

Yannick Arian Ostad Bagher Kashi

**Bewertung marktrelevanter
Erfolgsfaktoren innovativer
Interaktionskonzepte von
Kraftfahrzeugen**

**Bewertung marktrelevanter Erfolgsfaktoren innovativer Interaktionskonzepte von
Kraftfahrzeugen**

*Assessment of Market-Relevant Success Factors for Innovative Automotive
Interaction Concepts*

Von der Fakultät für Maschinenwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule
Aachen zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors
der Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Yannick Arian Ostad Bagher Kashi

Berichter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lutz Eckstein

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Robert Schmitt

Tag der mündlichen Prüfung:

09. Juni 2026

Dieser Dissertation ist auf den Internetseiten der Universitätsbibliothek online verfügbar.

DOI: 10.18154/RWTH-2026-06605
<https://doi.org/10.18154/RWTH-2026-06605>

Aachen, im Juli 2026

© ika

Kurzfassung

Innovationen sind ein entscheidender Faktor zur Sicherung der nachhaltigen Wettbewerbsfähigkeit eines Automobilherstellers und zur Steigerung des Unternehmenswertes. Eine zentrale Aufgabe strategischer Unternehmensführung besteht darin, hochwertige Produkte zu einem angemessenen Preisniveau in kürzester Zeit auf den Markt zu bringen. Dafür sind die richtigen Entscheidungen zum richtigen Zeitpunkt notwendig, um die Balance zwischen effizientem Ressourceneinsatz und notwendigen Zukunftsinvestitionen zu gewährleisten. Um Fehlentscheidungen im Entwicklungsprozess zu vermeiden, muss die Abhängigkeit einer Entscheidung von Präferenzen einzelner Individuen verringert und die Konformität zur Unternehmensstrategie sichergestellt werden. Dies erfordert eine objektive und transparente Grundlage, anhand derer Entscheidungen frühzeitig an marktrelevanten Erfolgsfaktoren orientiert werden können.

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Bewertungsmethodik entwickelt, die Entscheidungen bei der Entwicklung innovativer Interaktionskonzepte von Kraftfahrzeugen systematisiert. Grundlage bildet das Fünf-Ebenen-Modell, das marktrelevante Erfolgsfaktoren auf gesellschaftlicher, regulatorischer, ökonomischer, individueller und technischer Ebene erfasst.

Das Vorgehensmodell beschreibt die typischen Schritte zur Bewertung eines Interaktionskonzeptes. Die genutzten Werkzeuge werden in Module zusammengefasst, die eine einfache Handhabung der Methode gewährleisten. Das Kriterienmodul umfasst die Identifikation relevanter Bewertungskriterien. Das Strategiemodul schafft die Grundlage dafür, dass längerfristige Unternehmens- und Produktstrategien über Gewichtungen in Konzeptentscheidungen Berücksichtigung finden. Das Bewertungsmodul löst die Aufgabe, unterschiedliche Skalen, Maßstäbe, Einheiten und Genauigkeiten sowie Unsicherheiten der ermittelten Kriterienausprägungen über Maßzahlfunktionen in einem Bewertungsalgorithmus so zusammenzubringen, dass einzelne Stärken und Schwächen der untersuchten Konzepte offengelegt werden. Durch die kriterienindividuelle Betrachtung wird das Bewertungsergebnis im Entscheidungsmodul transparent offengelegt, sodass geeignete Entwicklungsmaßnahmen abgeleitet und entschieden werden können.

Die Validierung erfolgt anhand eines praxisnahen Fallbeispiels aus der Automobilindustrie, in dem drei alternative Interaktionskonzepte bewertet werden. Die Anwendung zeigt, dass durch die regelbasierte Vorgehensweise Komplexität reduziert, Erfolgsfaktoren messbar abgebildet, strategische Konformität sichergestellt sowie Stärken und Schwächen der Konzepte transparent aufgezeigt werden können.

Abstract

Innovations are a critical factor for securing the long-term competitiveness of an automotive manufacturer and increasing the value of the company. A central task of strategic corporate management is to bring high-quality products to market at a competitive price in the shortest possible time. This requires making the right decisions at the right time, balancing efficient resource use with necessary future investments. To prevent erroneous decisions in the development process, the dependence on individual preferences must be minimized, and alignment with corporate strategy must be ensured. This necessitates an objective and transparent basis on which decisions can be guided by market-relevant success factors.

Within the scope of this work, an assessment methodology is developed to systematize decision-making in the development of innovative human machine interaction (HMI) concepts for vehicles. The methodology is based on the Five-Layer Model, which considers market-relevant success factors across societal, regulatory, economic, individual, and technical layers.

The procedural model defines the typical steps for assessing an HMI concept. The applied tools are organized into modules that ensure both ease of use and methodological flexibility. The criteria module comprises the identification of relevant evaluation criteria. The strategy module ensures that long-term corporate and product strategies are incorporated into concept decisions through weighted prioritization. The evaluation module integrates different scales, metrics, units, accuracies, and uncertainties of the identified criteria using numeric functions within an evaluation algorithm, revealing the strengths and weaknesses of each assessed concept. By considering each criterion individually, the decision module transparently presents the evaluation results, enabling the derivation and decision of appropriate development measures.

Validation is conducted using a practical case study from the automotive industry, in which three alternative HMI concepts are assessed. The application demonstrates that the rule-based approach reduces complexity, renders success factors measurable, ensures strategic conformity, and transparently highlights the strengths and weaknesses of the concepts.

Inhalt

1	Einleitung.....	7
1.1	Ausgangssituation und Zielsetzung.....	7
1.2	Aufbau der Arbeit	10
2	Stand der Technik.....	12
2.1	Eingrenzung des Untersuchungsbereichs.....	12
2.2	Marktrelevante Erfolgsfaktoren	17
2.2.1	Unternehmenskybernetik.....	17
2.2.2	Unternehmensexterne Perspektive.....	21
2.2.3	Unternehmensinterne Perspektive.....	24
2.2.4	Fünf-Ebenen-Modell	26
2.3	Bestehende Bewertungsansätze.....	29
2.3.1	Entscheidungsmodelle.....	29
2.3.2	Multikriterielle Entscheidungsmethoden	31
2.3.3	Technologiebewertung	34
3	Forschungsansatz	38
3.1	Anforderungen an die Bewertungsmethode	38
3.1.1	Allgemeine Anforderungen	38
3.1.2	Inhaltliche Anforderungen.....	41
3.2	Diskussion bestehender Ansätze	46
3.3	Forschungsbedarf und Forschungsansatz	51
4	Konzeption einer Methodik zur Bewertung marktrelevanter Erfolgsfaktoren	53
4.1	Vorgehensmodell	54
4.1.1	Initialisierungsphase	55
4.1.2	Vorbereitungsphase.....	56
4.1.3	Durchführungsphase	58
4.1.4	Analysephase	59
4.1.5	Akteure	60

4.2	Kriterienmodul.....	62
4.2.1	Identifikation und Konsolidierung der Bewertungskriterien.....	62
4.2.2	Analyse inhärenter Wirkbeziehungen.....	77
4.3	Strategiemodul.....	78
4.3.1	Unternehmens- und Produktstrategie	79
4.3.2	Gewichtung der Bewertungskriterien	81
4.4	Bewertungsmodul	82
4.5	Entscheidungsmodul	87
4.5.1	Identifikation von Handlungsbedarfen	87
4.5.2	Ableitung geeigneter Maßnahmen	90
5	Anwendung der Methodik am Beispiel von HMI-Konzepten.....	93
5.1	Initialisierungsphase	93
5.2	Vorbereitungsphase.....	95
5.2.1	Festlegung der Produktstrategie	95
5.2.2	Auswahl der Technologiealternativen (HMI-Konzepte)	96
5.2.3	Auswahl der Bewertungskriterien.....	99
5.3	Durchführungsphase	102
5.3.1	Ausprägungsermittlung der Bewertungskriterien.....	103
5.3.2	Bewertung der Konzeptalternativen	118
5.4	Analysephase	120
5.4.1	Identifikation von Handlungsmaßnahmen	120
5.4.2	Festlegung geeigneter Maßnahmen	124
6	Diskussion.....	129
7	Zusammenfassung.....	133
8	Abkürzungsverzeichnis	135
9	Literatur	137
10	Anhang.....	172

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Vor dem Hintergrund einer zunehmenden Wettbewerbsdynamik, steigender Kundenanforderungen sowie wachsender staatlicher Einflüsse stehen Unternehmen vor tiefgreifenden Veränderungen. Strengere Regulierungen [EUR21], verschärfte Sicherheitsstandards [EUR19a] und erweiterte Berichtspflichten [EUR22] prägen verstärkt die Rahmenbedingungen unternehmerischen Handelns. Unter diesen Voraussetzungen besteht eine zentrale Aufgabe strategischer Unternehmensführung darin, hochwertige Produkte zu einem angemessenen Preisniveau in kürzester Zeit auf den Markt zu bringen [REI10]. Die Weiterentwicklungs- und Transformationsfähigkeit eines Unternehmens ist ausschlaggebend für dessen Wettbewerbsfähigkeit, um künftig einen technologischen und qualitätsmäßigen Vorsprung seiner Produkte zu erzielen [WIN17], [HAB20]. Innovationen können maßgebend zur Senkung der Herstellungskosten, Verbesserung der Produktqualität und der Entwicklung neuartiger Produkte beitragen, die bedeutenden Mehrwert gegenüber anderen, sich auf dem Markt befindenden Alternativen bieten. Diese Innovationen bilden einen entscheidenden Schlüsselfaktor zur Sicherung der nachhaltigen Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens und zur Steigerung des Unternehmenswertes. [DIS12], [VAH23] Die Automobilindustrie zeichnet sich durch eine besonders hohe Innovationskraft aus. Die vermarkteten Fahrzeuge können als Abbild des technologischen Entwicklungsstands ihrer Zeit betrachtet werden. Heute ist die Innovationsfähigkeit dieser Branche geprägt von den Megatrends der Digitalisierung, Konnektivität und Nachhaltigkeit. Sie manifestiert sich in innovativen Antriebstopologien (Elektrifizierung des Antriebsstrangs), der Automatisierung der Fahraufgabe, der Einbindung der Fahrzeuge in das Internet-of-Things (IoT, Konnektivität) sowie neuer Geschäftsmodelle in der Fahrzeugnutzung (geteilte Ökonomie). [PRO13] [MCK16], [PWC17], [ROL20], [DEL23] Als zusätzliche Innovationstreiber wirken wachsende regulatorische Einflüsse in der Automobilindustrie. Dazu zählen verschärfte CO₂-Emissionsvorgaben auf europäischer Ebene [EUR19b], neue produktsicherheitsrechtliche Standards wie Notbrems- oder Spurhalteassistenten [EUR19a] sowie erweiterte Vorgaben zur Umsetzung umfassender Nachhaltigkeitsanforderungen [EUR22]. Steigende Kundenerwartungen werden zudem durch große technologische Fortschritte angrenzender Industriezweige (IT) geprägt [ROL20]. Vor diesem Hintergrund ist in den letzten Jahren eine stetige Zunahme der Fahrzeugfunktionalität zu erkennen, welche sich zunehmend auf die Komplexität in der Fahrzeugbedienung auswirkt [DEL24]. Der systematischen Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion (Human Machine Interaction, kurz HMI) des Fahrzeugs kommt deshalb eine besonders hohe Bedeutung zu, da diese einen maßgeblichen Einfluss auf das Kundenerlebnis (User Experience) und damit auf die Erfüllung der Kundenanforderung hat [MER08], [EBE14], [ANT16],

[MEI17], [ZAI19]. HMI umfasst die Interaktion zwischen Informations- und Kommunikationssystemen des Fahrzeugs mit den Fahrenden oder Beifahrenden, die durch Funktionen und Bauteile wie Anzeigen und Bedienelemente realisiert werden [EUR08], [BUB15]. Durch die Einführung zahlreicher Innovationen gelten Interaktionskonzepte als wichtiges Differenzierungsmerkmal für die Wettbewerbsfähigkeit eines Automobilherstellers [MCK21].

Innovationen sind kein Selbstzweck, sondern nur dann sinnvoll, wenn sie zum Markterfolg des Unternehmens beitragen und wenn es gelingt, die Potenziale auch in marktrelevante Erfolgsfaktoren umzusetzen [LIN03]. Innovationen müssen in Bezug zu den Wirtschaftlichkeitszielen eines Unternehmens stehen [WIL18]. Dazu bedarf es, die erfolgversprechendsten Innovationen schon in einer frühen Phase der Produktentwicklung trotz Unsicherheiten bezüglich der Marktakzeptanz und wirtschaftlichen Rentabilität zu bewerten. Entscheidungen sind unter einer Vielzahl an Alternativen zu treffen. Eine unzureichende oder zu stark eingegrenzte Betrachtung der relevanten Einflussgrößen in der Bewertung führt im schlimmsten Fall zu falschen Entscheidungen, die nur durch hohe Aufwände im späteren Verlauf des Entwicklungsprozesses korrigiert werden können (s. Abb. 1-1). [SPE02a], [HER07], [HAB12], [WIL13], [COE16], [DOL16], [FRI22]

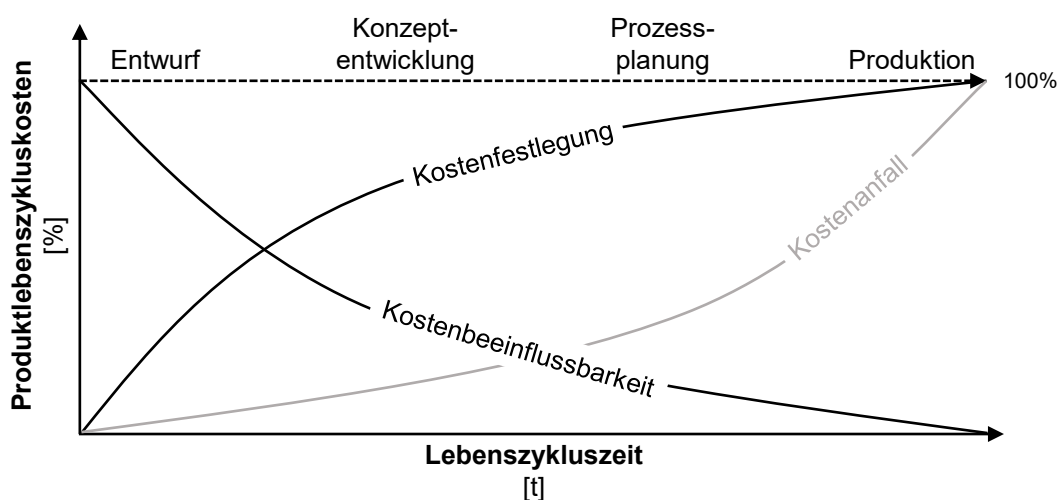


Abb. 1-1: Kostenfestlegung vs. Kostenbeeinflussbarkeit über den Entwicklungsprozess nach [FRI22]

Durch die Integration ganzheitlicher Technologiebewertungsmethoden in maßgebende Entscheidungsprozesse bei der Entwicklung innovativer HMI-Konzepte eines Unternehmens können die zugrundeliegenden Entscheidungskriterien systematisiert werden. Zu einem frühen Zeitpunkt können auf diese Weise fundierte Entscheidungen abgeleitet werden. [VDI00], [TAT09], [SCH11b] Existierende Leitlinien wie das *European Statement of Principles* (ESoP) unterstützen zwar die systemische

Gestaltung von HMI-Konzepten, bewerten aber nicht das Potential einer erfolgreichen Markteinführung aus Unternehmenssicht [EUR08]. Es bedarf einer methodischen Systematisierung dieser Bewertung aufgrund der Unumgänglichkeit von innovativen HMI-Konzepten für Automobilhersteller und der schwierigen Prognostizierbarkeit des Markterfolgs.

Vor diesem Hintergrund soll in der vorliegenden Arbeit eine Methodik entwickelt werden, die innovative HMI-Konzepte unter Berücksichtigung aller marktrelevanten Erfolgsfaktoren bewertet und dadurch eine Entscheidungsgrundlage schafft. Der zugrundeliegende explorative Forschungsprozess beginnt mit der Ausformulierung konkreter Forschungsfragen [KUB76]:

- Wie gestalten sich die unterschiedlichen Schritte eines regelbasierten Vorgehensmodells, um die Komplexität von Entscheidungsprozessen innerhalb eines unternehmerischen Entwicklungsprozesses durch eine strukturierte Bewertung zu reduzieren?
- Wie lassen sich marktrelevante Erfolgsfaktoren systematisieren und spezifischen, messbaren Kriterien zuordnen, die sowohl zu einem frühen Entwicklungszeitpunkt unter Berücksichtigung von Unsicherheiten und fehlenden Informationen als auch zu einem späteren Zeitpunkt unter Berücksichtigung genauer, quantifizierbarer Daten parametrisiert und einem Bewertungsmodell zugeordnet werden können?
- Wie können unternehmens- und produktstrategische Einflussfaktoren aus der wettbewerbsbezogenen Makroperspektive eines Unternehmens bei der Parametrisierung der Bewertungskriterien von Produkten so berücksichtigt werden, dass eine strategische Konformität der Entscheidung sichergestellt werden kann?
- Wie können dem Entscheidungsprozess die maßgebenden Teilbewertungen so zugeführt werden, dass eine Gesamtbewertung und eine Entscheidungsfindung ohne Informationsverlust ermöglicht werden?

Bei der Beantwortung der dargelegten Forschungsfragen liegt der Fokus auf wettbewerbsdifferenzierenden HMI-Konzepten.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die Zielsetzung der Konzeption einer Methodik zur Bewertung marktrelevanter Erfolgsfaktoren innovativer Interaktionskonzepte von Kraftfahrzeugen unterliegt einem praxisorientierten Ziel. Für den Aufbau der Arbeit eignet sich daher die Einordnung in den realwissenschaftlichen Forschungsprozess nach ULRICH. Dabei stehen die Beschreibung, Erklärung und Gestaltung von empirisch wahrnehmbaren Wirklichkeitsausschnitten im Vordergrund. [ULR79] Innerhalb der Realwissenschaften wird der Regel- und Modellaufbau zur Schaffung etwaiger Realitätsszenarien in den Prozess der angewandten Wissenschaft eingeordnet [GEI81]. Die Gliederung der Arbeit orientiert sich an den Phasen dieses Forschungsprozesses:

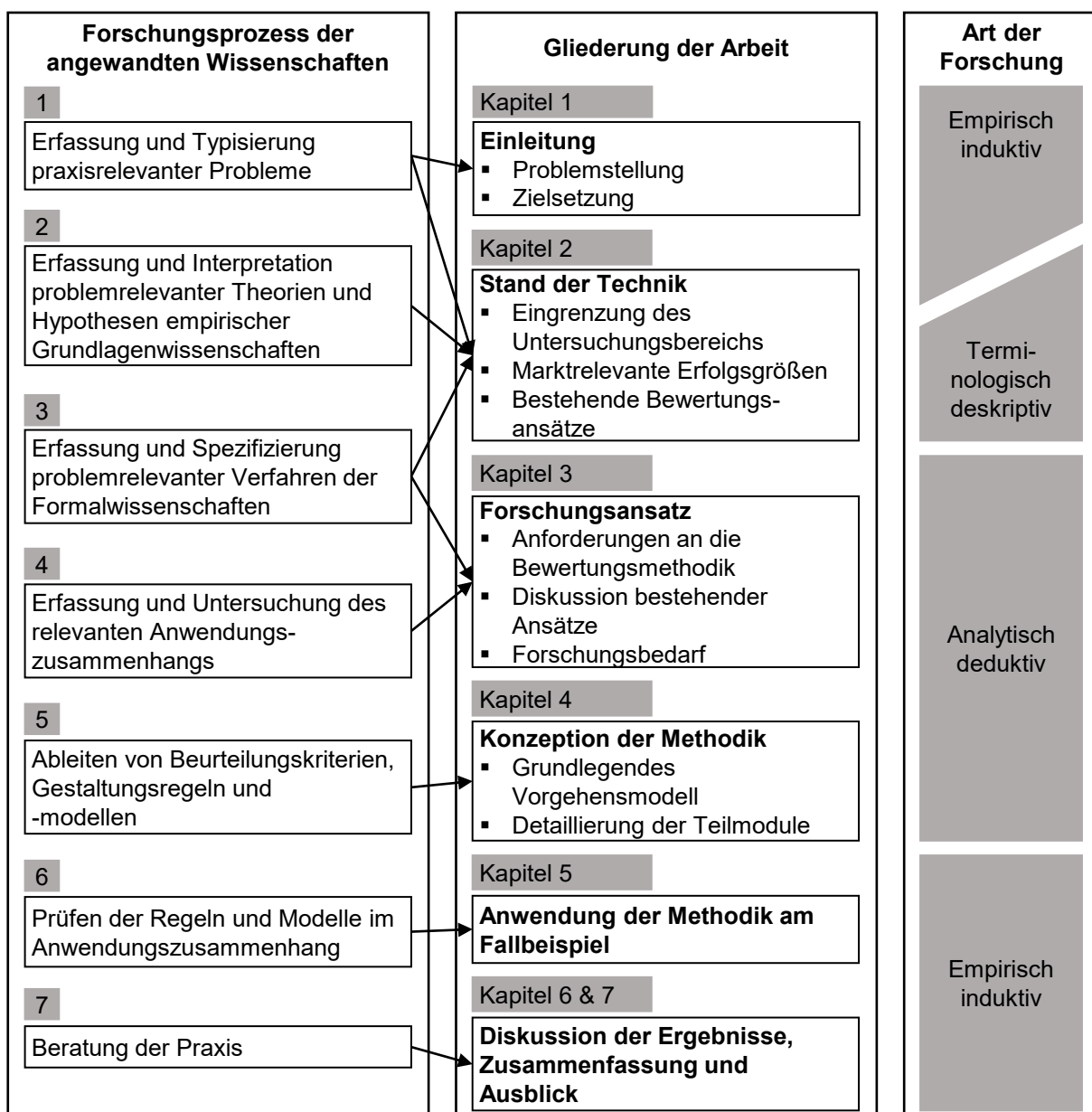


Abb. 1-2: Vorgehensweise und Gliederung der Arbeit nach [ULR79]

Abb. 1-2 stellt die Abhängigkeit der Kapitel dieser Arbeit von den Prozessphasen dar. Im ersten Schritt wird das praxisrelevante Problem erfasst und in den entsprechenden Kontext eingeordnet. Es zeigt die Notwendigkeit für Automobilhersteller, innovative HMI-Konzepte zu entwickeln, die bereits in naher Zukunft in Fahrzeuge einzusetzen sind. In den nächsten beiden Schritten werden problemrelevante Theorien und Hypothesen empirischer Grundlagenwissenschaften sowie Verfahren der Formalwissenschaften erfasst und interpretiert. Im Zuge dessen wird der Gestaltungs- und Betrachtungsbereich zunächst objekt- und prozessbezogen eingegrenzt. Die wichtigsten Grundlagen des Gestaltungs- und Betrachtungsbereichs werden dargelegt. Darunter fallen die Betrachtung marktrelevanter Erfolgsfaktoren aus unternehmenskybernetischer Forschungsperspektive sowie die Darlegung von Systematisierungsansätzen unternehmerischer Strategien. Es folgt eine Analyse der relevanten Bewertungsansätze zur Technologiebewertung innerhalb des Untersuchungsbereichs.

Anschließend wird der Anwendungszusammenhang erfasst und untersucht. Beurteilungskriterien, Gestaltungsregeln und Gestaltungsmodelle werden über den Forschungsansatz synthetisiert. Die Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik erschließen sich aus den Forschungsfragen und dem Untersuchungsbereich. Darauf werden die vorgestellten Bewertungsansätze hinsichtlich dieser Anforderungen diskutiert. Dieses Vorgehen ist notwendig, um die Übertragbarkeit der Bewertungsansätze auf die vorliegenden Fragestellungen zu prüfen und den ausgewiesenen Forschungsbedarf zu identifizieren. Auf dieser Basis wird ein Forschungsansatz zur Methodikentwicklung gewählt.

Entsprechend der zugrundeliegenden Systemtheorie erfolgt die Konzeption der Methodik. Diese folgt einer Aufbaustruktur, welche durch die Definition von Teilmodulen in den Gesamtzusammenhang einer prozessualen Ablaufstruktur eingeordnet wird. Die generische Herangehensweise wird durch die Ausarbeitung spezifischer Teilmodule am Beispiel von HMI-Konzepten konkretisiert.

Im nachfolgenden Schritt wird die Verifikation der erarbeiteten Methodik anhand eines Praxisbeispiels durchgeführt. Dazu wird ein Beispielunternehmen mit inhärenter Unternehmensstrategie aufgebaut und vor die Wahl eines HMI-Konzeptes für ein Fahrzeugmodell gestellt. Die Nutzbarkeit der Methodik wird auf Basis der Simulation der zu treffenden Konzeptentscheidung untersucht. Im Anschluss werden die Ergebnisse der Methodik kritisch diskutiert und in den Kontext der zu beantwortenden Forschungsfragen gestellt.

Abschließend erfolgt eine Diskussion der relevanten Ergebnisse dieser Arbeit. Darüber hinaus wird ein Ausblick auf weiterführenden Forschungsbedarf im Rahmen der Adaptierung, Optimierung und Nutzung der Methodik gegeben.

2 Stand der Technik

2.1 Eingrenzung des Untersuchungsbereichs

Im Folgenden werden zunächst die den Ausführungen zugrundeliegenden Begrifflichkeiten erläutert und der Untersuchungsbereich wird objektbezogen und prozessbezogen eingegrenzt. Die objektbezogene Eingrenzung geht auf die in der Einleitung dargelegte Anwendung der Methodik auf HMI-Konzepte ein, während die prozessbezogene Eingrenzung den zeitlichen Rahmen der zu entwickelnden Methodik innerhalb des Entwicklungsprozesses konkretisiert. Die Begriffe *Methodik* und *Methode* werden kontextabhängig bewusst unterschieden: Methodik wird verstanden als übergeordnetes, systematisches Vorgehen, während Methode eine konkrete, anwendbare Vorgehensweise zur Zielerreichung darstellt.

Objektbezogene Eingrenzung

Die Mensch-Maschine-Schnittstelle umfasst alle Elemente, mit denen ein Mensch mit einer Maschine physisch, perzeptiv oder konzeptionell in Verbindung tritt [MOR81]. Über die Schnittstelle werden Informationen zwischen Mensch und Maschine ausgetauscht sowie Signale übertragen [BUB15]. Im Kontext des Gesamtsystems „Fahrzeug“ werden Informationen über Anzeigen präsentiert und Signale durch Bedienelemente transmittiert, damit die Fahrenden die Fahraufgabe sicher, effektiv und effizient bewältigen können [WIN15]. Anzeigen sind technische Elemente, die Informationen gestalterisch an die Sinnesorgane des Menschen vermitteln [BUB15]. Dazu werden im Fahrzeug häufig optische, akustische und haptische Anzeigen verwendet. Bedienelemente sind technische Einrichtungen, mittels derer der Mensch über verschiedene Modalitäten (Extremitäten, Stimme) eine steuernde oder regelnde Einwirkung auf den Funktionsablauf vornehmen kann [MEI17]. In der Literatur werden verschiedene Nomenklaturen für die Mensch-Maschine-Schnittstelle genutzt wie u.a. *Men Machine Interface (MMI)*, *Human Computer Interface (HCI)* oder *Human System Interface (HSI)* [MÜH19].

HMI-Konzepte umfassen nicht nur die technische Realisierung der Anzeige- und Bedienelemente, sondern auch die menschliche Interaktion mit diesen (*engl.: Human Machine Interaction*) [EUR00a], [EUR08], [TIM00], [BEC15]. Die Funktionalität von HMI-Konzepten wird durch die Anordnung der Interaktionselemente, die Informationsdarstellung, das Interaktionsdesign und das Systemverhalten realisiert. Sie entscheidet über den vom Fahrer wahrgenommenen Nutzen und das Kundenerlebnis der Mensch-Maschine-Schnittstelle [VEN06], [ROP09].

Durch die Komplexität einer Interaktion während der Fahrt kommt es bei der Einführung neuer HMI-Konzepte vermehrt zu Problemen bei der Migration. Dazu

zählen u.a. das Umlernen bekannter Bedienabläufe des Fahrenden und die Anpassung an neue Interaktionsprinzipien. Kundinnen und Kunden beziehen bei ihrer Kaufentscheidung neuer Produkte deshalb interaktionsbezogene Kriterien wie bspw. die Gebrauchstauglichkeit (*engl.: Usability*) sowie die Effektivität und die Effizienz einer Interaktion mit ein, die über die Attraktivität und damit den Markterfolg des Gesamtproduktes entscheiden. [BUB15], [WIN15], [BAG19]

Der Innovationsbegriff unterliegt keiner allgemeingültigen Definition, Beschreibung oder Abgrenzung [BRO82]. Alle in der Literatur dargestellten Erklärungsversuche haben jedoch den elementaren Veränderungs- und Neuheitsaspekt gemein. Innovationen lassen sich in Prozessinnovationen und Produktinnovationen unterscheiden [SCH85a]. Sie sind das Ergebnis eines qualitativ neuartigen Prozesses oder Produkts, das sich vom vorangegangenen Zustand deutlich unterscheidet [HAU16]. Eine Innovation zeichnet neben dem inhärenten Neuheitsgrad des Produktes auch die erfolgreiche Markteinführung der zugrundeliegenden Technologie aus [SCH47], [ALB90], [BRO99], [HAU16]. Dabei ist die Marktrelevanz einer Produktinnovation dadurch gekennzeichnet, dass im Vergleich zu auf dem Markt bestehenden Produkten erstmalig bisher unbefriedigte oder latente Kundenbedürfnisse befriedigt und dadurch ein kundenseitiger Nutzen erzeugt wird [HER07].

Im Rahmen dieser Arbeit impliziert der Produktinnovationsbegriff die systemische Realisierung neuartiger HMI-Konzepte, welche erstmalig im Serienfahrzeug zum Einsatz kommen.

Prozessbezogene Eingrenzung

Im Rahmen der Produktentwicklung werden Vorgehensmodelle verwendet, um Innovations- und Entwicklungsprozesse in komplexen Organisationsformen zu strukturieren und einheitliche Projekt- und Produktstandards zu etablieren [SCH12], [SCH08a]. Vorgehensmodelle dienen dazu, die durchzuführenden Aktivitäten zeitlich in untergliederbare Phasen einzuteilen, um auf diese Weise einen ablauforganisatorischen Überblick bereitzustellen [BEC08]. Das bei der Fahrzeugentwicklung verbreitete eingesetzte Vorgehensmodell ist das Stage-Gate-Modell nach COOPER [COO93], [COO02]. Der im Stage-Gate-Modell aufgebaute Prozess unterteilt die Produktentwicklung in mehrere Phasen, die aus einer Vielzahl festgelegter, funktionsübergreifender und parallel durchführbarer Tätigkeiten bestehen [SCH17a]. Die Phasen sind jeweils durch Meilensteine (*Quality Gates*) abgegrenzt. Sie geben Auskunft über die Erreichung eines gewünschten Reifegrads des in Kriterien abbildbaren Zustandes und stellen Übergabepunkte einer Vorleistung zu einer Nachfolgeleistung dar, sofern der erforderliche Reifegrad erreicht ist. [HAB17] Die Meilensteine dienen zur Absicherung der Qualität und als Entscheidungspunkte, ob

die Entwicklung weitergeführt, Ziele abgeändert werden oder die Entwicklung abgebrochen wird [COO11], [SCH17a], [SCH12].

Das Stage-Gate-Modell lässt sich auf eine generische Produktentwicklung in der Automobilindustrie übertragen. Der entsprechende Produktprozess setzt sich aus den drei Hauptphasen der Produktstrategie, Produktentstehung und Produktpflege zusammen (s. Abb. 2-1). [RAS98], [WEB09], [GUS10], [WAL11], [STR12], [BRA13], [BRO17], [HAH17] Innerhalb des Produktstrategieprozesses werden auf Basis von forschungs- und projektspezifischen Vorentwicklungsergebnissen technologische Kernkompetenzen aufgebaut sowie eine anwendungsorientierte Umsetzung neuartiger Technologien in konkreten Konzepten geprüft [SPE02a], [MÜH19]. Die Realisierung der geplanten Produktstrategie erfolgt dann im Produktentstehungsprozess (PEP) durch die schrittweise Überführung der Vision eines zukünftigen Fahrzeugkonzeptes in ein am Markt absetzbares Gesamtprodukt [WAL11], [WIL13], [HAH17]. Der PEP ist in drei weitere Phasen unterteilt: Produktdefinition, Konzept- und Serienentwicklung sowie Serienvorbereitung [GUS10], [BRA13], [HAH17], [MÜH19]. In der Produktdefinitionsphase werden alle Aufgaben und Anforderungen an das spätere Produkt vollständig beschrieben und spezifiziert [RAS98], [WIL13]. In der nachfolgenden Phase der Konzept- und Serienentwicklung wird die technische Machbarkeit durch den Aufbau von Prototypen und Konzeptfahrzeugen überprüft [HAH17]. Dazu werden die Konzepte auf Komponenten- und Teileebene in einem iterativen Prozess konstruiert, hergestellt, getestet und optimiert, bis die Prototypen die gewünschten Zielvorgaben erreichen [SCH08a]. In der den PEP abschließenden Phase der Serienvorbereitung werden die Funktion und die Prozessfähigkeit der Betriebsmittel unter Produktionsbedingungen durch den Aufbau seriennaher Fahrzeuge erprobt, bis mit dem *Start of Production* (SOP) erste Kundenprodukte gefertigt und in die Vertriebsnetze zur Markteinführung (ME) eingebracht werden [HAH17], [MÜH19], [GUS10], [BRA13]. Eine systematische Produktentwicklung geht nach der Markteinführung in die Phase der Produktpflege über, die das Fahrzeug bis zum *End of Production* (EOP) begleitet. In dieser Phase werden durch Pflegemaßnahmen parallel zum Produkteinsatz Verbesserungen in die laufende oder nachfolgende Serie aufgenommen. [BRA13], [GUS10]

Die aufgezeigte Standardisierung des PEP stellt einen idealisierten Referenzprozess dar, der in der Praxis aufgrund einer hohen Parallelisierung, sich überschneidender Bearbeitungsphasen und Iterationen sowie der Zusammenarbeit multipler Funktionsbereiche deutlich komplexer ist [HAH17].

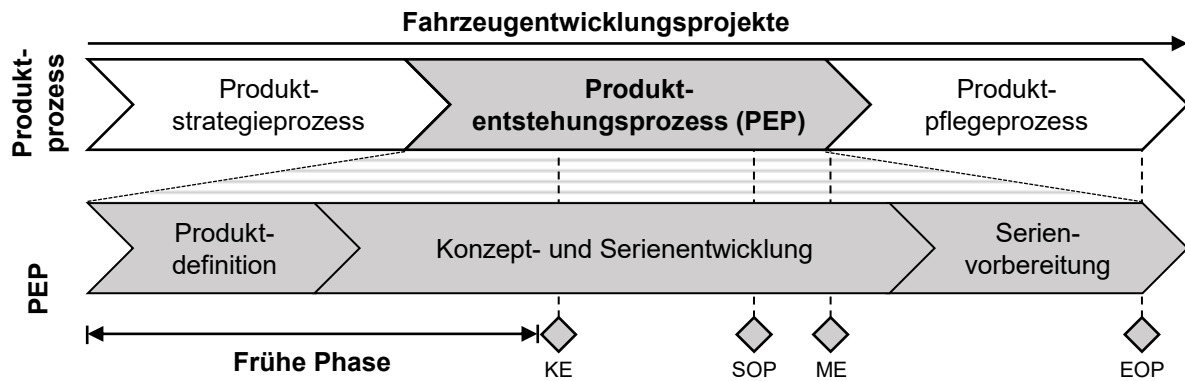


Abb. 2-1: Produktentstehungsprozess von Fahrzeugentwicklungsprojekten i.A.a. [BRA13]

Der Zeitraum, der alle Aktivitäten von Beginn des Produktprozesses bis zu einer Konzeptentscheidung (KE) umfasst, wird als frühe Phase bezeichnet. Die frühe Phase wird durch eine Entscheidung über die Umsetzung eines Produktkonzeptes und der umfangreichen Freigabe von Ressourcen abgeschlossen. Innerhalb der frühen Phasen werden zunächst Bedarfe identifiziert, um anschließend verschiedene Umsetzungsvorschläge zu erstellen. [VER05], [HER07]

Die frühe Phase zeichnet sich durch spezifische Rahmenbedingungen und Charakteristika aus, die in ihrer Ausprägung von der Unternehmensgröße und -kultur, dem Neuheitsgrad der Produktinnovation sowie der Erfahrung des Unternehmens in der Entwicklung neuer Produkte abhängig sind [VER05]. Bei der Konzepterstellung wird ein hohes Maß an Kreativität gefordert, der Ressourceneinsatz ist jedoch vergleichsweise gering [HAH17]. Der frühen Phase ist eine hohe Unsicherheit inhärent, ob Konzepte technisch umsetzbar sind und erfolgreich am Markt abgesetzt werden können, da viele der relevanten Informationen nicht bekannt sind oder sich unvorhersehbar ändern [HER07].

Verschiedene empirische Untersuchungen haben gezeigt, dass die frühe Phase des Produktprozesses eine hohe Bedeutung für den Erfolg von Unternehmen besitzt [HER07]. COOPER und KLEINSCHMIDT stellten heraus, dass der größte Unterschied zwischen „Gewinnern“ und „Verlierern“ in der Ausführungsqualität der Vorentwicklungsaktivitäten liegt [COO93]. BOOZ, ALLEN und HAMILTON zeigten, dass Unternehmen mit einer Historie von erfolgreichen Produkteinführungen ein stärkeres Gewicht auf frühe Analysen des Entwicklungsprozesses und einen höheren Fokus auf die Ideen- und Konzepterstellung sowie deren konsequente Bewertung legen [BOO82]. Die bereits in Kapitel 1 angesprochene Hebelwirkung der frühen Phasen in Bezug auf Kosten und Ressourceneinsatz für den weiteren Verlauf der

Produktentwicklung unterstreicht die Wichtigkeit der frühen Phase [WHE95], [SPE02a].

Der Betrachtungszeitraum für die im Rahmen der vorliegenden Arbeit zu konzipierende Methodik ist die frühe Phase. Die Phase ist geprägt von Prozessen, welche innovative Konzepte zur möglichen Anwendung durch die Bewertung, den Vergleich von Alternativen und die abschließende Entscheidung (Konzeptentscheidung) ins Fahrzeug bringen [HER07], [KHU98]. Der Einsatz einer Methodik zur Bewertung innovativer HMI-Konzepte ist zweckmäßig, um den Abgleich mit marktrelevanten Erfolgsfaktoren sowie die Berücksichtigung bestehender Leitlinien und Selbstverpflichtungen zu gewährleisten [EUR08]. Aufgrund der Charakteristika der frühen Phase wird bei Bewertungs- und Auswahlprozessen häufig unsystematisch vorgegangen, wie SPECHT ET AL. anhand von Unternehmensanalysen zeigen [SPE02a]. Auch aufgrund der vorliegenden Unsicherheiten in der Informations- und Datengrundlage werden in der frühen Phase viele Parameter im Rahmen einer Bewertung abgeschätzt oder Annahmen getroffen [KRÖ07], [VER05]. Methoden unterstützen diese Prozesse, indem sie eine objektive Beurteilungsgrundlage darbieten [ZAH95]. Die hier zu entwickelnde Methodik zielt im Rahmen des aufgezeigten Produktprozesses nicht nur auf den Einsatz bei der Bewertung eines Konzeptes innerhalb der Konzeptentscheidung ab, sondern auch auf den Einsatz als entwicklungsbegleitendes Werkzeug zur konstanten Analyse des konzeptionellen Reifegrades in Bezug auf die relevanten Bewertungskriterien. Die Unsicherheiten durch Abschätzungen und Annahmen lösen sich im Verlauf des Produktprozesses durch konkretere Informationen und Analysen bis hin zur technischen Realisierung eines Konzeptes auf. Durch eine Anwendung der Methodik im späteren Produktprozess können die ursprünglich getroffenen Annahmen und Abschätzungen überprüft und ggf. verifiziert oder falsifiziert werden, was wiederum Impulse zur Verbesserung der Bewertung bei Rückführung der Überprüfungsergebnisse gibt.

Auch der Einsatz der Methodik innerhalb agiler Entwicklungsmethoden, welche in vielen Branchen eingesetzt werden, ist zu berücksichtigen [PFE19]. Agile Methoden lassen sich übergeordnet in drei Phasen einteilen, die sich an den Vorstellungen menschlichen Denkens zur Problemlösung orientieren (s. Abb. 2-2). Demnach untergliedern sich die Phasen in die Grundschrte „Problemanalyse“, „Lösungsentwurf“ und „Evaluation“. [LIN16] Diese Grundschrte werden iterativ durchlaufen, wobei das Lösungskonzept an Detailtiefe gewinnt, bis es dem erforderlichen Reifegrad entspricht [PFE19].

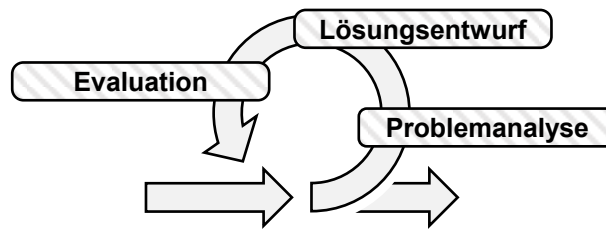


Abb. 2-2: Die Grundschritte agiler Entwicklungsmethoden nach [LIN16]

Im Rahmen agiler Entwicklungsmethoden ist ein Einsatz einer Methodik zur Bewertung innerhalb der Evaluationsphase aufgrund der gleichen Aspekte vorteilhaft wie innerhalb des Stage-Gate-Prozesses. Auch hier ist nicht nur der Konzeptentscheid zu unterstützen, sondern auf eine kontinuierliche Bewertung der marktrelevanten Erfolgsfaktoren vor dem Hintergrund steigender Detailtiefe abzielen.

2.2 Marktrelevante Erfolgsfaktoren

2.2.1 Unternehmenskybernetik

Die Systemtheorie stellt die Grundlage heutiger Unternehmensführungs- und Managementprozesse dar, innerhalb derer Unternehmen als Systeme definiert werden [ULR84]. Ein System ist ein Komplex abgrenzbarer Elemente, die kennzeichnende Eigenschaften besitzen und durch Beziehungen verknüpft eine übergeordnete Zielsetzung verfolgen (s. Abb. 2-3) [PAT82]. Ein Element beschreibt in der Systemtheorie ein nicht weiter zerlegbares Teil eines Systems [GÖP98]. Der Wirklichkeitsbereich eines Systems wird von seiner Umwelt durch eine Systemgrenze getrennt [SCH85b]. Bei einer undurchlässigen Grenze handelt es sich um ein geschlossenes System, in dem die Elemente ausschließlich innerhalb des Grenzbereichs in einer wechselseitigen, zeitlich veränderlichen Beziehung stehen. Bei einem System mit einer durchlässigen Grenze können Elemente nicht nur untereinander, sondern auch zur Umwelt Interdependenzen aufbauen. [KUH13] Typischerweise besitzen Elemente innerhalb einer Systemgrenze eine charakteristisch stärkere Bindung als über die Systemgrenze hinaus [HAB15].

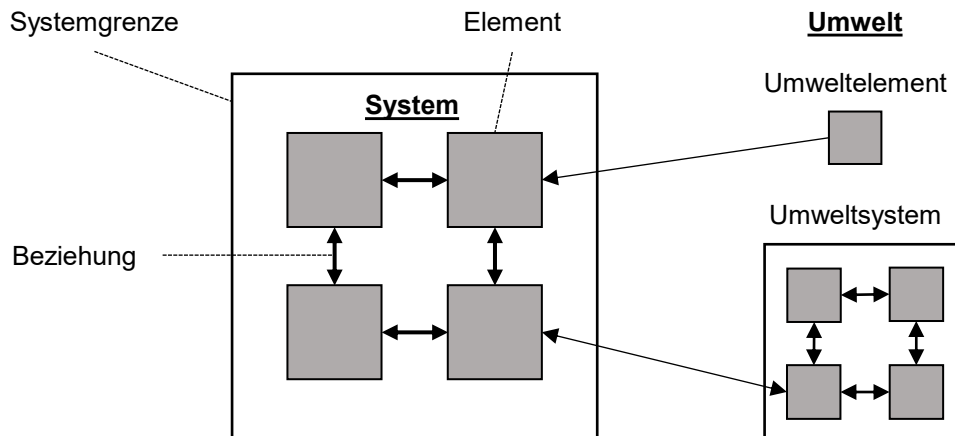


Abb. 2-3: Grundbegriffe der Systemtheorie

Zur Analyse beziehungsreicher Systeme haben sich drei unterschiedliche Konzepte etabliert: das funktionale, strukturele und hierarchische Konzept (s. Abb. 2-4). Das funktionale Konzept bezeichnet das System als „Black Box“ und betrachtet die Ein- und Ausgangsgrößen sowie die von außen erkennbaren Zustände, um das Systemverhalten zu beschreiben. [ROP09] Das strukturele Konzept betrachtet die einzelnen Systemelemente und deren Beziehungen zueinander. Es folgt dem holistischen Gesetz, welches besagt, dass die Ganzheit mehr als die alleinige Aggregation der einzelnen Systemelemente ist. [VOG09], [ULR01], [FRA09] Das hierarchische Konzept veranschaulicht, dass Systeme aus Subsystemen bestehen und gleichzeitig Teil eines übergeordneten Supersystems sein können. [ROP12] Je nach Detaillierungsgrad lässt sich ein System auf unterschiedlichen Ebenen untersuchen.

