



# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Kraftfahrzeuge tragen durch CO<sub>2</sub>-Emissionen zum Treibhauseffekt und damit zur globalen Klimaerwärmung bei. Deshalb haben viele Regierungen Grenzwerte für die durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der zu verkaufenden Fahrzeuge je Hersteller festgelegt. Zur Erreichung dieser Grenzwerte sind die Fahrzeughersteller zu einer drastischen Reduktion der Emissionswerte gezwungen. Dafür stellen Fahrzeuge mit rein elektrischem Antriebsstrang eine Lösungsmöglichkeit dar, weil diese per definitionem mit 0 g CO<sub>2</sub> in die Bilanz eingehen. Dadurch kann ein großer Beitrag zur Erreichung der gesetzlich vorgegebenen CO<sub>2</sub>-Ziele geleistet werden. Kritisch zu hinterfragen sind die Emissionen, die bei der Erzeugung der elektrischen Energie entstehen. Nur bei CO<sub>2</sub>-armer Stromerzeugung können Elektrofahrzeuge global gesehen die CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren [Lie12, S. 44 f.]. Weitere Treiber zur Einführung von Elektrofahrzeugen sind neben den politisch geprägten Grenzwerten für CO<sub>2</sub>-Emissionen die Verknappung fossiler Kraftstoffe sowie die zunehmenden Kundenforderungen nach ökologischer Nachhaltigkeit [Wal10, S. 3-34].

Der Technologiesprung bei der Elektrifizierung des Antriebstrangs bringt eine gravierende Veränderung der Fahrzeugarchitektur mit sich. Im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen ist vor allem die Auslegung der Batterie stark prägend für die Entwicklung des Gesamtfahrzeugs. Die Möglichkeit, elektrisch zu fahren, kann Einschränkungen in zahlreichen kundenrelevanten Gesamtfahrzeugeigenschaften wie der Höchstgeschwindigkeit oder der Reichweite hervorrufen. Der Großteil der Kunden ist nicht bereit, bei einem Umstieg von einem konventionell angetriebenen Fahrzeug auf ein Elektrofahrzeug starke Einschränkungen bei der Nutzung hinzunehmen. Deswegen sind die Fahrzeughersteller darauf angewiesen, Elektrofahrzeuge zu entwickeln, die einen möglichst hohen Kundennutzen bieten und nur bei nicht positionierungsrelevanten Eigenschaften Einschränkungen aufweisen. Daraus ergibt sich eine erhöhte Anforderung an eine kundenorientierte und eigenschaftsbasierte Fahrzeugentwicklung.

## 1.2 Zielsetzung

Ausgangspunkt dieser Arbeit ist die Herausforderung, Elektrofahrzeuge mit einem maximalen Kundennutzen zu entwickeln. Dazu ist es erforderlich, dem Entwickler eine Unterstützung bei der ganzheitlichen Auslegung von Elektrofahrzeugen zu liefern.

Daher ist Ziel dieser Arbeit, eine Methodik zur Unterstützung der eigenschaftsorientierten Konzeptauslegung von Elektrofahrzeugen zu entwickeln. Zentraler Bestandteil ist der komplexe Zusammenhang zwischen kundenrelevanten Eigenschaften und dem technischen Konzept. Für verschiedene Kundenanforderungen soll über einen zu entwickelnden Prozess das jeweils optimale technische Elektrofahrzeug-Grobkonzept abgeleitet werden.

## 1.3 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit besteht aus neun Kapiteln (Abbildung 1-1). In Kapitel zwei wird der Stand der Forschung und Technik diskutiert und bisher verfolgte Ansätze aufgezeigt. Im dritten Kapitel werden die spezifischen Eigenschaften von Elektrofahrzeugen erläutert und deren Objektivierbarkeit und Beeinflussbarkeit in der Entwicklung analysiert. Kapitel vier abstrahiert den Prozess der eigenschaftsorientierten Konzeptentwicklung, dessen Automatisierung im Detail in Kapitel fünf beschrieben wird. Die automatisierte Parametervariation der technischen Stellhebel und die damit gekoppelte Optimierung der Gesamteigenschaftserfüllung wird im sechsten Kapitel gezeigt, während im siebten Kapitel ausgewählte Ergebnisse präsentiert werden. Eine abschließende Diskussion und ein Ausblick auf weitere mögliche Arbeiten erfolgen in Kapiteln acht und neun.

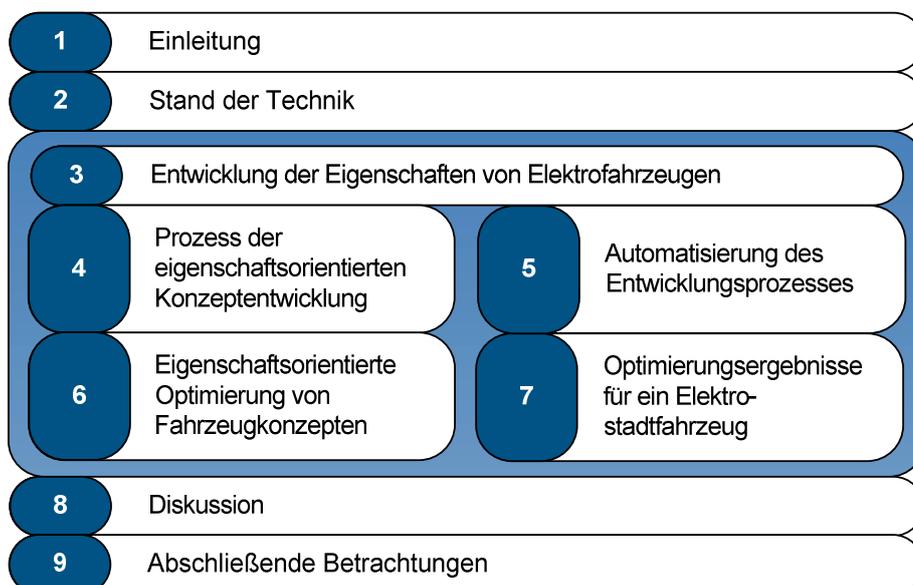


Abbildung 1-1 Struktur der Arbeit

## 2 Stand der Technik

In diesem Kapitel werden wesentliche Elemente des aktuellen Wissensstands im Bereich eigenschaftsorientierter Fahrzeugentwicklung und Optimierung von Gesamtfahrzeugkonzepten dargestellt. Zudem wird ein Einblick in umgesetzte Ansätze zur Optimierung von Elektrofahrzeugen gegeben.

