher erläutert werden.
- Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Auslegung passiver⁴ Fahrzeuge. Eine Ausnahme bildet hierbei die aktive Lenkkraftunterstützung, die nachfolgend in die Auslegungsmethodik integriert werden soll.
- Die Auslegung der Längsdynamik des Fahrwerks beschränkt sich ausschließlich auf die Ausbildung von Nickwinkeln im Anfahr- bzw. Verzögerungsprozess. Eigenschaften, die die Antriebskraftverteilung sowie die Längskraftübertragung zwischen Fahrbahn und Fahrzeug betreffen, werden in der Fahrwerkauslegungsmethode nicht berücksichtigt.

Alle genannten Einschränkungen werden hinsichtlich ihrer Gültigkeit in den relevanten Kapiteln diskutiert.

³Primary Ride beschreibt den niederfrequenten Schwingungsbereich von 0,5 bis 3-6 Hz. In diesem Schwingungsbereich liegen die Aufbauschwingungen (Huben, Nicken, Wanken) im Fokus.

⁴Unter „passiven“ Fahrzeugen werden in dieser Arbeit Fahrzeuge verstanden, die keine aktiven Stell- oder Regelsysteme (wie beispielsweise verstellbare Wankstabilisatoren, schaltbare Dämpfer) innerhalb des Fahrwerks besitzen.



2. WISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN





Dieses Kapitel dient zur Vorstellung der Grundlagen, die einerseits für das Verständnis der vorliegenden Arbeit notwendig sind und andererseits die wissenschaftliche Ausgangssituation darstellen. Dazu werden zunächst die Konzeptphase sowie deren Einordnung im Automobil-Entwicklungsprozess näher erläutert. Daran angeschlossen erfolgt die Analyse des Aufenthaltsbereichs des Normalfahrers, um den Fokus der Aufgabenstellung zu definieren. Ebenfalls werden die für den Auslegungprozess essenziellen objektiven Kennwerte zur Bewertung der Fahrdynamik und des Fahrkomforts untersucht. Abgeschlossen wird das Kapitel durch die Untersuchung des Stands der Technik hinsichtlich Achsauslegungsmethoden.

2.1. KONZEPTPHASE IM AUTOMOBIL-ENTWICKLUNGSPROZESS

Zur Strukturierung des Entwicklungsprozesses eines Fahrzeugs hat sich das V-Entwicklungsmodell über viele Jahre durchgesetzt [BH04, FH06, SR08, Web09, HEG11, Mik12, Rös12, KD12, Ame13, MW13, Wag14, APK⁺15, WSW⁺15, ZW15, APK18]. Dieses Modell wurde erstmals im Bereich der Softwareentwicklung erarbeitet und standardisiert [Boe88, ISO11a]. Dabei handelt es sich um ein Vorgehensmodell, bei dem verschiedene Arbeitsphasen über der Entwicklungszeit für unterschiedliche Detaillierungsstufen des zu entwickelnden Produkts aufgetragen werden. Durch die Bestrebung, den Fahrzeugentwicklungsablauf zu strukturieren, wurde dieses Prozessmodell für die Anwendung in der Fahrzeugentwicklung angepasst. Anhand Abbildung 2.1 werden nachfolgend der Aufbau und der Ablauf des V-Entwicklungsmodells der Fahrzeugentwicklung näher vorgestellt.

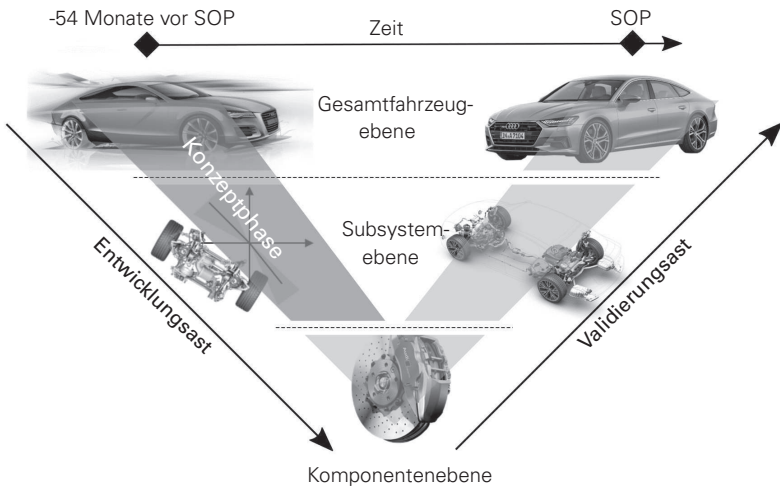


Abbildung 2.1.: Aufbau und Ablauf des V-Entwicklungsmodells zur Anwendung in der Fahrzeugentwicklung, in Anlehnung an [ACW⁺16].