Die vorgestellten Konzepte liefern unterschiedliche Ansätze einer Systembeschreibung, schließen sich einander allerdings nicht aus [SEI01]. Zunächst beschreibt das funktionale Konzept das Gesamtsystemverhalten. Das strukturele Konzept zeigt, wie durch die Zusammenwirkung der Elemente als Gesamtheit die Eingangsgrößen in Ausgangsgrößen umgewandelt werden. [VOG09] Mit Hilfe der Hierarchisierung im hierarchischen Konzept wird die Komplexität eines Systems durch die Einordnung in den über- oder untergeordneten Zusammenhang beherrschbar [EBE20]. Durch die erzielte Komplexitätsreduktion werden aus Sicht der Systemtheorie ein theoretisches und praktisches Handeln ermöglicht [BEC04].

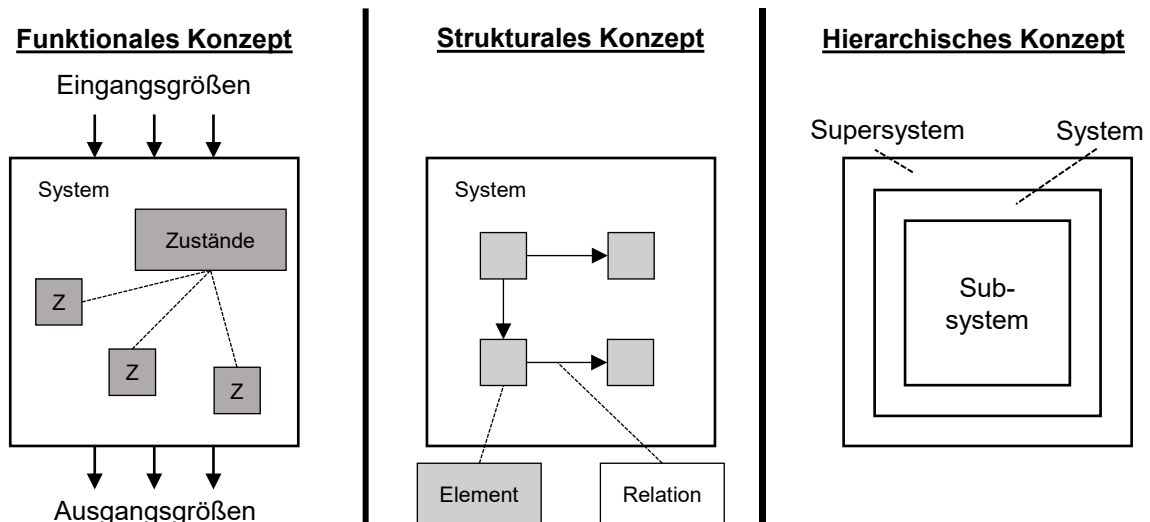


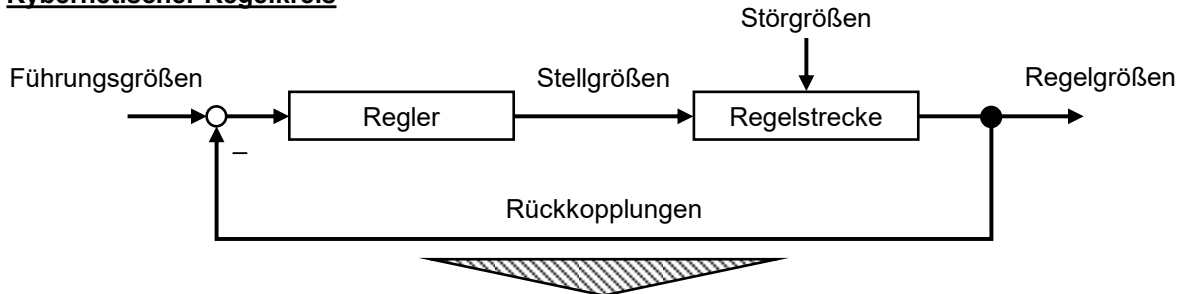
Abb. 2-4: Funktionales, strukturelles und hierarchisches Konzept nach [ROP09]

Das beschriebene systemorientierte Denken lässt sich auf das System Unternehmen übertragen, indem dieses als ein offenes, zielgerichtetes soziotechnisches System definiert wird [ULR68]. Nach ULRICH sind Unternehmen über Finanz-, Informations- und Wertströme mit der Umwelt verflochten (funktionales Konzept) und deshalb als offen zu bezeichnen [SCH78]. Weitere Merkmale von Unternehmen sind Komplexität, Verhaltensdeterminiertheit und Hierarchie [KRI71] [GOT06b]. Die Definition der Aufnahme-, Verarbeitungs- und Abgabeprozesse für die jeweiligen Systemelemente beschreibt den Prozess der Marktleistungserstellung (strukturelles Konzept) [HAH96]. KIESER und KUBICEK definieren Unternehmen als soziale Gebilde, die eine formale Struktur aufweisen, welche die Umweltkomplexität erfasst und zielgerichtet durch die Ausbildung von Subsystemen reduzieren soll (hierarchisches Konzept) [KIE20].

Die Unternehmensführung und das -management haben die Aufgaben der Gestaltung, Lenkung und Entwicklung des Systems Unternehmen sowie die Orientierung der Systemelemente am Markt [SCH16], [MAR95]. Dies beinhaltet das aktive Steuern dynamischer, komplexer und vernetzter Prozesse [SCH16]. Managements- und Führungsprozesse lassen sich im Sinne der Kybernetik als Theorie dynamischer Systeme beschreiben [SCH02]. Dabei sind Führungsprozesse kybernetische Regelkreise, die durch einen Steuerungsprozess mittels Rückkopplungen auf Störgrößen reagieren [ULR78], [HAH06]. Die kybernetische Systemtheorie beschreibt das Verhältnis zwischen Umwelt und System als Problem von Konstanz und Veränderung. Ziel ist es, trotz sich verändernder Umweltbedingungen die Systemkonstanz aufrecht zu erhalten. [FRA09] Die sich verändernden Umweltbedingungen stellen somit die Störgrößen dar, während ein Unternehmen diesen Störgrößen proaktiv durch die Definition geeigneter Stellgrößen begegnen muss [SPR92]. Es sind sukzessive Entscheidungen zu treffen, wie durch das Ableiten

konkreter Maßnahmen ein angestrebter Sollzustand im Vergleich zum jeweiligen Istzustand unter Berücksichtigung der Stör- und Stellgrößen erreicht werden kann (s. Abb. 2-5) [MAR95].

Kybernetischer Regelkreis



Unternehmerischer Regelkreis

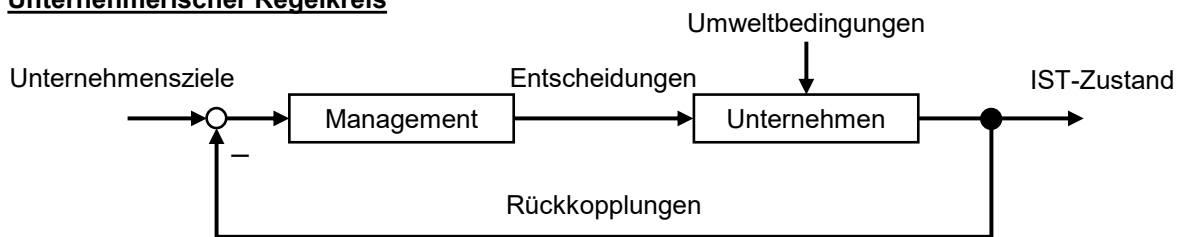


Abb. 2-5: Unternehmensführung als kybernetischer Regelkreis

Die Strategie eines Unternehmens bildet einen Rahmen, in dem diese Maßnahmen an den Unternehmenszielen zu orientieren sind. Strategie ist definiert als Festlegung der grundlegenden langfristigen Ziele eines Unternehmens sowie die Festlegung der Vorgehensweise und Zuweisung von Ressourcen, die zur Realisierung dieser Ziele erforderlich sind. [ABE21], [GÄL05], [MÜL16] Die damit verbundenen Führungsprozesse gestalten sich im Sinne des unternehmenskybernetischen Modells als sich gegenseitig überlappende Regelkreise innerhalb einer Regelkreishierarchie [BAE21]. Durch diese können die langfristigen Unternehmensziele als Sollgrößen stufenweise detailliert und den unterschiedlichen hierarchischen Dimensionen und funktionalen Organisationseinheiten des Unternehmens zugeordnet werden [MAR95]. Innerhalb des ST. GALLER MANAGEMENTMODELLS werden drei hierarchische Managementdimensionen differenziert: normatives, strategisches und operatives Management [RÜE03]. Das normative Management bildet eine ethische Legitimation als Konstitution für das strategische und operative Management mit dem Ziel der Absicherung der Lebens- und Entwicklungsfähigkeit des Unternehmens sowie der gesellschaftlichen Wertorientierung [ABE21]. Der strukturelle Rahmen wird durch Unternehmenspolitik, -verfassung und -kultur manifestiert [SCH11a]. Aus dem normativen Management können Ziele in Form von Missionen für das strategische und operative Management abgeleitet werden, die dort weiter konkretisiert werden. Das strategische Management umfasst die langfristige Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens durch den Aufbau, die Pflege und den Ausbau von

Erfolgspotenzialen. Ziel des operativen Managements ist die Umsetzung der Vorgaben des normativen und strategischen Managements durch die Prozessführung der einzelnen Geschäfts- und Unterstützungsprozesse sowie durch den Fokus auf Effizienz im Umgang mit Ressourcen. Während das operative Management lenkend in die Unternehmensprozesse eingreift, sind normative und strategische Managementprozesse gestalterischer Funktion. [RÜE03]

2.2.2 Unternehmensexterne Perspektive

Dem strategischen Management obliegt somit die Aufgabe des Aufbaus nachhaltiger Wettbewerbsvorteile durch die Orientierung der unternehmerischen Prozesse an komplexen und ungewissen Marktbedingungen [POR89], [BÖS21]. Eine Strukturierung und Systematisierung dieser Marktbedingungen nimmt PORTER im Rahmen des volkswirtschaftlichen Ansatzes der neuen Industrieökonomik vor [BAI68], [POR04]. Ziel ist die Ausrichtung des strategischen Managements an den Bedürfnissen des Marktes und des externen Umfelds durch die Aufschlüsselung der wirkenden Wettbewerbskräfte [SLA90], [SUT07], [SCH08b], [TIR11]. PORTER identifiziert im marktorientierten Ansatz (*Market-based View*) fünf relevante Wettbewerbskräfte:

- die Konkurrenzsituation zwischen den Wettbewerbern innerhalb der Branche,
- Eintrittsbarrieren gegenüber neuen Wettbewerbern,
- die Gefahr durch Substitutionsprodukte,
- die Verhandlungsmacht der Kunden und
- die Verhandlungsmacht der Lieferanten (s. Abb. 2-6). [POR99]

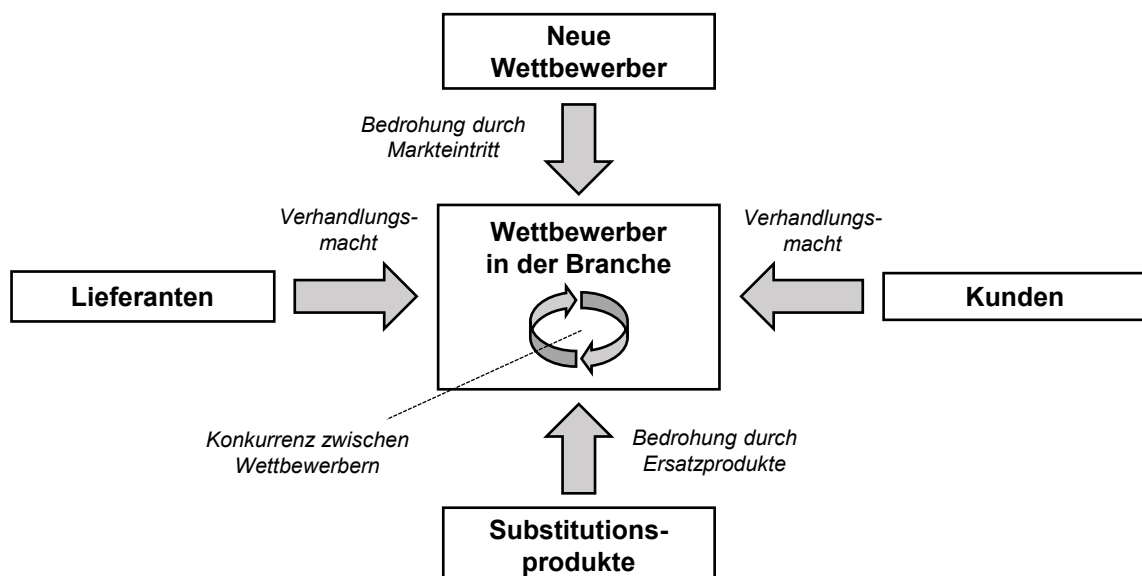


Abb. 2-6: Die fünf wirkenden Wettbewerbskräfte der neuen Industrieökonomik nach [POR99]

Der Wettbewerbserfolg eines Unternehmens wird maßgeblich durch diese marktstrukturellen Faktoren definiert, da die Profitabilität eines Unternehmens und seiner Produkte je nach Ausprägung dieser Kräfte beeinflusst wird [POR89], [STA98]. PORTER definiert zwei erfolgreiche Normstrategien, wie sich Unternehmen innerhalb der Marktstruktur positionieren können. Die erste Normstrategie ist die der Differenzierung, bei der Unternehmen durch das Angebot eines einzigartigen Produktes die Vorteile einer starken Kundenbindung und Durchsetzung höherer Preise nutzen können. Voraussetzung ist die übermäßige Befriedigung des Nachfragebedürfnisses auf Kundenseite. Durch die Einzigartigkeit des Produktes können Eintrittsbarrieren gegenüber Wettbewerbern geschaffen und die Gefahr durch Substitute verringert werden. Das fehlende Angebot erhöht die Verhandlungsmacht gegenüber den Kundinnen und Kunden, wodurch höhere Margen erzielt werden können. [MIL86], [HIL88], [POR89] Die zweite Normstrategie ist die der Kostenführerschaft, bei der Unternehmen durch geringere Kosten und niedrige Produktpreise überdurchschnittliche Profitabilität erzielen. Voraussetzung hierfür ist die Durchbringung hoher Absatzmengen und Nutzung von Skaleneffekte bei gleichzeitig kundenakzeptierter Bedürfnisbefriedigung. Dadurch können bei niedrigen Produktkosten immer noch Gewinne erzielt werden, bei denen der Wettbewerb nicht mehr profitabel ist. [POR85], [POR89], [POR99], [POR04] Durch die Mengeneffekte werden Eintrittsbarrieren durch hohe Investitionskosten für neue Wettbewerber erzeugt. Die Verhandlungsmacht der Zulieferer und Kundinnen und Kunden sowie die Gefahr der Substitutionsprodukte werden folglich begrenzt. Eine weitere grundsätzliche Wettbewerbsstrategie ist die der Fokussierung, bei der sich das Unternehmen bewusst auf eine Teilmenge des Absatzmarktes beschränkt. Diese Teilmenge kann im Rahmen der Normstrategien exklusiv entweder durch Differenzierungsstrategien oder Kostenführerschaftsstrategien bedient werden, was Marktteilnehmern, die den Gesamtmarkt bedienen, nicht möglich wäre. [MIL86], [POR89], [POR99], [POR04], [POR85], [STA98], [HIL88], [SCH03]

Neben dem Ansatz der Industrieökonomik setzen sich weitere Ansätze mit der Makroperspektive von Unternehmen und den zugrundeliegenden Wettbewerbskräften am Markt auseinander [DEM00], [SYD05], [WIL10], [HAR09]. Im Rahmen des strategischen Managements fällt darunter auch die PESTEL-Analyse, deren Ansatz auf eine Reduktion der Komplexität des Makroumfelds eines Unternehmens abzielt [BUC13]. Die PESTEL-Analyse hat zwei wesentliche Funktionen für ein Unternehmen. Die erste Funktion besteht darin, das Makroumfeld aufzuzeigen, in dem das Unternehmen tätig ist. Dem Umfeld wird ein erheblicher Einfluss auf die strategische Entwicklung eines Unternehmens und seinen Bemühungen um die Durchdringung der Märkte zugewiesen [THE21]. Die zweite Funktion ist das Bereitstellen von Informationen und Daten, die dem Unternehmen ermöglichen, Marktsituationen und -dynamiken vorauszusagen, mit denen es in Zukunft konfrontiert sein könnte, um

entsprechende Managementmaßnahmen abzuleiten [SCH20], [THE21]. [YÜK12] Konkret strukturiert die PESTEL-Analyse das Unternehmensumfeld in die folgenden sechs Kategorien, um die Auswirkungen externer Rahmenbedingungen auf die Strategie eines Unternehmens zu analysieren:

- Politik (*englisch: Politics*),
- Ökonomie (*englisch: Economics*),
- Gesellschaft (*englisch: Society*),
- Technik (*englisch: Technology*),
- Umwelt (*englisch: Environment*),
- Recht (*englisch: Law*). [DIL16], [SCH20], [THE21]

Das politische Umfeld deckt Faktoren wie die staatliche Ordnung, die Stabilität des politischen Systems, die Handelspolitik, die Steuerpolitik und die Wirtschaftspolitik u.a. ab [SCH20], [THE21]. Die Politik schafft durch Gesetze und Verordnungen Chancen und Restriktionen für das Unternehmen [BUC13]. Besonders nationale Richtlinien, die zum Schutz der nationalen Wirtschaft vor ausländischen Unternehmen bestehen, sind für Standortentscheidungen oder die Wahl der Absatzmärkte von Relevanz [SCH20], [THE21].

Das ökonomische Umfeld gibt Auskunft über das wirtschaftliche Unternehmensumfeld. Es umfasst u.a. Informationen über die gesamtwirtschaftliche Leistung, die Währungsschwankungen und Wechselkurse, das Preisniveau, die Inflation und die Zinsentwicklung. Diese Informationen sind essenziell, da Produkte nur dann verkauft werden können, wenn die Bevölkerung über ein ausreichend verfügbares Einkommen verfügt und eine spezifische Nachfrage besteht. [BUC13] Schlüsselindikatoren sind Informationen wie Bevölkerungszahl und Wachstumstrend, reales Bruttoinlandsprodukt (BIP), Zinssätze, Investitionen, Import- und Exporttransaktionen sowie das verfügbare Einkommen pro Kopf [SCH20], [THE21].

Das gesellschaftliche Umfeld wird durch seine strukturellen Merkmale, wie die Bevölkerung oder das Bildungssystem, und durch die damit verbundenen Trends wie den demografischen Wandel definiert [THE21]. Von entscheidender Bedeutung sind Informationen über Erwartungen und Verhaltensweisen von Kundinnen und Kunden, von Mitarbeitenden und Lieferanten, da sie Aufschluss über spezifische Produkteigenschaften in Bezug auf Kundenwünsche und deren Berücksichtigung geben können [THE21], [BUC13]. Darüber hinaus spiegeln die soziokulturellen Einflussfaktoren gesellschaftliche und kulturelle Normen und Wertvorstellungen wider [SCH20]. Sie beeinflussen die Präferenzen der Kaufenden u.a. durch ihre Wirkung auf Vertrauen, Verhandlungsstrategien, Preisakzeptanz oder Produkteigenschaften

[BRE12]. Außerdem wirken sie sich erheblich auf den Absatzmarkt und den Produktlebenszyklus von Unternehmen aus [BRE12].

Das technologische Umfeld ist besonders für Produkt- und Prozessinnovationen relevant, da Informationen über technologische Entwicklungen strategische Entscheidungen beeinflussen [DIL16]. Diese Produkt- und Prozessentwicklungen stellen spezifische technische Anforderungen sowohl bei Produkten als auch in einzelnen Märkten dar, die die Wettbewerbssituation eines Unternehmens nachhaltig verändern können [BRE12], [SCH20].

Das umweltbezogene oder auch ökologische (*ecological*) Umfeld beinhaltet Einflussfaktoren, die im Sinne der internationalen Harmonisierung und des Dogmas der nachhaltigen Entwicklung immer mehr an Bedeutung gewinnen. Es bezieht sich auf die Bereiche der Logistik, der Produktion und das Produkt selbst. Darüber hinaus sind Rahmenbedingungen in Form von Regulierungen wie z.B. Umweltauflagen zu beachten, die innerhalb des rechtlichen Unternehmensumfelds zu finden sind. [SCH20]

Das rechtliche Umfeld eines Unternehmens wird beschrieben durch institutionelle Regelungen und grundlegende Anforderungen, welche in der Rechtsordnung und der Verfassung festgehalten sind. Darüber hinaus kann es weitere spezifische Anforderungen geben wie die Zulässigkeit bestimmter Produkte. [BRE12]

In der Literatur wird zwischen verschiedenen Varianten der PESTEL-Analyse unterschieden. Diese Varianten sind ähnlich aufgebaut mit dem Unterschied, dass bestimmte Umfelddimensionen hinzugefügt oder ausgeschlossen werden. So schließt bspw. die PEST-Analyse das umweltbezogene und rechtliche Umfeld aus, die STEEP-Analyse schließt nur das rechtliche Umfeld aus, und die STEELED-Analyse betrachtet zusätzlich das ethische und demografische Unternehmensumfeld [YÜK12], [KAY20].

2.2.3 Unternehmensinterne Perspektive

Dem marktorientierten Ansatz zur Analyse des makroökonomischen Umfelds eines Unternehmens steht der ressourcenbasierte Ansatz (*Ressource-based View*) gegenüber, der die mikroökonomischen Eigenschaften eines Unternehmens analysiert [PEN11], [RIC72], [PRA06], [WER84], [COL08]. Der ressourcenbasierte Ansatz beschreibt Unternehmen als eine Allokation von einzigartigen Ressourcen, deren Qualität über den Erfolg eines Unternehmens bestimmt [MÜL16]. Unternehmensressourcen entsprechen materiellen, immateriellen und handelbaren Gütern und Rechten wie Betriebsmittel, Infrastruktur, Geldmittel, Kapital, Lizenzen, Personal oder Prozesse [RÜE03], [MÜL16]. Nachhaltige Wettbewerbsvorteile erreicht ein

Unternehmen dann, wenn die eingesetzten und aufgebauten Ressourcen wertvoll, selten, nicht imitierbar und nicht substituierbar sind [BAR91a]. Nach PRAHALD UND HAMEL beschreibt die Menge wettbewerbsrelevanter Unternehmensressourcen Kernkompetenzen des Unternehmens, die zum vom Kunden wahrgenommenen Wert beitragen und ein Unternehmen befähigen, für nachhaltigen Kundennutzen zu sorgen [PRA06]. Kernkompetenzen befähigen Unternehmen, einzigartige Produkte und Dienstleistungen aus Sicht des Kunden anzubieten und damit eine überdurchschnittliche Profitabilität zu erlangen [WER84], [BAR91a], [RÜE03], [MÜL16].

Der ressourcenorientierte Ansatz sieht den Aufbau und die Entwicklung der (Kern-)Kompetenzen als zentrale Aufgabe des strategischen Managements [RÜE03]. Die Generierung und Stiftung von Kundennutzen wird in den Fokus der organisationalen Struktur- und Prozessentwicklung gerückt und ist damit Ziel der Unternehmensstrategie [MÜL16]. [FRA09]

Der marktorientierte und der ressourcenorientierte Ansatz werden in der wissenschaftlichen Literatur nicht als entgegengesetzt, sondern als komplementär verstanden, wobei sich der Bezugspunkt der Analyse unterscheidet (s. Abb. 2-7) [PÜM22]. Eine Zusammenführung der beiden Analyseperspektiven geschieht innerhalb des wertorientierten Ansatzes mit dem Ziel, Erfolgsfaktoren von Unternehmen am Markt zu bewerten und durch die Ausschöpfung von Nutzenpotenzialen Wert zu schaffen [PAL04]. Unter Wert versteht man „die Wichtigkeit eines Gutes, die es für die Befriedigung der subjektiven Bedürfnisse besitzt, wie sie sich etwa in seinem Nutzen und in der betreffenden Präferenzordnung des Wirtschaftssubjektes widerspiegelt“ [HAD00]. Wert lässt sich folglich nicht nur anhand objektiver Kriterien bemessen [DIN14]. Der wertorientierte Ansatz gliedert sich auf in zwei unterschiedliche Sichtweisen je nach Bezugssystem des Wertebegriffs: die Stakeholder-Perspektive und die Shareholder-Perspektive. Während ein Unternehmen bei der Stakeholder-Perspektive das Ziel verfolgt, Wert für die Stakeholder zu generieren, sind es bei der Shareholder-Perspektive die Shareholder. [MÜL16] Unter Stakeholder werden alle interessierten Anspruchsgruppen sowie andere gesellschaftliche Bezugsgruppen zusammengefasst, für die Nutzen gestiftet und Wert geschaffen werden soll. Der geschaffene Wert ist innerhalb dieser Perspektive nicht quantifizierbar, was eine Unternehmensbewertung erschwert. [PAL04] Die Shareholder umfassen die Aktionäre und Kapitalgeber eines Unternehmens, wobei der Unternehmenswert durch den Marktwert des Eigenkapitals quantifiziert werden kann [MÜL16]. Den beiden Perspektiven ist gemein, dass eine zielorientierte und integrierte Anwendung des markt- und des ressourcenorientierten Ansatzes verfolgt wird und wechselseitige Beziehungen zwischen Wertaspekten und Ressourcen dem Ziel der Wertsteigerung zugeordnet werden. [MÜL16], [PAL04], [FRA09]

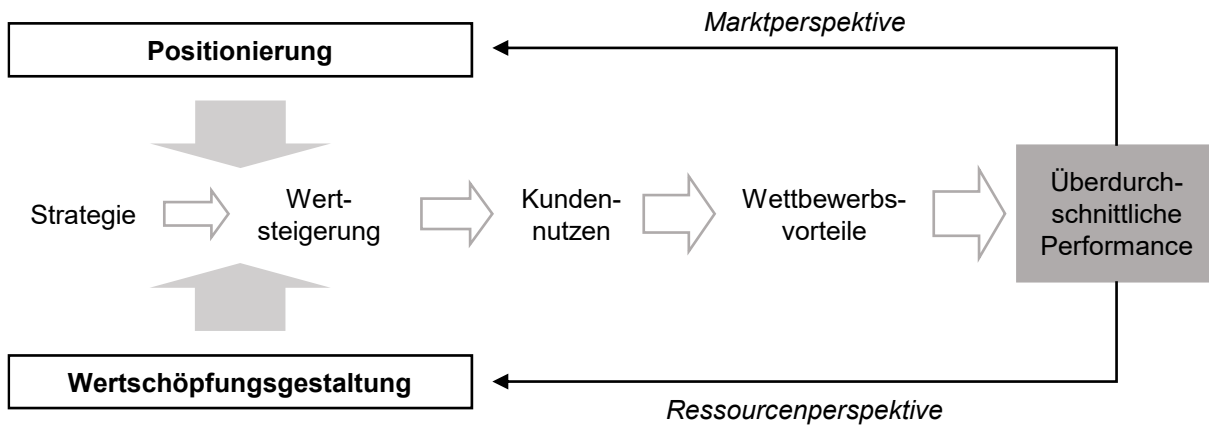


Abb. 2-7: Wertsteigerung durch die Betrachtung des mikro- und makroökonomischen Unternehmensumfeld

2.2.4 Fünf-Ebenen-Modell

Ein Modell, das sowohl die unternehmensexterne als auch die unternehmensinterne Perspektive abdeckt, ist das von ECKSTEIN vorgestellte Fünf-Ebenen-Modell [ECK18]. Während die Systematisierung der fünf Ebenen (s. Abb. 2-8) an die PESTEL-Analyse zur Strukturierung des makroökonomischen Umfeldes eines Unternehmens erinnert (s. Kapitel 2.2.2), sind die externen Faktoren der gesellschaftlichen, regulatorischen, individuellen und technischen Ebene um die Notwendigkeit der kundenbezogenen Wertgewinnung erweitert (wertorientiert). Dies wird möglich durch die Einbeziehung interner Faktoren des mikroökonomischen Umfeldes auf ökonomischer, individueller und technischer Ebene. [ECK18], [BAV20]

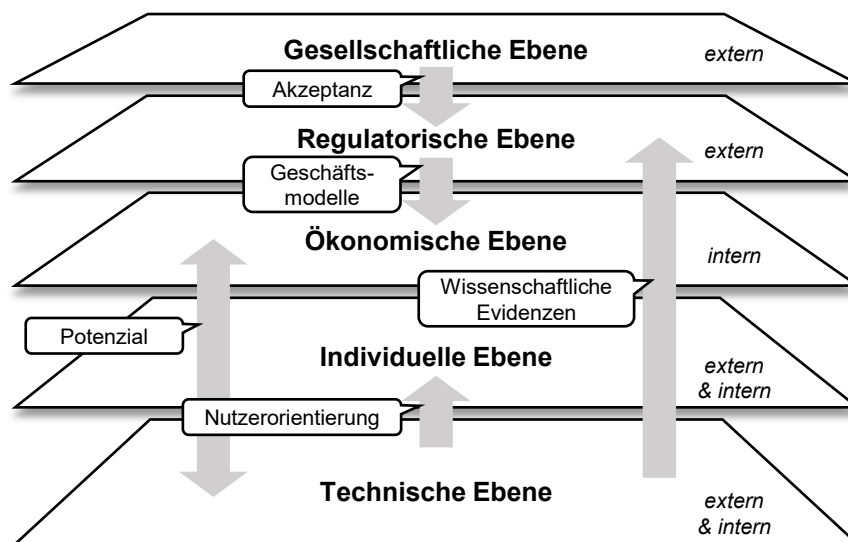


Abb. 2-8: Das Fünf-Ebenen-Modell und beispielhafte Interdependenzen nach ECKSTEIN [ECK18]

Gesellschaftliche Ebene

Die fundamentale Anforderung an eine neue Technologie ist, dass die Gesellschaft deren Einsatz akzeptiert. Dabei sind nicht nur Kundinnen und Kunden von dem Einsatz der Technologie betroffen, sondern auch Mitarbeitende des Unternehmens, Lieferanten sowie Personen, die der Technologie direkt oder indirekt ausgesetzt werden. Entsprechend wird die gesellschaftliche Ebene einschließlich aller involvierten Stakeholder definiert. In Anlehnung an die PESTEL-Analyse berücksichtigt diese Ebene u.a. soziokulturelle Faktoren wie die demografische und bildungsbezogene Entwicklung der Gesellschaft, ökologische Faktoren wie Umweltbewusstsein und Ressourcenschonung sowie arbeitsmarktbezogene Aspekte wie Veränderungen in Beschäftigungsstrukturen oder Qualifikationsanforderungen. Diese Faktoren können Auskunft über eine mögliche Haltung der betroffenen Stakeholder gegenüber einer eingesetzten Technologie geben, sodass daraus Eigenschaften oder Wünsche der Kundinnen und Kunden an ein Produkt ermittelt werden können. [ZLO14], [ECK18]

Regulatorische Ebene

Die regulatorische Ebene bildet durch Gesetze einerseits rechtliche Rahmenbedingungen, in denen sich das Unternehmen, aber auch die Nutzerinnen und Nutzer sowie die Technologie bewegen. Andererseits können neue technologische Entwicklungen ein Ausgangspunkt für die Anpassung bestehender Gesetze sein. Die regulatorische Ebene wird durch Regulierungsbehörden wie dem Europäischen Rat direkt beeinflusst. Im Rahmen der Europäischen Union gibt es Verordnungen, die direkt anzuwenden sind, Richtlinien, die jedes europäische Land durch nationale Gesetze umzusetzen hat, sowie Empfehlungen, die nicht verbindlich sind, aber bei der Entwicklung einer neuen Technologie berücksichtigt werden sollten. [ZLO14], [ECK18]

Ökonomische Ebene

Auf ökonomischer Ebene steht u.a. die Preisgestaltung durch Unternehmen, welche der Nachfrage von Kundinnen und Kunden über Geschäftsmodelle gegenübergestellt wird. Die Festlegung der eingesetzten Geschäftsmodelle ermitteln Unternehmen u.a. aus den Kosten, die bei der Entwicklung einer neuen Technologie und der Herstellung entsprechender Produkte anfallen. Über die Geschäftsmodelle positioniert sich das Unternehmen und damit seine Ressourcen und Kernkompetenzen am Markt, um seine Produkte bestmöglich absetzen. [ZLO14], [ECK18]

Individuelle Ebene

Der Mensch ist in seiner Rolle als Käufer, Nutzer und Betroffener einer Technologie das zentrale Element nutzerzentrierter Entwicklungsprozesse, an der sich die

Gestaltung des Produktes auszurichten hat. Er wird im Fünf-Ebenen-Modell durch die individuelle Ebene repräsentiert. Die Nutzenpotenziale unterliegen den subjektiv wahrgenommenen Nutzenerwartungen, mit denen der Mensch ein Urteil über die Eignung eines Produktes zur Befriedigung seiner Bedürfnisse fällt. Die Kaufentscheidung wird durch den Abgleich der Kosten des Produkts und den Nutzenerwartungen getroffen. Sie bildet die Verknüpfung der ökonomischen und technologischen Ebene. [ZLO14], [ECK18], [BAV20]

Technologische Ebene

Die technologische Ebene stellt den Bezug zur Technologie und den Kernkompetenzen des Unternehmens her. Sie adressiert die Produkthanforderungen, die zum einen auf Nutzerseite und zum anderen auf technologischer Seite entstehen und gelöst werden sollen. Die Transformation einer Technologie in ein Produkt geschieht über die Gestaltung der physikalischen, technischen und materiellen Eigenschaften. Diese technologischen Eigenschaften müssen dabei so gestaltet werden, dass die Nutzeranforderungen erfüllt werden. Dabei steht nicht nur die Anforderungserfüllung durch die eigentliche Funktionalität des Produktes im Vordergrund, sondern auch die funktionale Sicherheit innerhalb der Anwendung. Die daraus resultierende technologische Beschaffenheit des Produktes legt wiederum die Art der zu ergreifenden Tätigkeiten zur Herstellung fest. [ZLO14], [ECK18], [BAV20]

Interdependenzen

Die Ebenen des Fünf-Ebenen-Modells nach ECKSTEIN sind nicht als unabhängig zu betrachten, sondern unterliegen Interdependenzen und Abhängigkeiten (s. Abb. 2-8). Wissenschaftliche Evidenzen, die auf technologischer Ebene generiert werden, können ein Ausgangspunkt für die Anpassung von Gesetzen der regulatorischen Ebene sein. Außerdem ist die gesellschaftliche Akzeptanz einer Technologie Grundlage für die Anpassung der regulatorischen Rahmenbedingungen. Die für die technologische Gestaltung und Herstellung eines Produktes zu ergreifenden Tätigkeiten und die damit verbundenen Kosten beeinflussen das ökonomische Potenzial der Technologie. Parallel dazu gibt es Grenzen durch eine maximale Zahlungsbereitschaft der Nutzenden, welche wiederum durch eine hohe Nutzerorientierung bei der Produktgestaltung positiv beeinflusst werden können. [ZLO14], [ECK18], [BAV20]

2.3 Bestehende Bewertungsansätze

2.3.1 Entscheidungsmodelle

Bei der Entwicklung neuer Produkte wird über den kybernetischen Regelkreis der Unternehmensführung sichergestellt, dass die Entwicklungsaktivitäten mit der definierten Strategie übereinstimmen [ULR84], [HOF88]. Bei Produktentwicklungen, die dem Stage-Gate-Prozess folgen, wird die Strategiekonformität durch einen Abgleich der Soll- und Ist-Größen an den Meilensteinen kontrolliert [BEA11]. Die Soll-Größen werden maßgeblich von der vorgegebenen Strategie beeinflusst. Bei iterativen Entwicklungsprozessen findet der Abgleich ebenso innerhalb der Evaluationsphasen statt (s. Kapitel 2.1). Das sukzessive Treffen von Entscheidungen stellt im kybernetischen Regelkreis den Regler dar, der unter Berücksichtigung der Stör- und Stellgrößen die strategische Ebene des St. Galler Managementmodells operationalisiert und ein Erreichen der Unternehmensziele sicherstellen soll (s. Kapitel 2.2.1) [DIL16]. So sind bspw. Entscheidungen zwischen Konzeptalternativen zu treffen, um für einen bestimmten Anwendungszweck das beste Konzept auszuwählen oder über die Produktqualität zu entscheiden, ob die Ausprägungen bestimmter Konzepteigenschaften mit den geforderten übereinstimmen [SPE02b], [SCH11b], [ZAH95].

Eine Entscheidung wird immer dann getroffen, wenn ein Entscheidungsproblem vorliegt und eine Auswahl aus einer Menge unterschiedlicher Handlungsalternativen zu tätigen ist [LAU12] [GAB19]. Beschreibende Eigenschaften einer Entscheidung sind der Verzicht auf Realisierung der nicht gewählten Handlungsalternativen sowie die Irreversibilität der Entscheidung [SCH04], [FIS94]. Diese kann als Produkt eines Prozesses dargestellt werden, welcher den Entschluss und dessen Vorbereitung als sequenzielle Reihe an Aktivitäten umfasst [FUL99]. Der Entscheidungsprozess setzt sich aus den Schritten Problemformulierung, Präzisierung des Zielsystems, Erforschung der möglichen Alternativen, Auswahl einer Alternative und Realisation zusammen. [LAU12] Die Wahrscheinlichkeit von Fehlentscheidungen ist proportional abhängig von der Effektivität der Entscheidungsprozesse in einem Unternehmen und kann im Extremfall Auswirkungen auf die fortlaufende Existenz des Unternehmens haben. [WAL96] Die relevanten Einflussfaktoren einer Entscheidung müssen verstanden sein, um den Entscheidungsprozess besser vorbereiten zu können.

Zur Identifikation entscheidungsrelevanter Einflussfaktoren sind Ansätze in der Entscheidungstheorie umfassend erforscht, die die problemrelevanten Zusammenhänge selektieren, darstellen und die bestmöglichen Handlungsalternativen auswählen. Während die deskriptive Entscheidungstheorie sich auf die Untersuchung des Verhaltens von Individuen im Entscheidungsprozess konzentriert, ist das Ziel der präskriptiven Entscheidungstheorie, das Lösen von Entscheidungsproblemen zu

unterstützen. Der Fokus liegt dabei auf der Systematisierung komplexer Entscheidungssituationen, in denen die Entscheidenden keine präzise Antwort auf die Frage nach den Zielsystemen oder der Prognose von Konsequenzen der Handlungsalternativen geben können. [PET10], [LAU12]

Das rationale Entscheidungsmodell ist der zugrundeliegende Strukturkomplex, der die Entscheidung als logische Implikation des Problemlöseprozesses darstellt. Es beinhaltet die sorgfältige Evaluation der Handlungsalternativen sowie deren zugeordneten Nutzenfunktionen. Je nach Komplexität des Problems kommen computergestützte oder quantitative Methoden zum Einsatz. [FUL99]

Das Entscheidungsmodell besteht aus verschiedenen Grundelementen: dem Entscheidungsfeld, welches die Handlungsalternativen, die Zielgrößen und die Zustände umfasst, sowie der Entscheidungsregel (s. Abb. 2-9). [LAU12]

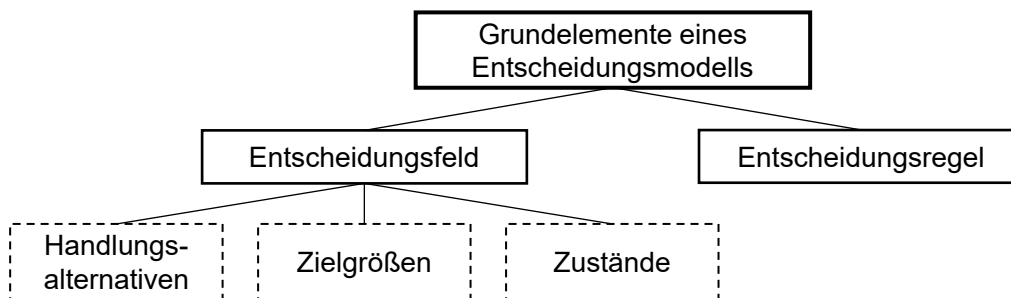


Abb. 2-9: Grundelemente eines Entscheidungsmodells nach [LAU12]

Durch die Anwendung einer Entscheidungsregel wird diejenige Handlungsalternative ausgewählt, welche den höchsten Gesamtnutzen beim Entscheidungsträger erzielt. [BEL95] Innerhalb des rationalen Entscheidungsmodells ermöglicht sie eine Nachvollziehbarkeit der Entscheidungsfindung, die logisch aufgebaut und schriftlich festgehalten wird. Des Weiteren werden die Entscheidungsgeschwindigkeit und Entscheidungsqualität erhöht. [BEL95], [HAS09] Die Entscheidungsregel beinhaltet eine Zielfunktion, die unter den gegebenen Zuständen und Handlungsalternativen optimiert werden soll. Die Zielfunktion wird meist so formuliert, dass die Maximierung der Zielgrößen das Optimierungskriterium darstellt. [SCH11a], [PET10] Das Resultat der Anwendung einer Entscheidungsregel ermittelt nicht nur die beste Handlungsalternative, sondern auch, in welcher Rangfolge die weiteren Handlungsalternativen zueinanderstehen. Wenn Zustände in unsicheren Entscheidungssituationen nicht genau festgelegt werden können, ist eine Aussage über die Höhe des Nutzens der unterschiedlichen Handlungsalternativen sinnvoll. [LAU12]

Die Handlungsalternativen sind die der Entscheidungssituation zugrundeliegenden Handlungsmöglichkeiten, zwischen denen entschieden werden soll [FUL99]. Ein

Entscheidungsmodell besteht immer aus mindestens zwei Handlungsalternativen. Um eine Entscheidung als logische Implikation aus der Entscheidungsregel ableiten zu können, müssen die vorliegenden Handlungsalternativen zunächst bewertet werden. Die Bewertung erfolgt anhand von Zielgrößen und exogenen Zuständen. [LAU12]

Ein Zustand bezeichnet die Ausprägung einer Variablen, von der das Bewertungsergebnis abhängt, welche aber nicht von den Handlungen des Entscheidungsträgers abhängig sind [GAB19]. Als Zielgrößen werden die Parameter bezeichnet, die die Konsequenzen der zur Auswahl stehenden Alternativen abbilden und damit für den Vergleich relevant sind [LAU12]. Eine spezifische Konstellation der Ausprägungen aller Zielgrößen stellt das Ergebnis als Vektor dar, nach dem die Handlungsalternativen beurteilt werden. [DIN96], [VDI00] Die Zielgrößen leiten sich aus den formulierten Formalzielen und Sachzielen des Entwicklungsprozesses eines Unternehmens ab. Formalziele beziehen sich auf eine bestimmte formale Eigenschaft des Endzustands, ohne diesen inhaltlich konkret zu beschreiben. Häufig werden Formalzielen wirtschaftliche Kennzahlen und Bewertungsparameter zugrunde gelegt. Sachziele spezifizieren das Ziel explizit durch konkrete, messbare sachliche Eigenschaften des Endzustands. [GAB19] Diese Operationalisierbarkeit von Zielgrößen im unternehmerischen Kontext führt bei Entscheidungen zu einem Zielsystem auf Basis pluralistischer Zielgrößen.

Bei Vorliegen pluralistischer Zielgrößen muss zwischen unterschiedlichen Zielbeziehungen differenziert werden [DIN96]. Bei komplementären Zielen beeinflussen sich die Zielgrößen positiv, d.h. die bessere Erreichung des einen Ziels bedingt auch einen höheren Erfüllungsgrad des anderen Ziels. Im Gegensatz dazu sind Ziele konfliktär, wenn diese sich negativ beeinflussen. Sollten sich die Zielgrößen nicht beeinflussen, liegt eine Indifferenz vor. Innerhalb eines Entscheidungsmodells müssen folglich die Ausprägungen der Zielgrößen bewertet und die Zielgrößen miteinander vergleichbar gemacht werden. [VDI00], [LAU12]

Um die Beziehung multipler Zielgrößen innerhalb eines Entscheidungsmodells zu identifizieren, zu systematisieren und die Zielgrößen auf Grundlage von Kriterien zu bewerten, werden multikriterielle Entscheidungsmethoden genutzt.