### 2.1 Eigenschaften aus Sicht des Kunden

In der kundenorientierten Produktentwicklung sind Eigenschaften geeignete Kriterien zur Beurteilung der Güte und Wettbewerbsfähigkeit eines Produkts. Sie bieten als Entwicklungsziele die Möglichkeit, Kundenanforderungen in die Entwicklung eines Produkts einfließen zu lassen [Lin09, S. 7].

#### 2.1.1 Eigenschaften in der Automobilentwicklung

Über Befragungen im Rahmen von New Car Buyers Surveys [NCBS06] werden die Entscheidungsgründe von Neuwagenkäufern analysiert. Zu den am meisten genannten Kaufentscheidungsgründen zählen stets Design, Qualität, Markentreue, Längsdynamik, Sicherheit und das Preis-Leistungsverhältnis. In den letzten Jahren haben zudem die Umweltfreundlichkeit und die ökologische Nachhaltigkeit deutlich an Relevanz gewonnen [Wyr07]. Renz [Ren07] strukturiert die Kaufentscheidungsgründe in emotional verursachte Beweggründe, wie Design, Motorleistung oder Antriebsart, und in rational verursachte Beweggründe, wie Robustheit, Kraftstoffverbrauch oder das Preis-Leistungsverhältnis. Darüber hinaus zeigt Renz auf, dass ein Gewichtungverhältnis von 70:30 zugunsten der emotionalen Kaufentscheidungsgründe besteht.

Vor allem die rationalen jedoch auch teilweise die emotionalen Kaufentscheidungsgründe lassen sich über Produkteigenschaften abstrahieren. „Eigenschaften“ sind nach der Definition von Ponn und Lindemann [Pon11, S. 432] generell alle Charakteristika, die ein Produkt beschreiben. In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff „Eigenschaften“ auf die Charakteristika, die direkt vom Kunden wahrgenommen werden und zur Kaufentscheidung wesentlich beitragen, beschränkt.

Nicht direkt erlebbare Eigenschaften werden im Rahmen dieser Arbeit als „Einflussgrößen“ bezeichnet, weil sie vorrangig für die technische Auslegung des Konzepts benötigt werden, vom Kunden jedoch nicht direkt als Beurteilungskriterien wahr-

genommen werden. Bei Fahrzeugen zählt zu den Einflussgrößen z.B. die Achslastverteilung, die vom Kunden nicht direkt erfahrbar ist, allerdings auf viele Eigenschaften, wie die Längsdynamik oder Querdynamik, einen großen Einfluss hat.

Unabhängig von der Kundenrelevanz können Eigenschaften entsprechend ihrer Beeinflussbarkeit im Entwicklungsprozess unterteilt werden. Lindemann [Lin09, S. 160] führt drei Kategorien für Eigenschaften, bzw. entsprechend seiner Begriffsdefinition für „Produktmerkmale“, ein: Beschaffenheits-, Funktions- und Relationsmerkmale (Abbildung 2-1). Beschaffenheitsmerkmale wie Geometriedaten können direkt festgelegt werden (Stellgrößen), während sich Funktions- und Relationsmerkmale aus der Kombination von Beschaffenheitsmerkmalen ergeben (Folgegrößen). Funktionsmerkmale beschreiben mögliche Funktionen wie das Anlenkverhalten. Über Analysen, wie realer Versuch oder Simulation, können Ausprägungen der Funktionsmerkmale bestimmt werden. Relationsmerkmale beinhalten die in Beziehung mit anderen Objekten auftretenden Eigenschaften wie beispielsweise die Herstellbarkeit.

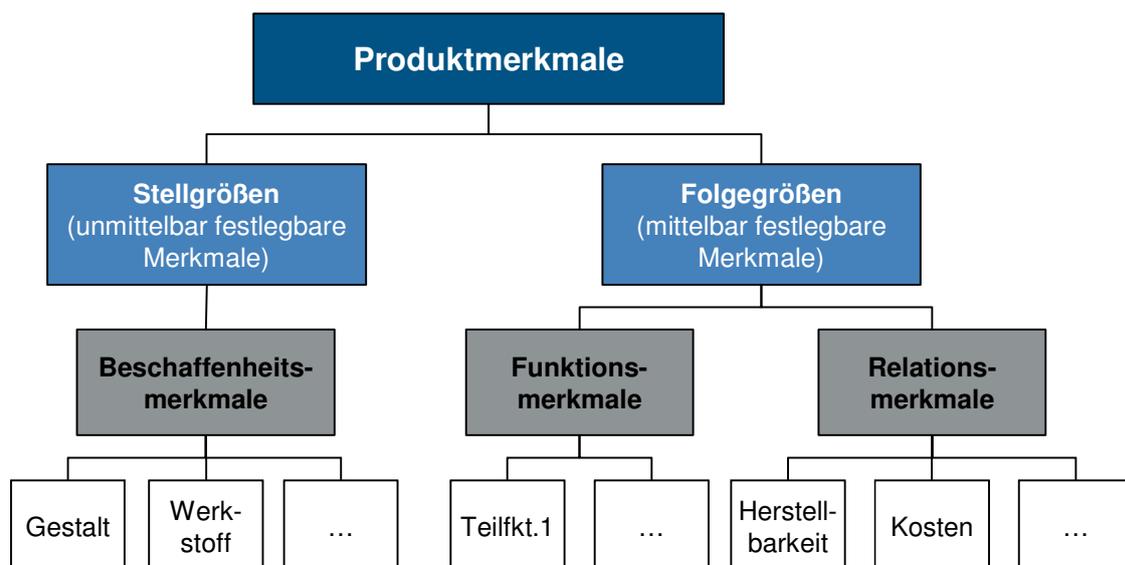


Abbildung 2-1 Einteilung von Produktmerkmalen nach [Lin09, S. 160]

Ziemann [Zie06, S. 24-28] verwendet den Begriff „Ziele“ synonym zur Definition von „Eigenschaften“ in dieser Arbeit. Er differenziert „harte“ und „weiche“ Ziele. Die Ausprägungen von harten Zielen werden in physikalischen Einheiten gemessen. Weiche Ziele hingegen lassen sich nicht direkt quantifizieren und werden deshalb mittels Relationen zu Referenzfahrzeugen oder anhand von qualitativen Beschreibungen ausgeprägt. Somit unterliegen weiche Ziele stets einer subjektiven Bewertung. Ziemann definiert zudem Schnittstellengrößen mit harten Zielwerten, die erfüllt werden müssen, um die Realisierung der weichen Ziele zu ermöglichen. Heinke



[Hei94, S. 127-129] unterscheidet in ähnlicher Weise zwischen objektiven und subjektiven Größen, wobei er zusätzlich einen Übergangsbereich definiert, in dem Teil-eigenschaften objektivierbar und andere nur subjektiv beurteilbar sind.