Das V-Entwicklungsmodell besteht auf der linken Seite aus einem absteigenden Entwicklungspfad und auf der rechten Seite aus einem aufsteigenden Validierungspfad. Das Entwicklungsmodell wird von links nach rechts entsprechend der Zeitachse durchlaufen. Begonnen wird dabei im linken Entwicklungspfad mit der Ableitung von Gesamtfahrzeugzielen von der Gesamtfahrzeug-, über die Subsystem- in die Komponentenebene entsprechend ein-



nem Wasserfall-Prozess. Dabei dienen die abgeleiteten Ziele der jeweils vorangegangenen Entwicklungsstufen als Eingang für die nachfolgend abzuleitenden Ziele. Ist der linke Entwicklungsast durchlaufen, sind die Komponentenziele definiert, auf Basis derer die Realisierung der Komponenten erfolgt. Entlang des rechten Validierungsasts werden anschließend die umgesetzten Komponenten zu Subsystemen bzw. zum Gesamtfahrzeug zusammengefügt. Zudem wird die Zielerreichung innerhalb jeder Ebene gegenüber den im Entwicklungsast definierten Zielen überprüft. Am Ende des V-Entwicklungsmodells ist demnach ein Gesamtfahrzeug entwickelt, das bei korrekter Ableitung der Gesamtfahrzeugziele und vollständiger Umsetzung der Anforderungen die Eigenschaftsziele auf Gesamtfahrzeugebene erreicht.

Die Synchronisierung aller Entwicklungsprozesse des Gesamtfahrzeugs wird mithilfe eines Produktentstehungsprozesses (PEP) gewährleistet [HKK03, Web09, Sch10a, HW10, BS11, HEG11, MBW15]. Dieser PEP umfasst dabei Meilensteine, welche Übergabepunkte zwischen verschiedenen Teilprojekten umfassen. Den Bezugspunkt des PEP bildet der Produktionsstart (engl. Start of Production, kurz SOP). Der vollständige PEP der Fahrwerkentwicklung reicht von ca. 60 Monate vor SOP bis 3 Monate nach SOP [HEG11].

Die Konzeptphase der Fahrwerkentwicklung startet dabei zwischen 54 und 42 Monate vor SOP eines neuen Fahrzeugs [HEG11, Wag14, APK18]. Es ist dabei die Aufgabe der Konzeptphase, innerhalb des Fahrwerkentwicklungsprozesses einerseits Ziele für die Gesamtfahrzeugeigenschaften hinsichtlich Fahrdynamik und Fahrkomfort zu definieren und andererseits entsprechend des Entwicklungsasts Zieleigenschaften für die Subsysteme und Komponenten abzuleiten [BS11, APK18]. Zu Beginn der Konzeptphase der Fahrwerkentwicklung ist ein Minimalkonzept des zu entwickelnden Fahrzeugs bereits definiert. Dieses Minimalkonzept wird aus den Design- und Packageanforderungen des zukünftigen Fahrzeugs abgeleitet und bildet den Startpunkt für die Entwicklung der Karosserie, des Antriebs, des Interieurs und des Fahrwerks. Es umfasst die Definition der Fahrzeugklasse, der Fahrzeuggrundeigenschaften wie beispielsweise Antriebskonzept und Package sowie die Fahrzeugkonzeptparameter, oftmals auch als Fahrzeugene bezeichnet [WSW⁺ 15]. Unter Fahrzeugkonzeptparametern werden Eigenschaften wie Fahrzeuggesamtmasse, Fahrzeuggeometrie (beispielsweise Radstand und Spurweite), Trägheitsmomente und Schwerpunktlagen verstanden. Diese dienen als Eingangsgrößen für die Konzeptphase, sind jedoch aufgrund der frühen Entwicklungsphase noch variabel und können sich somit während der Fahrwerkauslegung verändern.

Mithilfe der Ziele für die Gesamtfahrzeugeigenschaften sowie der Fahrzeugkonzeptparameter ist es in der Konzeptphase notwendig, die kompletten Fahrwerkeigenschaften zu definieren. In dieser Arbeit zählen dazu entsprechend der Eingrenzung der Aufgabenstellung nach Kapitel 1.3 die Reifen-, Lenkungs- und Achseigenschaften auf Subsystemebene.

Durch den zunehmenden Wettbewerbsdruck sind die Fahrzeughersteller bestrebt, Entwicklungskosten und Entwicklungszeiten zu reduzieren. Dadurch gewinnt die Konzeptphase zunehmend an Bedeutung. Durch „Frontloading“ werden Prozesse in die frühen Entwicklungsphasen verschoben, um so die Gesamtentwicklungszeit zu verringern. Die Entwicklungskosten werden gleichzeitig reduziert, da in der frühen Phase durch das Fehlen realer Prototypen zunehmend virtuelle Simulationsmethoden eingesetzt werden. Die reale Fahrzeugentwicklung wandelt sich somit hin zu einer virtuellen Fahrzeugentwicklung. Zur Kostenoptimierung werden weiterhin Baukastenstrategien und standardisierte Architekturen angestrebt. Dabei ist es das Ziel, Fahrwerke zu entwickeln, die sich hinsichtlich der zu verwendenden Komponenten geringfügig zwischen verschiedenen Fahrzeugen unterscheiden. Trotzdem besteht die Anforderung, eine hohe Spreizung zwischen den Gesamtfahrzeugeigenschaften zu erzielen. Die beschriebenen Veränderungen des Entwicklungsprozesses verdeutlichen den steigenden Bedarf an simulativen Auslegungsmethoden, mit deren Hilfe Gesamtfahrzeugziele schnell und strukturiert in Komponentenziele übersetzt werden können.