2.3.2 Multikriterielle Entscheidungsmethoden

Multikriterielle Entscheidungsmethoden (MKEM), auch *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) oder *Multi Criteria Decision Analysis* (MCDA) genannt, unterstützen die Entscheidenden bei Entscheidungsproblemen mit mehreren Zielgrößen [ISH13]. Sie sind ein zentrales Instrument zur Objektivierung des Bewertungs- und Analyseprozesses und damit des Entscheidungs- und Auswahlprozesses [ZAR15]. Das Ziel von MKEM ist, die möglichen Handlungsalternativen und ihre Konsequenzen zu

beschreiben sowie die inhärenten Beziehungen multipler Zielgrößen zu berücksichtigen, um das Entscheidungsproblem besser zu verstehen und zu lösen [PÉR15], [ZAR15]. Sie formalisieren komplexe Entscheidungsprobleme durch Offenlegung, Strukturierung und Verarbeitung relevanter Informationen und gestalten den Entscheidungsprozess nachvollziehbar und transparent [GEL14]. MKEM umfassen eine Gruppe von mathematischen und rechnerischen Methoden, die den Entscheidenden ein Instrument zur Verfügung stellen, welches sie bei der Bewertung der Alternativen auf Basis von Leistungskriterien unterstützt [LOO99], [ISH13].

In der Literatur existieren viele verschiedene MKEM, doch trotz ihrer Unterschiedlichkeiten können einige Gemeinsamkeiten und Standardmerkmale hervorgehoben und beschrieben werden [ZIM91], [TRI10]:

Multiple Kriterien

Jedes multikriterielle Entscheidungsproblem unterliegt einem Spannungsfeld von Zielgrößen, die kriterienorientiert bewertet werden. Den Bewertungskriterien lassen sich Dimensionen zuordnen, die im Falle des Vorliegens komplexer Zielsysteme systematisiert werden müssen. [TRI10] Komplexe Zielsysteme, wie sie bei Unternehmen vorliegen, basieren auf vielen unterschiedlichen Stakeholdern, Interessen und Präferenzen, die innerhalb der Bewertung abgebildet werden sollen [LAU12]. Die Dimensionen lassen sich hierarchisch priorisieren, sodass bestimmte Kriterien übergeordnet sind, denen dann Unterkriterien untergeordnet werden können. Auf die gleiche Weise werden darunterliegende Unterkriterien mit überliegenden Unterkriterien verknüpft, wodurch eine hierarchische Kriterienstruktur entsteht. Obwohl einige MKEM eine hierarchische Kriterienstruktur berücksichtigen, um ein Entscheidungsproblem zu lösen, ziehen die meisten MKEM nur eine Ebene von Kriterien in Betracht. [TRI10]

Der Fakt, dass Kriterien aus einem Spannungsfeld unterschiedlicher Zielgrößen stammen, kann zu konfliktären Beziehungen zwischen den Kriterien führen (s. Kapitel 2.3.1). So wird in vielen MKEM nicht nur die strukturelle, hierarchische Beziehung der Kriterien betrachtet, sondern auch die funktionale [GOT06a].

Die verschiedenen Kriterien können in unterschiedlichen Maßeinheiten vorliegen, die nicht direkt quantitativ miteinander vergleichbar sind. Die Berücksichtigung dieser unterschiedlichen Maßeinheiten lässt multikriterielle Entscheidungsprobleme schwerer lösen, weshalb unterschiedliche quantitative Modelle verwendet werden. [ZIM91]

Gewichtung von Kriterien

MKEM erfordern in ihren Aggregationsprozessen die Verwendung von Gewichtungen, um die Zielgrößen entsprechend ihrer Präferenz und Bedeutung zu gewichten, die der Entscheidungsträger ihnen im Hinblick auf das Zielsystem beimisst [TRI10]. Die Gewichtungen spielen eine wesentliche Rolle in der Priorisierung und Bewertung der Kriterien. Sie haben einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse der angewandten Entscheidungsregel, was die Ermittlung der Gewichtungen zu einem kritischen Prozessschritt macht. [ZAR15] Die Gewichtung kann auf unterschiedliche Art und Weise durchgeführt werden, und je nach Entscheidungsproblem und MKEM können einige Gewichtungsmethoden besser geeignet sein als andere. Die Hauptaufgabe der Gewichtungsmethoden besteht darin, den vorliegenden Kriterien Werte zuzuordnen, die ihre relative Bedeutung im Entscheidungsproblem widerspiegeln. Diese Werte werden dann von der MKEM bei der Bewertung der Handlungsalternativen berücksichtigt. [ZAR15]

Die einfachste Gewichtungsmethode ist die Gleichgewichtsmethode, bei der allen Kriterien die gleiche Gewichtung zugeordnet wird. Ferner können die Gewichtungsmethoden in drei Kategorien eingeteilt werden: subjektive, objektive und kombinierte Gewichtungsmethoden. Subjektive Methoden bestimmen die Gewichtungen der Kriterien auf Grundlage der Präferenzen des Entscheidungstragenden. Die auf diese Weise ermittelten Gewichtungen spiegeln das subjektive Urteil des Entscheidungstragenden wider. Dies kann auf Grund mangelnden Wissens oder mangelnder Erfahrung zu Fehlbewertungen führen, schafft aber Transparenz über den Erhebungsprozess. Beispiele subjektiver Gewichtungsmethoden sind *SMART*, *SIMOS*, *Paarweiser Vergleich*, *Ranking-Methode* und *DELPHI*. Objektive Gewichtungsmethoden hingegen beruhen auf mathematischen Methoden, die auf Grundlage einer eingangs durchgeführten Datenanalyse die Gewichtungen ermittelt. Diese sind unabhängig vom Entscheidungsträger und seinen Präferenzen. Als Beispiele gelten der *Least-Mean-Square-Algorithmus*, *Entropy Weight Method* und *Pareto-Optimierung*. Kombinierte Gewichtungsmethoden bilden einen hybriden Mix aus subjektiven und objektiven Methoden ab. [ZAR15]

Entscheidungsmatrix

Ein multikriterielles Entscheidungsproblem kann in Form einer Matrix ausgedrückt werden. Eine Problematrix A ist eine $(m \times n)$ -Matrix, in der die Elemente a_{ij} die Leistung einer Alternativen A_i bei der Bewertung hinsichtlich eines Entscheidungskriteriums C_j angeben (für $i = 1, \dots, m$ und $j = 1, \dots, n$). Es wird davon ausgegangen, dass die relative Bedeutung der Kriteriengewichtungen vom

Entscheidenden festgelegt wurden. Eine typische Entscheidungsmatrix ist in Abb. 2-10 dargestellt. [ZIM91], [HAJ06], [TRI10]

	C_1	C_2	C_3	$\dots$	C_j
	$(w_1$	w_2	w_3	$\dots$	$w_n)$
A_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	$\dots$	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	$\dots$	a_{2n}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
A_i	a_{m1}	a_{m2}	a_{m3}	$\dots$	a_{mn}

Abb. 2-10: Darstellung einer typischen Entscheidungsmatrix

Unter Berücksichtigung der aufgeführten Standardmerkmale unterscheiden sich die MKEM jeweils in der Merkmalsausprägung, wobei die Ausprägungen an dem Entscheidungsproblem und dem Anwendungsfall orientiert sind. Aus diesem Grunde sind nicht alle MKEM zur Lösung aller Arten von multikriteriellen Entscheidungsproblemen geeignet. Einige Methoden sind nur für die Nutzung quantitativer Daten ausgelegt, während andere quantitative und qualitative Daten verarbeiten. Darüber hinaus existieren weitere Unterscheidungsmerkmale wie Transparenz, Aufwand und Kosten, was die Wahl der bestgeeigneten Methode erschwert. [ZAR15]

Zu den bekanntesten MKEM zählen die Methoden *Analytic Hierarchy Process* (AHP), *Analytic Network Process* (ANP), *TOPSIS*, *PROMETHEE* und *ELECTRE*, die in Anhang 10.1 näher beschrieben werden.

Die Auswahl einer für den spezifischen Anwendungsfall geeigneten MKEM hängt maßgeblich von dem zu bewertenden Objekt sowie den bei der Anwendung im Entscheidungsmodell zugrundeliegenden Parametern ab. Für die Entscheidungsprozesse in Unternehmen bleiben daher die Fragen bestehen, welche konkreten marktrelevanten Zielgrößen sich aus dem Regelkreis der strategischen Unternehmensführungsprozesse ableiten und welche Zustandsvariablen entscheidungsrelevant sind, wie diese bewertet werden können, welche Prognose-sicherheit möglich ist und welche Präferenzfunktion zu wählen ist. Mit der Beantwortung dieser Fragen setzt sich das Forschungsgebiet der Technologiebewertung auseinander, welches die Konkretisierung der einer Entscheidungssituation zugrundeliegenden Parameter bei der Entstehung innovativer Produkte innerhalb des aufgeführten Untersuchungsbereiches verfolgt.

2.3.3 Technologiebewertung

Als Technologiebewertung wird ein systematisch organisiertes Vorgehen bezeichnet, bei dem ein Technologiekonzept über die Ermittlung und Beurteilung des Erfüllungsgrades vorgegebener Zielsysteme analysiert wird, um Entscheidungen im Entwicklungsprozess neuer Produkte zu treffen. Eine Bewertung erfolgt immer dann,

wenn vor dem Hintergrund einer spezifischen Technologiestrategie verschiedene Handlungsalternativen vorliegen. [SCH11b] Angelehnt an das Entscheidungsmodell liegen der Technologiebewertung in Abhängigkeit vom Bewertungsobjekt verschiedene Bewertungskriterien zugrunde, die technologiespezifischen Kosten- und Nutzenkategorien zugeordnet werden können. [VDI11] Je nach Zeitpunkt im Entwicklungsprozess kann das Bewertungsobjekt zunächst eine Idee eines neuen Produktes sein, oder aber auch Zwischen- und Endergebnis der Produktentwicklung (z.B. Prototypen, Vorserien- oder Serienprodukte) [VDI11].

Die Entscheidungssituationen, die einer Technologiebewertung bedürfen, treten in allen Phasen des Technologiemanagements auf, welche in der Praxis oft ineinander übergehen und durch Rückkopplungen miteinander verbunden sind. Zu den Phasen zählen die Definition und Strukturierung des Problems, die Folgenabschätzung, die Bewertung und schlussendlich die Entscheidung. [VDI00] Vor dem Hintergrund der unternehmensspezifischen Technologiebewertung gilt es jedoch, die Phase der Bewertung von der Folgenabschätzung zu differenzieren [BUL12]. Die Folgenabschätzung bezieht sich hauptsächlich auf die gesamtwirtschaftlichen Konsequenzen einer spezifischen Technologie und damit auf die Analyse der indirekten Effekte auf die Gesellschaft. Sie stellt eine vorausschauende Beschreibung dar, während die Technologiebewertung die Folgen betrachtet, welche mit einer Anwendung erzielt, akzeptiert oder verhindert werden sollen. [ZAH95] Sowohl die wettbewerbsstrategischen Folgen der wertspezifischen Auswirkungen der Technologie innerhalb der Wertkette des Unternehmens (Innensicht) als auch innerhalb der Marktsphäre des Unternehmens (Außensicht) stehen im Vordergrund [GAB19]. Das Ziel der Technologiebewertung ist, den verschiedenen Handlungsalternativen einen spezifischen Wert zuzuordnen, der aus Sicht des Unternehmens zu einer Vereinfachung der Entscheidungssituation durch Reduktion der möglichen Handlungsalternativen führt [SCH11b].

Aktuelle Bewertungsmethoden müssen den evolutionären Weiterentwicklungen von Innovations- und Technologieentwicklungsprozessen Rechnung tragen, um auch mittels unvollständiger Informationen eine subsidiäre Entscheidungsgrundlage zu bieten [ZAH95], [KRÖ07]. Der dadurch historisch gewachsene Methodenpluralismus basiert auf den marktrelevanten Einflussfaktoren, die in ihrer Veränderbarkeit angepasster, neuer oder ergänzender Methoden bedürfen [SCH11b]. Die Auswahl und parallele Anwendung entsprechender Bewertungsmethoden erfolgt auf der Basis zugrundeliegender Rahmenbedingungen und Eigenschaften der Bewertungsmethoden. Diese müssen miteinander verglichen und in Bezug gesetzt werden zum Bewertungsobjekt, dem Bewertungszweck, dem Bewertungsaufwand, der Bewertungsdauer und dem Zeitpunkt im Entwicklungsprozess.

Bei der parallelen oder ergänzenden Nutzung mehrerer Bewertungsmethoden können durch das Zusammenfügen von Teilbewertungen methodische Schwierigkeiten aufgrund des Einsatzes unterschiedlicher Mess- und Zielgrößen, Maßstäbe und der respektiven Relevanz entstehen. [SCH11b] In der frühen Phase können tatsächliche Technologieeigenschaften nur prognostiziert werden bei gleichzeitig fehlenden Informationen über den Anwendungskontext. Je näher die Umsetzungsphase einer Technologie rückt, desto besser können quantitative Daten wie wirtschaftliche Kenngrößen konkret notwendiger Investitionen erhoben und berücksichtigt werden [VDI00]. Quantitative Daten benötigen im Gegensatz zu qualitativen Daten allerdings eine hohe Informationssicherheit zur Sicherstellung eines formal richtigen Einsatzes und sind deshalb erst im späteren Verlauf des Entwicklungsprozesses verfügbar (s. Abb. 2-11) [RUM14].

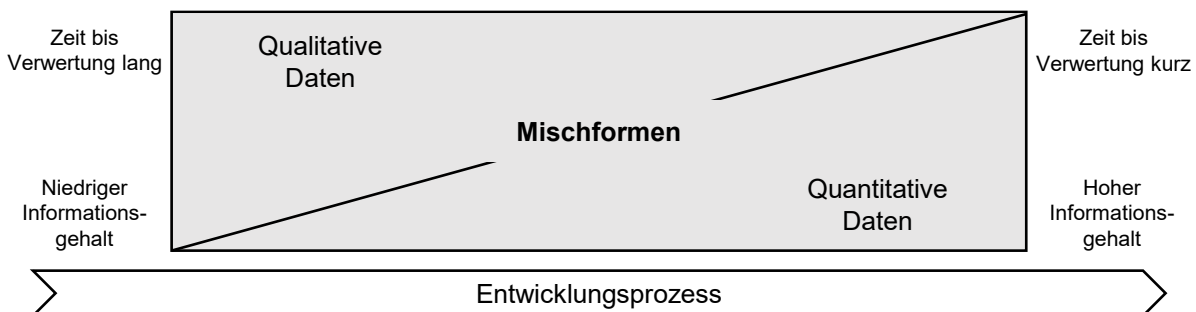


Abb. 2-11: Konkretisierung von Daten über den Entwicklungsprozess [RUM14]

Dementsprechend müssen die in jedem Bewertungsprozess entstehenden nicht quantifizierbaren Wertbereiche genauso Berücksichtigung finden wie quantifizierte Teilbewertungen.

Zur Auswahl einer geeigneten Bewertungsmethode entwickelten PFEIFFER und WEIß eine Heuristik zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit existierender Technologiebewertungsmethoden. Dazu wird der Genauigkeitsgrad, mit dem eine Technologie bewertet wird, gemäß einer Klassifikationsstruktur in klassifikatorische, komparative und metrisierende Technologiebewertungen unterteilt. [PFE95] Neben der Kategorisierung der Bewertungsmethoden nach dem Grad der Genauigkeit gibt es in der Literatur eine Reihe weiterer Systematisierungsansätze, da neben Methoden zur strategischen Nutzenanalyse u.a. Instrumente der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung bei der Technologiebewertung angewendet werden. [SCH11b] Es sind neben den qualitativen, heuristischen und quantitativen Methoden auch Portfolio- und ganzheitliche Methoden zu unterscheiden. Diese können Einschränkungen im Einsatz- und Umsatzpotenzial von Technologien wie fehlende gesellschaftliche Akzeptanz gegenüber neuen Produkten aufdecken. [VDI00] Portfoliomethoden berücksichtigen u.a. die strategischen Auswirkungen bei der Planung und Entwicklung

von Technologien durch die Betrachtung technologischer und marktorientierter Bewertungskriterien [PFE91]. Bei der Anwendung ganzheitlicher Methoden werden quantitative Bewertungsmethoden zur strategischen Investitionsplanung mit qualitativen Methoden vereint, um neben dem wirtschaftlichen Nutzen das Erfolgspotenzial einer spezifischen Technologie zu erheben [SCH22].

Vor dem Hintergrund des Forschungsziels dieser Arbeit ist es notwendig, die in der Literatur existierenden Ansätze zur Technologiebewertung näher zu beschreiben. Die Auswahl der Methoden beschränkt sich auf diejenigen, die zur Anwendung innerhalb des objekt- und prozessbezogenen Untersuchungsbereichs geeignet sind, insbesondere unter Berücksichtigung marktrelevanter Erfolgsfaktoren. In Anhang 10.2 werden zunächst Portfoliomethoden untersucht, die strategische Auswirkungen von Technologien berücksichtigen. Außerdem werden ganzheitliche Ansätze betrachtet, welche den gesamten Entwicklungsprozess neuer Produkte begleiten.

3 Forschungsansatz

Nach Darlegung aller wichtigen Grundlagen des betrachteten Untersuchungsbereichs befasst sich dieses Kapitel mit der kritischen Analyse der Bewertungsansätze vor dem Hintergrund der in Kapitel 1 formulierten Forschungsfragen. Diese sind Grundlage für ein forschungsleitendes Anforderungsprofil und stellen im weiteren Verlauf ein Rahmenwerk für die Ausrichtung der Methodik zur Bewertung marktrelevanter Erfolgsfaktoren dar. Die vorgestellten Instrumente und Ansätze der Technologiebewertung lassen sich mit den gestellten Anforderungen abgleichen und kritisch prüfen. Das Ziel ist, sowohl die Defizite in der Wissenschaftsliteratur als auch Schnittmengen im Falle einer besonders hohen Anforderungserfüllung zu identifizieren. Diese können im weiteren Verlauf der Arbeit als wichtiger Ausgangspunkt für die Konzeption und Adaption einer den Anforderungen entsprechenden Bewertungsmethode dienen. Aus der kritischen Würdigung bestehender Instrumente und Ansätze zur Technologiebewertung kann folglich der notwendige Forschungsbedarf abgeleitet werden.

3.1 Anforderungen an die Bewertungsmethode

Ein forschungsleitendes Anforderungsprofil zur kritischen Analyse des Stands der Technik bedingt die explizite Formulierung von allgemeingültigen und inhaltlichen Anforderungen.

3.1.1 Allgemeine Anforderungen

Die Berücksichtigung allgemeiner Anforderungen (AA) gewährleistet, dass Methoden den formalen Kriterien der Anwendbarkeit und Richtigkeit entsprechen. Im Folgenden werden die von PATZAK vorgeschlagenen allgemeinen Anforderungen im Rahmen einer Methodikentwicklung aufgegriffen und in Hinblick auf den Untersuchungskontext adaptiert [PAT82]:

AA1: Empirische und formale Richtigkeit

Die Abbildungseigenschaften des innerhalb der Methode modellierten Systems müssen eine notwendige Ähnlichkeitsgüte zur Realität besitzen, damit die Ergebnisse den entsprechenden Realitätsbezug wahren [STA73]. Im Rahmen der Technologiebewertung muss eine homomorphe Beziehung zwischen Modell und Original bestehen, damit sich das entworfene Abbild wie das Urbild verhält. Das bedeutet, dass es keine eindeutige Zuordnung sämtlicher in der Realität vorliegenden Eigenschaften gibt, sondern eine deterministische Zuordnung unter dem Gesichtspunkt des notwendigen Realitätsbezugs. Außerdem müssen die Ergebnisse der Methode reproduzierbar und nachvollziehbar sein. Dazu muss das modellierte System

widerspruchsfrei und formal einwandfrei formuliert sein. In Bezug auf die Methode muss für die formale Richtigkeit explizit ausgearbeitet werden, ob und wie der Vergleich zweier HMI-Konzepte realisiert werden kann. [PAT82]

AA2: Zweckbezogenheit

Die Ergebnisse der Methode müssen inhaltlich und formal brauchbare Antworten auf die zugrundeliegende Fragestellung geben [BAR17]. Eine entsprechende Anwendungsorientierung und Zweckbezogenheit gewährleisten den praktischen Nutzen der Methode [HOF80]. Das abgedeckte Anwendungsfeld der Methode ist möglichst breit zu wählen, um für viele Unternehmen unabhängig von Branche und Unternehmensgröße einsetzbar zu sein. [PAT82]

AA3: Gebrauchstauglichkeit

Die Methode ist so zu erstellen, dass die Anwendenden (die Entscheidungstragenden) der Methode diese intuitiv anwenden können und die spätere Interpretation der Ergebnisse leichtfällt. Die Anwendungsorientierung manifestiert sich in einem für die Anwendenden möglichst einfach handhabbaren Instrument zur Technologiebewertung [MAR95]. Um die notwendige Überschaubarkeit für die Anwendenden zu gewährleisten, empfiehlt sich eine Detaillierung so weit wie nötig bei gleichzeitiger Aggregation dort, wo es zum besseren Verständnis notwendig ist. Die Methode soll durch einfache, klare Strukturen, Begrifflichkeiten und Formulierungen allgemein verständlich sein, ohne Expertenwissen bei den Anwendenden vorauszusetzen. [PAT82], [WIL78], [ZAN14]

AA4: Angemessener Anwendungsaufwand

Der Aufwand für die Modellerstellung und die -anwendung soll in einem sinnvollen Verhältnis zu dem Nutzen des Modells stehen. Aussagekräftige Bewertungsergebnisse bei möglichst geringem ökonomischen Ressourceneinsatz sind Indikatoren für eine angemessene Wirtschaftlichkeit in der Anwendung. Vor dem Hintergrund der prozessbezogenen Eingrenzung (Kapitel 2.1) und der strategischen Entscheidungsfindung ist für die Anwendung der Methode nur ein geringer Zeitraum bei gleichzeitig hoher Relevanz des Ergebnisses vorgesehen. [PAT82]

Bei einigen der von PATZAK vorgeschlagenen formalen Anforderungen bestehen inhärente Zielkonflikte. So führt beispielsweise die empirische Richtigkeit zu einem vermeintlich höheren Aufwand bei Modellerstellung und -anwendung, was sich wiederum negativ auf die Nutzerfreundlichkeit auswirkt. Zur Erfüllung der Anforderungen muss dementsprechend ein Kompromiss gefunden werden, der darin liegt, die Methode bzw. die Modelle prinzipiell zu vereinfachen. Dazu zählen die

Reduktion der Modellgenauigkeit durch getroffene Näherungen von Eingangsparametern sowie die Verringerung des Anwendungsaufwands durch logisch gewählte Randbedingungen.

Neben den allgemeingültigen, formalen Anforderungen sind im Rahmen der Technologiebewertung Anforderungen an die Ausrichtung der Methode zu berücksichtigen:

AA5: Transparenz

Für die Nutzbarkeit der Methode hinsichtlich einer strategischen Entscheidung innerhalb des Regelkreises der Unternehmensführung ist die Transparenz der Ergebnisse von hoher Bedeutung. Strategische Entscheidungen sind von ihrer Natur aus auf die Zukunft gerichtet. Somit wohnt den verwendeten Modellen ein gewisser Prognosecharakter inne, um das Unternehmen bestmöglich auszurichten. Ergebnisse müssen durch logische Schlussfolgerung klar dargestellt werden, um die Glaubhaftigkeit der Methode zu gewährleisten. Außerdem müssen die Ergebnisse, und damit die Methode, für die Entscheidungstragenden und involvierten Stakeholder verständlich und nachvollziehbar sein. Dazu ist eine intersubjektive Nachprüfbarkeit zwingend erforderlich. [MAR95]

AA6: Intersubjektive Nachprüfbarkeit

Der Grundsatz der intersubjektiven Nachprüfbarkeit besagt, dass verschiedene Entscheidungstragende unter Berücksichtigung der gleichen Zielgrößen, Entscheidungsregeln und Wirkzusammenhänge eine Äquivalenz der Werturteile erreichen sollen. Dadurch kann die Validität des Entscheidungsergebnisses unter der Prämisse gleicher Bewertungssituationen unabhängig vom jeweiligen Entscheidungstragenden objektiv überprüft werden. Vollständigkeit, Zielhomogenität und Transparenz der Bewertungsgrundlage sind notwendige Bedingungen für die intersubjektive Nachprüfbarkeit von Werturteilen. [MÜL93]

AA7: Vollständigkeit

Der Anspruch auf Vollständigkeit der Bewertungsgrundlage impliziert, dass alle notwendigen Elemente des Entscheidungsmodells mit in die Bewertung einbezogen werden. Dabei handelt es sich um alle relevanten Zielgrößen, Bewertungsobjekte, Bewertungskriterien, Umweltzustände sowie denkbare Handlungskonsequenzen. Dadurch wird eine möglichst ausgewogene, vollständige und realistische Abbildung der Bewertungssituation sichergestellt. [MÜL93]

Die allgemeinen Anforderungen gelten bei der Entwicklung von Bewertungsmethoden als Rahmenwerk, an denen sich zu orientieren und deren Einhaltung konstant zu

überprüfen ist. Kann die Einhaltung nicht gewährleistet werden, sollten Maßnahmen ergriffen werden, um die Methode entsprechend der Konformität zu den Anforderungen anzupassen. Bei den im Stand der Technik aufgeführten ganzheitlichen Bewertungsmethoden wird eine Einhaltung der allgemeinen Anforderungen als gegeben vorausgesetzt, da ein Praxiseinsatz andernfalls nicht möglich wäre. Einzig das Kriterium des Anwendungsaufwands bestehender Bewertungsansätze wird bei der Diskussion der Ansätze miteinbezogen. Folglich ist die Aufstellung inhaltlicher Anforderungen notwendig, um die Bewertungsansätze vergleichbar zu machen und Entwicklungspotenziale abzuleiten.

3.1.2 Inhaltliche Anforderungen

Gemäß des Untersuchungsbereichs lassen sich inhaltliche Anforderungen für Bewertungsansätze definieren, deren vollständige Erfüllung notwendig ist, um die Forschungsfragen hinreichend zu beantworten. Die inhaltlichen Anforderungen können in drei Kategorien unterteilt werden: die Objektorientierung der Bewertungsansätze, die zugrundeliegende Modellorientierung und die inhärente Zielorientierung.

3.1.2.1 Objektorientierung

Die Anforderungen der Kategorie Objektorientierung beschreiben, welches Objekt und welche Eigenschaften des Objekts mit der Bewertungsmethode bewertet werden sollen. Sie unterteilen sich in die Anforderungen an das Untersuchungsobjekt sowie die Abbildung der unternehmensexternen und -internen Perspektive anhand des Fünfebenen-Modells.

IA1: Untersuchungsobjekt HMI-Konzepte

Die Methode muss für die Bewertung von HMI-Konzepten geeignet sein. Statt einer isolierten Betrachtung einzelner Technologien oder Gestaltungselemente sind HMI-Konzepte in ihrer Gesamtheit zu erfassen und zu bewerten. Dies bedingt die Fähigkeit der Methode, den Einfluss von Anordnung der Anzeige- und Bedienelemente, der Informationsdarstellung, der gewählten Interaktionsprinzipien und des Systemverhaltens auf die Leistungsfähigkeit eines HMI-Konzeptes und damit den induzierten Nutzen des zugrundeliegenden Produktes zu erfassen. Dazu ist ein funktionaler, detaillierter Zugang zum HMI-Konzept als Bewertungsobjekt notwendig, um Produktentscheidungen und entsprechende Maßnahmen für die weitere Entwicklungsarbeit abzuleiten. [EUR08], [KRÖ07], [RUM14]

IA2: Bewertung gesellschaftliche Ebene

Die Bewertung marktrelevanter Erfolgsfaktoren muss die gesellschaftliche Ebene berücksichtigen, da sie einen wesentlichen Einfluss auf das Zukunftspotenzial von

Produkten hat. Die systematische Analyse der beteiligten Stakeholder ermöglicht die Identifikation relevanter Informationen für die Bewertung. Die Analyse unterstützt den Abgleich der eingesetzten Technologien mit gesellschaftlichen Anforderungen, fördert frühzeitigen Erkenntnisgewinn und ermöglicht die Anpassung von Produkten an gesellschaftliche Erwartungen. [ECK18], [BÖS21]

IA3: Bewertung regulatorische Ebene

Die Bewertungsmethode muss regulatorische Rahmenbedingungen durch die Abbildung der regulatorischen Ebene berücksichtigen. Die Konformitätsprüfung von Produkten mit bestehenden Gesetzen und Richtlinien ist vor dem Hintergrund zunehmender firmeninterner, nationaler und internationaler Standards essenziell. Durch eine frühzeitige Bewertung dieser externen Vorgaben können unnötige Anpassungsaufwände vermieden werden. [ECK18], [GEL99]

IA4: Bewertung ökonomische Ebene

Die Methode muss die ökonomische Ebene bei der Bewertung berücksichtigen. Die ökonomische Betrachtung rein finanzieller Kennzahlen suggeriert, dass Technologie- und Konzeptentscheidungen unter der Annahme vollständiger Informationen getroffen werden, was in frühen Entwicklungsphasen nicht der Fall ist. Über die Bewertung finanzieller Kennzahlen hinaus müssen diese nicht-monetären Kennzahlen gegenübergestellt und gemeinsam in der Entscheidungsfindung berücksichtigt werden. Die Betrachtung der eingesetzten Geschäftsmodelle, Erlösströme und Kosten entscheiden über die wirtschaftliche Tragfähigkeit und das Umsatzpotenzial der entwickelten Produkte. [ECK18], [RUM14], [SCH11b]

IA5: Bewertung individuelle Ebene

Die Methode muss die Nutzenden durch die Bewertung der individuellen Ebene berücksichtigen. Die entwickelten Produktkonzepte sind so zu beschreiben, dass eine adäquate Entscheidung über ihre Nutzbarkeit und damit den induzierten Kundennutzen getroffen werden kann. Der Abgleich mit Kundenanforderungen durch funktionsbezogene Bewertungskriterien wie u.a. Benutzerfreundlichkeit und Nutzererlebnis ermöglicht es, die kommerzielle Erfolgswahrscheinlichkeit des Produktes zu prognostizieren und sicherzustellen. Eine systematische Fortschrittsbetrachtung im Entwicklungsprozess hilft, um frühzeitig Fehlentwicklungen oder das Erreichen von Fortschrittsplateaus zu erkennen und dem entgegenzuwirken. [ECK18], [RUM14], [TIM02]

IA6: Bewertung technische Ebene

Die Methode muss die eingesetzten Technologien zur Realisierung der HMI-Konzepte durch die Bewertung der technischen Ebene berücksichtigen. Dabei sind die Unternehmensfähigkeiten und -kompetenzen in Bezug zu den funktionalen und technologischen Anforderungen des Produktes zu setzen. Die eingesetzten Technologien sind im Gesamtsystem auf ihre Leistungsfähigkeit zu prüfen. Dabei gilt es, explizite, strategische Zielgrößen einer vorangegangenen Technologieplanung zur Steuerung und Kontrolle strategischer Zielsetzungen des Unternehmens in der Bewertung zu berücksichtigen. Je nach Komplexität des Produkts kommen diverse „Subtechnologiestrategien“ zum Einsatz, sodass ein Konglomerat verschiedener Strategien im Kontext der Gesamt-Technologiestrategie durch die Bewertung auf Konformität zu prüfen ist. Im Kontext von HMI-Konzepten sind projektspezifische, multidimensionale strategische Programme im Rahmen der Fahrzeugentwicklung in die Bewertung mit einzubeziehen. [ECK18] [RUM14], [HAL02], [BRO82] [KRÖ07], [HÖC00]

3.1.2.2 Modellorientierung

Die Anforderungen der Kategorie Modellorientierung beschreiben, wie das untersuchte Objekt unter Berücksichtigung des Untersuchungsbereichs mit der gewählten Methode bewertet werden soll. Sie unterteilen sich in die Anforderungen an die Ganzheitlichkeit und Individualisierbarkeit der Bewertungsmethode sowie der Integration qualitativer und quantitativer Daten.

IA7: Ganzheitlichkeit der Bewertungsmethode

Die innerhalb der Methode verwendeten Modelle sollen alle für die Entscheidung relevanten Parameter und Kriterien berücksichtigen und eine Ganzheitlichkeit der Betrachtung gewährleisten. Ganzheitliche Bewertungsmethoden kennzeichnen sich durch eine Technologiefolgen- und Kontextorientierung der Bewertungsinformationen im Gegensatz zu Bewertungsansätzen mit singulären Elementen und Zielen. Durch eine ganzheitliche Betrachtung kann eine Durchgängigkeit der Methode über die Anwendbarkeit in allen relevanten Entwicklungsphasen sowie über ihren strategischen und operativen Bezug sichergestellt werden. Falls notwendig, müssen für entscheidungsrelevante Eingangsparameter der Modelle schlüssige und begründete Annahmen getroffen werden. Die Anforderung nach Ganzheitlichkeit impliziert die Abbildung der fünf Ebenen (IA2 – IA6) hinsichtlich der Bewertung strategischer Zielsetzungen sowie des Nutzens für Kunden und Unternehmen. [MAR95], [SCH11b], [KRÖ07], [ZAH95], [RUM14]

IA8: Individualisierbarkeit der Bewertungsmethode

Die Bewertungsmethode muss durch Möglichkeiten der Individualisierung sicherstellen, dass sie in einem breiten Anwendungskontext eingesetzt werden kann und sowohl unternehmens- als auch produktspezifische Rahmenbedingungen berücksichtigt. Jedes Entscheidungsobjekt unterliegt bei Anwendung der Methode anderen Voraussetzungen. Als strategisches Entscheidungswerkzeug besitzen die Unternehmenssubjekte verschiedene Bewertungsdimensionen, unter denen die Methode mit Anspruch auf Gemeingültigkeit einzusetzen ist. Die angesprochene Prognosefähigkeit einer Entscheidung innerhalb der Methode unterliegt einer Vielzahl von Umweltzuständen und Einflussfaktoren. Um eine dauerhafte Anwendbarkeit der Methode unter sich ändernden Parametern zu gewährleisten, müssen unterschiedliche, sich über die Zeit ändernde Ausprägungen und Veränderungen der Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Sich über die Zeit verändernde Parameter sind durch deren Abbildung in Funktionen einzubeziehen. Kriterienorientierte Methoden sind zu bevorzugen, da Bewertungskriterien je nach Bewertungsobjekt und -ziel modular hinzugefügt, verändert oder eliminiert werden können. [HAM06] Um die Validität und eine Vergleichbarkeit der Bewertungsergebnisse sicherzustellen, sind gewählte Kriterien in einem Bewertungsablauf (bspw. bei einer vergleichenden Bewertung zweier Konzepte) konstant zu halten.

IA9 & IA10: Integration qualitativer und quantitativer Daten

Die Bewertungsmethode muss quantitative und qualitative Daten in ihren Bewertungsablauf integrieren. Die Technologiebewertung zu Beginn einer Konzeptentwicklung unterliegt sowohl Unsicherheiten als auch Risiken und hat die Notwendigkeit der Bewertung unvollständiger Daten zur Folge. Fehlende Informationen werden durch qualitative Daten und empirische Analysen erweitert. Zusätzlich soll die ausschließliche Nutzung quantitativer Daten vermieden werden, um vorliegendes implizites, tacites, subjektives Wissen bei der Technologiebewertung nicht zu vernachlässigen. Entsprechend empfiehlt sich auf dieser Grundlage die Betrachtung quantitativer und qualitativer Kriterien, die jeweils an die spezifische Problemstellung angepasst sind und die vorliegende Informationsgüte berücksichtigen. Dadurch lassen sich Defizite einer zu einseitigen Bewertung vermeiden und eine objektive Bewertung unter Berücksichtigung multipler Kriterien erreichen. [GRA07], [BUL12], [RUM14], [SCH11b]

3.1.2.3 Zielorientierung

Die Zielorientierung beschreibt, welche Anforderungen an das Bewertungsergebnis und somit den Bewertungszweck gestellt werden. Sie unterteilt sich in die Anforderung

an die entwicklungsunterstützende Bewertungsausrichtung und an die Transparenz der Bewertungsergebnisse.

IA11: Entwicklungsunterstützende Bewertung

Die Bewertungsmethode muss einen klaren Entwicklungsbezug aufweisen und neben einer binären Entscheidung an einem Meilenstein auch einer Entscheidung über weitere Entwicklungsmaßnahmen dienen (s. Kapitel 2.1). Der Fokus soll neben der abzuleitenden Entscheidung auch auf der Überprüfung erzielbarer Wirkungen einer Entwicklung liegen. Bei der Bewertung eines Produktes können drei Kategorien unterschieden werden. Eine vergleichende Bewertung zielt auf die Evaluation zweier Systemalternativen ab, um unter Einbezug des Anwendungskontextes die beste Alternative auszuwählen. Eine qualitative Bewertung ermittelt die Ausprägung gewünschter oder geforderter Systemeigenschaften. Durch die Evaluation des Systems leiten sich aus der Bewertung zur Identifikation von Schwachstellen Defizite als Ausgangspunkt für weitere Entwicklungsmaßnahmen zur Schließung vorhandener Lücken ab. Eine entwicklungsunterstützende Bewertungsmethode ermöglicht die Abbildung aller drei Bewertungskategorien je nach Zeitpunkt im Entwicklungsprozess und den dadurch gestellten Anforderungen an die Bewertung. Dabei sind nicht nur Vergleiche zwischen Alternativen zu berücksichtigen, sondern auch Soll-Ist-Vergleiche mit den im Entwicklungsprozess gestellten Zielgrößen, da je nach Neuheitsgrad der Technologieinnovation kein zwingendes Vergleichsobjekt vorhanden ist. Je nach HMI-Konzept können vorangegangene Fahrzeugprojekte zum Vergleich herangezogen werden. [BRO82], [SCH11b], [RUM14], [KRÖ07], [HAM06]

IA12: Transparente Darstellung der Entscheidungskomplexität

Die Bewertungsmethode muss die der Technologieentwicklung zugrundeliegenden Wechselwirkungen transparent darstellen, damit *adäquate* Entwicklungsmaßnahmen abgeleitet werden können. Konkret bedeutet dies, dass die Ergebnisse der Bewertungen einzelner Kriterien nicht willkürlich zu einer quantitativen Kennzahl zusammengeführt werden, sondern nur dort, wo es notwendig ist. Unter Berücksichtigung der Anforderung nach einer entwicklungsunterstützenden Bewertungsausrichtung zur Ableitung von Entwicklungsmaßnahmen ist die strukturierte Darstellung der Entscheidungskomplexität und Informationsvielfalt wesentlich, um die aus einer Kompensation und Aggregation resultierenden Informationsverluste zu verhindern. Auf der einen Seite ist durch die Aggregation vieler Bewertungsvariablen eine Bewertung zwar robust und fehlertolerant, allerdings können die gegenseitigen Wechselwirkungen und Beeinflussungen technologischer Kennwerte nicht transparent dargestellt werden. Auf der anderen Seite kann die Zusammenführung der Zielgrößen einer Entscheidungssituation in ein Bewertungsmaß eine Scheinvergleichbarkeit der betrachteten Alternativen und zugrundeliegenden Zielgrößen suggerieren, die im

Realen nicht existiert. Aus diesen Gründen müssen Bewertungsmethoden konkrete Maßnahmen durch Darstellung und Begründung der inhärenten Wechselwirkungen ermitteln. [ECK18], [VDI00], [KRÖ07]

Zusammenfassend sind folgende Anforderungen als forschungsleitendes Anforderungsprofil formuliert (s. Abb. 3-1):

Allgemeine Anforderungen	Inhaltliche Anforderungen
• AA1 Empirische und formale Richtigkeit • AA2 Zweckbezogenheit • AA3 Gebrauchstauglichkeit • AA4 Angemessener Anwendungsaufwand • AA5 Transparenz • AA6 Intersubjektive Nachprüfbarkeit • AA7 Vollständigkeit	• IA1 Untersuchungsobjekt HMI-Konzepte • IA2 Bewertung gesellschaftliche Ebene • IA3 Bewertung regulatorische Ebene • IA4 Bewertung ökonomische Ebene • IA5 Bewertung individuelle Ebene • IA6 Bewertung technische Ebene • IA7 Ganzheitlichkeit der Bewertungsmethode • IA8 Individualisierbarkeit der Bewertungsmethode • IA9 & IA10 Integration qualitativer und quantitativer Daten • IA11 Entwicklungsunterstützende Bewertung • IA12 Transparente Darstellung der Entscheidungskomplexität

Abb. 3-1: Forschungsleitendes Anforderungsprofil

3.2 Diskussion bestehender Ansätze

Nach Beschreibung der relevanten Anforderungen an die Bewertungsmethode werden die bestehenden Ansätze im Folgenden hinsichtlich ihrer Einsatzfähigkeit zur Bewertung marktrelevanter Erfolgsfaktoren von HMI-Konzepten untersucht. Die aufgeführten Anforderungen dienen dabei als Prüfkriterien, deren Erfüllung für eine objektive und ganzheitliche Bewertung notwendig ist und die den Ansätzen gegenübergestellt werden. Eine übersichtliche Darstellung der betrachteten Bewertungsansätze und deren Anforderungserfüllung befindet sich in Abb. 3-2. Zur Anforderung des Anwendungsaufwands ist eine invertierte Logik gewählt, sodass eine Erfüllung der Anforderungen mit einem geringen Anwendungsaufwand einhergeht.

	Objektbereich						Modellbereich					Zielbereich	
Legende:	HMI-Konzepte	Gesellschaftliche Ebene	Regulatorische Ebene	Ökonomische Ebene	Individuelle Ebene	Technologische Ebene	Ganzheitlichkeit	Individualisierbarkeit	Qualitative Daten	Quantitative Daten	Anwendungsaufwand	Bewertungsausrichtung	Bewertungsergebnisse
● voll erfüllt													
◐ teilw. erfüllt													
○ nicht erfüllt													
Multikriterielle Bewertungsmethoden													
AHP	grundsätzlich möglich						○	◐	●	○	◐	○	○
ANP							◐	◐	●	◐	◐	○	○
TOPSIS							◐	◐	●	●	◐	◐	○
PROMETHEE							◐	●	●	●	○	◐	◐
ELECTRE							◐	◐	●	●	○	◐	◐
Ansätze zur Technologiebewertung													
PFEIFFER	◐	○	○	◐	○	◐	◐	○	●	○	●	◐	◐
MARTINI	◐	○	○	●	○	◐	●	◐	●	◐	◐	◐	◐
GELDERMANN	◐	◐	◐	◐	○	◐	◐	◐	◐	●	◐	◐	◐
HALL	◐	◐	◐	◐	○	●	◐	◐	●	●	◐	○	●
BRANDENBURG	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	●	●	●	◐	◐	○
KRÖLL	●	◐	◐	◐	◐	●	◐	◐	●	●	◐	●	◐
RUMMEL	●	○	◐	◐	◐	●	●	◐	●	◐	○	◐	◐
SCHOLZ	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	●	●	◐	◐	○
LISBOA ET AL.	◐	○	○	◐	◐	◐	◐	◐	●	○	◐	◐	●
AL-ALAWI ET AL.	◐	●	◐	◐	◐	◐	◐	◐	●	●	○	◐	◐
MÜHLBAUER	●	◐	◐	○	●	◐	○	○	●	○	◐	◐	●
Ziel-Methodik	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Abb. 3-2: Qualitative Gegenüberstellung Anforderungen und bestehenden Bewertungsansätzen

Multikriterielle Entscheidungsmethoden

Grundsätzlich lassen sich in allen multikriteriellen Entscheidungsmethoden die dem *Objektbereich* unterliegenden Bewertungskriterien frei wählen und auf den objektbezogenen Untersuchungsbereich anpassen. Für den *Zielbereich* gilt, dass durch MKEM hauptsächlich Leistungsergebnisse oder Rankings bereitgestellt werden. Um die Bewertungsergebnisse für die Entwicklung zu nutzen, sollten dem

Entscheidungstragenden jedoch eine hohe Anzahl an Detailinformationen zur Verfügung gestellt werden. Die alleinige Darstellung einer abschließenden Reihenfolge oder die Angabe der besten Alternative kann diese Anforderung durch die starke Aggregation der zugrundeliegenden Bewertungsdaten nicht bedienen. Durch Zuhilfenahme und Einsatz von Darstellungsmodellen an geeigneten Stellen kann eine zu starke Vereinfachung der Bewertungskomplexität vermieden und die Transparenz im Entscheidungsprozess erhöht werden. Die größten Differenzen weisen MKEM im *Modellbereich* der einzelnen Methoden auf. Präferenzfunktionen sind im Unternehmenskontext so zu wählen, dass die Zielgrößen maximiert werden. Im Zuge des Vergleichs der MKEM gilt es, die Zusammensetzung der Präferenzfunktionen gegen die Anforderungen zu prüfen. Außerdem spielt die genutzte Datengrundlage in Form qualitativer und quantitativer Daten eine wesentliche Rolle, die über den möglichen Einsatz der Methoden entscheiden. Die detaillierte Analyse des *Modellbereichs* der MKEM *AHP*, *ANP*, *TOPSIS*, *PROMETHEE* und *ELECTRE*, die zur in Abb. 3-2 dargestellten Bewertung führt, ist Anhang 10.3 zu entnehmen.