### 2.1.2 Eigenschaftsstrukturen

Bei der Nutzung komplexer Produkte ergibt sich eine Vielzahl differenziert erlebbarer Eigenschaften. Die Eigenschaftsstruktur eines Produkts definiert Lindemann als „Eigenschaftsliste“ [Lin09, S. 161]. In der vorliegenden Arbeit wird dafür der Begriff „Eigenschaftsstruktur“ verwendet. Unter Verwendung mehrerer Ebenen werden Eigenschaftsstrukturen hierarchisch aufgebaut, um die Vielzahl von Eigenschaften gemäß ihrer inhaltlichen Verwandtschaft zu gliedern. Die Eigenschaftsstrukturen werden im Rahmen der Eigenschaftsplanung mit Forderungen von Kunden und internen Anforderungen gefüllt. Nach Seiffert und Gotthard [Sei08, S. 15] dienen die angestrebten Eigenschaftsausprägungen als zentrales Maß der Entwicklungsarbeit von Produkten, auf deren Basis der Entwicklungsprozess gestartet wird und Entwicklungsstände gemessen werden.

Kundenanforderungen an Kraftfahrzeuge beinhalten vielfältige Aspekte aus den Bereichen Sicherheit, Qualität, Komfort, Wirtschaftlichkeit, Transport oder Fahrleistungen [Bra07, S. 9-16]. Ziemann stellt einen detaillierten Katalog der von der BMW AG betrachteten Fahrzeugeigenschaften vor [Zie06, S. 138-153]. In der vorliegenden Arbeit wurde auf eine von der AUDI AG verwendete Eigenschaftsstruktur aufgebaut. Diese Struktur wurde über Jahre hinweg weiterentwickelt und optimiert, jedoch nur in Teilen veröffentlicht. Abbildung 2-2 beschreibt die Eigenschaften der ersten Ebene, die sogenannten Eigenschaftsfelder. Abbildung 2-3 zeigt die Eigenschaften der zweiten Ebene beispielhaft für das Eigenschaftsfeld Alltagstauglichkeit. Das Netzdiagramm bietet die Möglichkeit, die Ausprägungen der Eigenschaften und damit die Stärken und Schwächen eines Fahrzeugs darzustellen. Die Mindestbefriedigung mit dem Eigenschaftswert fünf liegt in der Mitte des Diagramms, während die äußerste Netzdiagrammlinie dem Eigenschaftswert zehn entspricht. Mit Hilfe dieser Visualisierungsform können auch Positionierungen im Vergleich zu Wettbewerbsfahrzeugen anschaulich vorgenommen werden.

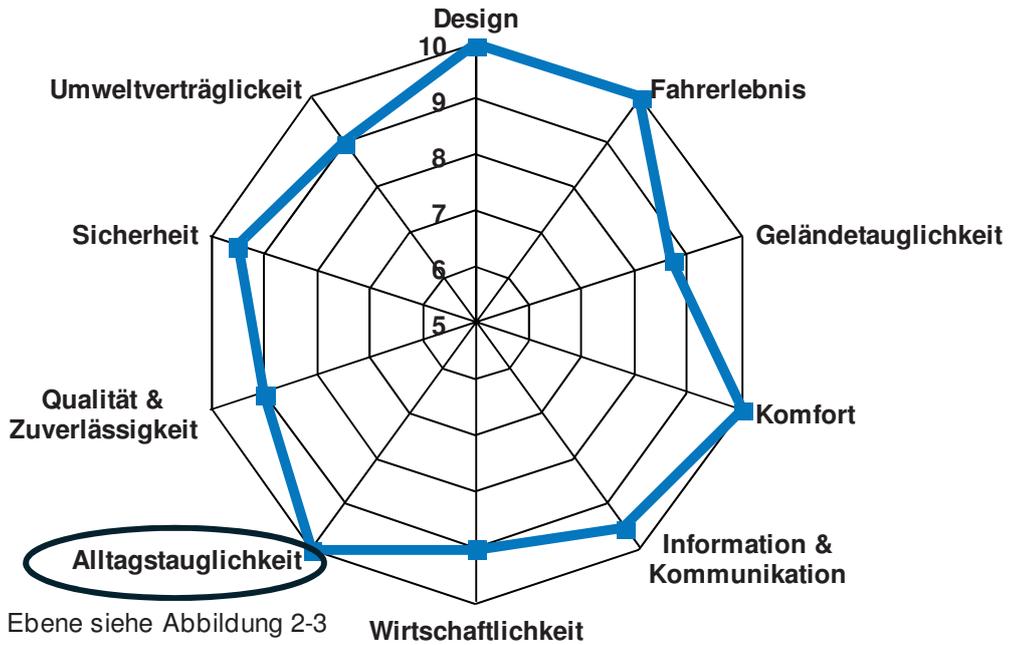


Abbildung 2-2 Fahrzeugeigenschaftsfelder der AUDI AG nach [Meu09]

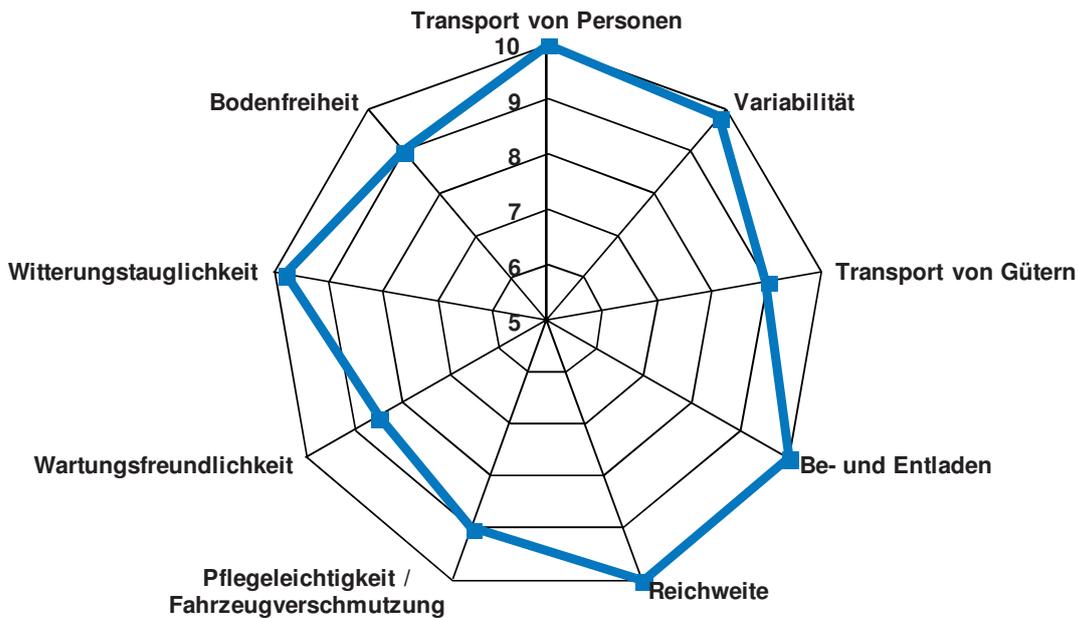


Abbildung 2-3 Eigenschaften der zweiten Ebene des Eigenschaftsfelds Alltagstauglichkeit nach [Meu09]

Automobilzeitschriften, die die Meinungsbildung potentieller Kunden stark beeinflussen können, führen ihre eigenen Eigenschaftsstrukturen. In Zeitschriften, wie Auto Motor und Sport [AMS], ADAC Motorwelt [ADAC] oder Auto Bild [Aut], werden Bewertungen von Fahrzeugen anhand dieser Eigenschaftsstrukturen vorgenommen, um die Güte eines Fahrzeugs im Vergleich zu seinen Wettbewerbern zu beschreiben.



### 2.1.3 Bewertung von Eigenschaften

Zur Beurteilung von Eigenschaften kann das Modell von Kano et al. herangezogen werden [Kan84]. Dieses teilt Eigenschaften entsprechend des Verlaufes der Kundenzufriedenheit in Abhängigkeit von der Eigenschaftserfüllung in drei Kriterien ein: Basis-, Leistungs- und Begeisterungskriterien. In Abbildung 2-4 sind typische Verläufe dieser Kriterien dargestellt.

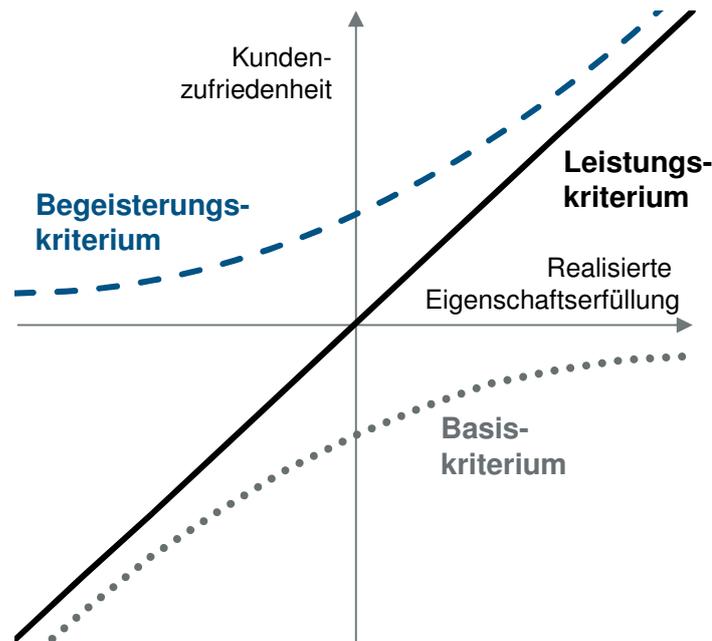


Abbildung 2-4 Kano-Modell zur Klassifizierung von Eigenschaften nach [Lin09, S. 106]

Die Erfüllung von Basiskriterien wird vom Kunden erwartet und muss auf jeden Fall gewährleistet sein. Beim Kunden ermöglicht die Erfüllung dieser Kriterien nur die Vermeidung von Unzufriedenheit und ruft keine Begeisterung für das Produkt hervor. Folglich haben Basiskriterien eine degressive Verlaufskurve im Bereich negativer bis neutraler Kundenzufriedenheit. Beispiele sind bereits etablierte und erwartete Ausprägungen von Eigenschaften, wie eine sichere Gefahrenbremsung, die ein Anti-Blockier-System ermöglicht.

Leistungskriterien weisen eine lineare Korrelation zwischen Ausprägung und Kundenzufriedenheit auf und können dadurch Unzufriedenheit, Zufriedenheit oder auch Begeisterung hervorrufen. Als Beispiel kann die Größe des Kofferraumvolumens genannt werden, weil bei geringen Werten Unzufriedenheit ausgelöst wird, höhere Werte jedoch Zufriedenheit und sogar Begeisterung in der Kundenwahrnehmung des Fahrzeugs verursachen.

Begeisterungskriterien werden vom Kunden nicht erwartet, sondern überraschen ihn positiv und rufen somit in überproportionaler Weise Zufriedenheit hervor. Begeisterungskriterien werden in vielen Fällen durch Innovationen realisiert und können im Markt Alleinstellungsmerkmale im Vergleich zu Wettbewerbern darstellen. Zudem ist diese Gattung von Eigenschaften bei vielen Kunden ausschlaggebend für die Kaufentscheidung und sollte deswegen gezielt zur Unterstützung von positionierungsrelevanten Eigenschaften eingesetzt werden. Ein Toter-Winkel-Assistent etwa wird nicht zwingend vom Kunden erwartet, kann jedoch durch Unterstützung des Sicherheitsgefühls Begeisterung auslösen.