Ansätze zur Technologiebewertung

Objektbereich

Den Portfolio-Ansätzen ist gemein, dass sie zur Strategiebildung und der Bewertung technologischer Implikationen in Unternehmen eingesetzt, im *Objektbereich* aber nicht auf konkrete Anwendungen bezogen werden. Am Beispiel von PFEIFFERS Portfolio-Ansatz zeigt sich, dass dieser vornehmlich dafür ausgelegt ist, den Konzepten zugrundeliegende Technologien im Kontext der Markt- und Unternehmenssicht zu bewerten. Die Methoden von SCHOLZ und GELDERMANN sind in ihrer Anwendung prozessual bei der Technologieselektion zu Beginn der Entwicklungsaktivitäten verortet, ohne eine anwendungsbezogene Bewertung von Konzepten zu adressieren. Marktrelevante Erfolgsfaktoren werden bei SCHOLZ durch eine umfassende Analyse der Einflussfaktoren und Zielgrößen über die fünf Ebenen berücksichtigt. GELDERMANN adressiert die Auswirkungen von Technologien auf gesellschaftliche, ökonomische und technische Bereiche mittels quantitativer Kennzahlen, regulatorische Rahmenbedingungen werden qualitativ analysiert. Die Methoden von MARTINI und HALL dienen der Bewertung von Produktions- und Verfahrenstechnologien, dennoch werden marktrelevante und technische Kriterien von vornherein in den Betrachtungsfokus gestellt. Es werden Zielgrößen wie die Befriedigung von Kundenanforderungen, ökonomische Kennzahlen sowie gesellschaftliche und ökologische Aspekte betrachtet. Ein Abgleich mit regulatorischen Rahmenbedingungen findet nicht statt. Auf Konzepte in der Produktentwicklung ausgelegt sind die Methoden von BRANDENBURG, KRÖLL und RUMMEL. BRANDENBURG konzentriert sich auf die Planung von Produktinnovation, deren Bestandteil die Bewertung der gesellschaftlichen,

regulatorischen und ökonomischen sowie technologischen und ökologischen Makrotrends als Grundlage für die Definition der Zielgrößen ist. KRÖLL bewertet Produktkonzepte auf Basis von Zielgrößen der technologischen sowie ökonomischen Bewertungsdimension. RUMMELS Bewertungsdimensionen zur Tauglichkeitsprüfung von Produktkonzepten umfassen technologische, fertigungsbezogene, wirtschaftliche sowie kundenbezogene Zielgrößen, welche einen Großteil des Objektbereichs abdecken. Die Methoden von LISBOA ET AL., AL-ALAWI ET AL. und MÜHLBAUER stehen jeweils in direktem Bezug zur Bewertung von HMI-Konzepten im Automobilbereich. Der multikriterielle Bewertungsansatz von LISBOA ET AL. unterliegt spezifischen Zielgrößen aus der ökonomischen, individuellen und technischen Ebene. AL-ALAWI ET AL. bewertet darüber hinaus Fahrzeugtechnologien auch anhand regulatorischer Zielgrößen. Das Vorgehensmodell von MÜHLBAUER ist speziell der HMI-Konzeptionierungsphase zuzuordnen und ist fokussiert auf Bewertungskriterien der individuellen Ebene.

Modellbereich

Die Methoden von PFEIFFER, MARTINI, LISBOA ET AL. und MÜHLBAUER sind darauf ausgelegt, schnelle Ergebnisse auf Basis qualitativer Daten zu generieren, was sich positiv auf den Anwendungsaufwand auswirkt. MARTINIS Bewertungsmodell berücksichtigt die Wirkbeziehungen der Kriterien zueinander sowie die Abhängigkeit der Bewertung zu den Unternehmenszielen. LISBOA ET AL. und MÜHLBAUER verzichten auf die Verknüpfung der Bewertungsalternativen zu strategischen Zielsetzungen, Subtechnologie- oder Geschäftsfeldstrategien. Indirekt lassen sich diese bei LISBOA ET AL. über die Gewichtung der Kriterien abbilden, die im Kontext des gewählten Bewertungsalgorithmus 'wähl- und erweiterbar' sind.

Die Modelle von HALL und KRÖLL legen den Fokus auf die stärkere Integration quantitativer und qualitativer Daten. Ermöglicht wird dies über Transformationsfunktionen und Normierungen. KRÖLL ermittelt die Gewichtungen der Kriterien durch einen paarweisen Vergleich. Die Wirkbeziehungen zwischen den Kriterien werden über ein *House of Technology* systematisiert. Im Gegensatz dazu findet eine Analyse der inhärenten Wirkbeziehungen bei HALL nicht statt. Der Abgleich mit unternehmensstrategischen Zielsetzungen erfolgt bei beiden Ansätzen nicht.

Die Ansätze von GELDERMANN, BRANDENBURG, RUMMEL, SCHOLZ und AL-ALAWI ET AL. unterliegen im Modellbereich erhöhtem methodischen Aufwand. GELDERMANN berechnet Stoff- und Energieströme von Technologien im Produktionsprozess und wertet diese mittels *PROMETHEE* Verfahren aus. Auch der Ansatz von AL-ALAWI ET AL. nutzt *PROMETHEE*, um sowohl qualitative als auch quantitative Daten zur Kriterienbewertung heranzuziehen. Aus unternehmensbezogener Sicht findet keine direkte Auseinandersetzung mit strategischen Fragestellungen statt. Die Wahl

der Zielgrößen lässt jedoch eine Betrachtung indirekter Einflussfaktoren auf die Positionierung im Wettbewerb zu. BRANDENBURG nutzt als Systematisierungsansatz der Bewertungskriterien die Vernetzung und ein multiattributives Modell mit normalisierten Mittelwerten. RUMMEL und SCHOLZ gehen explizit auf die strategische Bedeutung der Technologieentscheidungen ein. Zu Beginn der Bewertung werden die strategischen Entwicklungsziele bei RUMMEL anwendungsspezifisch formuliert und im weiteren Verlauf über qualitative Gewichtungsfaktoren aufgegriffen. SCHOLZ nutzt Potenzial- und Risikogrößen im Zusammenhang mit strategischen Zielen des Unternehmens. Zur Gewichtung und Aggregation der ermittelten Zielgrößen wird der *AHP* genutzt, wodurch Implikationen hauptsächlich durch qualitative Größen ausgedrückt werden. Quantitative Zielgrößen werden über eine Normierung berücksichtigt.

Zielbereich

Bei den Ansätzen von PFEIFFER, MARTINI, BRANDENBURG und SCHOLZ lassen sich im Zielbereich aufgrund der hohen Datenaggregation zur transparenten Ergebnisdarstellung durch Portfolios nur bedingt relevante Ergebnisse für die konkrete Konzeptentwicklung ableiten. KRÖLL stellt Handlungsempfehlungen anhand aggregierter Zielwerte zur Verfügung, die wenig transparent, dafür aber anwendungsorientiert sind. Ebenso aggregiert RUMMEL die Bewertungsergebnisse zu Reifegraden und stellt sie den zu erwartenden Entwicklungsaufwänden gegenüber. Grundsätzlich können so Entscheidungen zugunsten eines reifen und aufwandsarmen Konzeptes abgeleitet werden, entwicklungsbezogene Unterstützung kann jedoch nicht gewährleistet werden. Für diese wird auf durchzuführende Expertenworkshops verwiesen, die im Anschluss an die Einordnung stattfinden sollen. Bei MÜHLBAUER haben die Bewertungsergebnisse konkreten Anwendungsbezug mit dem Ziel, Verbesserungsmaßnahmen bereits innerhalb der Konzeptphase abzuleiten.

Die Methoden von GELDERMANN, HALL, LISBOA ET AL. und AL-ALAWI ET AL. stellen zwar die Ergebnisse transparent dar, geben jedoch keine entwicklungsunterstützenden Handlungsempfehlungen. GELDERMANN bewertet die Kennzahlen der Stoff- und Energieströme relativ zueinander, ohne sie dabei zu aggregieren und Informationen zu verlieren. Konzeptspezifische Maßnahmen lassen sich nur indirekt über das Verhältnis der Wirkungskategorien ableiten. HALL nutzt ein Technologiebild als Darstellungsform der Bewertungsergebnisse, auf dem sich die normierten Bewertungen einzelner Kriterien übersichtlich einsehen lassen. LISBOA ET AL. leiten aus dem direkten Vergleich einzelner, gewichteter Kriterienbewertungen eine Rangfolge für weiterführende Untersuchungen zur Entwickelbarkeit ab. Durch spezielle Darstellungsmodelle und Szenariotechnik als Instrument bietet der Ansatz von AL-ALAWI ET AL. eine hohe Transparenz der Bewertungsergebnisse.

3.3 Forschungsbedarf und Forschungsansatz

In der wissenschaftlichen Literatur existiert eine Vielzahl an Bewertungsansätzen und -modellen. Diese und ihre inhärenten Zielgrößen und Bewertungsalgorithmen sind stark auf den jeweiligen Objektbezug der Methode ausgerichtet. Dies bestätigt die Eigenschaften von Technologiebewertungsansätzen, die durch die Nutzung und Kombination pluralistischer Methoden den Objektbezug herstellen. Vor dem Hintergrund der aus den Forschungsfragen und der Eingrenzung des Untersuchungsbereichs resultierenden Anforderungen erfüllt keiner der betrachteten Ansätze diese hinreichend. Damit steht noch kein durchgängiges, zukunfts- und praxisorientiertes Bewertungsmodell von HMI-Konzepten für die frühe Phase zur Verfügung. Im *Objektbereich* wird nur ein begrenzter Ausschnitt des Untersuchungsbereichs in den oben dargestellten Ansätzen erfasst. Ihre Systemgrenzen sind in unternehmens-externer und -interner Perspektive zu eng definiert, sodass eine verknüpfende Betrachtung marktrelevanter Erfolgsfaktoren auf strategischer und operativer Planungsebene fehlt. Im *Modellbereich* liefern einige der vorliegenden Ansätze Bewertungsmodelle, für die im weiteren Verlauf der Arbeit zu prüfen bleibt, inwiefern sich Teilmodelle in Kombination mit neuen Modellen in eine Methodik zur Bewertung marktrelevanter Erfolgsfaktoren integrieren lassen. Im *Zielbereich* liefert keiner der betrachteten Ansätze eine Möglichkeit zur konstanten Überprüfung entwicklungs-spezifischer Zielgrößen bei gleichzeitig transparenter Darstellung der Defizite und Potenziale einer Technologie. Folglich gilt es, eine Methodik zu entwickeln, die eine Bewertung von HMI-Konzepten unter Berücksichtigung aller marktrelevanten Erfolgsfaktoren ermöglicht.

Dazu eignet sich die gleichzeitige Betrachtung der unternehmensexternen und -internen Perspektive mittels kundenbezogener Wertschöpfungsprozesse im Zuge des Strategiebildungsprozesses. Das von ECKSTEIN vorgestellte Fünf-Ebenen-Modell bietet eine Systematisierung, welche die Stör- und Stellgrößen bei der Strategiebildung im Rahmen neuer Technologien strukturiert und in die Unternehmenswelt einordnet. Es wird in dieser Arbeit genutzt, um aus Unternehmenssicht die eigenen Ressourcen (ressourcenorientiert) mit den externen Faktoren (marktorientiert) abzugleichen, die Unternehmensstrategie einzubeziehen und sich als Unternehmen technologisch zu positionieren. Die Strukturierung in die gesellschaftliche, regulatorische, ökonomische, individuelle und technische Ebene hilft, um eine umfängliche Betrachtung relevanter Bewertungsdimensionen zu gewährleisten.

Die *gesellschaftliche* Ebene hat direkten Einfluss auf den Absatz und den Lebenszyklus eines Produktes und ist deshalb von großer Bedeutung innerhalb des Strategiebildungsprozesses. Unternehmen haben keinen oder nur indirekten Einfluss auf die *regulatorische* Ebene. Es ist jedoch unerlässlich, dass Unternehmen die

Einflussfaktoren kennen und die Rahmenbedingungen einhalten, falls sie verbindlich sind. Weiterhin muss die Zulässigkeit technologischer Entwicklungen sorgfältig abgeschätzt und Annahmen müssen getroffen werden, falls aktuelle Gesetze zum anvisierten Verkaufszeitpunkt bereits veraltet sein sollten. Auf *ökonomischer* Ebene stehen die von den Unternehmen eingesetzten Geschäftsmodelle den von den Kundinnen und Kunden erwarteten Preisen gegenüber. Diese resultieren aus der Kaufbereitschaft für das angebotene Produkt auf *individueller* Ebene. Die Kaufbereitschaft ist das Ergebnis einer von Kundinnen und Kunden durchgeführten subjektiven Betrachtung, die den Wert eines Produktes ihrer individuellen Kaufkraft gegenüberstellt. Aus der Kaufbereitschaft können sich Einschränkungen in Bezug auf die Herstellungskosten ergeben, die Unternehmen bereits bei der Entwicklung berücksichtigen müssen. Für die individuelle Ebene sind einerseits die resultierenden subjektiven Nutzenanforderungen, andererseits die objektiv-technischen Freiheitsgrade der Produktgestaltung relevant. Das auf dieser Ebene gewonnene Wissen kann dann auf *technologischer* Ebene durch adäquate Technologien umgesetzt werden. Des Weiteren dient es als Ausgangspunkt für die Individualisierung von HMI-Konzepten unter Betrachtung psychologischer und physiologischer Prinzipien bei der Entwicklung. Für den Strategiebildungsprozess ist es erforderlich, innovative Technologien in Bezug auf die im Unternehmen vorliegenden produkt- und prozessspezifischen Kompetenzen zu untersuchen. Zur Ermittlung des technologischen Potenzials ist nicht nur der Abgleich der eigenen Kompetenzen mit den technologischen Anforderungen relevant, sondern auch das kontinuierliche Verfolgen der Verfügbarkeit innovativer Technologien.

Das Fünf-Ebenen-Modell nach ECKSTEIN bietet somit durch die Systematisierung und Synthese des markt- und ressourcenorientierten Ansatzes eine ganzheitliche Grundlage, marktrelevante Erfolgsfaktoren zu identifizieren. Im Rahmen der Bewertung neuer Technologien ist es notwendig, dieses Marktpotenzial in Hinblick auf Unternehmensführungsprozesse in operative Entscheidungen zu überführen. Der Grad der Individualisierbarkeit und Ganzheitlichkeit der zu entwickelnden Bewertungsmethodik ist sorgfältig gegenüber dem entstehenden Anwendungsaufwand abzuwägen. Die Bewertungskriterien müssen zu einem frühen Zeitpunkt unter Berücksichtigung von Unsicherheiten sowie zu einem späteren Zeitpunkt bei Betrachtung quantitativer Ausprägungen die Relevanz in Bezug zur strategischen Konformität sicherstellen. Das Vorgehensmodell ist so zu wählen, dass eine einfache und klare Struktur die Komplexität des Entscheidungsproblems reduziert und eine Anwendung schnell durchführbar ist. Die Teilergebnisse sind einer Gesamtentscheidung so zuzuführen, dass wesentliche Informationen transparent offengelegt werden und eine Indikation über das weitere Vorgehen als logische, konsekutive Implikation folgt.

4 Konzeption einer Methodik zur Bewertung marktrelevanter Erfolgsfaktoren

Der dargestellte bestehende Forschungsbedarf und der gewählte Forschungsansatz stellen die Grundlage dar, auf deren Basis in diesem Kapitel die Konzeption einer Methodik zur Bewertung marktrelevanter Erfolgsfaktoren von HMI-Konzepten erfolgt. Zur Erstellung einer Methodik ist es sinnvoll, das in Kapitel 2 beschriebene systemorientierte Denken in ein konkretes, praxisorientiertes Vorgehensmodell zu überführen. Als Hilfsmittel stellt die „System Engineering“-Philosophie vier Prinzipien als Grundlage zur Verfügung, die für die Entwicklung der Methodik adaptiert werden können.

Das *Prinzip der Phasengliederung* unterteilt eine Methodik in eine determinierte Sequenz definierter, logisch und zeitlich getrennter, in sich geschlossener Phasen. Daraus ergibt sich der Vorteil, dass bei erneuter Anwendung nicht alle Phasen wiederholt werden müssen. Es wird ein regelbasiertes Vorgehensmodell genutzt, welches die notwendigen Schritte zur Zielerreichung in einer detaillierten Ablaufstruktur darstellt. Um die Entwicklung des Vorgehensmodells zu strukturieren, bietet sich eine Dekomposition der einzelnen Schritte in eine Aufbaustruktur mit Teilmodulen an, die im Einzelnen zur Aufgabenerfüllung beitragen. Diese werden in Abb. 4-1 hinsichtlich ihrer ausführenden Funktion innerhalb der Methodik dargestellt.

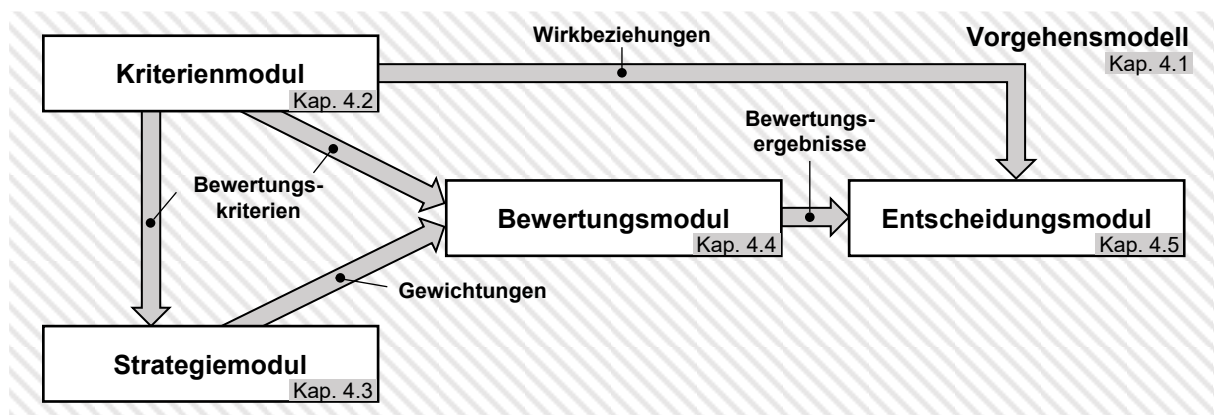


Abb. 4-1: Aufbaustruktur der Methodik mit ihren kennzeichnenden Teilmodulen

Das *Prinzip „vom Groben ins Detail“* stellt die Betrachtung aller wichtigen Aspekte sicher, bevor der Problem- und Lösungsraum durch eine schrittweise Konkretisierung zielgerichtet eingeengt werden kann. Gemäß diesem Prinzip wird zunächst das Kriterienmodul definiert, welches die marktrelevanten Erfolgsfaktoren auf Basis des gewählten Forschungsansatzes ganzheitlich systematisiert und konsolidiert. Als Ergebnis wird ein Kriterienbaum generiert, der als Eingabe für das Strategiemodul und das Bewertungsmodul dient. Die inhärenten Wirkbeziehungen der Kriterien dienen im weiteren Verlauf als Eingabe für das Entscheidungsmodul.

Das *Prinzip der Variantenbildung* unterliegt der Prämisse, dass einem Problem eine Vielzahl alternativer Lösungen gegenübergestellt werden können. Demzufolge unternimmt das Strategiemodul eine Typologisierung innerhalb der Methodik, um vor dem Hintergrund verschiedener Wettbewerbsstrategien von Unternehmen unterschiedliche, typenabhängige Handlungsempfehlungen abzuleiten. Als Eingabe dienen die im Kriterienmodul definierten Kriterien, die vor dem Hintergrund der unternehmenseigenen Strategie individuell gewichtet werden können. Die resultierende Gewichtung dient als Eingabe für das Bewertungsmodul. Weiter können unterschiedliche Substrategien, wie spezifische Technologiestrategien, über dieses Modul getestet werden.

Das *Prinzip des Problemlöseprozesses* gliedert sich in die Phasen der Zielkonkretisierung, Lösungssuche und Auswahl. Die Zielkonkretisierung und Lösungssuche finden im Bewertungsmodul statt. Zunächst werden die Ausprägungen der Kriterien des Kriterienbaums ermittelt. Anschließend wird das Ergebnis mit dem Output des Strategiemoduls (Gewichtungen der Kriterien) der Entscheidungsregel zugeführt. Die letzte Phase des Problemlöseprozesses unterliegt dem Entscheidungsmodul, in dem eine Auswahl der verschiedenen Handlungsalternativen durch die transparente Darstellung der Ergebnisse getroffen werden kann.

In den folgenden Kapiteln werden zunächst das Vorgehensmodell und anschließend die Teilmodule der Aufbaustruktur erstellt und beschrieben.

4.1 Vorgehensmodell

Das Vorgehensmodell beschreibt die sequenziell oder parallel zu durchlaufenden Schritte, die zur Bewertung eines HMI-Konzeptes notwendig sind. Über den Entwicklungsprozess besitzt ein Konzept unterschiedliche Reifegrade. Nach Erstellung von Konzeptideen, bspw. auf Basis von Lastenheften und Anforderungslisten, werden zunächst Grobkonzepte entwickelt. Im weiteren Verlauf der Entwicklung wird das Grobkonzept in ein Feinkonzept überführt, um anschließend als funktionaler Prototyp in Vorserien- und Serienfahrzeugen erprobt zu werden. Als Grobkonzept können bereits eine 2D-Zeichnung, ein grobes 3D-Modell oder ein *Wireframe* (schematische Darstellung) dienen. Es kennzeichnet sich durch eine rudimentäre Umsetzung einer theoretischen Konzeptidee mit einem sehr geringen Detaillierungsgrad auf Basis weniger Daten. Bei der Überführung in ein Feinkonzept wird das Grobkonzept weiter detailliert, um die generelle Machbarkeit und Umsetzbarkeit eines Produktes vor Beginn der detaillierten Entwicklung zu prüfen. Feinkonzepte sind technisch umgesetzt, z. B. durch 3D-Modelle, Sitzkisten oder funktionale Prototypen. Auf Basis von Feinkonzepten wird zum Konzeptentscheid die Auswahl für die Serienentwicklung getroffen.

Für das Vorgehensmodell leitet sich die strukturelle Anforderung ab, über die stufenweise detaillierteren Reifegrade der Konzepte anwendbar zu sein sowohl auf Basis von Konzeptideen, Grobkonzepten als auch Feinkonzepten. Folglich ist ein strukturierter Prozess sinnvoll, der an die Umfeldbedingungen geknüpft ist. In Anlehnung an die in der VDI-Richtlinie 3780 angeführten Phasen zur Technologiebewertung gliedert sich das Vorgehensmodell in die Phasen Initialisierung, Vorbereitung, Durchführung und Analyse (s. Abb. 4-2) [VDI00]. Dadurch wird eine einfache und schnelle Anwendung bei Betrachtung unterschiedlicher Konzepte, verschiedener Detailtiefen in Abhängigkeit vom Entwicklungszeitpunkt sowie sich ändernder Umfeldbedingungen wie Technologiestrategien sichergestellt.

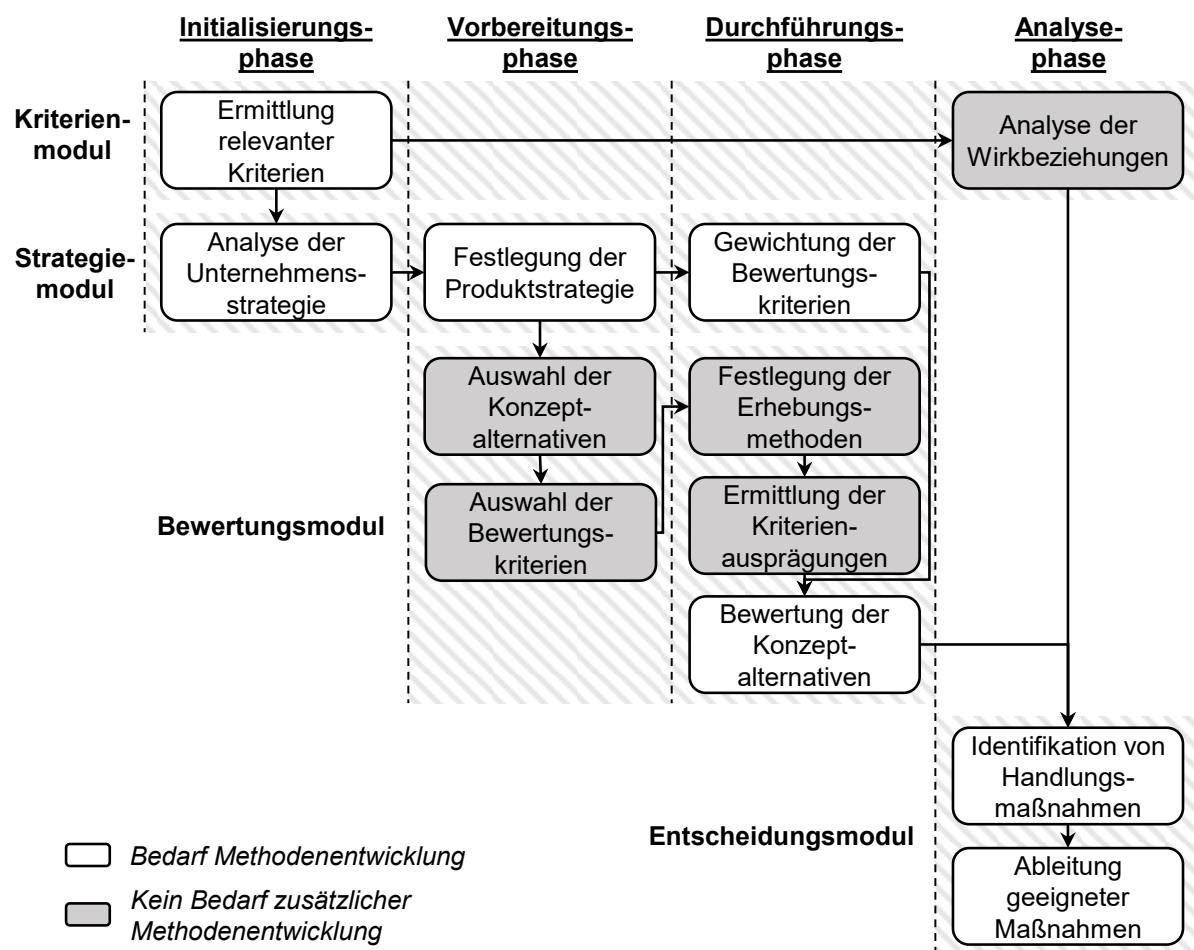


Abb. 4-2: Grundlegendes Vorgehensmodell der Methodik

4.1.1 Initialisierungsphase

Die Initialisierungsphase strukturiert und definiert den Kontext und die Ausgangssituation des Unternehmens sowie das Entscheidungsfeld. Grundlegende Einstellungen werden getroffen, die zur Konzeptbewertung notwendig sind. Die Abgrenzung der Initialisierungsphase zu den anderen Phasen bringt den Vorteil, dass

bei späterer erneuter Anwendung die grundlegenden Einstellungen übernommen werden können und somit die Initialisierungsphase nicht mehr zu durchlaufen ist.

Die Initialisierungsphase umfasst den Schritt der Ermittlung aller für den Untersuchungsgegenstand relevanten Bewertungskriterien wie auch den Schritt der Strategieanalyse des Unternehmens.

Kriterienmodul

Die Ermittlung der für den Untersuchungsgegenstand relevanten Bewertungskriterien dient der grundlegend umfassenden Betrachtung aller marktrelevanten Erfolgsfaktoren. Dafür wird mit Hilfe wissenschaftlicher Literatur und fachlichem Expertenwissen ein systematischer Kriterienbaum erstellt, der die für eine Technologiebewertung relevanten fünf Ebenen des gewählten Forschungsansatzes abdeckt. Das Ziel der übergeordneten Ermittlung von Kriterien besteht darin, den Aufwand zu minimieren, der bei einer erneuten Anwendung der Methode anfällt, bspw. zu einem späteren Entwicklungszeitpunkt oder bei Änderungen im Funktionsumfang. Während der Initialisierungsphase liegt es im Ermessen der Entscheidungstragenden, zusätzlich zu den ermittelten Kriterien auch individuelle Kriterien hinzuzufügen, die im Hinblick auf die aktuelle strategische Situation des Unternehmens und das Bewertungsobjekt relevant sind.

Strategiemodul

Die Strategieanalyse dient der Einordnung des Unternehmens in den Wettbewerbskontext. In Bezug auf Unternehmen der Automobilindustrie soll ein umfassendes Bild zu den Unternehmenszielen, Leistungsangeboten, Konzern- und Markenstrategien, Produktionsstrategien, Vertriebswegen, der Wettbewerbsposition und zu dem Umgang mit unternehmensinternen und -externen Herausforderungen aufgezeigt werden. Der Betrachtungshorizont liegt auf der langfristigen Ausrichtung des Unternehmens, sodass über den Entwicklungszeitraum eines HMI-Konzepts nicht mit einer Veränderung der Unternehmensstrategie zu rechnen ist, vorbehaltlich unvorhergesehener Unternehmens- oder Wirtschaftsentwicklungen. Dies erlaubt die marktbezogene Priorisierung (*Top-Down*) bestimmter Technologiemerkmale, welche die Operationalisierung der Unternehmensziele im Produkt widerspiegeln.

4.1.2 Vorbereitungsphase

In der Vorbereitungsphase werden der Untersuchungsgegenstand und die betrachteten Bewertungskriterien vor dem Hintergrund der Produktstrategie festgelegt. Das Ziel dieser Phase ist die Adaption der Bewertung auf den Anwendungskontext wie auch die Eingrenzung des Bewertungsbereichs und -umfangs. Bei erneuter

Anwendung im weiteren Verlauf der Entwicklung können der Betrachtungsbereich vergrößert und die Produktstrategie angepasst werden. Die Abgrenzung der Vorbereitungsphase zu den weiteren Phasen hat den Vorteil, dass die Effektivität und die Effizienz der Bewertung gesteigert werden können.

Die Vorbereitungsphase umfasst die Schritte der Festlegung der Produktstrategie, der Auswahl der Konzeptalternativen und die Auswahl der Bewertungskriterien aus dem in der Initialisierungsphase festgelegten Kriterienbaum.

Strategiemodul

Die Festlegung der Produktstrategie ermöglicht eine Bewertung des Einsatzpotenzials und der Konformität des HMI-Konzeptes zu den strategischen Zielen des Unternehmens. Das Produkt ist die Plattform bzw. das Fahrzeug, in dem das HMI-Konzept potenziell zum Einsatz kommt. Die Produktstrategie stellt die operationalisierte Umsetzung der Unternehmensstrategie dar und leitet sich direkt aus dieser ab. Durch die Analyse des Fahrzeugkonzepts, der modellinternen Technologiestrategie und der technischen Zielkorridore soll analog zur Unternehmensstrategie in der Initialisierungsphase ein umfassendes Bild über das betreffende Fahrzeugmodell erstellt werden. Dies gibt Aufschluss über die technologischen Freiheitsgrade der Umsetzung und ergänzt die Priorisierung der Technologiemerkmale hinsichtlich der Fokussierung geplanter Unternehmensressourcen (*Bottom-Up*) auf relevante Erfolgskriterien.

Bewertungsmodul

Bei der Auswahl der Konzeptalternativen werden die zu bewertenden HMI-Konzepte herangezogen, die für einen Einsatz im späteren Serienprodukt in Frage kommen. Um die Eignung eines Konzeptes unabhängig von anderen zur Auswahl stehenden Konzepten bewerten zu können, wird eine Nicht-Umsetzung des Konzeptes und somit der Rückfall auf ein Vorgängerkonzept als „Base-Line“ betrachtet. Der Vergleich kann genutzt werden, um den potenziellen relativen Wert des neuen Konzepts zu ermitteln, obwohl das Konzept die Base-Line in der Regel nur selten durch eine mögliche Änderung des Funktionsfeldes vollständig ersetzt. Stehen mehrere Konzepte zur Auswahl, gilt es, diese möglichst umfassend zu beschreiben, um eine äquivalente Bewertungsbasis zur Verfügung zu stellen.

Die Auswahl der Bewertungskriterien aus dem Kriterienbaum ermöglicht die gezielte Bewertung der zum aktuellen Entwicklungsfortschritt relevanten Kriterien. Aus der Menge der Kriterien werden dadurch diejenigen ausgeschlossen, die aufgrund von Funktion und Konzeption am Untersuchungsgegenstand nicht bewertet werden können. Des Weiteren werden die Kriterien ausgeschlossen, die aufgrund des

Funktions- und Konzeptreifegrades noch nicht vollständig bewertbar sind und deren Ausprägungsmöglichkeiten noch nicht festgelegt werden können. Zuletzt werden die Kriterien ausgeschlossen, deren Bewertungsaufwand zum aktuellen Entwicklungszustand des Bewertungsobjekts nicht im Verhältnis zum erwarteten Nutzen für die Bewertung steht. Je fortgeschrittener die Entwicklung des HMI-Konzepts ist, umso größer wird die Anzahl der bewertbaren Kriterien sein, um dieses möglichst vollumfänglich zu bewerten.

4.1.3 Durchführungsphase

Die Durchführungsphase dient der Spezifizierung des angestrebten Bewertungsergebnisses. Ziel ist die Bewertung der Konzeptalternativen vor dem Hintergrund des Bewertungsziels, der ausgewählten Bewertungskriterien und der verfolgten Unternehmens- und Produktstrategie. Das Ergebnis der Durchführungsphase ist die zusammengeführte Bewertung der Konzeptalternativen, welche vergleichbar hinsichtlich Zielerfüllungsgrad und Verbesserungspotenzial analysiert werden kann. Die Abgrenzung der Durchführungsphase zu den weiteren Phasen birgt den Vorteil gleichbleibend sequenzieller Schritte, deren Ergebnisse bei erneuter Durchführung teilweise übernommen werden können. Dadurch minimiert sich der Durchführungsaufwand. Entsprechend wird den Entscheidungstragenden ermöglicht, zu beliebig vielen Zeitpunkten in der Entwicklung eine Konzeptbewertung bei gleichzeitig geringem Aufwand durchzuführen.

Die Durchführungsphase gliedert sich in die Schritte der strategischen Gewichtung der einzelnen Bewertungskriterien, die Festlegung der Erhebungsmethoden für die Bewertungskriterien, die anschließende Ausprägungsermittlung der Bewertungskriterien und die Bewertung der Konzeptalternativen mittels Bewertungsinstrument.

Strategiemodul

Die strategische Gewichtung der Bewertungskriterien erfolgt anhand der Priorisierung der Unternehmens- und Produktstrategie. Die ausgewählten Kriterien werden in einem paarweisen Vergleich gegenübergestellt, um ihre individuelle Wichtigkeit für die Bewertung zu ermitteln. Die abgeleitete Priorisierung der Technologiemerkmale dient als Grundlage für nachvollziehbare Einzelentscheidungen, welches Bewertungskriterium höher zu gewichten ist als ein anderes. Die dadurch ermittelten Gewichtungen der Bewertungskriterien dienen als direkte Eingabe für das Bewertungsinstrument.

Bewertungsmodul

Für die ausgewählten Kriterien des Kriterienbaums existieren individuell unterschiedliche Bewertungsverfahren auf qualitativer und quantitativer Basis. Je nach Entwicklungsfortschritt müssen Bewertungskriterien qualitativ abgeschätzt werden, oder sie sind bereits quantifizierbar. Entsprechend müssen zum Zeitpunkt der Durchführungsphase die Erhebungsmethoden der einzelnen Kriterien festgelegt werden. Die gewählte Erhebungsmethode hat erheblichen Einfluss auf den Aufwand der durchzuführenden Bewertung, wie am Beispiel einer groß angelegten Nutzerbefragung im Vergleich zu einer kleineren Expertenbefragung deutlich wird. Folglich ist auch ein Zusammenhang mit der gewünschten Genauigkeit der Konzeptbewertung gegeben, die unter Anbetracht des Bewertungsaufwands bei der Wahl der Erhebungsmethode zu berücksichtigen ist.

Die Ausprägungsermittlung der Bewertungskriterien erfolgt in der Durchführung der festgelegten Erhebungsmethoden individuell für alle betrachteten Konzeptalternativen. Je nach Erhebungsmethode werden darunter u.a. die Durchführung von Fallstudien (bspw. umfassende Analysen), Experten- oder Nutzerstudien (bspw. Befragungen, Interviews, Beobachtungen), Experimente und Simulationen (bspw. Finite-Elemente-Methode) gefasst. Die einzelnen Kriterienausprägungen werden im Anschluss zusammengeführt und dem Bewertungsinstrument zugeführt.

Die Bewertung der Konzeptalternativen erfolgt durch den Einsatz des Bewertungsinstruments, welches mathematische Entscheidungsregeln beinhaltet. Dazu werden die Ausprägungen der Bewertungskriterien zunächst skaliert und normiert, um sie anschließend dem Entscheidungsalgorithmus einheitlich und vergleichbar zuzuführen. Das Bewertungsinstrument berücksichtigt neben den Kriterienausprägungen die in der Vorbereitungsphase definierte Produktstrategie als Eingabe zur vergleichenden Bewertung der Konzeptalternativen vor dem Hintergrund der unternehmerischen Rahmenbedingungen. Ausgabe des Bewertungsinstruments ist ein Fit vom Produktkonzept zur Unternehmensstrategie, der über die Gegenüberstellung der Ist-Erfüllungsgrade der Kriterien zu den Soll-Erfüllungsgraden ermittelt wird. Das Ergebnis wird anschließend in Form von Netzdiagrammen zur Unterstützung der Entscheidungstragenden bei der Überprüfung der Bewertungsergebnisse auf Zielkonflikte und Verbesserungsbedarf in der anschließenden Analysephase visualisiert.

4.1.4 Analysephase

Die abschließende Analysephase der Bewertung dient der näheren Auseinandersetzung mit dem Bewertungsergebnis und der Ableitung von entwicklungssteuernden Maßnahmen. Die explizite Abgrenzung der Analysephase

von der Bewertungsphase ist deshalb wichtig, weil keine Aggregation der Bewertungsergebnisse im Rahmen der eingesetzten Entscheidungsregel vorgenommen wird. Wie in den Anforderungen an die Bewertungsmethodik hergeleitet, bietet eine Aggregation den Vorteil des einfachen und schnellen Vergleichs mehrerer Alternativkonzepte, birgt aber den Nachteil des Informationsverlustes von Teilergebnissen. Entsprechend ist die Auseinandersetzung mit den kriterienindividuellen Stärken und Schwächen der betrachteten Konzeptalternativen maßgebend, um eine hohe Genauigkeit und Transparenz bei der Maßnahmenableitung zu gewährleisten. Ziel der Analysephase ist folglich, für jedes Kriterium einzeln zu prüfen, ob es den Fahrzeuganforderungen entspricht, nachentwickelt werden soll oder für den Einsatz in einem anderen Fahrzeugmodell geeignet wäre. Das Analyseergebnis ermöglicht die Einsatzplanung künftiger Entwicklungsressourcen wie bspw. Zeit, Kosten, Infrastruktur oder Anzahl der Mitarbeitenden durch die Priorisierung der abgeleiteten Maßnahmen.

Entscheidungsmodul

Die Ableitung der Handlungsempfehlungen wird anhand dreier qualitativer Bereiche vorgenommen, welche den Entscheidenden beim Umgang mit dem Bewertungsergebnis hinsichtlich der Offenlegung von Weiterentwicklungsbedarfen unterstützen sollen. Die drei qualitativen Erfüllungsgrade eines Bewertungskriteriums gliedern sich in Konformität, Unterqualifikation und Kritikalität. Ist ein Bewertungskriterium ergebniskonform, entspricht es dem strategischen Profil des Unternehmens. Bei Unterqualifikation oder Kritikalität eines Bewertungskriteriums ist der Fit des Konzepts zur Unternehmensstrategie unzulänglich. In diesen Fällen sind Konzeptanpassungen einzuleiten, durch die ein Fit zur Strategie hergestellt werden kann.

Nach Umsetzung der identifizierten Handlungsmaßnahmen sind weitere Bewertungen durchzuführen, um das Greifen der Maßnahmen zu überprüfen, ggf. zu adjustieren und Wechselwirkungen zwischen den Maßnahmen und nicht intendierten Kriterienausprägungen zu erfassen.

4.1.5 Akteure

Für die effektive Durchführung der Bewertung von HMI-Konzepten sind je nach Organisationsstruktur des Unternehmens unterschiedliche Rollen und Akteure notwendig. Die vier wichtigsten Rollen sind verantwortliche Entwicklerinnen und Entwickler (VE), realisierungsverantwortliche Entwicklerinnen und Entwickler (ReVE), Management und Expertinnen, Experten sowie Probanden.

Die Auflistung der Verantwortlichkeiten ist Abb. 4-3 zu entnehmen.

Phase	Schritt	Hauptverantwortung
Initialisierungsphase	Ermittlung der relevanten Bewertungskriterien	ReVE
	Analyse der Unternehmensstrategie	VE
Vorbereitungsphase	Festlegung der Fahrzeugmodellstrategie	Management
Durchführungsphase	Gewichtung der Bewertungskriterien	VE und ReVE zusammen mit dem Management
	Bewertung der Konzeptalternativen	Expertinnen, Experten sowie Probanden
Analysephase	Identifikation von Handlungsbedarfen und Maßnahmen	ReVE
	Entscheidung geeigneter Maßnahmen	Management

Abb. 4-3: Verantwortliche Akteure im jeweiligen Teilschritt der Methodik

Die *verantwortlichen Entwicklerinnen und Entwickler (VE)* sind fahrzeugprojektübergreifend für HMI-Konzepte zuständig. Sie definieren die Konzeptanforderungen, treiben Innovationen voran und geben die korrekte Umsetzung eines Konzepts frei. Sie stellen die Kohärenz des Konzepts mit den unternehmensstrategischen Zielen sicher. Außerdem fungieren sie als Schnittstelle zum realisierungsverantwortlichen Entwicklungsteam und zu weiteren involvierten Stakeholdern wie Nutzende und dem Management.

Die *realisierungsverantwortlichen Entwicklerinnen und Entwickler (ReVE)* sind für die Umsetzung der HMI-Konzepte in einem Fahrzeugprojekt zuständig. Sie verantworten die Spezifikation der Anforderungen (z.B. in Form eines Lastenheftes) und bestätigen die Kundentauglichkeit des HMI-Konzepts. Sie entscheiden, zu welchem Zeitpunkt in Abhängigkeit vom eingesetzten Entwicklungsprozess eine Bewertung notwendig oder auf Basis des geplanten Bewertungsaufwands und des Bewertungsnutzens vertretbar ist. Sie sind verantwortlich für den ordnungsgemäßen Durchlauf der vier Bewertungsphasen und jeweils in der Verantwortung, die notwendigen Eingangsinformationen zur Verfügung zu stellen. Sie sind angehalten, an geeigneten Stellen jeder Phase weitere Mitarbeitende, ggf. mit Fachexpertise des jeweiligen Gebiets, hinzuzuziehen und die notwendigen Schritte in Absprache durchzuführen.

Das *Management* bietet über die Operationalisierung der mittel- bis langfristigen Strategie einen wichtigen Rahmen für die Technologiebewertung. Es ist verantwortlich für die Fahrzeugmodellstrategie. Das Management stellt auf unterschiedlichen Ebenen die Entscheidungstragenden, die im Rahmen der Projektleitung das Bewertungsinstrument nutzen. Managementgremien mit Vertretern der unterschiedlichen Bereiche können dann auf Basis der vorliegenden Bewertung über einzuleitende Entwicklungsmaßnahmen entscheiden.

Die *Expertinnen und Experten* sind ein Kreis projektunabhängiger Personen, die über ein hohes inhaltliches Fachwissen in Bezug auf das Entwicklungsobjekt und die fünf zu bewertenden Ebenen verfügen. Sie sind die Bewertenden, die Bewertungen durch neutrale Einschätzungen und Prognosen zu Bewertungskriterien abgeben, die in der frühen Phase der Entwicklung nicht quantitativ erfassbar sind.