Bei der Zuordnung von Eigenschaften zu den Kano-Kriterien ist zu beachten, dass sich Eigenschaften durch den Gewöhnungseffekt der Kundenwahrnehmung mit der Zeit von Begeisterungs-, über Leistungs- zu Basiskriterien verschieben. Gemäß Braess' Artikel „Nichts steigt so schnell wie die Ansprüche“ [Bra93] ist es die Herausforderung der Entwicklung, trotz steigender Kundenbedürfnisse, Produkte mit hohen Erfüllungen in Begeisterungs- und Leistungsmerkmalen zu schaffen.

In den Testschemata von Automobilzeitschriften werden Eigenschaftsausprägungen über die Vergabe von Punkten bewertet. Die Kundenzufriedenheit nimmt mit steigender Punkteanzahl zu, wobei die maximal erreichbare Punkteanzahl entsprechend der Wichtigkeit der jeweiligen Eigenschaft variiert. Beispielhaft ist die Korrelation für die Eigenschaft Beschleunigung 0-100 km/h bei Mittelklassefahrzeugen des Testschemas der AMS [AMS] in Abbildung 2-5 dargestellt, bei der in Abhängigkeit von den Beschleunigungswerten zwischen null und zehn Punkte erreicht werden können.

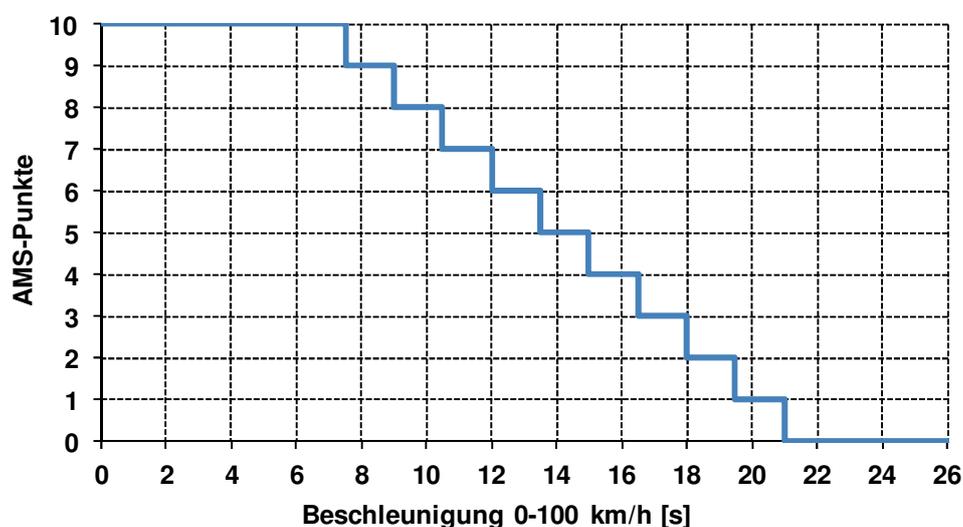


Abbildung 2-5 Eigenschaftsbewertung Beschleunigung 0-100 km/h nach [AMS]



In den Entwicklungsabteilungen vieler Automobilhersteller hat sich eine Eigenschaftswerteskala mit einem Bereich von eins bis zehn zur einheitlichen Bewertung von Fahrzeugeigenschaften etabliert (Tabelle 2.1). Der Wertebereich von eins bis vier sollte vermieden werden, weil das Fahrzeug in diesen Bewertungen deutliche Mängel aufweist und es zu Beanstandungen von Kunden kommt. Der Wertebereich für marktfähige Fahrzeuge liegt im Bereich von fünf bis zehn, mit steigender Güte in Richtung höherer Eigenschaftswerte. Je nach Anspruch des Automobilherstellers ist das Niveau des Eigenschaftswerts fünf unterschiedlich. Bei zehn wird die derzeit jeweils technisch beste mögliche Ausprägung der Eigenschaft erzielt.

	Note / Eigenschaftswert	Bewertung	Mängel
<b>annehmbar</b>	<b>10</b>	ausgezeichnet	nicht wahrnehmbar
	<b>9</b>	sehr gut	kaum wahrnehmbar
	<b>8</b>	gut	äußerst gering
	<b>7</b>	ausreichend	sehr gering
	<b>6</b>	annehmbar	gering
<b>Grenzfall</b>	<b>5</b>	Grenzfall	gut wahrnehmbar
<b>nicht annehmbar</b>	<b>4</b>	Kundenbeschwerden	unangenehm, Verbesserung erforderlich
	<b>3</b>	schlecht	nicht akzeptabel, Bauteil fehlerhaft
	<b>2</b>		nicht akzeptabel, Bauteil bedingt funktionsfähig
	<b>1</b>		nicht akzeptabel, Bauteil ohne Funktion

*Tabelle 2-1 Eigenschaftswerteskala  
nach [Aig82; Hei02, S. 27 f.; Zie06, S. 25]*

## 2.2 Produktpositionierung über Eigenschaften

Wie im vorigen Kapitel dargelegt, sind Eigenschaften ein probates Maß zur Profilierung von Fahrzeugen aus Kundensicht. Die Profilierung stellt zugleich eine angestrebte Positionierung des Fahrzeugs im Wettbewerbsumfeld sowie eine Einordnung in das Produktportfolio des Herstellers dar.

## 2.2.1 Eigenschaften im Produktentstehungsprozess

Im zeitlichen Verlauf der Entwicklung wird die Positionierung stetig weiter detailliert. In der Planungsphase wird ein Produktsteckbrief definiert, der die strategische Mission des Projekts beschreibt. Daraus wird ein detailliertes Eigenschaftsprofil abgeleitet, in dem die Anforderungen an alle Eigenschaften bestimmt werden. Auf Basis dieser Anforderungen werden Zielwerte für die quantifizierbaren Eigenschaften festgelegt.

Der Prozess der Fahrzeugentwicklung wird nach Lienkamp [Lie11, Kap. Automobil-PEP, S. 63] in vier Phasen eingeteilt: Planungs-, Definitions-, Realisierungs- und Produktionsphase (Abbildung 2-6). Die virtuelle Fahrzeugentwicklung und entsprechend auch der in dieser Arbeit entwickelte Ansatz zum Einsatz in der Eigenschaftsentwicklung spielen sich vorrangig in der Planungs- und Definitionsphase ab. In der Planungsphase wird ein Produktsteckbrief inklusive erster Zielwerte erarbeitet, aus dem ein Eigenschaftsprofil abgeleitet wird (Kapitel 2.2.3). Im nächsten Detaillierungsschritt ist ein Eigenschaftskatalog zu erstellen. Anschließend können Zielwerte für die quantifizierbaren Eigenschaften sowie für die relevantesten Einflussgrößen festgelegt werden (Kapitel 2.2.4). In der Definitionsphase sind verschiedene Konzeptalternativen aus Eigenschaftssicht zu bewerten, während in der Realisierungs- und Produktionsphase das finale Fahrzeugkonzept umgesetzt und produziert wird.