Die *Nutzenden* spiegeln potenzielle Kundinnen und Kunden wider und sind besonders im Verlauf der Entwicklung für die Evaluation des Konzepts hinzuzuziehen. Sie können bspw. eine ausgewählte Gruppe trendführender Nutzerinnen und Nutzer sein, die für die Bewertung innovativer Umfänge möglicherweise bereits früh wichtige Informationen zum potenziellen Produkterfolg liefern, oder eine größere, diversifizierte Gruppe von Nutzenden, die in ihren Eigenschaften einen Großteil der Kundinnen und Kunden des Produkts repräsentieren.

4.2 Kriterienmodul

Das Kriterienmodul stellt die grundlegenden Kriterien sowie die den Kriterien zugrundeliegenden Erhebungsmethoden und -werkzeuge für die weitere Bewertung von HMI-Konzepten bereit. Die Entwicklung des Kriterienmoduls kann in zwei wesentliche Schritte unterteilt werden: zunächst die Identifikation und Konsolidierung der relevanten Bewertungskriterien und im Anschluss die Analyse der inhärenten Wirkbeziehungen zwischen den Kriterien.

4.2.1 Identifikation und Konsolidierung der Bewertungskriterien

Die Bewertung von innovativen Produktkonzepten wurde wissenschaftlich bereits intensiv untersucht (s. Kapitel 2 und 3). In diversen Bewertungs- und Beurteilungsmethoden von Produktkonzepten wird eine Vielzahl unterschiedlicher Kriterien herangezogen, um diese in Bezug auf bestimmte Merkmale zu bewerten. Entsprechend ist nicht die Entwicklung von Bewertungskriterien für diese Arbeit relevant, sondern die Identifikation und Synthese bereits existierender Bewertungskriterien auf Basis des Fünf-Ebenen-Modells.

Die Identifikation relevanter Bewertungskriterien erfolgt auf Grundlage einer systematischen Literaturrecherche nach den Leitlinien von PRIMSA und KITCHENHAM. [PAG21], [KIT07]. Diese folgen einer festgelegten Struktur in fünf Schritten und sind dadurch transparent und reproduzierbar (s. Abb. 4-4). Die Durchführung der Schritte 1 bis 4 der Recherche wird in Anhang 10.4 ausgeführt.

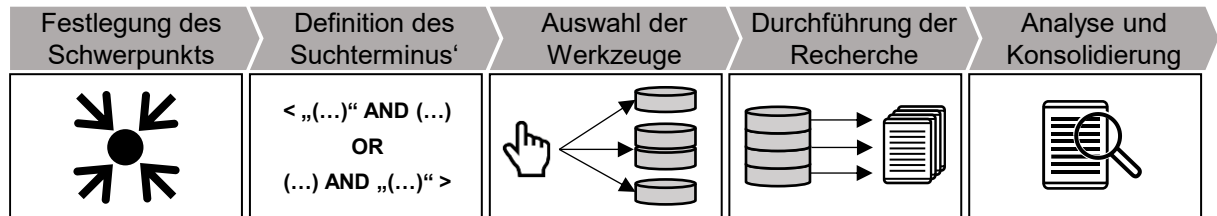


Abb. 4-4: Identifikation der Bewertungskriterien mittels systematischer Literaturrecherche nach [VOM09]

Das Ergebnis von Schritt 4 (Durchführung der Recherche) ist eine initiale Literaturbasis von 1317 Quellen. Dem systematischen Analyseprozess folgend können 125 potenziell relevante Publikationen auf Basis des Titels und der Kurzzusammenfassung identifiziert werden, von denen nach einer Volltextanalyse 50 Publikationen verbleiben und zur weiteren tiefgreifenden Analyse herangezogen werden. Der Anteil von Publikationen, die aus dem Stand der Technik der detaillierten Analyse von Bewertungskriterien hinzugefügt werden, entspricht 39 als relevant eingestuft Publikationen. Der genaue Analyseprozess kann der Abb. 4-5 entnommen werden.

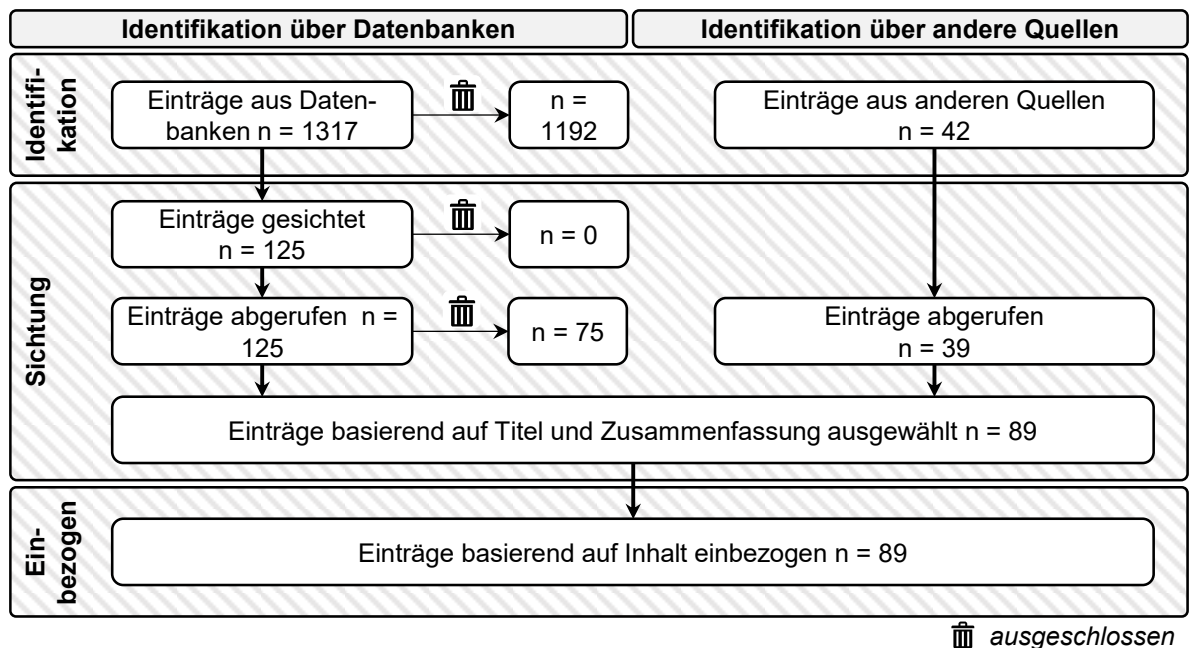


Abb. 4-5: Ergebnisse des Analyseprozess der systematischen Literaturrecherche

Analyse und Konsolidierung der Rechercheergebnisse

In der detaillierten Analyse der relevanten Publikationen werden deren Ergebnisse synthetisiert und konsolidiert (Schritt 5). Die identifizierten Bewertungskriterien können in unterschiedlicher Form oder Benennung vorliegen. Eine Mehrfachberücksichtigung von Kriterien ist aus Gründen der Redundanz zu vermeiden, deshalb gilt es, inhaltlich gleiche oder synonyme Kriterien zu vereinheitlichen und ggf. unter Kategorien zusammenzuführen. Durch die Strukturierung im Fünf-Ebenen-Modell wird auf der einen Seite die Komplexität der Vielzahl an Bewertungskriterien reduziert, auf der anderen Seite eine weiterhin ganzheitliche Erfassung der relevanten Kriterien sichergestellt. Außerdem wird dem mit einer Komplexitätsreduktion und Aggregation einhergehenden Informationsverlust entgegengewirkt. Bei der Konsolidierung der Bewertungskriterien liegt diese Abwägung zwischen Komplexitätsreduktion und Informationsverlust beim Anwendenden.

Im Folgenden werden die identifizierten Bewertungskriterien für HMI-Konzepte konsolidiert, beschrieben und Möglichkeiten zur Erhebung vorgestellt. Die Konsolidierung erfolgt durch Schlagworte, die sich aus der Beschreibung des Fünf-Ebenen-Modells ergeben (s. Abb. 4-6).

Ebene	Schlagworte
Gesellschaftliche Ebene	<i>culture, acceptance, customer subjective opinion, customer attitude with the product, education, demography, gross domestic product (GDP), per capita income (PCI)</i>
Regulatorische Ebene	<i>law, regulation, directive, guideline, recommendation, compliance</i>
Ökonomische Ebene	<i>costs, expenses, fees, finance, economy, goodwill, warranty</i>
Individuelle Ebene	<i>acceptance, ergonomics, human factors, usability, accessibility, mental workload, performance, safety of interaction</i>
Technische Ebene	<i>recyclability, technology maturity, package, durability, quality, technology flexibility, safety</i>

Abb. 4-6: Konsolidierung durch Schlüsselwörter anhand des Fünf-Ebenen-Modells

Eine detaillierte Auflistung einbezogener Publikationen und deren Konsolidierung zu Bewertungskriterien der entsprechenden Ebenen findet sich in Anhang 10.5.

4.2.1.1 Gesellschaftliche Ebene

K1.1: Gesellschaftliche Akzeptanz

Die gesellschaftliche Akzeptanz einer Technologie beschreibt die allgemeine Zustimmung, Unterstützung oder Ablehnung des Einsatzes einer Technologie, welche von sozialen, kulturellen und ethischen Faktoren beeinflusst wird. Abhängig von sozialen Einflüssen (bspw. von vorherrschenden Meinungen, sozialen Normen oder Erwartungen) werden der in der Gesellschaft wahrgenommene Nutzen (Mehrwert), das inhärente Risiko (negative Auswirkungen) sowie das Vertrauen in die Technologie (u.a. Integrität und Transparenz) bewertet.

Erhoben wird die gesellschaftliche Akzeptanz bspw. empirisch durch Umfragen (u.a. Lead-User-Befragung, Fokusgruppen), Publikationsanalysen, Stakeholderanalysen oder Netzwerkanalysen. Es können auch dedizierte Werkzeuge wie bspw. das CAR TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODEL von [OSS12] eingesetzt werden.

K1.2: Interkulturelle Robustheit

Kultur beeinflusst das Verhalten von Individuen durch Vermittlung von Identitätsgefühl sowie Akzeptieren von Ansichten und Verhaltensweisen. Interkulturelle Robustheit beschreibt die Notwendigkeit, unterschiedliche Bedeutungen von Symbolen, Farben, Präferenzen und Interaktionslogiken für verschiedene kulturelle Gruppen bei der Entwicklung neuer Produkte gleichermaßen zu berücksichtigen. Durch das Verständnis von kulturellen Merkmalen lässt sich die Erfüllung von Kundenbedürfnissen regionaler Märkte ermitteln und bewerten.

Interkulturelle Robustheit lässt sich durch das Hofstede-Modell [HOF11] zur Untersuchung kultureller Gruppen spezifischer Märkte prüfen.

K1.3: Inklusivität

Inklusivität beschreibt die gesellschaftliche Teilhabe und Gleichstellung der Nutzenden, die durch ein System ermöglicht wird. Die Bedürfnisse und Anforderungen unterschiedlicher Nutzergruppen, einschließlich Menschen mit Beeinträchtigungen (bspw. Hör- oder Sehbeeinträchtigungen), älterer Menschen und marginalisierter Bevölkerungsgruppen sind bei der Entwicklung zu berücksichtigen, um einen Ausschluss oder eine Ausgrenzung bestimmter Personen oder Personengruppen zu vermeiden.

Die Inklusivität eines Konzeptes kann bspw. durch den Exclusion Calculator nach [WAL07] (Inclusive Design Toolkit) analysiert werden.

K1.4: Umweltauswirkungen

Die mit einem Unternehmen einhergehenden Umweltauswirkungen bezeichnen den Ressourcenverzehr sowohl bei der Herstellung als auch bei der Nutzung und Entsorgung eines Gutes. Zur Bewertung können verschiedene Indikatoren herangezogen werden. Darunter zählen der Energieverbrauch, die Emission von Schadstoffen, der Wasserverbrauch und die entstandene Abfallmenge in allen Prozessschritten. Die Nutzung nachhaltiger Materialien und Produktionsverfahren ist vor dem Hintergrund regulatorischer Rahmenbedingungen positiv und hat entsprechenden Einfluss auf das Unternehmensimage.

Die Umweltauswirkungen können z. B. durch Lebenszyklusanalysen (LCA) nach DIN ISO 14040:2006 [ISO06] quantifiziert und berechnet werden.

4.2.1.2 Regulatorische Ebene

K2.1: Konformität mit nationalen Gesetzen

Nationale Gesetze sind länderspezifische Vorschriften zur lokalen Regulierung von Fahrzeugzulassungsverfahren, Fahrzeugstandards und Verkehrssicherheit. Während internationale Richtlinien in nationale Gesetze überführt werden, können auf nationaler Ebene zusätzliche Vorschriften des einzelnen Marktes gelten, die vom Automobilhersteller zu beachten sind. Auf dem amerikanischen Fahrzeugmarkt ist der lokale *Federal Motor Vehicle Safety Standard* (FMVSS) zu berücksichtigen. Eine weitere nationale Richtlinie sind NHTSA-Guidelines von der *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA), die u.a. gesetzliche Bestimmungen für Interaktionssysteme darstellen. In Deutschland ist die *Straßenverkehrszulassungsordnung* (StVZO) neben der *Straßenverkehrsordnung* (StVO) und EG-Typen-genehmigungsverordnung relevant. Im chinesischen Markt gilt die obligatorische Zertifizierung bestimmter Fahrzeugsysteme durch die *China Compulsory Certification* (CCC).

K2.2: Konformität mit internationalen Richtlinien

Internationale Richtlinien sind übergeordnete Vorschriften zur Fahrzeugzulassung, welche zur gemeinschaftlich harmonisierten Zugrundelegung eines Mindeststandards für Fahrzeuge in Bezug auf Sicherheit und Rechtmäßigkeit definiert wurden. Für die Entwicklung von Fahrzeugen und HMI-Konzepten ist die Einhaltung dieser Richtlinien abhängig vom Markteinführungs- und Verkaufsstandort unerlässlich. Die UNECE Richtlinien regulieren Fahrzeugsicherheit und Emissionsstandards, sind international anerkannt und werden in den meisten Ländern der Welt angewendet. Für HMI-Konzepte sind u.a. folgende UNECE Regelungen relevant, deren Einhaltung bei der

Entwicklung überprüft werden muss: R12, R17, R21, R25, R39, R79, R91, R94, R114, R121, R125, R133, R137, R156. Weitere für die Fahrzeugentwicklung relevanten länderübergreifende Regularien sind u.a. die Global Technical Regulations (GTR No. 2, 13, 14, 15) und die Datenschutzgrundverordnung (DSGVO, gültig in der EU).

K2.3: Verbraucherschutz

Durch produktunabhängige Verbraucherschutzgesetze werden Nutzende durch die Regelung von Produktsicherheit und Gewährleistung im Fall von Produktmängeln geschützt. Sie sind je nach Land und Region unterschiedlich. So ist bspw. in Deutschland das *Produktsicherheitsgesetz* (ProdSG) relevant, in den USA der *Magnuson-Moss Warranty Act* und in Großbritannien der *Consumer Rights Act*. Die Beachtung, Einhaltung und Gewährleistung ist durch den Automobilhersteller in dem Land sicherzustellen, in dem Fahrzeuge verkauft werden. Außerdem sind standardisierte Verbrauchertests wie bspw. der (Euro) NCAP bei der Fahrzeugentwicklung zu beachten, da diese als wesentliche Informationsquelle zur Kaufentscheidung der Nutzenden beitragen. Für HMI-Konzepte ist es neben der Risikominimierung bereits während der Konzeptentwicklung relevant, klare Produktinformationen bereitzustellen und auf die möglichen Risiken der Nutzung für Verbraucher hinzuweisen.

Compliance-Audits oder Zertifizierungen sind für die Überprüfung des Verbraucherschutzes geeignet.

K2.4: Konformität mit Normen und Standards

Normen und Standards sind definierte Anforderungen an die Gestaltung von Interaktionssystemen, die eine konsistente, sichere und benutzerfreundliche Interaktion zwischen Fahrzeug und Nutzenden gewährleisten. Sie umfassen Faktoren wie die Positionierung von Anzeige- und Bedienelementen, die Informationsdarstellung, die Ergonomie der Interaktion sowie die Sicherheit der Interaktion. Die Entwicklung der Standards und Normen wird durch internationale Organisationen wie die *International Organization for Standardization* (ISO), nationale Organisationen wie das *Deutsche Institut für Normung* (DIN) und branchenspezifische Organisationen wie die *Society of Automotive Engineers* (SAE) übernommen. Die für HMI-Konzepte primär relevanten Normen sind die ISO 4040, ISO 9241, ISO 15005, ISO 16673, ISO 26262 und der Standard SAE J2364.

Die Konformität mit nationalen und internationalen Richtlinien sowie mit Normen und Standards wird bspw. mittels Systemanalyse durch Checklisten, Zertifizierungen, Audits und ggf. Szenarioanalysen für zukünftige Regeländerungen überprüft.

K2.5: Konformität mit Guidelines

Guidelines sind von Organisationen und Expertinnen und Experten entwickelte Leitlinien und praktische Empfehlungen zur benutzerfreundlichen, effektiven und sicheren Gestaltung von HMI-Konzepten. Sie dienen als Referenzen und Orientierungshilfen für Entwickler und unterliegen Selbstregulierungsinitiativen, zu deren Einhaltung sich Automobilhersteller verpflichten. Die auf dem amerikanischen Markt relevante Selbstregulierungsinitiative entstammt der *Alliance of Automotive Manufacturers* (AAM) und beinhaltet ein *Statement of Principles* zum Design von Interaktionsschnittstellen. Auf dem europäischen Markt ist das *European Statement of Principles* (ESoP) für das Design von Mensch-Maschine-Interaktionen relevant. Eine weitere relevante Guideline ist die von der *Japan Automobile Manufacturers Association* (JAMA) entwickelte *Guidelines for In-Vehicle Display Systems*.

Für die Überprüfung auf Konformität mit Guidelines können neben den für K2.1 – K2.4 aufgelisteten Methoden bspw. auch Experten- und Lead-User-Bewertungen sowie Nutzungsverhaltensbeobachtungen eingesetzt werden.

4.2.1.3 Ökonomische Ebene

K3.1: Herstellungskosten

Unter Herstellungskosten werden die direkten Material- und Fertigungskosten zusammengefasst, welche bei der Produktion entstehen. Die Materialkosten bestehen aus den Materialeinzelkosten, Materialgemeinkosten und dem Materialausschuss und sind die kostenseitig bewerteten Verbrauchsmengen an Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen. Die Fertigungskosten, die bei der Verarbeitung der Materialien entstehen, lassen sich analog in Fertigungseinzelkosten, Fertigungsgemeinkosten, Fertigungsausschuss und Maschinenrüstkosten untergliedern. Darunter sind Maschinen- und Arbeitskosten des beteiligten Personals, nicht direkt zuschlagbarer Ressourceneinsatz in der Fertigung wie z.B. Energiekosten, die Kosten fehlerhaft gefertigter Produkte und die Kosten zur Einrichtung und Vorbereitung der Fertigungsanlagen gefasst.

Erhoben werden die Herstellungskosten bspw. durch die Kostenträgerrechnung.

K3.2: Betriebliche Gemeinkosten

Betriebliche Gemeinkosten bezeichnen die Entwicklungs-, Verwaltungs- und Vertriebskosten (sog. Overheads), die durch ein neues Produkt entstehen, aber nicht direkt einer Einheit des Produkts (Kostenträger) zugeordnet werden können. Darunter fallen bspw. Kosten für die Miete und Wartung von Produktionsanlagen, Buchhaltungskosten, IT-Infrastrukturkosten, Forschungskosten. Beim Vertrieb

multipler Produkte ist von einer heterogenen Verteilung des Ressourcenverbrauchs auszugehen, sodass die Umlage der betrieblichen Gemeinkosten über individuelle, differenzierte Zuschlagssätze erfolgt.

Erhoben werden die betrieblichen Gemeinkosten bspw. durch eine differenzierte Zuschlagskalkulation.

K3.3: Instandhaltungskosten

Instandhaltungskosten sind Kosten, die während der Nutzungsdauer eines Produktes anfallen. Durch die Instandhaltung werden, nicht nur im Falle eines Ausfalls, die Funktionalität und Zuverlässigkeit des Produktes im Feld aufrechterhalten. Bei Fahrzeugen können die Instandhaltungskosten Kosten für die Reparatur und Wartung von Fahrzeugkomponenten beinhalten, Inspektions- und Servicekosten, Kosten für verschlissene Bauteile, die ersetzt werden müssen und Unfallinstandsetzungskosten, wenn das Fahrzeug in einen Unfall verwickelt war. Eine Bewertung möglicher Instandhaltungskosten ist bereits bei der Entwicklung und dem Design von Produkten durchzuführen, um ausfallanfällige Bauteile nicht an kritischen Positionen zu platzieren.

Die Prognose möglicher Instandhaltungskosten erfolgt bspw. über Zuverlässigkeitsanalysen, Fehlermöglichkeits- und Einflussanalysen (FMEA) oder *Predictive Maintenance* Modelle.

K3.4: Recyclings- und Entsorgungskosten

Recyclings- und Entsorgungskosten beziehen sich auf die Kosten, die am Ende des Lebenszyklus zur sicheren und nachhaltigen Entsorgung eines Produktes entstehen. Darunter fallen bspw. Kosten für die Demontage und Separation einzelner Komponenten, Recyclingkosten zur Sortierung, Reinigung und Aufbereitung der eingesetzten Materialien. Auch Kosten für Lagerung, Transport und Entsorgung nicht wiederverwertbarer Materialien sowie Kosten für die Rücknahme oder Rückführung der herstellereigenen Produkte zählen dazu. Diese Kostenkategorie ist abhängig von den im jeweiligen Land geltenden Gesetzesvorschriften.

Ausgang für die Prognose der Recyclings- und Entsorgungskosten können eine Lebenszyklusanalyse sowie Daten über die vorliegenden gesetzlichen Anforderungen und Marktpreise der recycelten Materialien sein.

K3.5: Preis

Die Festsetzung des Preises unterliegt verschiedenen Faktoren, darunter Kosten, Zahlungsbereitschaft der Kundinnen und Kunden sowie die gewünschte Profitabilität.

Die Profitabilität ist eine wichtige strategische Zielgröße, da sie die Fähigkeit eines Produkts beschreibt, durch Umsetzung einen positiven finanziellen Ertrag bzw. einen Gewinn zu erzielen. Profitabilität beschreibt das Verhältnis der mit einem Produkt erzielten Erträge zu den dafür anfallenden Kosten. Profitabel ist eine Komponente dann, wenn durch ihren Einsatz ein höherer Preis im Vergleich zu den entstandenen Kosten aufgerufen werden kann. Übersteigt der festgesetzte Verkaufspreis die Kosten, kann auf der einen Seite ein Gewinn generiert werden. Wird dadurch das Gesamtsystem teurer, können auf der anderen Seite Käufer wegfallen, da die Zahlungs- bzw. Preisbereitschaft überschritten wird. Es gilt, die richtige Preissetzung bei der Entwicklung zu beachten.

Es gibt verschiedene Ansätze zur Preisfestsetzung, darunter Preissensibilitäts-Methoden, Rentabilitätsindikatoren, detaillierte Kostenanalysen und Return-on-Investment (ROI)-Berechnungen.

K3.6: Imagewirkung

Einem Produkt unterliegt eine Imagewirkung, welche die Wahrnehmung des Unternehmens bei relevanten Stakeholdern und in der Öffentlichkeit beeinflusst. Aus einer Übereinstimmung der Imagewirkung des Produkts mit den Kernwerten und dem Markenimage des Unternehmens ergibt sich ein positiver Einfluss auf die öffentliche Unternehmenswahrnehmung. Innovative Produkte können die Wahrnehmung als fortschrittliches und zukunftsorientiertes Unternehmen unterstützen. Produkte mit einer höheren Funktionalität werden als leistungsfähiger wahrgenommen und können das Unternehmensimage aufwerten.

Die Imagewirkung eines Produktes kann bspw. durch qualitative Interviews wie Nutzerbefragung, Fokusgruppen oder Lead-User-Befragung ermittelt werden.

4.2.1.4 Individuelle Ebene

K4.1: Individuelle Akzeptanz

Die individuelle Akzeptanz beschreibt die Bereitschaft und Zustimmung eines einzelnen Individuums, ein Produkt anzunehmen und zu nutzen. Die individuelle Akzeptanz wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Die zentrale Nutzungsabsicht kann durch die Leistungs- und Aufwandserwartung, die Einstellung des Nutzenden gegenüber der Technologie (bspw. Besorgnis und Skepsis) und der wahrgenommenen Sicherheit während der Nutzung ermittelt werden. Aus der Nutzungsabsicht lässt sich dann eine Aussage über das Nutzungsverhalten und die individuelle Akzeptanz treffen. Die gesellschaftliche und individuelle Akzeptanz haben eine starke Wechselwirkung: über gesellschaftliche Normen und Meinungen wird die

individuelle Akzeptanz geprägt, die wiederum Auswirkungen auf die gesellschaftliche Verbreitung einer Technologie hat.

Laut analysierter Literatur ist die Erfassung der individuellen Akzeptanz durch Items standardisierter Fragebögen wie dem *Car Technology Acceptance Model* (C-TAM) [OSS12] oder dem *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology* Instrument (UTAUT) [VEN03] und deren Weiterentwicklungen geeignet.

K4.2: User Experience

Die User Experience (Nutzererlebnis) bewertet die subjektive Wahrnehmung des Interaktionserlebnisses mit einem System. User Experience beschreibt alle Facetten der Interaktion an den Berührungspunkten zwischen Nutzenden und Produkt. Bei der Ermittlung spielen verschiedene Faktoren eine Rolle, darunter die Erwartungskonformität und Individualisierbarkeit eines Systems. Auch emotionale, ästhetische und kontextuelle Aspekte wie Anmut des Systems, Vergnügen und Spaß bei der Interaktion sind relevant. Da die User Experience das Gesamterlebnis umfasst, besteht eine Abhängigkeit zu weiteren individuellen Bewertungskriterien. So wird bspw. die Benutz- und Bedienbarkeit eines Systems (Usability, siehe K4.3) auch als Teilaspekt der User Experience genannt. Bei der Bewertung eines HMI-Konzeptes gilt, die User Experience spezifisch zu berücksichtigen und ein positives Nutzererlebnis zu erzielen.

Die Ermittlung kann u.a. durch qualitative Nutzerbefragungen und Werkzeuge wie den *User Experience Questionnaire* (UEQ) [LAU08] erfolgen.

K4.3: Usability

Die Usability (engl. für Benutzbarkeit) beschreibt, welchen Aufwand die Bedienung eines Systems beim Nutzenden erzeugt. Das Ziel der HMI-Konzeptgestaltung ist, durch eine möglichst einfache Systemgestaltung den Aufwand der Benutzung zu minimieren. Zur Bewertung der Usability werden Faktoren wie Effektivität, Effizienz, Verständlichkeit und Erlernbarkeit der Interaktion herangezogen. Usability beeinflusst folglich die Fähigkeit eines Nutzenden, die zugrundeliegenden Interaktionsziele schnell und fehlerfrei zu erreichen und die Interaktion erfolgreich abzuschließen. Gestalterische Eigenschaften der Schnittstelle wie bspw. die Lesbarkeit oder Sichtbarkeit von Interaktionselementen haben folglich einen hohen Einfluss auf die Usability und sind bereits bei der Entwicklung zu betrachten.

Die Ermittlung der Usability erfolgt bspw. über heuristische Evaluationen von Experten anhand spezifischer Usability Guidelines (siehe z.B. [NIE93]) oder durch Nutzerbefragungen und Werkzeuge wie die *System Usability Scale* (SUS) [BRO95],

Questionnaire for User Satisfaction (QUIS) [HAR93], *Post-Study System Usability Questionnaire* (PSSUQ) [LEW92].

K4.4: Anthropometrie

Das Bewertungskriterium Anthropometrie bezieht sich auf die geometrische Gestaltung des Fahrerarbeitsplatzes der Nutzenden unter Berücksichtigung menschlicher Körpermaße und Bewegungsräume. Ziel ist es, Anzeige- und Bedienelemente so zu positionieren und auszurichten, dass sie innerhalb der Reichweite und Sichtfelder der Nutzenden liegen und sicher, bequem sowie ohne unnötige Belastung bedient werden können. Dabei werden u. a. Sitzpositionen, Greifräume und Blickrichtungen berücksichtigt.

Die Bewertung der Anthropometrie kann bspw. durch Nutzerbefragungen oder speziell entwickelte Softwaretools erfolgen, welche die Bewegungsfähigkeiten und Greifräume von Menschen visualisieren und bewerten (z.B. RAMSIS [DUF07], JACK [WEB93])

K4.5: Komfort

Komfort beschreibt ein Maß an körperlichem und geistigem Wohlbefinden, das der Nutzende bei der Interaktion mit einem System empfindet. Komfort ist anhand eines dreidimensionalen Vektors beschreibbar: den Dimensionen der pragmatischen und hedonistischen Qualität sowie der Dimension der Begierde. Die pragmatische Qualität bezeichnet den körperlichen Diskomfort bei Interaktion mit dem System. Die hedonistische Qualität bezieht sich auf den emotionalen, subjektiven Aspekt von Komfort und beinhaltet Emotionen wie Zufriedenheit, Freude oder Entspannung, die bei den Nutzenden durch die Systeminteraktion hervorgerufen werden. Die Dimension der Begierde beschreibt einen Zustand, in dem ein Nutzender nach einem System aus persönlichen Gründen (bspw. Image) verlangt, ggf. trotz geringeren Komforts.

Nach der analysierten Literatur erfolgt die Erhebung von Komfort hauptsächlich aufgrund ihrer subjektiven Komponente über Nutzerbefragungen (bspw. durch die Frage nach der Abwesenheit von Diskomfort) zu erfolgen. Über große Datenmengen ist auch eine softwareseitige Beurteilung von Komfort in einem früherem Entwicklungsstatus möglich (z.B. durch JACK) [WEB93].

K4.6: Vertrauen

Vertrauen beschreibt das Maß an Zuversicht und Glaubwürdigkeit, das Nutzende einem System in der Interaktion entgegenbringen. Vertrauen als Konstrukt besitzt die Eigenschaft, über einen längeren Zeitraum aufgebaut, aber innerhalb kürzester Zeit wieder abgebaut werden zu können. Bei der Entwicklung von HMI-Konzepten wird der Vertrauensaufbau über spezifische Merkmale eines Systems gesteuert und

beeinflusst. Darunter fallen Verlässlichkeit und Transparenz des Systems, Fehlertoleranz und Sicherheit sowie die Nutzung von Technologien, mit denen Nutzende sich bereits außerhalb des Fahrzeugs vertraut machen konnten. Bei der Interaktion mit automatisierten Systemen steht die richtige Kalibrierung von Vertrauen im Vordergrund, um Gefahren durch übermäßiges Vertrauen und Nachlässigkeiten in der Kontrolle des Systems zu vermeiden.

Vertrauen kann bspw. durch speziell entwickelte Fragebögen im Rahmen von Nutzerbefragungen, z.B. der *Automation Trust Scale* (ATS) [JIA00] erhoben werden.

K4.7: Kontrollempfinden

Kontrollempfinden beschreibt die subjektive Wahrnehmung der Nutzenden über die ihnen verfügbare Kontrolle eines teil- oder vollautomatisierten Systems. Wahrgenommene Kontrollierbarkeit wird durch die Möglichkeit, in die Automation einzugreifen und diese zu steuern vermittelt. Darunter zählt Aktionen auszuführen, Einstellungen anzupassen oder Funktionen zu aktivieren und deaktivieren. Entsprechend sind Anpassungsmöglichkeiten des Systems nach den Bedürfnissen der Nutzenden vorteilhaft. Verunsicherung in der Interaktion führt zu einem Gefühl der Unsicherheit, welches sich wiederum negativ auf das Kontrollempfinden auswirkt.

Um das Kontrollempfinden zu erheben, eignen sich bspw. gezielte Interviews und Nutzerbefragungen.

4.2.1.5 Technische Ebene

K5.1: Leistungsfähigkeit

Die Leistungsfähigkeit beschreibt das Maß, mit dem ein technisches System durch seine Gestaltung die Interaktion der Nutzenden in Abhängigkeit zur resultierenden Beanspruchung unterstützt. Beanspruchung entsteht durch mental-kognitive Belastung als Folge von Informationsaufnahme, -verarbeitung und -umsetzung. Eine zu hohe und eine zu niedrige Belastung (Überforderung durch Unterforderung) führen zu einer hohen Beanspruchung, was sich wiederum negativ auf die Leistungsfähigkeit auswirkt. Für die Gestaltung von HMI-Konzepten sind eine optimale Belastung und somit minimale Beanspruchung und maximale Leistungsfähigkeit erstrebenswert.

Die Leistungsfähigkeit bei der Interaktion mit HMI-Konzepten kann objektiv bspw. durch die Zeitnahme durchzuführender Interaktionsaufgaben (Time-on-Task [BUR10]) und subjektiv durch Fragebögen (bspw. NASA Task Load Index [HAR88]) erhoben werden.

K5.2: Sicherheit

Sicherheit beschreibt den Schutz von Eigentum oder Informationen vor potenziellen Gefahren, die von der Nutzung des Systems ausgehen. Bei der Entwicklung eines HMI-Konzepts kann zwischen *Safety* und *Security* unterschieden werden: *Safety* bezieht sich auf die funktionale Sicherheit und umfasst den Schutz der Nutzenden und der Umwelt vor Fehlfunktionen oder unbeabsichtigten Risiken, die aus der Systemnutzung resultieren. *Security* bezeichnet den Schutz vor vorsätzlichen Gefährdungen wie Manipulation, Angriffen oder unbefugtem Zugriff auf Daten und Systeme. Datensicherheit gewährleistet den Schutz der Nutzerdaten und der Privatsphäre, indem Daten vertraulich behandelt werden.

Nach der analysierten Literatur wird die Sicherheit bspw. durch Risikoanalysen, Fehlermöglichkeits- und Einflussanalysen, Zertifizierung oder Konformitätsprüfungen (ISO 26262 [ISO18]) erhoben.

K5.3: Technische Kompatibilität

Die technische Kompatibilität eines HMI-Konzepts ist ein Maß für die Einsetzbarkeit des Systems in verschiedenen Plattformen. Voraussetzungen sind die Modularisierbarkeit und Standardisierbarkeit für einen baureihenübergreifenden Einsatz. Ist das System gleichzeitig adaptiv, liegt ein höherer Grad der Anpassungsfähigkeit an andere Systemumgebungen vor. Eine hohe technische Kompatibilität erlaubt die nahtlose Integration eines HMI-Konzeptes in andere Systeme und Module, auch in Hinblick auf Schnittstellen, Protokolle und Standards des Datenaustauschs.

Technische Kompatibilität lässt sich bspw. über Kompatibilitätsanalysen und qualitativ über Befragungen von Expertinnen und Experten ermitteln.

K5.4: Materialeinsatz

Der Materialeinsatz bezieht sich auf die Auswahl und Verwendung der Materialien des Produkts. Die Materialwahl hat Einfluss auf mehrere technische Größen, die bei der Entwicklung von hoher Relevanz sind: Ressourcenverfügbarkeit, Energieverbrauch, Life-Cycle-Einfluss, Instandhaltung. Die Ressourcenverfügbarkeit beschreibt die Komponentenverfügbarkeit und Kostenstruktur in der Lieferkette. Die Komponenten müssen langfristig verfügbar und deren Lieferung vom Lieferanten langfristig unterstützt werden. Der Energieverbrauch umfasst zwei Dimensionen: den Energiebedarf zum Betrieb des Systems und den Einfluss auf den Gesamtenergiebedarf (Verbrauch) des Fahrzeugs. Der Life-Cycle-Einfluss steht in direktem Zusammenhang mit der Wiederverwendbarkeit und Recyclebarkeit des eingesetzten

Materials. Instandhaltung umfasst die Wartbarkeit und Erweiterbarkeit im Sinne der Funktionsgewährleistung.

Bewerten lässt sich der Materialeinsatz bspw. durch Systemanalysen, Expertenbefragungen und Risikobewertungen [THI21].

K5.5: Zuverlässigkeit

Unter Zuverlässigkeit sind die Stabilität des Systems und die Widerstandsfähigkeit gegen Umwelteinflüsse (bspw. Temperatur, Krafteinwirkung) zu verstehen. Ziel der Entwicklung ist, das System möglichst robust zu gestalten, um Ausfälle und Abstürze zu vermeiden und zur Nutzung stets verfügbar zu sein. Die Zuverlässigkeit umfasst auch Aspekte wie die voraussichtliche Lebensdauer (Verschleiß) und die mögliche Ausfallrate im Feld. Des Weiteren sind mögliche Fehlbedienungen des Systems (unsachgemäße Bedienung) und deren Einfluss auf die Zuverlässigkeit zu berücksichtigen. Zur Gewährleistung stetiger Funktionalität sind ggf. Redundanzen einzuplanen.

In der analysierten Literatur basiert die Bewertung der Zuverlässigkeit auf Ausfallstudien, *Mean Time to Failure* (MTTF) [BIR14], *Mean Time Between Failures* (MTBF) [LIE17], Fehlermöglichkeits- und Einflussanalysen (FMEA) [STA08].

K5.6: Packageeinfluss

Das Bewertungskriterium Packageeinfluss beschreibt den Einfluss auf die geometrischen Folgen der Implementierung. Je nach Einbauort kann der Einsatz eines neuen HMI-Konzepts Auswirkungen auf Bauräume und Maßketten und somit auf weitere Systeme und Module haben. Diese und den entsprechenden Anpassungsbedarf gilt es beim Maßkonzept des Fahrzeugs zu berücksichtigen und zu bewerten, um eine Aufwandsabschätzung für die Anpassung zu ermitteln. Daraus können sich neue Anforderungen an die Entwicklung ergeben, die wiederum berücksichtigt werden müssen.

Der Packageeinfluss kann bspw. durch digitale Mockups (DMU, z.B. in CAD-Software) und prototypische Aufbauten (Mockups) ermittelt werden.

K5.7: Produktionsfähigkeit

Die Produktionsfähigkeit bezieht sich auf die Fähigkeit eines Produktes, in effizienten Fertigungsprozessen schnell und sicher hergestellt zu werden. Es wird bewertet, wie hoch der Zeitaufwand für die Fertigung der Komponenten ist, welche Technologien bei der Produktion zum Einsatz kommen und wie die Prozesssicherheit gewährleistet werden kann. Darüber hinaus werden die Montierbarkeit und der Montageaufwand

untersucht. Ein weiteres Element der Produktionsfähigkeit ist die Analyse des möglichen Automatisierungsgrads von Produktions(teil-)schritten und die damit einhergehenden Kostenstruktur- und Skaleneffekte.

Erhoben wird die Produktionsfähigkeit eines Produktes bspw. über Wertstromanalysen (-design), Analyse der Produktionsoutputs und der Ausschussquote [KLE09].

K5.8: Updatebarkeit

Durch die steigende Komplexität und Funktionalität wird die Updatebarkeit von Fahrzeugsystemen als Bewertungskriterium notwendig. Updatebarkeit beschreibt die Modularität von Hard- und Software, um durch Aktualisierungen, Verbesserungen und Fehlerbehebungen auf neue Anforderungen und Technologiesprünge über den Lebenszyklus eines Produkts reagieren zu können. Entscheidend ist die zugrundeliegende Software-Architektur zum effizienten Durchführen von Updates („*Software-Defined Vehicle*“), entsprechende Schnittstellen zur reibungslosen Integration von Aktualisierungen bei gleichzeitiger Kompatibilität zu anderen Subsystemen und die notwendige Konnektivität zur drahtlosen Aktualisierung über das Internet („*Over-the-Air*“).

In der analysierten Literatur wird die Updatebarkeit durch technische Analysen der Software-Architektur und Code-Inspektion sowie durch Funktionsanalyse über zusätzliche Funktionen mit Kundenmehrwert bewertet.

K5.9: Latenz

Latenz gilt als Maß für die Reaktionsfähigkeit eines Systems. Es bezieht sich auf die Zeitspanne, die zwischen einer Aktion und einer entsprechenden Reaktion des Systems liegt. Für die Nutzenden ist die Latenz bei der Interaktion, dem Systemverhalten und Datenaustausch im Netzwerk wahrnehmbar. Bei der Interaktion ist eine schnelle Systemreaktion auf eine Benutzereingabe erstrebenswert. Beim Systemverhalten ist die schnelle Verarbeitung von Aufgaben des Systems wichtig und beim Datenaustausch eine schnelle Übertragung der Daten innerhalb des Systems und zu externen Systemen (bspw. zum IoT). Eine geringe Latenz führt zu einem flüssigen und natürlichen Interaktionserlebnis.

Gemessen und bewertet wird die Latenz bspw. durch die Messung der Zeitspanne von Eingabe zu Systemreaktion.

4.2.2 Analyse inhärenter Wirkbeziehungen

In der oben dargestellten Ermittlung und Beschreibung der Bewertungskriterien wird deutlich, dass Wechselwirkungen zwischen den Kriterien vorliegen. Deshalb gilt es im Folgenden, diese inhärenten Wirkbeziehungen methodisch zu analysieren, um ihren Einfluss auf die Gesamtbewertung eines HMI-Konzepts zu ermitteln.

Zur Ermittlung der Wechselwirkungen ist es sinnvoll, die für die Identifikation der Bewertungskriterien genutzte Literatur hinsichtlich Nennungen von bereits aufgezeigten Wechselwirkungen zwischen Kriterien systematisch zu untersuchen. Dadurch kann eine qualitative Einschätzung des Einflusses von einem Kriterium zu einem weiteren Kriterium abgeleitet werden. Die folgende Analyse der inhärenten Wirkbeziehungen stellt die Weiterführung der systematischen Literaturrecherche dar, sodass eine möglichst objektive Einschätzung der Wechselwirkungen gewährleistet werden kann.

Die Darstellung der Wirkbeziehungen erfolgt durch eine Einflussmatrix, welche beeinflussende Kriterien in den Zeilen und beeinflusste Kriterien in den Spalten auflistet und visualisiert. Ein wesentlicher Aspekt einer Einflussmatrix ist die Darstellung der aktiven Summe (kumulativen Einflussstärke) und der passiven Summe (kumulativen Beeinflussbarkeit). Die aktive Summe beschreibt den Einfluss eines Faktors auf das gesamte System und wird durch Addition der Zeilenwerte berechnet. Bei der Analyse der Wechselwirkungen zwischen Kriterien entspricht diese Summe der Stärke, mit der ein Kriterium die anderen Kriterien beeinflusst. Die passive Summe beschreibt den gegenteiligen Effekt, nämlich wie stark das gesamte System einen bestimmten Faktor beeinflusst. Sie wird durch Addition der Spaltenwerte berechnet, und wie bei der aktiven Summe gilt: je höher der Wert der Summe, desto größer die Beeinflussbarkeit.

Zur Festlegung des Einflusses eines Kriteriums auf ein anderes wird ein binäres Einflussmaß gewählt. Im Falle der Literaturrecherche bedeutet das binäre Einflussmaß die Erwähnung oder Nicht-Erwähnung in der Literatur. Eine Nicht-Erwähnung einer Wechselwirkung bedeutet nicht, dass keine Wechselwirkung zwischen den beiden betrachteten Kriterien vorliegt, sondern lediglich, dass in der Literatur keine Wechselwirkung identifiziert wurde. Die Art des Einflusses beschreibt die Einflussrichtung und zeigt an, ob die Beziehung zwischen zwei Kriterien positiv (fördernd) oder negativ (hemmend) ist. Die Verwendung von entsprechenden Vorzeichen ermöglicht es, die Einflussrichtung und die Wechselwirkung zu visualisieren.

Zur Bewertung der Wechselwirkungen zwischen den Kriterien wird die folgende Einflussmatrix entsprechend befüllt (s. Abb. 4-7): Bei positivem Einfluss von Kriterium A auf Kriterium B wird in die Zeile von Kriterium A in der Spalte von Kriterium B eine

„1“ eingetragen. Hat Kriterium A hingegen einen negativen Einfluss, wird ein negatives Vorzeichen in der entsprechenden Zelle der Einflussmatrix verwendet. Die vollständige Einflussmatrix ist Anhang 10.6 zu entnehmen.

	Gesellschaftliche Akzeptanz	Interkulturelle Robustheit	...	Latenz	Kumulierte Einflussstärke
Gesellschaftliche Akzeptanz	–	0	...	0	2
Interkulturelle Robustheit	1	–	...	0	2
...	...	...	...	...	...
Latenz	0	0	...	–	3
Kumulierte Beeinflussbarkeit	9	0	...	0	

Abb. 4-7: Einflussmatrix inhärenter Wirkbeziehungen mit binärer Skala

Es kann festgestellt werden, dass die Kriterien Usability, Anthropometrie und Materialeinsatz die höchste kumulierte Einflussstärke aufweisen. Eine Veränderung in der Bewertung dieser Kriterien führt zu einer großen Veränderung in der Gesamtbewertung. Das Kriterium der individuellen Akzeptanz stellt das Kriterium mit der höchsten Beeinflussbarkeit dar. Es unterliegt folglich vielen Einflussgrößen und ist schwieriger, durch die Verbesserung der Bewertung eines Kriteriums zu optimieren.

4.3 Strategiemodul

Das nachfolgend dargestellte Strategiemodul der Bewertungsmethodik dient der Analyse und Systematisierung der Unternehmens- und Produktstrategie, sodass eine Priorisierung der Bewertungskriterien durch die Bestimmung von Gewichtungen durchgeführt werden kann. Zunächst wird ein Rahmenwerk als Hilfestellung zur Strategieanalyse entwickelt, mit welchem die unternehmerische Wettbewerbsstrategie und die definierte Produktstrategie heruntergebrochen werden, was eine Konkretisierung und Quantifizierung von Gewichtungen ermöglicht. Anschließend wird eine Methode als Werkzeug beschrieben, mit deren Hilfe die relativen Gewichte der Bewertungskriterien ermittelt werden.

4.3.1 Unternehmens- und Produktstrategie

Zur Analyse der Unternehmensstrategie eignet sich der in Kapitel 2.2 beschriebene Ansatz, die Unternehmensstrategie in die unternehmensexterne und -interne Perspektive zu gliedern. Im Sinne der Strategieanalyse und zur Ableitung einer Prioritätsordnung einzelner Produktkonzepte werden im Folgenden drei Kernfragen herangezogen:

- Welche Strategie verfolgt die Marke, die das Konzept einsetzt?
- Welche segmentspezifischen Imageattribute sind markenrelevant?
- Welche Fahrzeugeigenschaften sind markenprägend und deshalb zu priorisieren?

Markenstrategie

Aufgrund der Marktgröße wird in der Automobilindustrie die Verfolgung einer Normstrategie nicht mehr als Erfolg bringend vertreten [ZAH95]. Stattdessen erfolgt die Differenzierung über Marken, die durch Präferenzbildung, Imagewirkung und Portfoliodiversifizierung unterschiedliche Kundengruppen und Marktsegmente adressieren. Mehrmarkenstrategien ermöglichen es, Bedürfnisse gezielt über verschiedene Fahrzeugsegmente abzudecken und dadurch differenzierte wie auch kostenorientierte Wettbewerbsstrategien parallel zu realisieren. Die Bewertungskriterien sind daher konsistent mit der jeweils verfolgten Markenstrategie zu gewichten.

Markenrelevante Imageattribute

Die Profilierung einer Marke erfolgt durch die Ermittlung idealtypischer Imageprofile für jedes Fahrzeugsegment, bei dem eine Analyse der Beziehungen von beabsichtigten Zielkundengruppen zu spezifischen Markenattributen durchgeführt wird. Durch die konsistente Gestaltung von Fahrzeugeigenschaften wird eine hohe Übereinstimmung zwischen den spezifischen Präferenzen der Zielgruppe und dem durch die Marke verkörperten Image angestrebt.

Ein idealtypisches Imageprofil besteht aus einer spezifischen Auswahl weniger, relevanter Attribute, die den Charakter der Marke beschreiben sollen. Die Attribute beziehen sich auf die Kategorien Styling, Fahren und Technologie sowie auf Emotionen, die beim Kunden ausgelöst werden sollen. Beispiele für markenrelevante Imageattribute sind Abb. 4-8 zu entnehmen.

Es ist empfehlenswert, die maximale Anzahl der beschreibenden Attribute auf fünf zu limitieren, um bei der Priorisierung der Bewertungskriterien Widersprüche zu vermeiden.

Styling	Fahren	Technologie
Elegant	Sportlich	Innovativ
Luxuriös	Komfortable	Konsistent
Klassisch	Ökologisch	Futuristisch
Aggressiv	Sicher	Traditionell
...	...	...

Abb. 4-8: Markenrelevante Imageattribute [GOT05]

Markenprägende Fahrzeugeigenschaften

Bei der Betrachtung einzelner Fahrzeugentwicklungsprojekte ist die Wettbewerbsstrategie so zu überführen, dass die Imageattribute der Marke im Fahrzeugmodell abgebildet und die Glaubwürdigkeit der Marke aufrechterhalten werden.

Die technologische Ausgestaltung der definierten Imageattribute erfolgt über die Zuordnung der Attribute zu Eigenschaften des Fahrzeugmodells. Diese markenprägenden Fahrzeugmodelleigenschaften sind im Zuge der Fahrzeugprofilplanung zu parametrisieren, in der die wesentlichen Fahrzeugparameter entlang des anvisierten Absatzmarktes (Absatz-, Kosten- und Renditeziele), der zugrundeliegenden Fahrzeugtechnologie (Zuordnung von Plattformen, Modulen und Systemen), des Entwicklungsprozesses (Ressourceneinsatz und Meilensteine) und des Produktionsprozesses konkretisiert werden.

Der aus der Fahrzeugprofilplanung resultierende Zielkatalog mit detaillierten Angaben zu kaufrelevanten Fahrzeugeigenschaften sowie deren potenziellen Ausprägungsspektren (bspw. Kosten-, Gewicht-, Qualitäts-, oder Maßkennzahlen) ermöglichen die Priorisierung der Bewertungskriterien bezüglich ihrer Wichtigkeit für die Unternehmensstrategie. [GOT05], [WAL09]

Im Hinblick auf diese aus der Systematisierung der Wettbewerbs- und Produktstrategie resultierende Priorisierung ist es für ein Unternehmen nicht hinreichend, die Konzeptalternative auszuwählen, die das größte technologische und wirtschaftliche Potenzial besitzt. Vielmehr muss anhand der relativen Gewichtung der Bewertungskriterien das Konzept gewählt werden, bei dem der größte Nutzen für das Unternehmen im Hinblick auf die Zielerreichung gestiftet wird. Die Priorisierung dient folglich der anschließenden Konkretisierung der Gewichtungen der Bewertungskriterien.

4.3.2 Gewichtung der Bewertungskriterien

Die Priorisierung ist die Grundlage, mit deren Hilfe die Subjektivität bei der Bestimmung der Gewichtungen auf ein Minimum reduziert, die Reproduzierbarkeit erhöht und das Problem intransparenter Bewertungsergebnisse bei einer hohen Anzahl an Kriterien verringert wird.

Im Sinne der Systemtheorie ist es hilfreich, die Komplexität der Gewichtungsermittlung durch Herunterbrechen auf einfacher zu beurteilende Einzelentscheidungen zu reduzieren. Ein dazu vielfach genutzter und weit verbreiteter Ansatz ist der paarweise Vergleich, der das gängige Bewertungsverfahren bei MKEM darstellt und anhand prominenter Anwendungsbeispiele unterstützt wird [SAA87]. Aufgrund der schnellen und einfachen Anwendbarkeit steht der paarweise Vergleich im Einklang mit den Methodikanforderungen: In einer Bewertungstabelle werden eine hohe Aufschlüsselung und Transparenz sichergestellt und die Betrachtung zusätzlicher Kriterien wird durch die einfache nachträgliche Erweiterbarkeit um zusätzliche Kriterien ermöglicht, ohne dass die Verhältnisse zwischen anderen Kriterien beeinflusst wird. Aufgrund dieser Eigenschaft ist der paarweise Vergleich bspw. der weniger aufwändigen Best-Worst-Method nach REZAEI vorzuziehen, da diese eine genaue Kenntnis des wichtigsten und unwichtigsten Kriteriums erfordert und deren Änderung eine Neuberechnung der Gewichtungsverhältnisse zur Folge hat [REZ16].

Die Durchführung des paarweisen Vergleichs erfolgt anhand einer definierten Bewertungsskala nach [SAA06] (s. Abb. 4-9).

Die aus dem Vergleich der relevanten Bewertungskriterien resultierenden Gewichtungen in Matrix G dienen im weiteren Verlauf der Bewertungsmethodik als Eingabe für das Bewertungsmodul.

Mögliche Werte für p_{ij}	Bedeutung der möglichen Werte für p_{ij}
1	Gleiche Bedeutung der beiden Kriterien
2 – 3	Etwas höhere Bedeutung des Kriteriums i gegenüber dem Kriterium j
4 – 5	Deutlich höhere Bedeutung des Kriteriums i gegenüber dem Kriterium j
6 – 7	Viel höhere Bedeutung des Kriteriums i gegenüber dem Kriterium j
8 – 9	Kriterium i ist dominant gegenüber Kriterium j

Abb. 4-9: Bewertungsskala des paarweisen Vergleichs nach [SAA87]

4.4 Bewertungsmodul

Das nachfolgend beschriebene Bewertungsmodul stellt mit der Bewertungsfunktion eine Systematik dar, mit deren Hilfe die verfügbaren Eingangsinformationen des Kriterien- und Strategiemoduls hinsichtlich des geforderten Bewertungsergebnisses verarbeitet werden. Die Eingangsinformationen umfassen die Konzeptskizzen und -eigenschaften der zu bewertenden Alternativen, die definierten und ausgewählten Bewertungskriterien, deren Ausprägungen zum Zeitpunkt der Bewertung erhebbar sind, und den strategischen Rahmen, in dem das Konzept realisiert werden soll. Mit Durchführung der Erhebungsmethoden und dem daraus folgenden Ergebnis der Kriterienausprägungen ermöglicht das Bewertungsmodul Aussagen darüber, welche Entwicklungspotenziale bei den Konzeptalternativen zu heben sind und welches Konzept die größte Eignung im Sinne der Unternehmensstrategie aufweist. Das Bewertungsergebnis repräsentiert den intrinsischen Technologiewert eines Konzepts für das Unternehmen und wird durch den jeweiligen Erfüllungsgrad der für die strategische Planung notwendigen marktrelevanten Bewertungskriterien jeder betrachteten Konzeptalternative beschrieben. Da auf eine Aggregation der Einzelkriterienbewertungen verzichtet wird, gilt der Output des Bewertungsmoduls als Eingabe für das nachgelagerte Entscheidungsmodul.

In Anlehnung an die Arbeiten von SCHOLZ, KRÖLL und MARTINI [SCH22], [KRÖ07], [MAR95] werden zur Erzielung des Bewertungsergebnisses drei Schritte durchlaufen, die im Folgenden näher erläutert werden: Maßzahlzuordnung über Zielwertfunktionen und Normierung der Kriterienausprägungen, die Ermittlung der Abweichung durch die Differenzkalkulation zum optimalen Bewertungsergebnis und die Gewichtung der Abweichung durch die Gewichtungsfaktoren.

Maßzahlzuordnung über Zielwertfunktionen und Normierung der Kriterienausprägungen

Zur Ermittlung des Bewertungsergebnisses werden im ersten Schritt die Ausprägungen der gewählten Bewertungskriterien herangezogen. Diese liegen je nach Bewertungsverfahren sowohl in qualitativer als auch in quantitativer Form vor. Durch die damit verbundenen unterschiedlichen Einheiten ist eine Beurteilung über den Erfüllungsgrad der Bewertungskriterien nicht direkt möglich. Um den Erfüllungsgrad vergleichbar zu machen, werden deshalb den Kriterienausprägungen objektiv Maßzahlen mittels Zielwertfunktionen zugeordnet. Die Nutzung von Zielwertfunktionen ermöglicht ein definiertes und reproduzierbares Vorgehen zur anschaulichen und nachvollziehbaren Maßzahlenermittlung. Eine Zielwertfunktion ordnet einem auf der Abszisse geführten deterministischen Ausprägungswert eine auf der Ordinate abgebildete Maßzahl über eine vom Bewertungskriterium abhängige Funktion zu. Je nach Eigenschaft und Bewertungsziel des Kriteriums kann die

Funktion unterschiedliche Verläufe annehmen. Eine Übersicht der häufigsten Zielwertfunktionen befindet sich in Anhang 10.7. [BRE97] Im Folgenden wird am Beispiel einer linearen Zielwertfunktion das grundsätzliche Vorgehen der Zuordnung veranschaulicht. Diese kommt dann zum Einsatz, wenn bei einer linearen Werteverteilung eines Kriteriums niedrige Werte als schlecht und hohe Werte als gut bewertet werden. Die Grundfunktion, bei welcher der Kriterienausprägung W die Maßzahlen m zugeordnet werden, wird durch die Gleichung 4-1 mit der Steigung aus Gleichung 4-2 ausgedrückt:

$$m = a * W \quad \text{Gl. 4-1}$$

$$a = \frac{1}{W_{max}} \quad \text{Gl. 4-2}$$

Für den Fall, dass der Wertebereich nicht im Koordinatenursprung beginnt, ergibt sich eine Verschiebung. Die Funktion kann durch Gleichung 4-3

$$m = a * W + c \quad \text{Gl. 4-3}$$

mit dem Steigungsfaktor aus Gleichung 4-4

$$a = \frac{(m_{max} - m_{min})}{(W_{max} - W_{min})} \quad \text{Gl. 4-4}$$

und dem Verschiebungsfaktor aus Gleichung 4-5

$$c = -a * W_{min} + m_{min} \quad \text{Gl. 4-5}$$

dargestellt werden.

Es ist nicht möglich, eine allgemeingültige Aussage darüber zu treffen, welche Zielwertfunktion für welches Kriterium verwendet werden soll, da die Wahl von den spezifischen Eigenschaften des jeweiligen Kriteriums und der Entscheidungssituation abhängt. Die zu wählenden Zielwertfunktionen sind abhängig davon, ob die Ausprägung eines Kriteriums bei Wertzunahme als besser oder schlechter zu bewerten ist. Zur Wahl der passenden Zielwertfunktion wird die von KRÖLL genutzte Systematik hier adaptiert (s. Abb. 4-10):

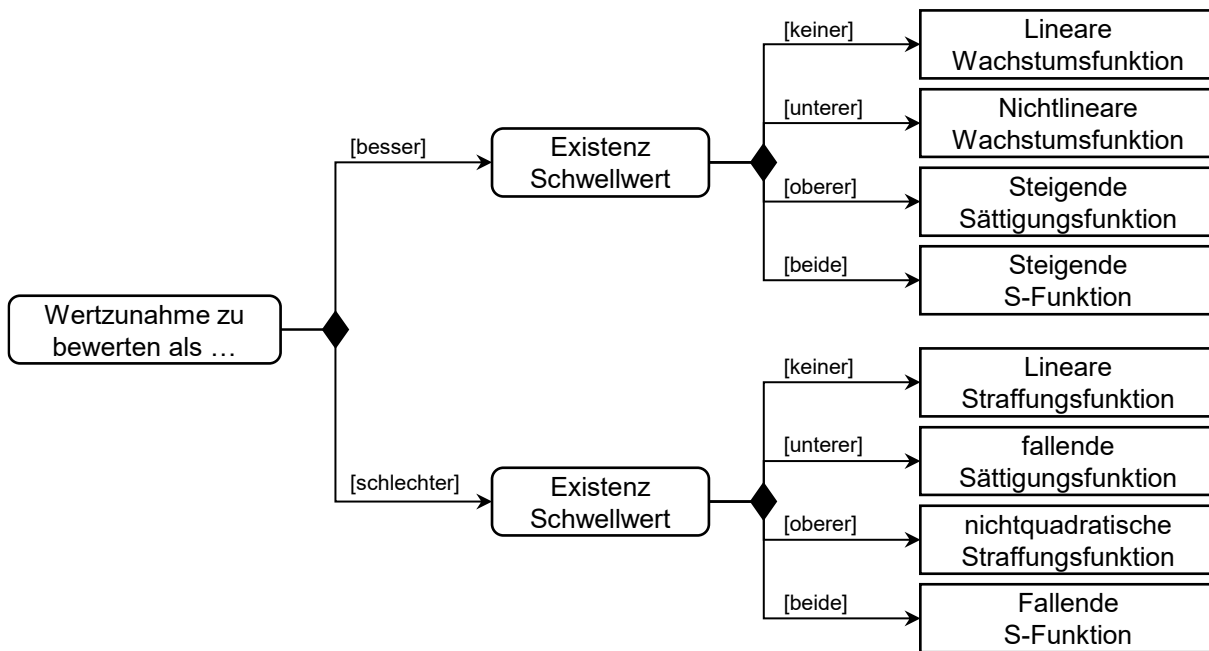


Abb. 4-10: Wahl der passenden Zielwertfunktion nach [KRÖ07]

In allen Fällen gilt es, zur genauen Funktionsermittlung die Minimal- und Maximalwerte sowie ggf. Wendepunkte zu bestimmen und die Funktionsparameter anhand der Grundformen zu errechnen. Für den Fall, dass keine genaue Aussage über die Bewertung der Wertzunahme einer Kriterienausprägung getroffen werden kann, sind entweder nichtlineare Maximum- oder Minimumfunktionen (bei Vorliegen einer optimalen oder minimalen Ausprägung) zu nutzen oder individuelle Funktionen bspw. durch Regressionsanalysen zu erstellen.

Die Definition des abzubildenden Maßzahlenbereichs und der Zwischenwerte erfolgt auf Grundlage des kriterienindividuellen Bewertungsverfahrens und der zugewiesenen Zielwertfunktion. Je nach Bewertungskriterium besteht die Möglichkeit, die Maßzahlbereiche entweder als Wertskala in einem beliebig gewählten Zahlenraum oder in einem bestimmten Intervall festzulegen. Für alle Maßzahlbereiche gilt, dass die Wahl der oberen und unteren Grenze von der Entscheidungssituation abhängt: Ist ein Konzept ohne Alternativen zu bewerten, empfehlen sich absolute Maßzahlen. Bei absoluten Maßzahlen entspricht die obere Grenze einer Ideallösung und dem technisch Bestmöglichen, die untere Grenze wird durch eine Minimallösung dargestellt. Wird ein Konzept im Vergleich zu einer vorliegenden Baseline und bzw. oder weiteren Alternativkonzepten bewertet, ist auch die Nutzung von relativen Maßzahlen möglich. Diese liegen dann vor, wenn die als obere und untere Grenze festgelegten Maßzahlen den jeweils besten bzw. schlechtesten Kriterienausprägungen der Alternativen entsprechen. Der Bewertungsaufwand ist bei der Nutzung von relativen Maßzahlen geringer, allerdings ist eine unabhängige Bewertung nur bei Nutzung absoluter Maßzahlen möglich.

Nach Festlegung der Zielwertfunktionen und Maßzahlbereiche werden die ermittelten Kriterienausprägungen für jedes Kriterium in ihre zugehörigen Maßzahlen überführt. Je nach Entwicklungsstand und Zeitpunkt der Bewertung können Informationen, die zur Ermittlung der Ausprägungen der Bewertungskriterien genutzt werden, mit Unsicherheit behaftet sein und sich im weiteren Verlauf der Entwicklung verändern. Um bei der Zuordnung zu Maßzahlen mit scharfen Werten zu arbeiten, empfiehlt sich der Einsatz der Szenario-Technik als Werkzeug, das Eintreffen bestimmter Zustände mit wahrscheinlichen Szenarien zu prognostizieren. So können bei unsicheren Kriterienausprägungen mehrere Bewertungen unter Zuhilfenahme optimistischer, realistischer und pessimistischer Szenarien mit einer abgeschätzten Eintrittswahrscheinlichkeit erstellt und in der Analyse betrachtet werden.

Abschließend werden die Maßzahlen, die unterschiedlichen Skalen unterliegen können, normiert. Die Normierung ermöglicht eine unabhängige Vergleichbarkeit der Kriterien zueinander und vereinheitlicht den Erfüllungsgrad eines Kriteriums im festgelegten Maßzahlbereich. Der Erfüllungsgrad wird auf einem kriterienübergreifenden Intervall von $[0,1]$ normiert, um im zweiten Schritt die Abweichung des Ist-Erfüllungsgrad zum Soll-Erfüllungsgrad zu ermitteln.

Ermittlung der Abweichung („Konzeptlücke“)

Im zweiten Schritt der Ermittlung des Bewertungsergebnisses wird die „Konzeptlücke“ berechnet, welche ein Ausdruck für die Abweichung eines optimalen Konzepts zum betrachteten Ist-Zustand des bewerteten Konzepts darstellt. Kriterienindividuell wird die Differenz aus der optimalen Maßzahl zur zugeordneten Maßzahl im normierten Intervall ermittelt. Die Abweichung berechnet sich folglich über alle i Kriterien zu:

$$d_i = 1 - m_i \quad \text{Gl. 4-6}$$

wobei 1 den maximalen und optimalen Wert m_{max} repräsentiert (s. Abb. 4-11). Die Höhe der Differenz der Kriterienausprägungen zum Zielwert gibt keinen Aufschluss über die Relevanz der Konzeptlücke vor dem Hintergrund der unternehmerischen Strategie. Um den Fit des Konzepts zu überprüfen, gilt es im dritten Schritt die Abweichung zu gewichten.

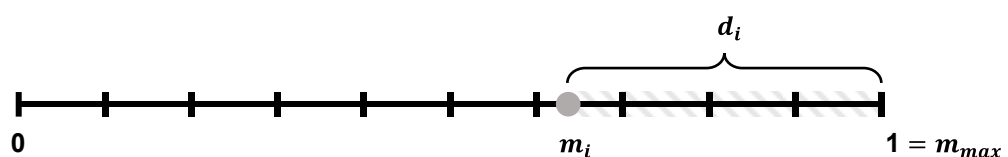


Abb. 4-11: Visualisierung der „Konzeptlücke“: Abweichung vom Maximalwert

Gewichtung der Abweichung („Konzeptlücke“)

Im dritten und letzten Schritt des Bewertungsmoduls werden die Kriterienausprägungen über die ermittelten Abweichungen in Bezug zur Unternehmens- und Produktstrategie gesetzt. Grundlage ist die Matrix G mit paarweisen Vergleichen der priorisierten Bewertungskriterien, welche im Strategiemodul definiert wurde. Die in der Matrix aufgeführten Vergleichswerte p_{ij} stellen Verhältniszahlen dar, welche die Bedeutung der Kriterien durch die Gegenüberstellung von Kriterium A_i mit Kriterium A_j ausdrücken. i und j stellen zwei Kriterien der abzählbaren Menge relevanter Kriterien $A \in [1, n]$ dar.

Aus den in der Matrix aufgeführten Verhältniszahlen lassen sich die Gewichtungsfaktoren g_i ermitteln, mit denen die Konzeptlücken d_i multipliziert werden. Dafür wird die Matrix zunächst spaltenweise normiert, indem jedes Element a_{ij} durch die Spaltensumme der jeweiligen Spalte i dividiert wird. Der normierte Wert x_{ij} berechnet sich durch:

$$x_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad \forall i, j \in (1, \dots, n) \quad \text{Gl. 4-7}$$

Anschließend wird der Mittelwert je Zeile der normierten Matrix X durch zeilenweise Addition und Division durch die Anzahl der Spalten berechnet, der dem Gewichtungsfaktor g für jedes Element i entspricht:

$$g_i = \sum_{j=1}^n \frac{x_{ij}}{j} \quad \forall i \in (1, \dots, n) \quad \text{Gl. 4-8}$$

Eine Konsistenzprüfung nach Vorbild des *AHP* von SAATY kann zur Identifikation von Diskrepanzen in der Bewertung durchgeführt werden, welche durch die mangelnde Präzision des menschlichen Verstandes beim paarweisen Vergleich entstehen können [SAA87], [SCH22]. Die Konsistenz wird durch eine Potenzierung der Matrix G geprüft. Entspricht jede Potenz der Matrix einer Konstanten k multipliziert mit der Matrix, kann von konsistenten Verhältniszahlen ausgegangen werden:

$$a_{i,k} * a_{k,j} = a_{i,j} \quad \forall i, j, k \in (1, \dots, n) \quad \text{Gl. 4-9}$$

Die Berechnung eines Gesamtkonsistenzfaktors ist lediglich bei einer Anwendung mit maximal 15 Kriterien sinnvoll.

Abschließend berechnet sich die gewichtete Abweichung der Ist-Leistungen der Kriterien zu den Soll-Leistungen zu:

$$\delta_i = d_i * g_i \quad \forall i = 1, \dots, n \quad \text{Gl. 4-10}$$

und dient folglich als Eingabe für das Entscheidungsmodul.

4.5 Entscheidungsmodul

Das Entscheidungsmodul unterstützt die Analyse der Bewertung durch die Bereitstellung geeigneter Visualisierungswerkzeuge, die im Einklang mit den eingangs formulierten Anforderungen der Zielorientierung stehen. Das Ziel ist, die Bewertungsergebnisse in einer Form aufzubereiten, in der das Ableiten der technologischen Potenziale und Optimierungsbedarfe ermöglicht wird und Entscheidungen in Bezug auf den weiteren Entwicklungsverlauf getroffen werden können. Durch das Ausweisen und Kategorisieren ergebnisdeterminierender Bewertungskriterien können Rückschlüsse auf adjustierbare Parameter gezogen werden, denen durch die Definition und Offenlegung eines Zielkorridors entwicklungsbegleitende Handlungsmaßnahmen zugeordnet werden können. Im ersten Schritt werden Handlungsbedarfe durch die Kategorisierung der Bewertungskriterien mittels abgeschlossener Intervalle und Zuordnung zu den drei Qualifikationen Konformität, Unterqualifikation und Kritikalität identifiziert. Im zweiten Schritt werden geeignete, einflussreiche Maßnahmen durch die Analyse unterqualifizierter und kritischer Kriterien unter Berücksichtigung der in Kapitel 4.2.2 aufgestellten inhärenten Wirkbeziehungen der Kriterien abgeleitet. Entsprechend werden die Maßnahmen herausgestellt, welche einen hohen positiven Einfluss unter geringem Ressourceneinsatz versprechen.

4.5.1 Identifikation von Handlungsbedarfen

Die Wahl einer geeigneten Visualisierung zur Identifikation von Handlungsbedarfen ist notwendig, um die Entscheidungstragenden bei der Überprüfung der Bewertungsergebnisse auf Zielkonflikte mit der Unternehmens- und Produktstrategie zu unterstützen und Verbesserungsbedarfe aufzuzeigen. Sie dient als Hilfestellung, eindeutige Maßnahmen durch transparente, kriterienindividuelle Entscheidungen abzuleiten. Außerdem bietet sie gerade bei komplexen Entwicklungsprojekten der hohen Anzahl an beteiligten Entwicklerinnen und Entwicklern einen schnellen Überblick über den aktuellen Entwicklungsstand der betrachteten Konzeptalternativen bei gleichzeitiger Zusammenführung der involvierten Kompetenzschwerpunkte.

Zur Darstellung der im Bewertungsmodul ermittelten Ist- und Sollleistungen der Kriterien sowie deren Differenz der betrachteten Konzeptalternativen wird ein Netzdiagramm gewählt (s. Abb. 4-12). Netzdiagramme eignen sich bei der Darstellung einer hohen Anzahl von Kriterien, da sie einen Überblick über die Gesamtleistung der Konzeptalternative schaffen. Sie bieten den Vorteil, dass jedes Kriterium individuell auf einer Achse dargestellt und so die Abweichungen zwischen Ist- und Sollleistungen

unmittelbar abgelesen werden können. Eine grundsätzliche Aussage über den Fit eines Konzepts zur Strategie kann vor allem dann getroffen werden, wenn die Menge aller Kriterien des Konzepts Pareto-optimal im Vergleich zu den Alternativen ist. Aufgrund der hohen Anzahl an Kriterien tritt dieser Zustand selten ein, da die grundsätzliche Notwendigkeit der Anwendung einer Bewertungsmethode keinen logischen Schluss auf die Superiorität eines Konzeptes ermöglicht.

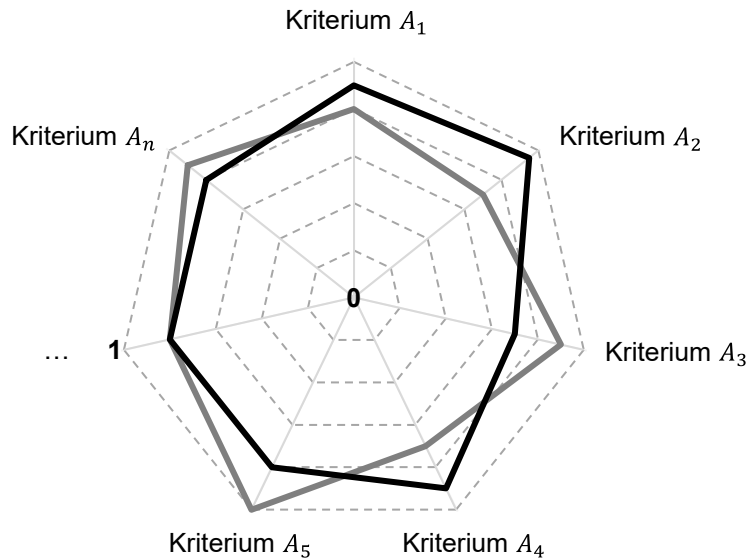


Abb. 4-12: Netzdiagramm zur Visualisierung des Bewertungsergebnisses

Netzdiagramme bieten eine methodische Basis zur Darstellung von gegenwärtigen Stärken und Schwächen eines Konzeptes. Durch den Einsatz der Netzdiagramme werden die Entscheidungstragenden in die Lage versetzt, mit den quantitativen Abweichungen der Ist- zur Sollleistung einzelner Kriterien diejenigen Kriterien herauszugreifen, bei denen prinzipielle Weiterentwicklungsaktivitäten anhand konkreter Maßnahmen zu planen sind. Zur besseren Darstellung im Netzdiagramm empfiehlt sich Gleichung 4-11:

$$\text{Darstellungswert} = 1 - \delta_i \quad \forall i = 1, \dots, n \quad \text{Gl. 4-11}$$

Durch die im Bewertungsmodul durchgeführte Gewichtung der Bewertungskriterien stehen bei der Analyse der Netzdiagramme besonders die Kriterien im Vordergrund, deren Ist- zur Sollleistung eine hohe Abweichung aufweist. Um die Netzdiagramme in ihren Ausprägungen zu interpretieren, wird zusätzlich eine Kategorisierung der Kriterien in Konformität, Unterqualifikation und Kritikalität auf Basis der quantitativen Datengrundlage durchgeführt. Dafür sind zunächst Grenzwerte festzulegen, mit deren Hilfe die Kriterien den einzelnen Kategorien zugeordnet werden können. Die Festlegung der Grenzwerte kann absolut oder relativ erfolgen. In Anbetracht der

Entwicklungsaufgabe ist die Nutzung absoluter Grenzwerte sinnvoll, um selbst bei der Bewertung vieler Konzeptalternativen das strategische Ziel präsent abzubilden und nicht die niedrigste gewichtete Konzeptlücke als strategisch konform zu definieren. Im Folgenden wird die Interpretation der jeweiligen Kategorie samt der für diese Kategorie geltenden Grenzwerte beschrieben.

Konformität

Konformität beschreibt den Fall einer Übereinstimmung der erzielten Bewertung zu der strategischen Ausrichtung des Produkts, und damit des Unternehmens, und stellt den Idealzustand einer Bewertung dar. Ein Bewertungskriterium eines Konzepts ist dann strategisch konform, wenn die Differenz aus Istleistung und Sollleistung des Kriteriums betragsmäßig sehr gering ist. Das Intervall, in dem ein Kriterium strategisch konform ist, ist nach Berechnung der gewichteten Konzeptlücke ein Bewertungsergebnis des Kriteriums zwischen 0,99 und 1, Intervall $[0,99|1]$. Dies ist damit der Grenzwert, ab dessen Erreichung die Kategorie Konformität gewählt wird. Liegt Konformität vor, ist kein oder nur ein geringer Änderungsbedarf vorhanden, sodass Ressourcen vermehrt zur Optimierung unterqualifizierter oder kritischer Kriterien vorgehalten werden sollten. Dennoch ist eine Überprüfung bei Kriterien empfehlenswert, deren relatives Gewicht in der Bewertung sehr klein ist. Je nach Einsatzplanung der Entwicklung ist eine Allokation von Ressourcen zur Verbesserung oder zum Halten des erfüllten Standards kritisch zu analysieren.

Unterqualifikation

Unterqualifikation beschreibt den Fall, in der die erzielte Bewertung eines Kriteriums nicht im Einklang mit der strategischen Ausrichtung des Unternehmens steht. Unterqualifikation wird oft mit einer Minderleistung des Konzepts im Sinne der Kundenorientierung assoziiert. Durch die strategieabhängige Gewichtung ist in diesem Fall allerdings eine Minderleistung des Kriteriums in Hinblick auf die Unternehmensstrategie gemeint. Das Intervall, in dem das gewichtete Bewertungsergebnis eines Kriteriums als unterqualifiziert kategorisiert wird, liegt zwischen 0,98 und 0,99, Intervall $[0,98|0,99]$. Unterqualifizierte Kriterien sollten einer gründlichen Analyse unterzogen werden, um die richtigen Optimierungsmaßnahmen unter Berücksichtigung des Ressourceneinsatzes zu wählen.

Kritikalität

Kritikalität beschreibt den Fall, in der das strategische Ziel eines Unternehmens mit der betrachteten Konzeptalternative gefährdet ist. Das Konzept ist nicht am eigentlichen Produktzweck orientiert und kann negative Auswirkungen auf den Produkterfolg nach sich ziehen. Das Intervall, in dem die gewichtete Konzeptlücke als kritisch gilt, liegt

unter dem Grenzwert 0,98, Intervall [0|0,98). Als kritisch kategorisierte Kriterien bedürfen unter der Annahme, dass das Konzept dennoch weiterverfolgt werden soll, in der Entwicklung besonderer Aufmerksamkeit. Zunächst gilt es zu bewerten, durch welche Maßnahmen eine schnelle Verbesserung des Bewertungsergebnisses erzielt werden kann.

Methodische Hilfestellung zur Ableitung geeigneter Maßnahmen, insbesondere für unterqualifizierte und kritische Kriterienbewertungen, werden im Folgenden ausgeführt.

4.5.2 Ableitung geeigneter Maßnahmen

Nach Visualisierung und Kategorisierung der Bewertungsergebnisse stehen besonders die Kriterien im Mittelpunkt, denen nur eine geringe strategische Konformität zugewiesen wurde. Unter Berücksichtigung der Bewertungsergebnisse muss folglich eine kritische Perspektivenanalyse und Maßnahmenableitung vorgenommen werden. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Methodik lediglich unterstützende Hilfestellungen darbietet, die Auswahl der geeigneten Handlungsmaßnahmen aber den Kontextbedingungen des betrachteten Unternehmens unterliegen. Dazu zählen u.a. Aspekte wie die aktuelle Ressourcenverfügbarkeit, Mitarbeitergebundenheit und Infrastrukturauslastung. Die Bewertungsmethodik dient der ganzheitlichen und reproduzierbaren Analyse der Entscheidungssituation und bereitet Entscheidungen vor, die anschließende Entscheidung obliegt allerdings den Entscheidungsträgerinnen und -trägern und ist somit nicht Teil der Methodik.

Die Ableitung geeigneter Maßnahmen ist notwendig, um das Technologiekonzept in den weiteren Entwicklungsschritten zielgerichtet zu steuern. Für diesen Schritt ist die individuelle Betrachtung der einzelnen Konzepte bspw. im Rahmen von Workshops mit den Entscheidungstragenden sowie den wichtigsten Stakeholdern des betrachteten Konzepts notwendig. Zu den Stakeholdern zählen die in Kapitel 4.1.5 dargestellten Akteure, u.a. leitende Entwicklerinnen, Entwickler sowie mögliche Lead-User zur Repräsentation der Kundenperspektive. Innerhalb der Untersuchungen werden je Konzept für unterqualifizierte und kritische Kriterien Maßnahmen abgeleitet, die in der nächsten Iteration des Konzepts zu einer Steigerung des Bewertungsergebnisses führen. Innerhalb der kriterienindividuellen Analyse sind die Effekte und Abhängigkeiten zwischen den Kriterien zu beachten, die durch die inhärenten Wirkbeziehungen auftreten. Entsprechend können die Fokussierung und Verbesserung des Bewertungsergebnisses eines Kriteriums Auswirkungen auf die Bewertungsergebnisse der anderen Kriterien haben. Zu diesem Zweck wird die in Kapitel 4.2.2 aufgestellte Einflussmatrix der inhärenten Wirkbeziehungen herangezogen. Die kumulierte Einflussstärke eines Kriteriums gibt Rückschlüsse auf

die Bedeutung des Kriteriums für die Gesamtbewertung des Konzepts. Bei der Bewertung des Ressourcenaufwands im Rahmen der Analyse sind diese Kriterien in Abhängigkeit zur relativen Gewichtung entsprechend bei der Ressourcenallokation zu berücksichtigen. Die kumulierte Beeinflussbarkeit eines Kriteriums gibt Aufschluss darüber, wie stark das Kriterium von den anderen Kriterien beeinflusst wird. Liegt eine hohe relative Gewichtung und damit strategische Wichtigkeit bei einem Kriterium mit hoher Beeinflussbarkeit vor, ist bei Maßnahmen besondere Vorsicht geboten. Es kann der Fall eintreten, dass durch die Verbesserung eines anderen Kriteriums ein unerwünschter Effekt in der Bewertung dieses Kriteriums erzeugt wird. Die Berücksichtigung der Wechselwirkungen unter den Kriterien ist bei den Untersuchungen folglich essenziell, um geeignete Maßnahmen zu definieren, die mögliche Veränderungen in der Gesamtbewertung präzisieren.

Aufgrund der Tatsache, dass die Maßnahmen hoch individuell, kontext- und konzeptabhängig sind, wird an dieser Stelle keine pauschale Aussage zur Definition möglicher Maßnahmen getroffen. Des Weiteren können Maßnahmen nicht nur konzeptioneller Natur, sondern auch strategischer Natur durch die Überprüfung und ggf. Adjustierung der Geschäftsstrategie sein.

Zur Überprüfung, welche Maßnahmen zu priorisieren und damit objektiv geeignet sind, eine schnelle Verbesserung des Bewertungsergebnisses herbeizuführen, eignet sich die Nutzung eines Wert-Aufwand-Portfolios (s. Abb. 4-13).

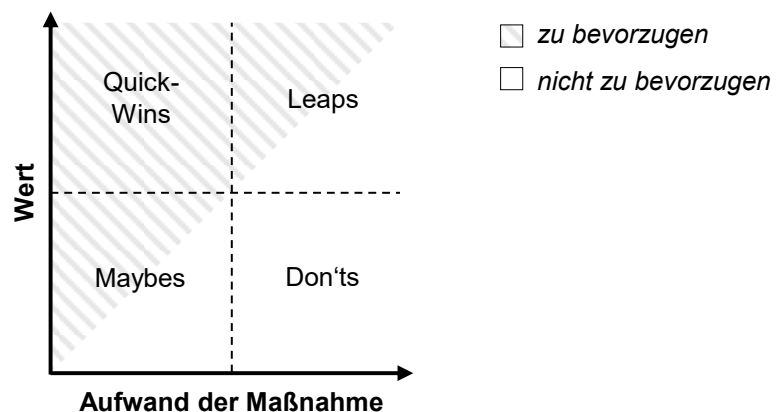


Abb. 4-13: Wert-Aufwand-Portfolio zur Priorisierung der Handlungsmaßnahmen

Auf der Ordinate wird der prognostizierte Wert der Maßnahme eingetragen. Der Wert beschreibt die erwartete Steigerung der Bewertungsergebnisse der Kriterien durch die Maßnahme. Als Anhaltspunkt dient die kumulierte Einflussstärke der betrachteten Kriterien, die adressiert werden sollen. Auf der Abszisse wird der prognostizierte Aufwand eingetragen. Dieser lässt sich über eine Aufwandsschätzung der Arbeiten bestimmen, welche notwendig sind, um die gewünschte Steigerung im Bewertungs-

ergebnis herbeizuführen. Das Portfolio dient als Instrument zur Priorisierung der Maßnahmen, indem es die eingetragenen Maßnahmen in vier Kategorien entsprechend der Quadranten des Portfolios einteilt. Die Kategorie „*Quick Wins*“ umfasst die Maßnahmen, die durch einen geringen Entwicklungsaufwand großen positiven Einfluss auf das Bewertungsergebnis eines Konzeptes haben. Diese Maßnahmen gilt es in der Allokation der Entwicklungsaufwände zu priorisieren. Die Kategorie „*Maybes*“ zeichnet sich durch geringe Entwicklungsaufwände bei der Maßnahmenumsetzung aus. Allerdings ist der Einfluss auf das Bewertungsergebnis nur gering. Die Kategorie „*Leaps*“ beinhaltet Maßnahmen, die auf der einen Seite einen großen positiven Einfluss auf das Entwicklungsergebnis haben, allerdings auch mit hohen Ressourcenaufwänden einhergehen. Entsprechend ist eine hohe Zuversicht in die erfolgreiche Umsetzung dieser Maßnahmen notwendig. Bei beiden zuvor genannten Kategorien ist folglich eine kritische Prüfung durchzuführen, welche Maßnahmen eingeleitet werden. Die Kategorie „*Don'ts*“ umfasst Maßnahmen, welche einen hohen Ressourcenbedarf haben, bei denen der Einfluss auf das Bewertungsergebnis allerdings nur gering ausfällt. Maßnahmen, die unter diese Kategorie fallen, sind zu vermeiden bzw. nicht weiter zu verfolgen.

5 Anwendung der Methodik am Beispiel von HMI-Konzepten

Nach der Konzeptionierung der Methodik zur Bewertung marktrelevanter Erfolgsfaktoren folgt in diesem Kapitel die Anwendung der Methodik im Sinne einer technischen Verifikation anhand eines HMI-Konzepts. Die Verifikation hat zum Ziel, die Nützlichkeit sowie die Gebrauchstauglichkeit des Entwicklungsansatzes zu zeigen. Durch die Wahl eines geeigneten Anwendungsbeispiels werden zusätzlich die Anwendbarkeit und Praxisrelevanz der Bewertungsmethodik verdeutlicht. Dieses Vorgehen steht im Einklang mit dem vorletzten Schritt des zugrundeliegenden Forschungsprozesses der angewandten Wissenschaften nach ULRICH (s. Kapitel 1.2).

Die Demonstration der Bewertungsmethodik erfolgt anhand eines fiktiven Automobilherstellers, der in der frühen Phase seiner Produktentwicklung vor einem Konzeptentscheid steht. Der Automobilhersteller und seine verfolgten Unternehmens- und Produktstrategien sind auf Basis öffentlich verfügbarer Daten führender Hersteller des gleichen Segments aufgebaut [BMW22], [MER22]. Vorliegende reale Daten sind unter Berücksichtigung von Geheimhaltungsvereinbarungen entsprechend abgewandelt und anonymisiert.

Die Anwendung der Bewertungsmethodik erfolgt entlang des Vorgehensmodells. Dabei werden die einzelnen Teilmodule durchlaufen und die eingesetzten Methoden und Werkzeuge vorgestellt. Zunächst wird die Initialisierungsphase beschrieben, in der die Kontext- und Rahmenbedingungen des fiktiven Unternehmens dargelegt werden. In der Vorbereitungsphase werden die zur Verfügung stehenden Konzeptalternativen beschrieben. Die Basis dafür bieten reale HMI-Konzepte, die im Rahmen eines öffentlichen Projektes entwickelt und evaluiert werden. In der Durchführungs- und Analysephase werden die Ergebnisse vorgestellt und diskutiert. Es wird ein Ausblick über die sich daraus empfehlenden, weiteren Entwicklungstätigkeiten gegeben.

5.1 Initialisierungsphase

Ermittlung der relevanten Bewertungskriterien

Die Ermittlung der relevanten Bewertungskriterien wurde bereits beim Aufbau der Bewertungsmethodik exemplarisch durchgeführt. Entsprechend werden im Zuge der Methodikanwendung die in Kapitel 4.2.1 identifizierten und konsolidierten Bewertungskriterien zur folgenden Bewertung genutzt. Trotz der innerhalb der Methodik grundsätzlichen Möglichkeit der Ergänzung weiterer Bewertungskriterien wird vorausgesetzt, dass durch den Einsatz und die Nutzung des Fünf-Ebenen-Modells ein für diesen Kontext bereits umfassender Kriterienbaum aufgestellt ist.

Unternehmenskontext und Strategieanalyse des betrachteten Unternehmens

Die CARL AG ist ein international agierender Automobilkonzern mit Hauptsitz in Deutschland, der weltweit rund 100.000 Mitarbeiter beschäftigt. Das Geschäftsmodell der CARL AG umfasst die Herstellung sowie den Vertrieb von Personenkraftwagen (PKW) und weiteren Dienstleistungen wie bspw. Fahrzeugleasing im Bereich der Individualmobilität. Mit einem Umsatz von ca. 100 Mrd. Euro bei einem Absatz von 2,2 Millionen Fahrzeugen im vergangenen Jahr zählt die CARL AG zu einem der größten Automobilhersteller weltweit. Der Konzern besteht aus drei Automobilmarken, deren Fahrzeugportfolio Fahrzeuge vom Kleinwagensegment bis hin zum Luxussegment abdeckt. Der Fokus und Hauptumsatztreiber sind die Fahrzeuge aus dem Premiumsegment. Die absatzstärkste Marke ist die gleichnamige Marke „CARL“ mit einem Absatz von 2 Millionen Premiumfahrzeugen von der Kompakt- bis zur Oberklassenlimousine in verschiedenen Ausstattungs-, Karosserie- und Antriebsvarianten. Der Konzern möchte unangefochtener Marktführer im Bereich des Premiumsegmentes werden, unterstützt durch das Kernziel der Marke, durch *Sportlichkeit* und *Innovationskraft* ein einzigartiges *Fahrerlebnis* zu schaffen.