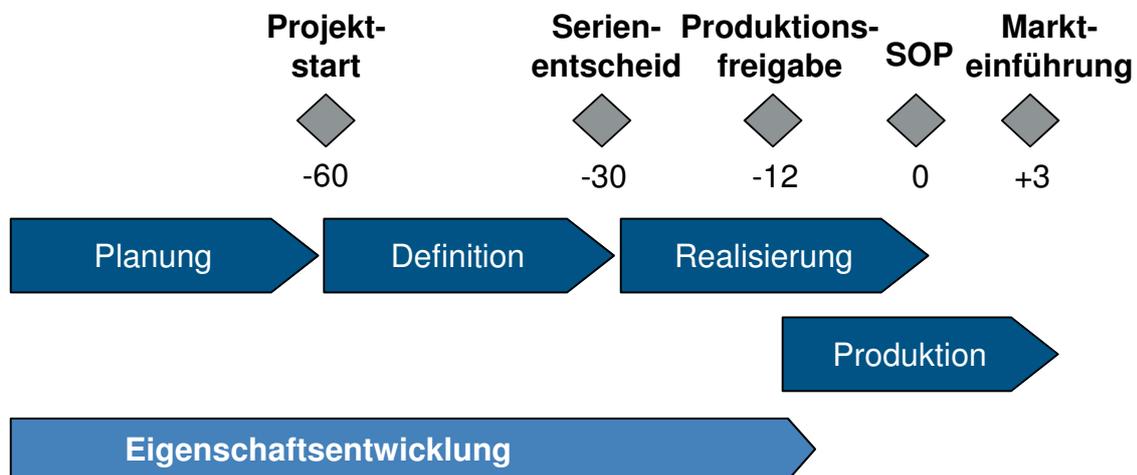


Abbildung 2-6 Automobil-Produktentwicklungsprozess  
nach [Lie11, Kap. Automobil-PEP, S. 63]

## 2.2.2 Einflussfaktoren auf die Eigenschaftspositionierung

Produktsteckbrief, Eigenschaftsprofil, Eigenschaftskatalog und Zielwerte werden von vielen äußeren Faktoren beeinflusst (Abbildung 2-7). Diese Einflussfaktoren gelten in den meisten Entwicklungsphasen und müssen ständig auf Änderungen hin überwacht



werden. Die Wettbewerbsanalyse umfasst die Auswertung der aktuell auf dem Markt befindlichen Fahrzeuge sowie die Prognose über deren Nachfolger. Die Presse-Auswertung des Vorgängerfahrzeugs, soweit vorhanden, gibt Aufschluss darüber, welche Aspekte positiv oder negativ bewertet wurden. Weitere Stärken und Schwächen des Vorgängers werden über unternehmensinterne Analysen oder aus öffentlichen Quellen wie der ADAC-Pannenstatistik gewonnen. Zusätzlich fließen Ergebnisse aus Konzeptkliniken, Benchmarks oder J. D. Power Befragungen [JDP13] in die Positionierung eines Nachfolgerfahrzeugs ein. Jedes Fahrzeug muss zudem die marktspezifischen Zulassungsgesetze und Normen einhalten. Die Schwerpunkte der Positionierung sollten durch Begeisterungsmerkmale gestärkt werden, die markt-spezifisch stark variieren können [Schi13]. Darüber hinaus sind in Bereichen aktueller Trends positionierungsunterstützende Maßnahmen zu treffen. In Summe muss die Positionierung jedes Fahrzeugs die Markenwerte repräsentieren.

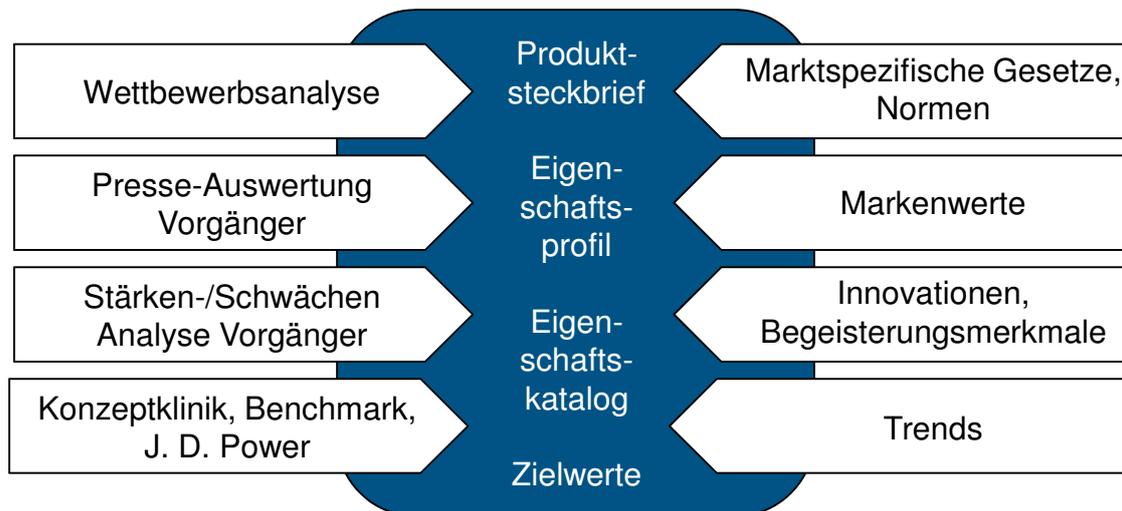


Abbildung 2-7 Einflüsse auf die Positionierung über Eigenschaften

### 2.2.3 Produktsteckbrief und Eigenschaftsprofil

Zu Projektstart wird ein Produktsteckbrief erstellt, der die Intention des geplanten Fahrzeugs beschreibt. Dazu zählt die Mission als strategischer Auftrag aus Unternehmenssicht. Zudem werden Rahmenbedingungen, wie Absatzmärkte und Fertigungsstandorte, definiert und ein Zielverkaufspreis mit einem angestrebten Absatzvolumen festgelegt. Auf Basis des Ziel-Kundensegments werden die wichtigsten Wettbewerbsfahrzeuge ausgewählt. Anschließend wird das Eigenschaftsprofil abgeleitet, das aus Gewichtung und Ausprägung sämtlicher Eigenschaften besteht (Abbildung 2-8). Bei der Gewichtung wird in geringe (Gewichtung 1), mittlere