Doch die CARL AG ist mit den Herausforderungen der Megatrends wie Elektrifizierung, automatisiertes Fahren, Konnektivität und geteilter Ökonomie (s. Kapitel 1.1) konfrontiert. Darüber hinaus verschärfen neue Automobilhersteller aus dem asiatischen und amerikanischen Raum den Wettbewerb. Vor dem Hintergrund dieses Marktumfeldes ist das Unternehmen dennoch bestrebt, seine Wettbewerbsposition nicht nur zu halten, sondern weiter auszubauen. Dazu hat die Strategieabteilung des Konzerns vier Handlungsfelder definiert: Wachstum, Zukunft gestalten, *Profitabilität* und Zugang zu *neuen Technologien*. *Nachhaltigkeit* soll als Grundüberzeugung dabei jedem Handlungsfeld auch durch die Übernahme sozialer und ökologischer Verantwortung zugrunde liegen.

Nachhaltiges Wachstum beinhaltet die Erhöhung der Marktanteile durch Produktproliferation der bestehenden Marken sowie die Erschließung neuer Märkte in Amerika, Asien und Europa. Die Zukunft nachhaltig gestalten bedeutet, die *Umweltauswirkungen* des Unternehmens und der Produkte drastisch zu senken sowie Mobilitätsdienstleistungen und erweiterte Komfortfunktionen ganzheitlich Ende-zu-Ende zu denken. Zu diesem Zweck werden hohe Investitionen vor dem Hintergrund einer Risikoaffinität getätigt, um die bei der Produktion entstehenden Treibhausgasemissionen um 80 % bis 2030 und die in der Nutzungsphase entstehenden Emissionen um 50 % zu reduzieren. Operational umgesetzt wird dies durch die Technologiestrategien Leichtbau und Elektrifizierung der Antriebsstränge. Nachhaltige *Profitabilität* bedingt die Erwirkungen und die Aufrechterhaltung einer operativen EBIT-Marge (*Earnings Before Income and Taxes*) im Segment der Automobilproduktion von

10 %, auch um die hohen Investitionen besonders im Bereich des automatisierten Fahrens zu stemmen. Die angestrebte Profitabilität soll durch eine *Kostenreduktion* in den direkten Bereichen der Produktion mittels Minimierung von Ressourcenverbrauch und Reduktion von Ausschuss und Abfall sowie durch die Beseitigung von Währungsrisiken erreicht werden. Der nachhaltige Zugang zu neuen Technologien impliziert die kontinuierliche, eigenständige oder kooperative Entwicklung neuer Technologien und Mobilitätsdienstleistungen. Im Vordergrund steht grundlegend der Kundennutzen durch Steigerung des *Produkterlebnisses*.

Zusammenfassend lassen sich folgende Technologiemerkmale aus dem strategischen Kontext des Unternehmens identifizieren: Sportlichkeit, Luxus, Nachhaltigkeit, Profitabilität, Innovation und User Experience.

5.2 Vorbereitungsphase

5.2.1 Festlegung der Produktstrategie

Die Produktstrategie umfasst die technische Umsetzung des Fahrzeugkonzeptes, priorisiert durch die Unternehmensstrategie mit dem geplanten Fahrzeugmodell. Ziel ist, aus den relevanten Bewertungskriterien diejenigen zu identifizieren, welche die markenprägenden Fahrzeugeigenschaften bestmöglich abbilden und einen hohen Einfluss auf die strategische Zielerreichung bedingen.

Das Flaggschiff der Marke CARL ist die Oberklassenlimousine „MAGNUS“, bei der sich die Entwicklung der nächsten Generation in der frühen Phase des Entwicklungsprozesses befindet. Der prognostizierte Absatz des Fahrzeugs beläuft sich auf 500.000 Einheiten mit dem wichtigsten Absatzmarkt in Europa, dahinter die USA und China. Das Unternehmen stellt an das 120.000 Euro teure Fahrzeug den Anspruch, als Technologieträger innovative Technologien als erstes in Serie zu bringen, um die markenprägenden Eigenschaften Innovation, Sportlichkeit und Luxus zu unterstreichen. Bereits in Vorgängermodellen konnte dies mit der Einführung einer Hinterachslenkung und mit aktiven Stabilisatoren gelingen. Für CARL hat MAGNUS folglich eine hohe *Imagewirkung* und trägt über Absatz und *Verkaufspreis* maßgeblich zum Unternehmensumsatz bei. Das Profitabilitätsziel liegt bei 20 %, auch um Fahrzeugmodelle kleinerer Segmente mit höheren Verkaufszahlen, die eine geringere Profitabilität von unter 10 % aufweisen, in der Unternehmenszielvorgabe von 10 % aufzuwiegen.

Die neue Generation soll ein *neues Fahrerlebnis* durch die Möglichkeit des automatisierten Fahrens nach SAE-Level 3, wie derzeit in Deutschland nach UN-Regelung Nr. 157 erlaubt, schaffen [UNR21]. Der Fokus liegt dabei primär auf der Ermöglichung neuer Fahrzeug Use-Cases durch erhöhte Funktionalität. Das

Kontrollgefühl sowohl bei der automatisierten Fahrfunktion als auch beim manuellen Fahren soll hoch sein und Spaß an der Fahraufgabe gewährleisten. Dabei soll ein sportliches Fahrgefühl im Vordergrund stehen, um die im Wettbewerbsvergleich beste *User Experience* zu erreichen. Ein wichtiger Wegbereiter ist die Gestaltung einer einfachen Interaktion zwischen Mensch und Fahrzeug durch Nutzung intuitiver Kommunikationskanäle, um eine hohe *Usability* und *Sicherheit* zu garantieren.

Das übergreifende Ziel nachhaltiger Produkte soll die Berücksichtigung von *Umweltauswirkungen* bei einzelnen Konzeptentscheidungen von der Wahl der Antriebsstrangtechnologie bis hin zum eingesetzten Material hervorheben.

Zusammenfassend sind folgende relevante Bewertungskriterien bei der späteren Gewichtung zu priorisieren: Imagewirkung, Umweltauswirkung, Kosten, Preis, User Experience, Usability, Kontrollempfinden und Sicherheit.

5.2.2 Auswahl der Technologiealternativen (HMI-Konzepte)

Die automatisierte Fahrfunktion nach SAE-Level 3 bedeutet, dass das Fahrzeug unter bestimmten Bedingungen die Quer- und Längsführung sowie die Umgebungsbeobachtung übernimmt, der Fahrende aber weiterhin als Rückfallebene gilt [SAE21]. Eine Übernahmeaufforderung muss entsprechend so gestaltet sein, dass Fahrende innerhalb einer bestimmten Zeitdauer zurück in den Regelkreis der Fahrzeugführung geholt werden müssen. Die eingesetzten Kommunikationssysteme müssen folglich eine schnelle und sichere Übernahme gewährleisten. Dafür hat CARL mit seinen Zulieferern verschiedene multimodale Übernahmekonzepte entwickeln lassen. Um sich am Markt abzugrenzen, wurden innovative Konzepte mit kinästhetischen Übernahmeaufforderungen betrachtet. Mit der Nutzung dieses bislang wenig belegten Sinneskanals zur Kommunikation ist die Erwartung verbunden, dass eine bessere *Situation Awareness* (die Fähigkeit, die Fahrsituation wahrzunehmen, zu verstehen und effektiv darauf zu reagieren) und eine bessere *Mode Awareness* (das Wissen über das aktive Automatisierungssystem, dessen Leistungsniveau und die Aufgaben und Verantwortlichkeiten der Fahrenden) erreicht werden [KUR20]. Außerdem ermöglicht eine Bewegung der Fahrenden im Raum des Fahrzeugs eine Neuausrichtung, welche die Bedienbarkeit fahrzeugintegrierter Infotainmentsysteme sowie externer Geräte vereinfachen soll. Dadurch können Kundenanforderungen nach Nutzungsmöglichkeiten in der durch die Automatisierung der Fahraufgabe gewonnenen Zeit bedient und ein maßgeblicher Beitrag zur Schaffung eines neuen Fahrerlebnisses geleistet werden.

Das erste Konzept, welches im Rahmen dieser Forschungsanstrengungen entwickelt wurde, ist der sogenannte „Tilt Seat“. Bei Aktivierung der automatisierten Fahrfunktion wird den Fahrenden durch die erweiterte Verstellung der Rückenlehne ein größeres

Raumangebot gemacht. Die Rückenlehne wird dabei um 25° nach hinten geneigt. Der zusätzliche Raum ermöglicht die einfache Interaktion mit externen Geräten wie bspw. dem Mobiltelefon. Aufgrund der räumlichen Anordnung entfernen sich die Fahrenden allerdings von den Anzeige- und Bedienelementen. Außerdem verändert sich die Sichtachse. Nach Triggern der Übernahmeaufforderung wird die übliche Fahrposition durch ein wieder Nach-vorn-Neigen des Sitzes hergestellt. Die Fahrenden haben auch schon vor Abschluss der Verstellbewegung die Möglichkeit, durch Nach-vorn-Beugen die Fahraufgabe wieder zu übernehmen.

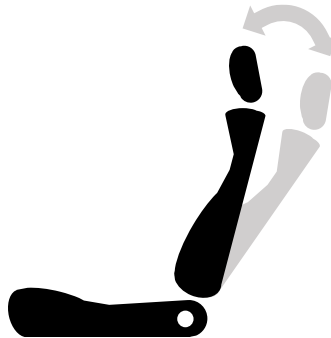


Abb. 5-1: Der „Tilt Seat“ als kinästhetische Übernahmeaufforderung

Das zweite Konzept ist der sogenannte „Turning Seat“. Der Turning Seat ist in der Lage, die fahrenden Personen nach Aktivierung der automatisierten Fahrfunktion um 25° in Richtung Fahrzeugmitte zu drehen. Dadurch werden die Fahrenden zum zentralen Anzeige-Bedienelement positioniert und eine Interaktion mit dem fahrzeugeigenen Infotainment ermöglicht. Durch die erkennbar gedrehte Position des Sitzes wird außerdem der automatisierte Fahrmodus eindeutig signalisiert. Die Umsetzung erfolgt über eine Drehung des Sitzes um einen leicht dezentralen Punkt, um die Drehbewegung gleichzeitig mit einer lateralen Bewegung zu kombinieren. Dadurch ergibt sich ein hoher Raumgewinn, durch den die Fahrenden immer noch in der Lage sind, das Verkehrsgeschehen zu beobachten. Beim Auslösen der Übernahmeaufforderung dreht der Sitz innerhalb weniger Sekunden in die ursprüngliche Fahrposition zurück. Die fahrenden Personen werden durch die Drehbewegung unmissverständlich unter Nutzung der Kinästhetik als Aufmerksamkeitssteuerung wieder zur Fahraufgabe gedreht. [JOC22]

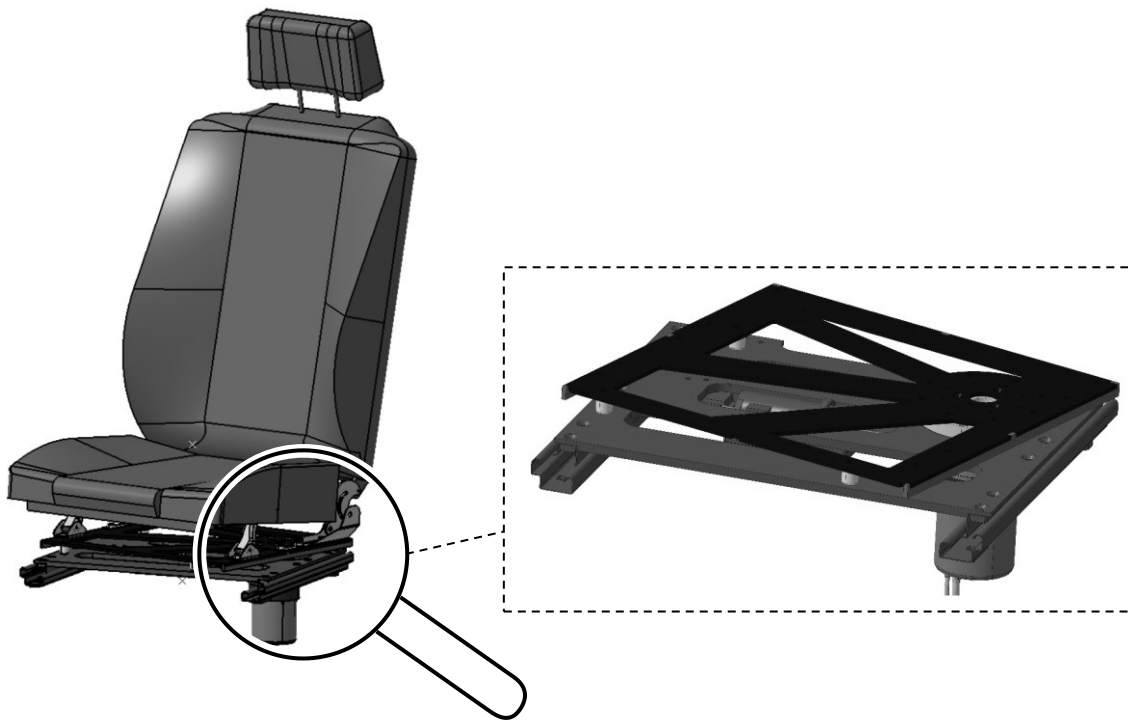


Abb. 5-2: Aufbau des „Turning Seats“ als kinästhetische Übernahmeaufforderung

Bei beiden Konzepten werden zu Übergabe- und Übernahmeaufforderungen unterstützend weitere Modalitäten genutzt. Umgesetzt wird dies durch eine Anzeige im Kombiinstrument (aktueller Status der Automatisierung und Aufforderungen) sowie durch akustische Signale (Signaltöne bei bevorstehenden Veränderungen).

Das dritte Konzept, und damit die Baseline, bildet das Sitzkonzept der aktuellen Fahrzeuggeneration. Dieses unterstützt keinerlei kinästhetische Signale und bildet die Übernahmeaufforderung lediglich durch die akustischen und visuellen Modalitäten ab. Der Fahrersitz bleibt auch während der automatisierten Fahrt in der unveränderten Fahrposition.

Der grundlegende Aufbau der drei Sitze umfasst folgende Komponenten: den Stahlrahmen für die Sitzfläche und Rückenlehne auf Schienen, die Kopfstütze, die Polsterung und ein Stützsystem, elektrische Versteller (Motoren und Steuerung) für Höhe, Liegefläche, Rückenlehne und Position, das Heizsystem, das Schutzsystem (Seitenairbag), den Kabelbaum sowie Verbindungsträger. Der Sitz besteht in etwa zu 58 % aus Stahl (vor allem im Rahmen), 30 % aus Kunststoffen (hauptsächlich Polyurethan und Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer, vor allem in der Polsterung), 5 % aus Beschichtungen und zu etwa 7 % aus elektrischen Leitern (hauptsächlich Kupfer im Kabelbaum und den Motoren). Die Umsetzung des Tilt Seats erfolgt durch die im Sitz verbauten Motoren, die auch schon aufgrund der standardmäßigen Sitzeinstellungsmöglichkeiten der Baseline vorliegen, allerdings größer dimensioniert. Zusätzlich wird das Rahmenwerk verstärkt. Die Umsetzung des Turning Seats erfolgt

über einen zusätzlichen Stellmotor, einen Stellmechanismus, eine Steuereinheit sowie Stahlplatten, an denen der Stellmechanismus des Sitzrahmens befestigt ist. Die Dimensionierung der Komponenten fällt größer aus als bei der Baseline, um die regelmäßige Bewegung des Sitzes über eine hohe Anzahl von Verstellzyklen sicherzustellen.

Es ist nicht sicher, welches der Konzepte am Markt erfolgreich eingeführt werden kann und einen positiven Ergebnisbeitrag im Sinne der strategischen Ausrichtung des Unternehmens generiert. Zu diesem Zwecke werden die Konzepte prototypisch im Zuge der Erstellung eines Feinkonzepts in einem Mockup umgesetzt, um erste Expertenstudien zu ermöglichen. Der Einsatz der entwickelten Methodik zur Bewertung marktrelevanter Erfolgsfaktoren soll zu einer objektiven Entscheidungsgrundlage über die weiteren Schritte verhelfen.

5.2.3 Auswahl der Bewertungskriterien

Bei der Auswahl der Bewertungskriterien ist zu beachten, dass lediglich die Kriterien in die Bewertung aufgenommen werden, die zum aktuellen Konzeptstand und Funktionsumfang bewertet werden können und deren Bewertungsaufwand im Verhältnis zum Bewertungsziel stehen. Im Folgenden wird die Auswahl der in Kapitel 4.2.1 identifizierten Kriterien vor dem Hintergrund der Bewertungsmöglichkeit an der prototypischen Umsetzung der Konzeptalternativen erläutert.

Auf *gesellschaftlicher Ebene* können zu diesem Zeitpunkt der Entwicklung bereits erste Aussagen über die *gesellschaftliche Akzeptanz* getroffen werden, sodass dieses Kriterium in die Bewertung einbezogen wird. *Interkulturelle Robustheit* ergibt sich je nach Markt, in welchem das Fahrzeugmodell ausgerollt wird. In diesem Fall bezieht sich das Kriterium auf die Interaktionslogiken und Gestaltung des Fahrerarbeitsplatzes, welcher je nach System unterschiedliche Nutzungsszenarien der automatisierten Fahrt ermöglicht. Entsprechend wird dieses Kriterium vor dem Hintergrund der Zielmärkte mit aufgenommen. *Inklusivität* wird als Kriterium aufgenommen, um einen Ausschluss bestimmter Personengruppen durch das Sitzkonzept zu bewerten. Die *Umweltauswirkung* ist trotz der noch nicht finalen technischen Umsetzung der Konzepte in der Bewertung der technischen Konzeptunterschiede abzuschätzen.

Auf *regulatorischer Ebene* sind alle Konformitätskriterien (*Konformität mit nationalen Gesetzen* und *internationalen Richtlinien* sowie *Normen, Standards* und *Guidelines*) in die Bewertung aufzunehmen. Die Erfüllung der Konformitätskriterien ist für die Zulassung der Konzepte notwendig. Diese sollten bei der Konzeptionierung berücksichtigt und vor dem Hintergrund der Veränderlichkeit bewertet werden. Das Kriterium des *Verbraucherschutzes* ist erst bei finaler technischer Umsetzung der

Konzepte bewertbar. In diesem Fall wird davon ausgegangen, dass die Sitzkonzepte prozesskonform nach ASPICE Level 2 [MAC20] mit dem Ziel der Risikominimierung und Rückverfolgbarkeit von Sicherheitsrisiken entwickelt wurden. Demzufolge wird dieses Kriterium zunächst für alle Sitzkonzepte aus der Bewertung ausgeschlossen.

Auf *ökonomischer Ebene* sind die Kriterien *Herstellungskosten* sowie *betriebliche Gemeinkosten* wichtige Kriterien, um auf Basis erster Schätzungen die Wirtschaftlichkeit des Produktes bereits in der Konzeptphase zu untersuchen. Die Sitzkonzepte sind keine Eigenentwicklung der CARL AG, sondern werden in Zusammenarbeit mit Zulieferern entwickelt und in der späteren Serienfertigung eingekauft. Entsprechend sind die Herstellungskosten und betrieblichen Gemeinkosten ausschließlich für den Zulieferer relevant, wohingegen diese Kosten gemeinsam mit der Gewinnmarge des Zulieferers den Einkaufspreis für das betrachtete Unternehmen bestimmen. Zur Bewertung der Sitzkonzepte ist folglich der Einkaufspreis entscheidend. Auch das Kriterium *Preis*, also Preissetzung in Bezug zu der erwartbaren Preisbereitschaft der Endkunden, wird in die Bewertung aufgenommen. *Instandhaltungs-, Recyclings- und Entsorgungskosten* werden zu diesem Zeitpunkt der Entwicklung mangels ausreichender Datengrundlage nicht in die Bewertung einbezogen. Die *Imagewirkung* kann bereits bewertet werden. Das Turning Seat Konzept ist zum Zeitpunkt der Bewertung in keinem weiteren Serienprodukt anderer Hersteller umgesetzt. Entsprechend ist die Wahrnehmung dieses innovativen Konzepts prognostizierend zu bewerten.

Auf *individueller Ebene* ermöglichen die Prototypen erste Studien durchzuführen, um die Wirkung der Technologie am Individuum (Expertinnen und Experten, Nutzende) zu überprüfen. Die *individuelle Akzeptanz* hat relevanten Einfluss auf die Kaufentscheidung und Nutzung eines Systems und wird in die Bewertung miteinbezogen. Durch die prototypische Realisierung können Subjektivdaten von Testenden erhoben werden, damit das Kriterium *User Experience* bewertet werden kann. Auch das Kriterium *Usability* kann bspw. durch die Messung der Effektivität, Effizienz, Verständlichkeit, Erlernbarkeit und Fehlertoleranz der Interaktion bewertet werden. Es ermöglicht eine Aussage über die Erfüllung des Interaktionsziels, inwieweit die Konzepte bei der gestellten Aufgabe der Übernahmeaufforderung durch Erzeugung von Situation Awareness unterstützen können. Den Sitzkonzepten unterliegen während der automatisierten Fahrt unterschiedliche Zugänglichkeiten der Fahrzeugperipherie. Die Untersuchung der *Anthropometrie* ist zu dem aktuellen Zeitpunkt unter Nutzung eines prototypischen Fahrzeugaufbaus möglich, der eine potenzielle Positionierung sämtlicher Anzeige- und Bedienelemente des zukünftigen Fahrzeugs simuliert. Ist ein entsprechendes Fahrzeugkonzept gegeben, kann das Kriterium in die Bewertung aufgenommen werden. Unter gleichen Voraussetzungen kann auch das Kriterium *Komfort* bewertet werden. Als Einschränkung gilt, dass die

Bewertung dynamischen Komforts eine Relativbewegung während der Sitzverstellung voraussetzt, die bspw. unter Nutzung eines hochdynamischen Fahrsimulators oder Realfahrzeugs erzeugt werden kann. Das Kriterium *Vertrauen* ist während einer Studie bereits bewertbar und wird aufgenommen, jedoch sind Aussagen über langfristige Vertrauenseffekte erst durch den Aufbau von Erprobungsträgern möglich, die Langzeittests zulassen. *Kontrollempfinden* lässt sich unter Nutzung eines Fahrzeugkonzeptes bzw. Mock-Ups bewerten und wird folglich der Bewertung hinzugefügt.

Auf *technischer Ebene* entscheidet der technische Reifegrad der Prototypen darüber, welche Kriterien in welchem Umfang in die Bewertung mit aufgenommen werden können. Das Kriterium *Leistungsfähigkeit* wird in die Bewertung einbezogen, um zu ermitteln, welches System positive Auswirkungen auf die Belastungsreduktion der Fahrenden bei einer Übernahme hat. Das Kriterium *Sicherheit* kann durch die Analyse und Simulation mittels objektiver Daten bereits im Prototypenstatus digital und real abgeprüft werden. Entsprechend wird es in die Bewertung aufgenommen. *Technische Kompatibilität* ist als Kriterium bereits während der Entwicklung zu berücksichtigen, um die Möglichkeiten der Adaptivität, Modularisierbarkeit und Standardisierbarkeit der Sitzkonzepte auf andere Fahrzeugklassen vorzuhalten. Weiter sind die aus den Sitzkonzepten resultierenden Anforderungen an Fahrzeugkonzept und Einbauort im Sinne der Flexibilität bewertbar und werden berücksichtigt. Der *Materialeinsatz* ist in vergleichender Form zwischen den Sitzkonzepten bereits zum jetzigen Entwicklungszeitpunkt prognostizierend bewertbar und wird daher aufgenommen. Auch vor dem Hintergrund der Wichtigkeit von Nachhaltigkeit als Unternehmensziel ist der Materialeinsatz zu bewerten. Das geschieht durch die Berücksichtigung der Höhe des Konzeptgewichts, welches einen Einfluss auf den Energieverbrauch des Fahrzeugs hat. Die *Zuverlässigkeit* wird nicht bewertet, da der Prototypenstatus zu früh im Entwicklungsprozess ist, um Langzeittests mit finalen Sitzkomponenten durchzuführen. Außerdem unterliegt die Komponentenauslegung dem Anspruch, dass die Funktionsfähigkeit des Systems über den gesamten Fahrzeuglebenszyklus erhalten bleibt. Das Kriterium *Packageeinfluss* ist in Bezug auf die untersuchten Systeme von hoher Bedeutung, da ein drehender Sitz sowie ein Sitz mit großem Lehnenverstellwinkel einen großen Einfluss auf die umliegenden Bauräume und Maßketten hat. Diese sind zum jetzigen Zeitpunkt bereits abschätzbar, auch wenn keine Anforderungen umliegender Systeme an die Sitzkonzepte berücksichtigt werden. Packageeinfluss wird folglich in die Bewertung aufgenommen. Das Kriterium der *Produktionsfähigkeit* wird aufgrund fehlender Bauteilinformationen des finalen Serienproduktes ausgeschlossen. Das Kriterium *Updatebarkeit* ist vor einer möglichen Erweiterung des Funktionsumfangs beim automatisierten Fahren zu bewerten. Durch die Homologationsrelevanz der Sitzkonzepte ist ein Update des Systems mit hohem finanziellen und personellen Aufwand verbunden und könnte im weiteren Verlauf der

Entwicklung zu einer Entscheidung gegen die Updatebarkeit führen. Folglich ist zum aktuellen Entwicklungszeitpunkt eine Bewertung sinnvoll. Die *Latenz* wird nicht bewertet, da die Zeitspanne zwischen Auslösen der Übernahmeaufforderung und Beginn der Sitzbewegungen bei allen Konzepten hinreichend gering ist.

Zusammenfassend sind es 25 Bewertungskriterien, anhand derer die Sitzkonzepte bewertet werden. Einige der aus der Bewertung ausgeschlossenen Kriterien können zu einem späteren Entwicklungszeitpunkt bewertbar werden und an Relevanz für Entscheidungen gewinnen. Entsprechend ist zu jedem zukünftigen Bewertungszeitpunkt eine Prüfung der Aufnahme dieser Kriterien sinnvoll. Eine Übersicht über die in der Durchführungsphase zu bewertenden Kriterien findet sich in Abb. 5-3.

Ebene	Kriterienauswahl
Gesellschaftliche Ebene	Gesellschaftliche Akzeptanz, Interkulturelle Robustheit, Inklusivität, Umweltauswirkung
Regulatorische Ebene	Konformität mit nationalen Gesetzen, Konformität mit internationalen Richtlinien, Konformität mit Normen und Standards, Konformität mit Guidelines
Ökonomische Ebene	Herstellungskosten, Betriebliche Gemeinkosten, Preis, Imagewirkung
Individuelle Ebene	Individuelle Akzeptanz, User Experience, Usability, Anthropometrie, Komfort, Vertrauen, Kontrollempfinden
Technische Ebene	Leistungsfähigkeit, Sicherheit, Technische Kompatibilität, Materialeinsatz, Packageeinfluss, Updatebarkeit

Abb. 5-3: In die Bewertung einbezogene Kriterien

5.3 Durchführungsphase

Strategische Gewichtung der Bewertungskriterien

Die strategische Gewichtung der Bewertungskriterien erfolgt über die Ermittlung der Gewichtungen entsprechend dem in Kapitel 4.3.2 vorgestellten Vorgehen. Die Relevanz der Kriterien wird durch die zugrundeliegende Unternehmens- und Produktstrategie gestaltet. So sind die Kriterien Imagewirkung, Umweltauswirkung, Kosten, Preis, User Experience, Usability, Kontrollempfinden und Sicherheit höher zu gewichten als die weiteren Bewertungskriterien. Im direkten Vergleich dieser Erfolgskriterien ist durch die Verantwortlichen eine Abwägung zu tätigen, ob ein Kriterium eine höhere Relevanz hat oder ob zwei Kriterien gleich relevant sind.

Die resultierende Matrix mit den Gewichtungen der Bewertungskriterien ist Anhang 10.8 zu entnehmen. Die Ergebnisse werden im weiteren Schritt der Bewertung genutzt, um Gewichtungsfaktoren abzuleiten, welche den strategischen Fit der Sitzkonzepte zum Unternehmen beeinflussen.

Festlegung der Erhebungsmethoden der Bewertungskriterien

Auf Basis des aktuellen Konzeptstands der betrachteten Technologiealternativen, des zu erwartenden Erhebungsaufwands und der gewünschten Genauigkeit der Bewertung im Sinne des Bewertungsziels werden für die ausgewählten Bewertungskriterien individuelle Erhebungsmethoden für alle Technologiealternativen bestimmt. Eine Übersicht über die Erhebungsmethoden findet sich in Anhang 10.9. Die Kriterien der regulatorischen Konformität werden zusammengefasst in einem Kriterium bewertet. Grundsätzlich werden quantifizierte Daten dort verwendet, wo diese vorliegen, um die Objektivität der Entscheidungsfindung zu erhöhen. Der Vorteil der grundsätzlichen Möglichkeit, in der Bewertungsmethodik quantitative sowie qualitative zu nutzen, erlaubt die Einbindung der Kriterien, die zu diesem Zeitpunkt vorwiegend qualitativ durch die Durchführung einer Experten- bzw. Nutzerstudie bewertbar sind. Zu diesem Zweck wird in der Entwicklung eine Expertenstudie im Rahmen eines öffentlichen Forschungsprojektes durchgeführt, deren Aufbau und Ablauf in Anhang 10.10 kurz skizziert wird. Für weitere Informationen zum Forschungsprojekt und den durchgeführten Studien sei an dieser Stelle auf [EUR19c] verwiesen.

5.3.1 Ausprägungsermittlung der Bewertungskriterien

Entsprechend der festgelegten Erhebungsmethoden werden im Folgenden die Ergebnisse der Ausprägungsermittlung der Kriterien zusammengefasst.

5.3.1.1 Gesellschaftliche Ebene

Gesellschaftliche Akzeptanz

Die gesellschaftliche Akzeptanz bewertet, wie Nutzende und auch betroffene Personen die Sitzkonzepte hinsichtlich der Akzeptanz des Technologieeinsatzes bewerten. Um die Unterscheidung zwischen der gesellschaftlichen Akzeptanz und der individuellen Akzeptanz zu verdeutlichen, sei folgendes Beispiel genannt: Sitzt die oder der Nutzende durch das Turning Seat Konzept gedreht im Fahrzeug und kann bei automatisierter Fahrt nach SAE-Level 3 den Straßenverkehr nicht vollständig überblicken, ergibt sich daraus eine neue und ungewohnte Situation an einem Fußgängerüberweg. Welchen Einfluss der in einem automatisiert fahrenden Fahrzeug gedreht sitzende Nutzende auf die Interaktion mit Passanten wahrnimmt, hat entsprechende Auswirkungen auf die Technologieakzeptanz des Passanten.

Um diesen und andere soziale, kulturelle und ethische Faktoren am Kriterium der gesellschaftlichen Akzeptanz zu bewerten, wird ein Large Language Model (LLM) eingesetzt. LLMs eignen sich dafür, eine große Anzahl an Quellen wie bspw. Publikationen, Zeitschriftartikel, Internetbeiträge u.v.m. in einer kurzen Zeit hinsichtlich eines bestimmten Untersuchungsschwerpunktes zu analysieren. [VAS17] Die Analyse gilt es jedoch, kritisch zu prüfen. Die geprüften Ergebnisse des LLM CHAT-GPT werden im Folgenden kurz zusammengefasst [OPE22]:

Die gesellschaftliche Wahrnehmung der Technologie unterscheidet sich in den verschiedenen Weltregionen. In einigen Regionen ist das Einnehmen diverser Sitzpositionen während der Fahrt, darunter auch unsichere Positionen, sozial akzeptiert. In Deutschland hingegen ist auch aufgrund der Anschnallpflicht [STR13] auf den vorderen und hinteren Sitzreihen eine traditionell in Fahrtrichtung sitzende Position Standard. Solange geltende Verpflichtungen hinsichtlich Sicherheit eingehalten werden, ist eine grundsätzliche Akzeptanz für die Sitzpositionen des Tilt Seats und des Turning Seats gegeben. Medienberichte und die öffentliche Wahrnehmung können die Akzeptanz durch positive wie negative Nachrichten und Anwendungsfälle beeinflussen. Zur Zeit der Bewertung liegt kein medial viraler, negativer Vorfall vor. Aufklärungs- und Sensibilisierungskampagnen der Hersteller über die Sicherheit automatisierter Fahrzeuge helfen, die Akzeptanz für weniger traditionelle Sitzpositionen zu steigern. Für Betroffene ergeben sich Konsequenzen mit Vor- und Nachteilen. Liegt kein extern einsehbares Signal beim Fahrzeug vor, dass dieses automatisiert fährt, kann ein Blick außenstehender Personen auf den Nutzenden sowohl beim Tilt Seat als auch beim Turning Seat in bestimmten Situationen helfen, die Interaktion mit dem Fahrzeug durch Verständnis über die Verantwortlichkeit der Fahraufgabe zu gestalten. Bei der Baseline ist Außenstehenden nicht zwingend klar, wer die Kontrolle über das Fahrzeug hat, und Gesten könnten falsch gedeutet werden. Potenzielle Nachteile der Kommunikation mit einem automatisierten Fahrzeug müssen jedoch anders gelöst werden.

Interkulturelle Robustheit

Die Bewertung interkultureller Robustheit zielt darauf ab, die Vorlieben von Nutzenden in den relevanten Absatzmärkten Europa, USA und China zu berücksichtigen. Durch die Funktionalität der Sitzkonzepte werden unterschiedliche Tätigkeiten während der automatisierten Fahrt ermöglicht. Während die Baseline den Fokus auf der Fahraufgabe lässt, eröffnet der Tilt Seat den Raum für Entspannung und Nahrungsaufnahme, während der Turning Seat den Fokus auf die Interaktion mit dem Infotainmentsystem legt. Zur Bewertung wird eine Analyse mithilfe öffentlich verfügbarer Daten durchgeführt, um etwaige Präferenzen der Nutzenden besser beurteilen zu können. Die durchschnittliche Fahrtstrecke in Amerika liegt zwischen 60

und 75 km, in Europa zwischen 30 und 40 km und in China ca. zwischen 15 und 25 km. Die kürzeste, durchschnittliche Fahrtdauer liegt aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens in den Metropolen Amerikas und Chinas dennoch in Europa. Aufgrund der langen Fahrtstrecken und -dauern ist die Wahrnehmung von Nebentätigkeiten in allen Märkten relevant, wobei zwischen Europa und Amerika keine Präferenz in der Art der Aktivität auf ein Sitzkonzept beschränkt werden kann. Eine klare Präferenz in den Nebentätigkeiten kann China zugeordnet werden, wo die Nutzenden mit umfangreichen Infotainmentfunktionen zur Beschäftigung während langer Staus interagieren möchten. [EUR23], [PWC11], [BUE08] Folglich ist eine Relevanz von Tilt Seat und Turning Seat auf allen drei Märkten gegeben, wobei der Turning Seat in China ein höheres Marktpotenzial hat. Interne Recherchen des Vertriebs von CARL bestätigen diese Tendenz.

Inklusivität

Die Bewertung der Inklusivität wird auf Basis eines selbst entwickelten Items innerhalb der Expertenstudie durchgeführt. Die Expertinnen und Experten werden angehalten, die Inklusivität durch die Betrachtung der Konzeptnutzung von Personen mit Mobilitäts-, Seh-, Hör-, Sprech- und Sprachbeeinträchtigungen sowie anderen kognitiven Beeinträchtigungen zu bewerten. Das Item fragt danach, wie das System für Nutzende mit Beeinträchtigungen erlebbar ist, was über ein entsprechendes Freitextfeld zu begründen ist.

Die Baseline, bei der die Übergabeaufforderung hauptsächlich durch ein akustisches Signal getriggert wird, wird aufgrund der Einschränkung für Hörbeeinträchtigte als leicht eingeschränkt nutzbar bewertet. Der Turning Seat und der Tilt Seat werden als Konzepte gleich bewertet, da beide über den zusätzlichen kinästhetischen Impuls durch Multimodalität einen größeren Personenkreis in die Nutzung inkludieren. Die Einschränkung bei diesen Konzepten liegt im Kreis von Personen mit Gleichgewichtsstörungen, denen ein kinästhetisches Signal Probleme bereiten könnte. Dennoch bleiben die Systeme voll erlebbar.

Umweltauswirkung

Zur Bewertung der Umweltauswirkungen ist eine Analyse der eingesetzten Komponenten notwendig, um die Recycle- und Wiederverwendbarkeit der genutzten Materialien zu analysieren. Grundlage bietet die Richtlinie 2000/53/EG des europäischen Parlaments, welche die Verwertung von Altfahrzeugen regelt [EUR00b]. Ziel sind ein möglichst kleiner ökologischer Fußabdruck und eine nachhaltige Gestaltung der Fahrzeuge. In Bezug auf die Sitzkonzepte sind die sich unterscheidenden Komponenten zu betrachten, welche explizit nur in einem der Sitzkonzepte vorkommen, um einen Unterschied in der Umweltauswirkung

festzustellen. Die Baseline wird bereits heute in den Fahrzeugen eingesetzt, sie ist im Einklang mit den anderen Fahrzeugsystemen hinsichtlich Verwertbarkeit gestaltet. Beim Tilt Seat sind vor allem der größer dimensionierte Stellmotor der Rückenlehne sowie die Verstärkung des Rahmens entscheidend. Der bürstenlose Stellmotor besteht aus einem Rotor (Permanentmagneten), einem Stator, Spulen auf dem Stator, Gehäuse, Lager und Dichtungen. Durch die größere Dimensionierung fallen die Eisen- und Stahlteile in Rotor, Stator, Gehäuse, Lager und in der Rahmenverstärkung größer aus. Eisen- bzw. Stahl können unter Energieeinsatz recycelt werden. Das Kupfer der Spulen ist ebenfalls recyclebar. Die Isolierlacke der Kupferwicklungen müssen getrennt und über Pyrolyse thermisch recycelt werden, wodurch Schadstoffemissionen anfallen. Im Vergleich zum Gesamtmotor ist die Menge allerdings gering. Die Dichtungen können ebenfalls vollständig recycelt und der Rohstoffgewinnung zurückgeführt werden. Beim Turning Seat werden zusätzlich Motor, Stellmechanismus, Steuereinheit und Drehplatte eingesetzt. Stellmechanismus und Drehplatte sind Stahlbauteile und voll recyclebar. Für den Motor gelten die gleichen Bedingungen wie beim Tilt Seat, er ist allerdings eine weitere Komponente und erhöht die Umweltauswirkung anteilig. Die elektrischen Komponenten in Kabelbaumerweiterung und Steuergerät sind größtenteils recycle- oder wiederverwendbar, allerdings ist auch hier ein zusätzlicher Energieaufwand nötig. Zusammenfassend werden durch die Sitzerverweiterungen keine nennenswert umweltschädlichen oder nicht recyclebaren Materialien hinzugefügt, dennoch wird die Umweltbilanz der Sitze im Vergleich zur Baseline auch nicht verbessert, was in Konflikt mit dem Unternehmensziel steht. Das größere Gewicht der Komponentenauslegung wird im Kriterium Materialeinsatz berücksichtigt.

5.3.1.2 Regulatorische Ebene

Regulatorische Konformität

Um die Konformität der Konzepte mit Gesetzen, Richtlinien, Normen, Standards und Guidelines zu untersuchen, werden die relevanten Dokumente hinsichtlich einer Zulassungswahrscheinlichkeit untersucht. Der Fokus der Bewertung liegt auf einer möglichen Zulassung für den deutschen Verkehrsraum, unter der Annahme, dass damit auch die Zulassungsbedingungen der weiteren Märkte abgedeckt sind. Deshalb werden auch nationale Zulassungsverordnungen für die Untersuchung herangezogen. Grundsätzlich ist eine mögliche Zulassung für den mit dem Fahrzeugmodell verbundenen Anspruch des Technologiepioniers zum Zeitpunkt der Markteinführung notwendig, jedoch bei der Untersuchung in der frühen Phase der Entwicklung kein Ausschlusskriterium. Folglich ist eine Bewertungsskala zu wählen, die eine Abschätzung der Zulassungswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung absehbarer Gesetzes- sowie möglicher Konzeptanpassungen hin zur Zulässigkeit ermöglicht.

Betrachtet werden die geltenden Sicherheitsbestimmungen für den Fahrzustand auch während der automatisierten Fahrt sowie Regelungen zur Übernahmeaufforderung. Um die Konformität mit internationalen Richtlinien zu gewährleisten, schreibt die UNECE Regelung 17 vor, dass ein zulässiges Sitzkonzept maximal bis zu 10° zur senkrechten Mittelebene des Fahrzeugs in oder entgegen der Fahrtrichtung während der Fahrt gedreht sein darf [UNR22]. Grund ist der geringere Schutz von Insassen durch Sicherheitsgurt- und Airbagkonzepte im Vergleich zu in oder entgegen der Fahrtrichtung gedrehten Sitzen. Für den Turning Seat bedeutet dies, dass auf der einen Seite konzeptionell ein Sicherheitskonzept erarbeitet werden muss, welches das gleiche Schutzpotenzial wie die Baseline bietet, auf der anderen Seite eine Zulassung durch geringen Aufwand in Form einer Softwareanpassung am Steuergerät (Reduktion des Drehwinkels) leicht umsetzbar ist. Die Begrenzung der maximalen Lehnenneigung wird derzeit legislativ nicht direkt reguliert. Eine Regulierung bei Markteintritt solcher Systeme ist allerdings denkbar.

Um Konformität mit regulatorischen Anforderungen hinsichtlich der Übernahme zu gewährleisten, muss die Übernahmeaufforderung durch ein System mit mindestens einem optischen und akustischen oder haptischen Warnsignal realisiert werden. Falls die Nutzenden nicht rechtzeitig auf die Übernahmeaufforderung reagieren, darf frühestens nach zehn Sekunden ein risikominimierendes Manöver eingeleitet werden. Spätestens nach vier Sekunden ohne Reaktion der Nutzenden muss das System eine konstante haptische Warnung anzeigen, die bis zum Ablauf der Übernahmeaufforderung bestehen bleibt und intensiviert wird. Die Lehnenneigung des Tilt Seats und die Rotation des Turning Seats könnten als haptische Anzeigen interpretiert werden, sind jedoch kinästhetischer und nicht taktiler Natur. Folglich stellt das Ende der Positionierungsbewegung auch das Ende des haptischen Signals ohne Zeitkonstanz oder Eskalation dar. Entsprechend wird diese Anforderung durch die Konzepte nicht bedient, und es ist ein zusätzliches haptisches Signal notwendig. Die Sitzkonzepte, darunter auch die Baseline, könnten bspw. durch taktile Signale in Form eines aktiven Gurtstraffers oder Vibrationen der Sitzfläche erweitert werden.

5.3.1.3 Ökonomische Ebene

Herstellungskosten und betriebliche Gemeinkosten

Einfluss auf den Einkaufspreis der drei Sitzkonzepte haben die Komponenten, welche zur Realisierung des Übernahmekonzeptes hinzukommen. Im direkten Vergleich der Sitze sind dies beim Tilt Seat der angepasste Stellmotor und Sitzrahmen für die Lehnenverstellung und beim Turning Seat darüber hinaus die unfallsichere Basisplatte sowie der zusätzliche Motor zur Sitzrotation.

Die Kosten für die Baseline entsprechen dem im Vorgänger eingesetzten Sitzkonzept mit marginalen Basisfunktionserweiterungen (neue Stellmotoren für eine angenehmere Verstellung im Vergleich zum Vorgängermodell). In diesem Fall wird der Preis des Gesamtfahrersitzes mit 400 € angenommen (Marge des Zulieferers inkludiert). Unter Rücksichtnahme aller zusätzlichen Kosten für die Entwicklung, Erprobung, Lagerung, Verdrahtung und Montage beläuft sich der preisliche Mehraufwand für den Tilt Seat auf 500 € im Vergleich zur Baseline (gesamt 900 €). Aufgrund eines erweiterten Sicherheitskonzepts, zusätzlicher Materialkosten und damit verbundener höherer Lagerkosten sowie der anspruchsvolleren Montage wird für den Turning Seat ein Preis von 1.650 € zugrunde gelegt. Die durch die Finanzabteilung des Unternehmens festgelegte Mehrkostenspanne für Sonderausstattung im Sitzbereich soll kleiner als 2.000 € ausfallen und wird folglich nicht überschritten.