(Gewichtung 2) und hohe Positionierungsrelevanz (Gewichtung 3) der jeweiligen Eigenschaft unterschieden. Die Ausprägungen der Eigenschaften werden auf der Eigenschaftswerteskala in Relation zu potentiellen Wettbewerbern vorgenommen. Aus diesen Prämissen lassen sich erste Einflussgrößen wie grobe Außenabmaße sowie Anforderungen an Technik und Innovationen ableiten [Lie11, Kap. Eigenschaften, S. 31].

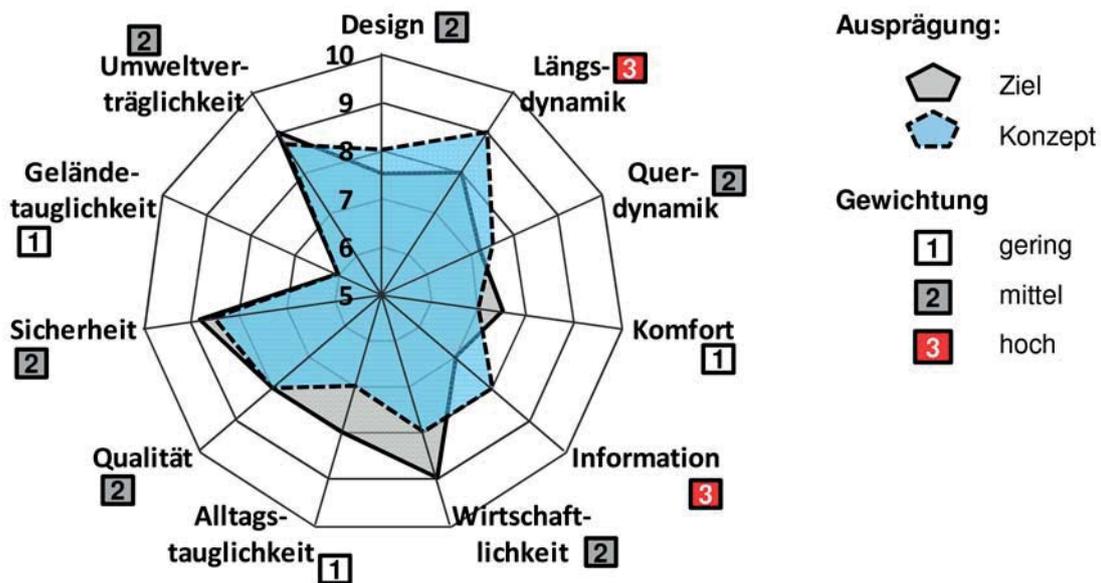


Abbildung 2-8 Beispiel eines Eigenschaftsprofils

Die nächste Detaillierungsstufe der Eigenschaftsprofilierung ist der Eigenschaftskatalog, der die angestrebten Ausprägungen der Eigenschaften beinhaltet. Dieser definiert neben der Gewichtung den Handlungsbedarf und Entwicklungsaufwand im Vergleich zum Vorgängerfahrzeug. Wie in Abbildung 2-9 gezeigt, werden über Handlungsfelder gezielt einzelne Eigenschaften benannt, deren Ausprägung verbessert oder erhalten werden soll, bzw. reduziert werden kann. Die gesetzte Gewichtung der Positionierung liefert eine Grundlage für Entwicklungsschwerpunkte und für die Priorisierung bei der Lösung von Zielkonflikten.



	Gewichtung	Handlungsbedarf zum Vorgänger	Aufwand	Handlungsfelder		
				Verbessern	Erhalten	Reduzieren
	1 gering 2 mittel 3 hoch	++ viel besser + besser 0 gleich - schlechter -- viel schlechter	++ sehr hoch + hoch 0 gering			
<b>Querdynamik</b>						
<b>Kurvenverhalten</b>	<b>3</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	Agilität		
					Lenkpräzision	
				Lenkwinkelbedarf		
...	...	...	...	...	...	...

Abbildung 2-9 Ausschnitt eines Eigenschaftskatalogs

### 2.2.4 Ableitung von Zielwerten

Nach Eigenschaftsprofil und -katalog ist die Ableitung von Zielwerten eine weitere Konkretisierungsstufe. Für quantifizierbare Eigenschaften werden physikalische Zielwerte direkt definiert, während für nicht quantifizierbare Eigenschaften Ziele der wichtigsten Einflussgrößen festgelegt werden.

Zielwerte werden für jede Eigenschaft einzeln abgeleitet. Anschließend müssen sie in einem Zielsystem zueinander plausibilisiert werden. Nach Eiletz [Eil98, S. 13-20] kommt es zu Neutralität, Komplementarität, Konflikt oder einer Antinomie (gegenseitiger Ausschluss). In der Konzeptentwicklung wird der größte Aufwand für die Bewältigung von Zielkonflikten betrieben [Saa97, S. 144-146; Eil98; Ber99; Wil01]. Eiletz zeigt, dass Zielkonflikte vor allem durch verfrüht getroffene Konzeptentscheidungen entstehen und folglich durch erhöhtes Produktwissen in der frühen Phase reduziert werden können [Eil98, S. 29].

Sind Zielwerte im Zielsystem aufgrund von physikalischen Implausibilitäten nicht erreichbar, sollte eine Zielwertänderung vorgenommen werden. Die Bildung verschiedener Szenarien (kosten-, eigenschafts-, markt-, entwicklungsgetrieben) trägt



dazu bei, den Zielbereich einzugrenzen und die Zielwerte unter Berücksichtigung möglichst vieler Aspekte festzulegen [Zie06, S. 82-86].

Parallel zur Ableitung strategiebezogener Zielwerte ist stets die wirtschaftliche Darstellbarkeit des Produkts so früh wie möglich sicherzustellen. Die Planung von Zielkosten erfolgt über Target Costing, wobei der angestrebte Gesamtkostenrahmen auf die zu entwickelnden Komponenten aufgeteilt wird [Ehr06, S. 50-52; Ehr07, S. 65f.].

### 2.3 Methodik der Quality Function Deployment

Eine der etabliertesten Methoden der kundennutzenorientierten Produktentwicklung ist die Quality Function Deployment Methodik, die das Sammeln, Strukturieren und Umsetzen von Kundenanforderungen unterstützt. Das grundsätzliche Vorgehen sowie die entsprechende Anwendung in der Fahrzeugkonzeptentwicklung werden im Folgenden nach [Aka92; Kin94; Saa97, S. 35-174; Kam06, S. 254 - 261; Lin09, S. 123 f.] beschrieben.

Die Quality Function Deployment Methodik wurde Ende der 1960er Jahre entwickelt und erstmals in Japan in einer Schiffswerft eingesetzt. In den Folgejahren wurde sie bei Toyota Motors weiterentwickelt und wird heute auch in den USA und Europa in großen Unternehmen, wie General Electrics oder Siemens, verwendet [Kam06, S. 255].

Kernwerkzeug der Quality Function Deployment Methodik ist das House of Quality, das entsprechend der Systematik in vier Entwicklungsphasen eingesetzt werden kann. Jedes House of Quality besteht aus einer matrixförmigen Darstellung der Beziehungen von Zielgrößen und deren ermöglichenden Stellhebeln. Die aufeinander aufbauenden Phasen sind im Einzelnen [Kam06, S. 255 f.]:

- Produkt: Kundenrelevante Eigenschaften werden zu technischen Stellhebeln in Relation gesetzt.
- Konstruktion / Teile: Für die kritischen technischen Stellhebel werden die Beziehungen zu den umsetzungsrelevanten Komponenten analysiert.
- Prozess: Bezogen auf die kritischsten Komponenten werden die Prozess- und Prüfablaufpläne auf ihre Beeinflussungsmöglichkeiten hin untersucht.
- Produktion: Arbeits- und Prüfanweisungen der Produktion werden zu den prozesskritischsten Stellhebeln in Beziehung gesetzt.

Abbildung 2-10 zeigt den Aufbau eines House of Quality. In diesem wird die „Sprache des Kunden“, ausgedrückt durch die Eigenschaftsforderungen, in die „Sprache des



Ingenieurs“ anhand der technischen Stellhebel übersetzt. Die Matrix beschreibt die Stärke der jeweiligen Beziehung auf der nichtlinearen 0-1-3-9-Skala. Aus dem Summenprodukt der Beziehungen mit den Gewichtungen wird die technische Bedeutung eines Stellhebels berechnet. Daraus wird ein Ranking entsprechend der Relevanz der jeweiligen Größe für die Erfüllung der Eigenschaften abgeleitet. Dieses Ranking dient bei der Zielwertdefinition zur Priorisierung der wichtigsten technischen Stellhebel. Im Dach des House of Quality werden zusätzlich die Wechselwirkungen der technischen Stellhebel untereinander abgebildet.

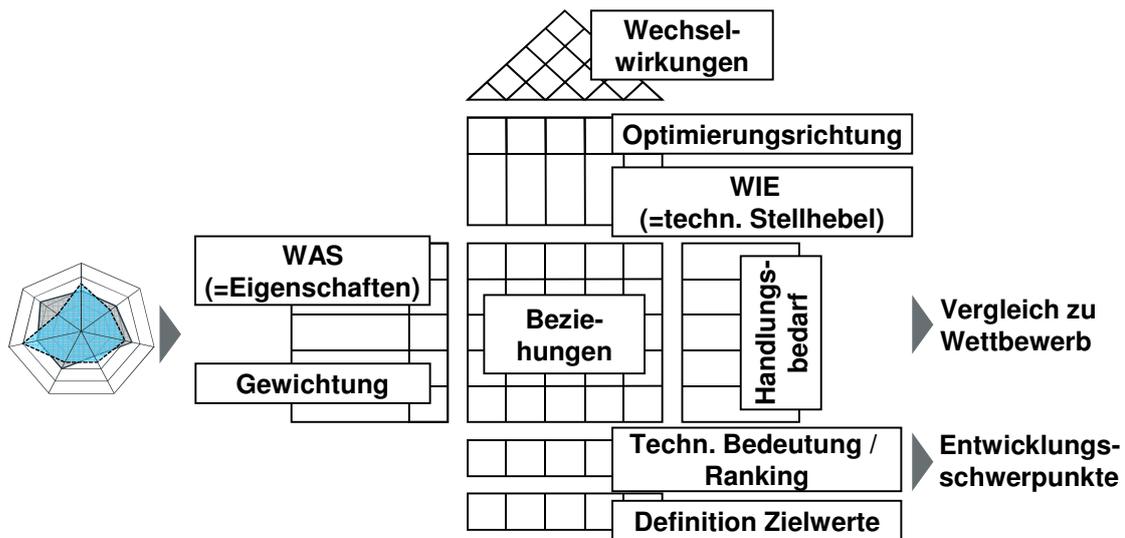


Abbildung 2-10 Schritte zum Aufbau und zur Nutzung eines House of Quality

Die Quality Function Deployment Methodik wird vor allem bei Produkten mit begrenzter Komplexität angewandt. Der Aufwand zur Füllung des House of Quality steigt mit der Anzahl an Eigenschaften und technischen Stellhebeln stark an und führt bei zu großen Datenmengen schnell zu Unübersichtlichkeit [Lin09, S. 124]. Ziemann hat ein House of Quality für ein Gesamtfahrzeug mit konventionellem Antriebsstrang aufgebaut und gezeigt, dass dieser Ansatz auch für komplexe Produkte wie dem Kraftfahrzeug zielführend sein kann [Zie06, S. 99].

## 2.4 Bestehende Tools der virtuellen Fahrzeugentwicklung

In der frühen Entwicklungsphase ist aufgrund des geringen Reifegrads des Produkts der Kenntnisstand der Produkteigenschaften noch gering (Abbildung 2-11). Änderungen sind in dieser Phase ohne großen zeitlichen und finanziellen Aufwand möglich. Je weiter die Entwicklung voranschreitet, desto höher wird der Kenntnisstand