Preis

Der Preis spiegelt im Vergleich zu den Kosten die Gewinnmarge wider, die durch den Einsatz eines der Sitzkonzepte erzielt werden kann. Auf der einen Seite fallen die Mehrkosten für das Unternehmen zur Ausstattung der Fahrzeuge mit dem Sitzkonzept an, auf der anderen Seite kann durch die erhöhte Funktionalität und Besonderheit des Sitzkonzeptes ein höherer Preis für die Ausstattung beim Kunden erhoben werden. Zur Bewertung gilt es folglich festzulegen, in welchem Verhältnis Kosten und Preis der Sitzkonzepte am Markt abgesetzt werden können. Ausschlaggebend sind die Funktionalitäten: Während die Baseline die Basisfunktionalität für die automatisierte Fahrt abdeckt, ermöglichen der Tilt Seat zusätzliche Funktionalitäten rund um die Aktivitäten Entspannung und der Turning Seat um Aktivitäten zur Kommunikation und Interaktion mit dem Infotainmentsystem. Um einen möglichen Aufpreis für diese Sitzkonzepte zu ermitteln, ist ein Bezug zwischen der durchschnittlichen Zahlungsbereitschaft der Kunden für die Erfüllung ihrer Bedürfnisse zu den zusätzlich ermöglichten Aktivitäten durch die erweiterte Funktionalität der Sitzkonzepte herzustellen: Wieviel ist der Kunde bereit, für eine bessere Zugänglichkeit und Durchführbarkeit bestimmter Aktivitäten zu bezahlen? Da kein weiterer Wettbewerber ein ähnliches Sitzkonzept im Markt realisiert hat, wird keine wettbewerbsorientierte, sondern eine wertbasierte Preissetzung durchgeführt.

Eine Studie des FRAUNHOFER INSTITUTS bezifferte in einem Vergleich von automatisierten Fahrzeugen gegenüber automatisierten Fahrzeugen, die Mehrwertdienste ermöglichen, die durchschnittliche Zahlungsbereitschaft der Deutschen für diese Mehrwertdienste wie folgt:

- Produktivität (bspw. Arbeiten): 36 € pro Monat,
- Kommunikation (bspw. Telefonieren): 37 € pro Monat,
- Information (bspw. Nachrichten): 27 € pro Monat,
- Unterhaltung (bspw. Filme): 24 € pro Monat,
- Wohlfühlen (bspw. Entspannung): 30 € pro Monat,
- Grundbedürfnisse (bspw. Nahrungsaufnahme): 35 € pro Monat. [DUN16]

Der hohe Einfluss der Sitzkonzepte auf die Wahrnehmung der Mehrwertdienste wird mit einem Faktor von 0,25 in der folgenden Rechnung attribuiert. Folglich ist ein Viertel der Gesamtzahlungsbereitschaft für die Mehrwertdienste der besseren Gestaltung der Sitzkonzepte vorbehalten. Obwohl im Grundsatz alle Sitzkonzepte die Möglichkeit der Abwendung von der Fahraufgabe bieten, ist zu untersuchen, in welchem Maß die Konzepte die Durchführung der genannten Aktivitäten unterstützen. Die Baseline bietet keine aktive Unterstützung bei der Wahrnehmung dieser Aktivitäten, während der Tilt Seat den Fokus auf die Bedürfnisse Wohlfühlen und die Grundbedürfnisse legt. Unter Annahme einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 6 Jahren beläuft sich die zusätzliche Zahlungsbereitschaft der Baseline auf 0 € und die des Tilt Seats auf 1.170 €. Der Turning Seat hingegen bietet durch die Zuwendung und den besseren Zugang zu fahrzeugeigenen Infotainmentsystemen Unterstützung bei Produktivität (bspw. E-Mails lesen und beantworten), Kommunikation (bspw. über das Fahrzeugkommunikationssystem oder durch Zuwendung zum Beifahrenden), Information und Unterhaltung (durch das Infotainmentsystem). Die daraus resultierende Zahlungsbereitschaft des Turning Seats ergibt 2.232 €.

Zur Berechnung des festzusetzenden Preises werden die Kosten der Sitzkonzepte sowie die strategische Vorgabe der angestrebten Unternehmensprofitabilität von 10 % berücksichtigt. Die Kosten der Baseline belaufen sich auf 400 €. Durch keine zusätzliche Zahlungsbereitschaft wird die Mindestprofitabilität von 10 % an den Kunden weitergereicht, sodass sich ein Verkaufspreis von 440 € ergibt. Der Tilt Seat kann für einen Preis von 1.170 € an den Kunden verkauft werden. Unter Berücksichtigung der zugrundeliegenden Kosten von 900 € ergibt sich eine Profitabilität von 30 %. Der Turning Seat kann bei einer Zahlungsbereitschaft von 2.232 € und Kosten von 1.650 € eine Profitabilität von ca. 35 % erwirtschaften.

Imagewirkung

Die Imagewirkung der Konzepte wird in der Expertenstudie mit einem Item auf der Basis des *User Experience Questionnaire* und des *Car Technology Acceptance Models* abgefragt [LAU08], [OSS12]. Das Item zielt auf die Ermittlung der getriggerten Stimulation von Spaß und Attraktivität durch die Interaktion mit innovativen Konzepten

ab. Dem wird zugrunde gelegt, dass die Imagewirkung durch das Zusammenspiel von Neuheit und Freude einer Interaktion positiv beeinflusst wird.

Deskriptiv schneidet die Baseline am schlechtesten ab ($M = 2$). Der nicht vorhandene Neuheitsgrad spiegelt sich im Ergebnis entsprechend wider. Der Tilt Seat schneidet besser ab als die Baseline ($M = 3,5$). Das interaktive Verfahren der Lehne getriggert durchs Fahrzeug stellt eine neue Interaktion bei schon bekannten Elementen dar. Der Turning Seat schneidet am besten ab ($M = 5,1$). Durch die Drehung wird ein neues Raumgefühl für das Interieur vermittelt bei gleichzeitiger Ermöglichung intensiverer Beschäftigung mit den fahrzeugeigenen Infotainmentfunktionen. Das Konzept wird durch die Expertinnen und Experten als das mit der größten Imagewirkung bewertet, mitunter auch durch die Möglichkeit des expliziten Marketings des Turning Seats als Teil einer Werbekampagne für das Gesamtfahrzeug.

5.3.1.4 Individuelle Ebene

Individuelle Akzeptanz

Die individuelle Akzeptanz der Konzepte wird in der Expertenstudie über ein spezifisches Item abgefragt, welches die Subskalen wahrgenommene Sicherheit, Leistungserwartung, wahrgenommener Nutzen und Einstellung zur Nutzung des Systems des *Car Technology Acceptance Models* von OSSWALD, WURHOFFER, TRÖSTERER und BECK zusammenfasst [OSS12]. Das Item wird auf einer 7-Punkte-Likert-Skala bewertet.

Deskriptiv schneiden die betrachteten Konzepte gut bis sehr gut ab und werden von Nutzenden als akzeptierbar bewertet. Die Baseline ($M = 5,12$) schneidet geringfügig schlechter ab als die kinästhetischen Konzepte bei gleichzeitig hoher Verteilung der Bewertungen. Dies deutet auf eine starke Assoziation bestimmter Zustände mit akustischen Hinweisen hin, während den kinästhetischen Hinweisen unvoreingenommen gegenübergetreten wird. Beide kinästhetischen Konzepte weisen eine hohe Akzeptanz bei geringer Verteilung auf (Tilt Seat: $M = 6$; Turning Seat: $M = 5,75$). Damit ist eine wesentliche Grundvoraussetzung zur potenziellen Markteinführung dieser Konzepte erfüllt, da die Akzeptanz als Leistungsmerkmal ein lineares Verhältnis zwischen der Erfüllung der Kundenanforderungen und der Kundenzufriedenheit aufweist. Eine hohe Akzeptanz ist für den Markterfolg selbst bei Einsatz der Konzepte als Sonderausstattung zur Wettbewerbsdifferenzierung demnach bestätigt.

User Experience

Die User Experience zielt auf die Gesamtbewertung des Nutzenerlebnisses der untersuchten Systeme ab. Bei der Expertenstudie zielt ein selbst entwickeltes Item mit einer 7-Punkte-Likert-Skala zur allgemeinen Bewertung der erlebten Systeme ab.

Deskriptiv wird das Erlebnis der Baseline im Vergleich zu den kinästhetischen Konzepten am schlechtesten bewertet ($M = 4,25$). Ein besseres Erlebnis gestalten Tilt Seat ($M = 5,25$) und Turning Seat ($M = 5,25$), die beide gleich gut bewertet werden. Die Verteilung der Aussagen fällt beim Turning Seat etwas geringer aus, was auf ein einheitlicheres Bild bei den Teilnehmenden rückschließen lässt. Das grundsätzlich bessere Erlebnis der kinästhetischen Konzepte unterstreicht das Entwicklungsziel, die Übernahmeaufforderung sicher und spannend zu gestalten und während der automatisierten Fahrt mehr Raum für nicht fahrrelevante Tätigkeiten zu schaffen.

Usability

Die Usability der Konzepte wird durch die Bewertung mehrerer Subkriterien im Rahmen der Expertenstudie ermittelt. Angelehnt an die Fragebögen *System Usability Scale* [BRO95], *Questionnaire for User Satisfaction* [HAR93] und *Post-Study System Usability Questionnaire* [LEW92] werden die subjektiven Kriterien der Nutzbarkeit und der Verständlichkeit sowie die objektiven Kriterien Effektivität und Effizienz der Interaktion betrachtet.

Zur Beurteilung der Verständlichkeit der Übernahmeaufforderung und um Hinweise auf die Mode Awareness der Studienteilnehmenden zu erhalten, wird ein Item aus der Subskala Verständnis des *Trust in Automation Questionnaire* verwendet, welches auf einer 7-Punkte-Likert-Skala bewertet wird [KÖR18]. Deskriptiv wird die Verständlichkeit bei der Baseline am schlechtesten bewertet ($M = 3,37$). Argumentiert wird u.a. mit der Gefahr, das akustische Signal bei Neben- und Hintergrundgeräuschen (bspw. Musik oder Fahrgeräusche) zu überhören. Der Vorteil eines kinästhetischen Signals wird bei Betrachtung der Bewertungsergebnisse des Tilt Seats ($M = 5,62$) und des Turning Seats ($M = 6,1$) deutlich, deren Übernahmeaufforderung als verständlicher wahrgenommen wird. Der Turning Seat wird übereinstimmend am besten bewertet, da die klare Mode Awareness durch die gedrehte Sitzposition als förderlich für die Verständlichkeit der Aufforderung bei Rotation wirkt. Die Rotation wird als Aufmerksamkeitssteuerung zurück zur Fahraufgabe verstanden.

Auch bei der Nutzbarkeit ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei der Verständlichkeit: Die Baseline schneidet schlechter ab ($M = 4,12$) als die beiden anderen Sitzkonzepte (Tilt Seat: $M = 5,62$; Turning Seat: $M = 5,25$). Einige Expertinnen und Experten weisen darauf hin, dass die Nutzbarkeit von der Häufigkeit der Übernahme abhängt. So kann

ein häufiger Wechsel der Automatisierungsfunktion dazu führen, dass die Nutzenden bei den kinästhetischen Konzepten häufig aus ihrer Fahrposition heraus und wieder hineingefahren werden. Dies könnte die Nutzenden stören und würde zu einer Abschaltung des Systems führen, also die Nutzbarkeit einschränken.

Im Rahmen der Auswertung der objektiven Fahrdaten der Expertenstudie kann festgestellt werden, dass die Effektivität aller Konzepte sehr hoch ist. In jedem Fall haben die Teilnehmenden die Aufgabe der Wiederaufnahme der Fahraufgabe verstanden und korrekt im Rahmen der vorgegebenen Zeit und Wegstrecke erfolgreich und fehlerfrei ausgeführt. In Bezug auf die Effizienz der Interaktionen divergieren die Zeiten bis zum Beginn der Übernahme und Ende der geforderten Fahraufgabe des Spurwechsels zwischen den Konzepten. Die Zeit der Blickabwendung von der Nebenaufgabe und Kontaktaufnahme zum Lenkrad war bei der Baseline mit durchschnittlich 4 Sekunden am schnellsten, dennoch war die Fahraufgabe etwa gleich schnell wie bei den anderen Konzepten abgeschlossen (9 Sekunden). Trotz schnellerer Repositionierung der Baseline ist die Zeit zur Reorientierung in der Verkehrssituation hier entscheidend. Die Zeit zur Wiederaufnahme der Fahrposition ist beim Turning Seat ca. 1 Sekunde länger als die der Baseline, der oder die Fahrende kann sich aber bereits während der Repositionierung mit der Fahrsituation vertraut machen. Ein ähnliches Verhalten kann beim Tilt Seat festgestellt werden, jedoch fällt die Gesamtdauer des Spurwechsels länger aus als bei den Alternativen. Außerdem ist die Zeitspanne bis zur abgeschlossenen Fahraufgabe unter den Teilnehmenden sehr unterschiedlich, was eine schlechtere Planbarkeit der Übernahme für das System zur Folge haben kann.

Anthropometrie

Eine anthropometrische Bewertung kann durch verschiedene Methoden und Werkzeuge durchgeführt werden, bspw. durch virtuelle Menschmodelle, die Greifräume, Erreichbarkeit und Bedienkomfort im CAD-Modell analysieren. Eine solche 3D-Modellanalyse ist mit hohem Aufwand verbunden, gleichermaßen die Abbildung im realen Raum, bspw. durch Sitzpuppen. Zur Bewertung der Anthropometrie wird im Folgenden eine Abschätzung der Erreichbarkeit relevanter Anzeigen und Bedienelemente mithilfe von Beobachtungen und Feedback der Expertenstudie durchgeführt. Dies eignet sich gut zur ersten Konzeptbewertung, auch vor dem Hintergrund, dass die Bedienperipherie noch nicht voll ausdefiniert ist.

Bei der automatisierten Fahrt ab SAE-Level 3 ist eine dauerhafte Bedienung der primären Bedienelemente nicht mehr notwendig [UNR21]. Folglich ist die Erreichbarkeit der nicht-fahrrelevanten Bedienelemente ausschlaggebend, um die Nutzenden an fahrzeugeigene Funktionen zu binden. Ihre Aufmerksamkeit kann auf übernahmerelevante Interaktionselemente gerichtet bleiben, wodurch das

fahrzeugbezogene Nutzungserlebnis gesteigert wird. Aufgrund der Neuheit des automatisierten Fahrens ist damit zu rechnen, dass die fahrende Person noch kein vollständiges Vertrauen ins System aufgebaut hat und während der automatisierten Fahrt ins Fahrgeschehen eingreifen möchte, bspw. durch eine Übersteuerung des Systems in potenziell kritischen Fahrsituationen. Eine prinzipielle Erreichbarkeit der primären Bedienelemente ist eine Voraussetzung, welche durch die Baseline erfüllt wird. Beim Tilt Seat werden die schlechtere Sicht auf die fahrrelevanten Anzeigen im Sichtbereich sowie die geringere Erreichbarkeit des Lenkrads bemängelt. Außerdem ist der Zugang zum Infotainmentsystem nur durch Bewegung aus der angelehnten Sitzposition heraus möglich. Der Turning Seat ermöglicht eine bessere Zugänglichkeit zum Infotainmentsystem durch die Ausrichtung auf das zentrale Display. Es besteht die grundsätzliche Möglichkeit, die primären Bedienelemente zu erreichen, dies ist jedoch aus anthropometrischer Sicht für die Nutzenden mit einem erhöhten Aufwand durch die notwendige Drehung im Sitz verbunden. Auch die Erreichbarkeit der Pedalerie ist aufwändiger.

Komfort

Die Bewertung des statischen Komforts erfolgt im Rahmen der Expertenstudie anhand eines Single-Items nach BEGGIATO, HARTWICH und KREMS auf einer 7-Punkt-Likert-Skala [BEG17]. Da die Studie in einem statischen Fahrsimulator durchgeführt wird, fällt der dynamische Komfort aus der Bewertung heraus. Dieser lässt sich in einem (hoch-)dynamischen Fahrsimulator oder einem Realfahrzeug z. B. durch die Bewertung des Diskomforts anhand einer modifizierten 27-stufigen CP50 Skala ermitteln [WEN97].

Die Bewertung der Konzepte offenbart, dass die kinästhetischen Konzepte als komfortabler erachtet werden als die Baseline ($M = 4,62$). Es zeigt sich eine individuelle Präferenz zwischen den Konzepten bei den teilnehmenden Expertinnen und Experten. Einige bewerten den Tilt Seat als komfortabler ($M = 5,62$), weil die Ausrichtung weiter in Fahrtrichtung als angenehm empfunden wird. Andere Teilnehmende sehen die Lehnenneigung in Bezug auf Komfort als kritisch, da für die Fahraufgabe eine bereits ergonomisch optimierte und angenehme Sitzposition vom Fahrenden eingestellt wurde, die mit der Lehnenneigung wieder verstellt wird und dadurch den Komfort verringert. Die Zugänglichkeit zum Infotainmentsystem wird so beeinflusst, dass zusätzliche körperliche Betätigung notwendig ist, um die Nebenaufgabe zu bearbeiten. Während der Turning Seat eine komfortable Bedienung von Nebenaufgaben durch die zentrale Ausrichtung auf das Display erlaubt ($M = 5,37$), ist im Vergleich zum Tilt Seat die Wahrnehmung des Fahrgeschehens weiterhin möglich, was als zusätzliche Komfortsteigerung wahrgenommen wird. Einzelne

Teilnehmende empfinden die gedrehte Fahrposition jedoch als tendenziell unkomfortabler, wenn auch nur in geringem Umfang.

Vertrauen

Zur Bewertung des Vertrauens werden einzelne Items auf der Grundlage der *Trust in Automated Systems Survey* von JIAN, BISANTZ und DRURY zu einem Item auf einer 7-Punkt-Likert-Skala zusammengefasst [JIA00].

Deskriptiv erfährt der Tilt Seat das höchste Vertrauen ($M = 5,87$), wobei die Unterschiede zu und zwischen den anderen Konzepten gering sind. Die höchste Varianz unterliegt der Baseline ($M = 4,5$), die von einigen Teilnehmenden aufgrund der inhärenten Gewohnheit des Systems als sehr vertrauenserweckend wahrgenommen wird, während anderen Teilnehmenden die Dringlichkeit der Übernahmeaufforderung fehlt. Ferner weisen sie auf die Gefahr hin, die Übernahmeaufforderung durch Fehlen des kinästhetischen Hinweises zu verpassen. Der Turning Seat schneidet besser als die Baseline ab, wird jedoch weniger gut als der Tilt Seat bewertet ($M = 5,37$). Begründet wird dies mit der fehlenden Gewohnheit, im Fahrzeug gedreht zu sitzen. Die gegebene Erreichbarkeit der primären Stellteile beeinflusst das Vertrauen hingegen positiv.

Kontrollempfinden

Das Kontrollempfinden wird in der Expertenstudie explizit über ein selbst entwickeltes Item abgefragt. Deskriptiv werden alle Konzepte mit einem hohen Kontrollempfinden bewertet (Baseline: $M = 5,5$; Tilt Seat: $M = 5,62$), jedoch schneidet der Turning Seat im Vergleich zu den anderen Konzepten geringfügig schlechter ab ($M = 4,62$). Dies ist damit zu begründen, dass bei dem Tilt Seat durch einfache körperliche Bewegung (Nach-vorn-Lehnen) ein Eingriff in das Fahrgeschehen möglich ist, während die gedrehte Position den Zugang zu den primären Bedienteilen erschwert. Ein Teilnehmer bestätigte, dass durch die Drehung gefühlt mehr Verantwortung auf das System übertragen wird und die Kontrolle eher abgegeben wird, während bei den anderen beiden Konzepten intuitiv ein Monitoring der Automatisierung erfolgt.

5.3.1.5 Technische Ebene

Leistungsfähigkeit

Zur Erfassung der Leistungsfähigkeit werden objektive Fahrdaten der Expertenstudie sowie ein explizites Item zum subjektiven Leistungsempfinden und ein Item aus dem NASA TLX Fragebogen verwendet, welcher die mentale Arbeitsbelastung während der Übernahmeaufforderung misst [HAR06b], [HAR88]. Je höher die mentale Belastung, umso höher ist das Risiko für einen Abfall der Fahrleistung, was zu einer

Überforderung der Fahrenden führen kann. Besonders die schnelle Einarbeitung in die neue Verkehrssituation aus der automatisierten Fahrt kommend stellt eine große Herausforderung dar. Die deskriptive Analyse der Leistung zeigt, dass die kinästhetischen Konzepte deutlich besser abschneiden als die Baseline ($M = 3,62$). Hohe Bewertungen werden bei einer geringen mentalen Belastung erzielt. Der Turning Seat erhält die höchste Bewertung ($M = 5$), auch aufgrund der leichten Refokussierung auf die Verkehrssituation durch die Möglichkeit, den Verkehr einfach aus der gedrehten Sitzposition heraus beobachten zu können. Auffällig ist die Einigkeit der Teilnehmenden über die subjektiv wahrgenommene Belastung. Der Tilt Seat wird etwas schlechter bewertet ($M = 4,62$). Aus Objektivdaten, die während der Fahrt erhoben werden, bestätigt sich die Einschätzung der Teilnehmenden. Bei der Baseline dauert die Einleitung des Spurwechsels durch Setzen des Blinkers nach erstem Lenkradkontakt ca. 1 Sekunde länger als bei den anderen Konzepten, was auf die längere Reorientierungszeit zurückzuführen ist. Damit verzögert sich auch die Gesamtzeit, bis der Spurwechsel abgeschlossen ist. Eine konzeptunabhängig höhere Belastung während der Studie ist auch auf den ungewohnten Umgang mit automatisierten Fahrzeugen zurückzuführen, welcher nach einer längeren Eingewöhnung abnehmen könnte. Analog wird die Einarbeitungszeit in die Nutzung von Abstandsregelautomaten aus Erfahrungswerten mit ca. vier Wochen angegeben [BUB15].

Sicherheit

Das Kriterium Sicherheit lässt sich in Bezug auf Sitzkonzepte in zwei Subkriterien unterteilen: aktive Sicherheit und passive Sicherheit.

Die aktive Sicherheit beschreibt in diesem Fall die Fähigkeit des Systems, einen sicheren Verkehrsablauf zu gewährleisten. Dies lässt sich bspw. über die Analyse von objektiven Daten wie Fahrleistung und Blickstrategie in Studien erheben. Für eine umfangreiche Untersuchung sei an dieser Stelle auf das Projekt HADRIAN verwiesen [EUR19c]. Das Ergebnis der Expertenstudie zeigt keine sicherheitsrelevanten Ereignisse, da alle Teilnehmenden die Fahraufgabe sicher und rechtzeitig lösen können.

Die passive Sicherheit umfasst den Schutz der Insassen und vulnerablen Verkehrsteilnehmer im Falle eines Unfalls. Die Bewertung erfolgt in dieser Arbeit über die Analyse von Euro NCAP Crashszenarien, welche mit entsprechenden Sitzkonzepten durchgeführt wurden. Eine Untersuchung des ADAC von Sicherheitskonzepten, die auf nach vorn gerichtete Sitzpositionen ausgelegt sind, zeigt, dass eine leichte Sitzdrehung von bis zu 15° bei Sicherheitskonzepten keine starken negativen Auswirkungen auf die Sicherheit der Insassen hat. Bei einer Drehung über 15° hinaus sind neue Konzepte zur Personensicherung notwendig, um einen seitlichen Abwurf zu

verhindern. Eine weit nach hinten geneigte Lehne ist durch eine unzureichende Sicherung des Drei-Punkt-Gurtes anfällig für *Submarining*. Dies bedeutet, dass die Insassin oder der Insasse im Falle eines Crashes unter dem Beckengurt durchrutscht und lebensbedrohlich verletzt wird. [ADA20] Hier ist ein entsprechendes Schutzkonzept wie eine Gurtintegration in den Sitz zwingend erforderlich, um die Sicherheitsanforderungen zu erfüllen.

Technische Kompatibilität

Zur Bewertung der technischen Kompatibilität wird eine Kompatibilitätsanalyse mit weiteren Fahrzeugmodellen der Marke CARL AG durchgeführt. Dafür werden die potenziellen Einsatzmöglichkeiten in Bezug auf die grundlegenden Fahrzeugkonzepte der von CARL bedienten Segmente geprüft. Die Fahrzeuge können den Einsatz der Sitzkonzepte packageseitig durch das Innenraumkonzept sowie kosten- und preisseitig einschränken. Die kosten- und preisseitigen Einschränkungen können durch die genutzte Zielwertfunktion berücksichtigt werden (s. Kapitel 5.3.2), sodass für die Bewertung des Kriteriums das Innenraumkonzept maßgebend ist. Die Baseline ist bereits heute mit individuell angepasstem Funktionsumfang in allen Fahrzeugen CARLS verbaut. Beim Tilt Seat ist der größere Verstellbereich für Fahrzeuge mit einer zweiten Sitzreihe als unproblematisch anzusehen, vorausgesetzt ein Insassenbeobachtungssystem (bspw. Innenraumkamera) kann sicherstellen, dass bei der Verstellung der Sitz hinter dem Tilt Seat unbelegt bzw. genügend Raum zur Verstellung vorhanden ist. Innenraumkonzeptionelle Schwierigkeiten treten hingegen bei Fahrzeugen ohne zweite Sitzreihe auf, wie bspw. Sportwagen, Kleinwagen und Kleintransportern, da hier der Verstellbereich des Sitzes durch den Karosserieaufbau beschränkt ist. Der Turning Seat ist durch die separate Befestigung der Baseline auf einem Drehsystem auch in Fahrzeugen ohne grundsätzliche elektrische Sitzverstellung denkbar. Die zu erwartende steigende Bauhöhe des Gesamtsystems und der steigende Platzbedarf im Bereich der B-Säule könnten zu Einschränkungen hinsichtlich Sport- und Kleinwagen führen. Eine weitere innenraumkonzeptionelle Einschränkung liegt bei Fahrzeugen vor, welche durch einen Verbrennungsmotor angetrieben werden. Durch das unter der Mittelkonsole liegende Getriebe und ggf. einer Kardanwelle ist der Raum für die Drehung eingeschränkt und besonders bei schmaleren Fahrzeugen möglicherweise nicht realisierbar. Die konstruktive Auslegung bei Fahrzeugen mit Elektroantrieb (Batterien in *Sandwich*-Strukturen) ermöglicht Innenraumkonzepte ohne Mittelkonsole, welche ein höheres Raumangebot und folglich eine größere Gestaltungsfreiheit des Innenraums bieten.

Materialeinsatz

Die Bewertung des Materialeinsatzes erfolgt entlang der eingesetzten Komponenten (s. Kapitel 5.2.2) sowie deren Auswirkung auf das Produkt. Bei den betrachteten

Sitzkonzepten wird davon ausgegangen, dass sich keine Differenzen in Bezug auf die Ressourcenverfügbarkeit und Instandhaltung ergeben, jedoch sehr wohl in Bezug auf den Energieverbrauch und damit den Life-Cycle-Einfluss des Fahrzeugs. Konkret wird im Folgenden der Gewichtsunterschied der Sitze bewertet, welcher direkten Einfluss auf den Energiebedarf des Fahrzeugs bei Betrieb hat. Der Energiebedarf der Produktion zusätzlicher Komponenten zwischen den Sitzkonzepten wird aufgrund geringer Aussagekraft ausgeklammert.

Die technischen Anforderungen aller Fahrzeuge der Marke CARL limitieren das Sitzgewicht auf einen Wertebereich zwischen 16 kg für Sport- und Kleinwagen sowie 30 kg für Oberklassenfahrzeuge mit Komfortfokus. Das Gewicht aller notwendigen Komponenten des Sitzgestells der Baseline beträgt 22 kg für einen Premium-Komfort Sitz. Für die zusätzliche Funktion der Übernahmeaufforderung wird keine Veränderung am Sitz geplant. Der höher ausgelegte Stellmotor und verstärkte Rahmen des Tilt Seats ergeben ein Zusatzgewicht von 2 kg (gesamt 24 kg) im Vergleich zur Baseline. Der weitere Stellmotor, der eine hohe Leistungsfähigkeit innehat, und die erweiterte Sitzstruktur um Basisplatte, schwenkbare Platte und Lager des Turning Seats ergeben ein Zusatzgewicht von 5 kg im Vergleich zur Baseline (gesamt 27 kg).

Packageeinfluss

Die Bewertung des Packageeinflusses der Sitzkonzepte erfolgt über die Analyse der Raumausnutzung in einem CAD-Modell. Ziel ist, die Auswirkung des Einsatzes der Sitzkonzepte auf den Bauraum im Interieur des Fahrzeugs zu ermitteln. Um eine erste Vergleichbarkeit herzustellen, werden die Hüllkurven der Sitzbewegungen volumetrisch gemessen und gegenübergestellt (s. Anhang 10.12). Je höher der Bauraumbedarf des jeweiligen Sitzkonzeptes, umso höher ist auch der Packageeinfluss zu bewerten. Ein hoher Packageeinfluss limitiert die Gestaltung der umliegenden Systeme, was wiederum Auswirkungen auf die umzusetzende Funktionalität im Fahrzeug hat. Die Baseline umfasst ein Volumen von 117,5 l. Dadurch, dass sie während der automatisierten Fahrt fahrzeugseitig nicht bewegt wird, besteht kein zusätzlicher Einfluss auf das Innenraumkonzept des Fahrzeugs. Durch die Bewegung der Rückenlehne des Tilt Seats umfasst dieser ein Volumen von 172 l. Beeinflusst wird hauptsächlich die Längsachse des Fahrzeugs, vor allem die hintere Sitzreihe. Der Turning Seat erfüllt durch seine Drehung ein Raumvolumen von 168 l, hat in Bezug auf das Fahrzeugpackage nicht nur Einfluss in Längsrichtung, sondern auch in Querrichtung des Fahrzeugs. Systeme wie Mittelkonsole, B-Säule und Infotainmentsystem sind in ihrer Gestaltung betroffen. Der quantitative Einfluss auf Maßketten, Innenraumkonzepte und umliegende Systeme muss in einem folgenden Bewertungszyklus mit konkreteren umliegenden Systemen nach dieser ersten Bewertung der Konzeptalternativen genauer untersucht werden.

Updatebarkeit

Die Berücksichtigung der Updatebarkeit einer Komponente in der Entwicklung ist besonders dann wichtig, wenn ein Update ausgelöst durch Veränderung im System selbst oder in angrenzenden Systemen zusätzlichen Mehrwert für die Kundinnen und Kunden bieten kann. Zur Bewertung der Updatebarkeit wird eine Analyse durchgeführt, um welche Funktionen die betrachteten Konzepte in Zukunft erweitert werden könnten. Den größten Einfluss auf die Sitzfunktionen hat die Automatisierungsfähigkeit der Fahraufgabe. Je länger Zeitraum und Übernahmezeit der Automatisierung ausfallen, umso mehr Freiheit erhält der Nutzende bei der Bearbeitung nicht fahrrelevanter Aufgaben. Entsprechend bietet die Erweiterung des Automatisierungslevels auf SAE-Level 4 die Möglichkeit einer Funktionserweiterung der Sitzkonzepte. Die Übernahmeaufforderung ist funktional nur bei den beiden kinästhetischen Konzepten updatebar, bspw. durch andere, intensivere oder wiederholende Bewegungsabläufe. Entsprechend ist die Updatebarkeit der Baseline als gering einzuschätzen, lediglich Signalstärken akustischer und visueller Hinweise können adaptiert werden. Die Updatebarkeit des Tilt Seats ist hoch, besonders in Bezug auf Komfort- und Relaxfunktionen: Abhängig von der Bauteildimensionierung und des Innenraumkonzeptes kann die Lehnenneigung bis zur Horizontalen erhöht werden, Voraussetzung ist die Anforderungserfüllung betroffener Systeme (bspw. Rückhaltesysteme). Die Updatebarkeit des Turning Seat ist ebenfalls hoch mit dem Fokus auf Kommunikations- und Infotainmentfunktionen: Je nach Bauteildimensionierung, Sitzverfahrkonzept und Fahrzeuginnenraum lässt sich der Schwenkbereich auf 180° erweitern, wodurch die direkte Kommunikation mit Insassen der zweiten Sitzreihe ermöglicht wird. Außerdem sind aufgrund der guten Zugänglichkeit des zentralen Infotainments hier Erweiterungsmöglichkeiten um Spiele, Filme und Personal Computing-Funktionen denkbar.

5.3.2 Bewertung der Konzeptalternativen

Nach Ermittlung der Ausprägungen der Bewertungskriterien werden die Ergebnisse dem Bewertungsprozess (s. Kapitel 4.4) zugeführt. Dieser ordnet den Ausprägungen im ersten Schritt Maßzahlen über Zielwertfunktionen zu, ermittelt im zweiten Schritt die Abweichung zum Optimalwert und gewichtet diese im dritten Schritt entsprechend den Gewichtungen der Bewertungskriterien.

Im Folgenden werden die Schritte am Kriterium Preis exemplarisch dargestellt, welche analog auch für die weiteren Kriterien durchgeführt werden. Eine Tabelle zu den Ergebnissen aller Kriterien findet sich in Anhang 10.13.

Maßzahlzuordnung über Zielwertfunktionen

Die Ausprägungen des Kriteriums Preis liegt in quantitativer Form vor. Zur Wahl der geeigneten Zielwertfunktion gilt festzuhalten, dass ein höherer erzielbarer Preis der Sitzkonzepte grundsätzlich besser zu bewerten ist, ein niedriger erzielbarer Preis respektive schlechter. Schwellwerte existierten nicht. Um die Maßzahlen nun den erzielbaren Preisen zuzuordnen und die genauen Funktionsparameter zu bestimmen, müssen die Minimal- und Maximalwerte ermittelt werden. Der Minimalwert spiegelt das Nichtvorhandensein einer zusätzlichen Zahlungsbereitschaft der Kundinnen und Kunden (0 €) wider. Durch die Analyse der Zahlungsbereitschaft (s. Kapitel 5.3.1) ist bekannt, dass die maximale Zahlungsbereitschaft für die Ermöglichung zusätzlicher Funktionalität während der automatisierten Fahrt für die Sitzkonzepte bei 3.402 € liegt. Dieser Wert errechnet sich durch die Multiplikation der durchschnittlichen Nutzungsdauer mit der Gesamtzahlungsbereitschaft für weitere Funktionalität (189 € pro Monat, 2.268 € pro Jahr) unter Berücksichtigung des Sitzkonzepteinflussfaktors von 0,25. Folglich liegt der Maximalwert bei 3.402 €. Der Maßzahlbereich wird auf 19 festgelegt, um eine ausreichend hohe Differenzierung über ein kleines, aber handhabbares Intervall zu erhalten. Die Steigung m berechnet sich über Gleichung 4-1 zu gerundet 0,0056 (*Anmerkung: in allen weiteren Berechnungen werden ungerundete Werte genutzt*). Die Intervalle liegen bei ca. 179 € pro Maßzahlerhöhung. Im Anschluss an die Maßzahlermittlung werden diese auf ein Intervall zwischen 0 und 1 normiert.

So ergeben sich folgende Werte für die betrachteten Sitzkonzepte:

	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Ausprägung	0 €	1.170 €	2.232 €
Maßzahl	1	7	13
Normiert	0	0,33	0,67

Abb. 5-4: Normierte Maßzahlen des Kriteriums „Preis“

Ermittlung der Konzeptlücke

Die Konzeptlücke beschreibt bezogen auf den Preis die Abweichung zwischen dem maximal erzielbaren Preis repräsentiert durch die Mehrkostenbereitschaft beim Angebot der vollen Funktionalität zu der Mehrkostenbereitschaft der durch das Sitzkonzept abgebildeten Funktionalität. Der normierte Wert des Sitzkonzeptes wird vom maximalen Wert der Normierung (1) nach Gleichung 4-6 subtrahiert. Es ergeben sich folgende Konzeptlücken:

	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Konzeptlücke	1	0,67	0,33

Abb. 5-5: Konzeptlücken des Kriteriums „Preis“

Gewichtung der Konzeptlücke

Zur Gewichtung der Konzeptlücke wird die Matrix mit den strategischen Gewichtungen der Bewertungskriterien herangezogen (s. Anhang 10.8). Zunächst sind die in der Matrix aufgeführten Verhältniszahlen in Gewichtungsfaktoren durch spaltenweise Normierung und zeilenweise Mittelwertberechnung zu überführen. Der so errechnete Gewichtungsfaktor für das Kriterium Preis entspricht gerundet 4,3 %. Daraus ergeben sich nach Gleichung 4-10 folgende δ_i Werte als Eingabe für die Analysephase:

	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Gewichtete Konzeptlücke	0,04446	0,02964	0,01482

Abb. 5-6: Gewichtete Konzeptlücke des Kriteriums „Preis“

5.4 Analysephase

5.4.1 Identifikation von Handlungsmaßnahmen

Zur Identifikation von Handlungsmaßnahmen werden die in der Durchführungsphase ermittelten Deltas der Soll- zu den Istleistungen der Kriterien unter Zuhilfenahme der in Kapitel 4.5.1 vorgestellten Darstellungsform des Netzdiagramms visualisiert (s. Abb. 5-7).

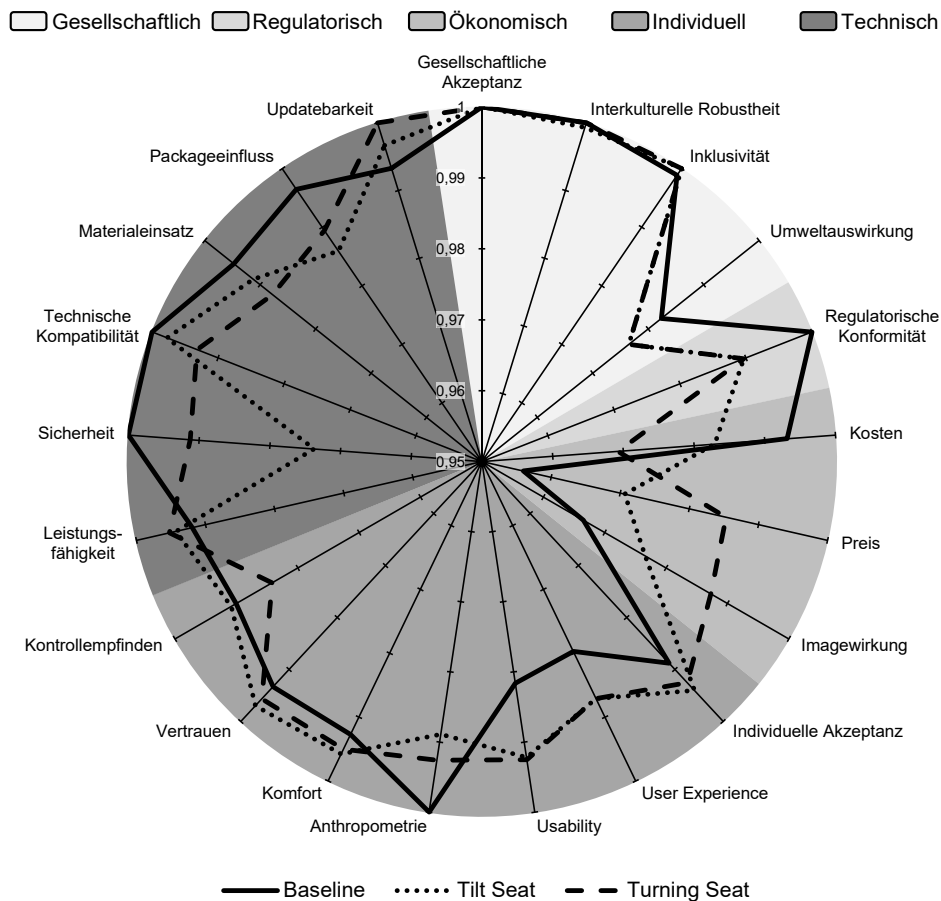


Abb. 5-7: Netzdiagramm der bewerteten Sitzkonzepte

Zur besseren Analyse folgt die Einordnung der Kriterien in die Kategorien Konformität, Unterqualifikation und Kritikalität (s. Abb. 5-8). Berücksichtigt werden die in Kapitel 4.5.2 definierten absoluten Grenzwerte. Für die Konzepte ergeben sich folgende Einordnungen (die quantitativen Bewertungen finden sich in Anhang 10.14):

	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Konformität	- Gesellschaftliche Akzeptanz - Interkulturelle Robustheit - Regulatorische Konformität - Anthropometrie - Sicherheit - Technische Kompatibilität - Inklusivität - Packageeinfluss - Materialeinsatz - Vertrauen - Updatebarkeit - Kosten - Komfort - Leistungsfähigkeit - Kontrollempfinden	- Gesellschaftliche Akzeptanz - Inklusivität - Interkulturelle Robustheit - Technische Kompatibilität - Vertrauen - Updatebarkeit - Komfort - Leistungsfähigkeit - Individuelle Akzeptanz - Usability - Materialeinsatz - Kontrollempfinden	- Gesellschaftliche Akzeptanz - Interkulturelle Robustheit - Inklusivität - Updatebarkeit - Vertrauen - Leistungsfähigkeit - Komfort - Technische Kompatibilität - Anthropometrie - Individuelle Akzeptanz - Usability - Sicherheit
Unterqualifikation	- Individuelle Akzeptanz - Umweltauswirkung - Usability	- Regulatorische Konformität - Anthropometrie - User Experience - Packageeinfluss - Kosten	- Regulatorische Konformität - Packageeinfluss - Materialeinsatz - Imagewirkung - User Experience - Preis - Kontrollempfinden
Kritikalität	- User Experience - Imagewirkung - Preis	- Imagewirkung - Umweltauswirkung - Sicherheit - Preis	- Umweltauswirkung - Kosten

Abb. 5-8: Kategorisierte Kriterien geordnet nach Rangfolge

Bei der Analyse unterqualifizierter und kritischer Kriterien lassen sich Widersprüche der Bewertungsergebnisse zu den Unternehmenszielen aufdecken.

Die Vorteile der automatisierten Fahrt durch die Ermöglichung neuer Nutzungsszenarien werden bei der *Baseline* aufgrund fehlender Funktionalität im Sitz zu wenig ausgenutzt. Das Fehlen kinästhetischer Impulse schafft keine klare Trennung in der Wahrnehmung der Verantwortungsallokation zwischen Fahrzeug und Nutzenden. So ist die Beteiligung bei der automatisierten Fahrt höher und das Gefühl von Freiheit zur Verfolgung tertiärer Aufgaben zu gering. Das Konzept ist nicht spannend und spiegelt den innovativen Anspruch des Fahrzeugs im Vergleich zu den anderen beiden Konzepten nicht wider. Außerdem kann die Baseline nicht zusätzlich bepreist werden

und bietet keinen Spielraum, die Profitabilität des Gesamtfahrzeugs zu erhöhen. Auffällig hier ist die wertmäßig große Abweichung der kritischen Kriterien Imagewirkung und Preis von den strategischen Unternehmenszielen.

Beim *Tilt Seat* und beim *Turning Seat* wird das Hinzufügen neuer oder größer dimensionierter Bauteile ohne verhältnismäßige Verbesserung bspw. der Recyclingquote aufgrund des Ziels der Steigerung der Nachhaltigkeit bemängelt. Zusätzlich schafft es der *Tilt Seat* nicht, die befragten Expertinnen und Experten als neue Technologie oder Innovation zu überzeugen, da die automatisierte Sitzverstellung der Rückenlehne bereits heute erlebbar ist. Aufgrund des eingeschränkten Mehrwerts für Nutzungsszenarien während der automatisierten Fahrt wird keine Möglichkeit zur zusätzlichen Vermarktung und höheren Bepreisung prognostiziert. Die Sicherheit des Sitzkonzeptes ist trotz fehlender Regulierung bzgl. des Verstellbereichs der Rückenlehne aufgrund der Submarininggefahr problematisch, sodass die Umsetzung eines neuen Sicherheitskonzeptes des Gesamtsitzes erwartet wird. Dies wird zur weiteren Bindung von Entwicklungsressourcen führen, welche der Verbesserung des Gesamtkonzeptes fehlen werden.

Beim *Turning Seat* überwiegt die Unklarheit bei der regulatorischen Konformität bezüglich des Drehradius des Sitzes, was einer Markteinführung in den kommenden Jahren im Weg stehen kann. Es gilt zu prüfen, ob kleine Anpassungen (z.B. am Steuergerät des Sitzes zur Reduktion des Radius) weiterhin die Vorteile des verhältnismäßig hohen Funktionsumfangs aufwiegen. Durch Wegdrehen von der Fahraufgabe sinkt das Kontrollempfinden der befragten Expertinnen und Experten, was in der Technologiewachstumsphase des automatisierten Fahrsystems einigen Nutzenden missfallen kann. Durch die Komplexität des Sitzaufbaus steigen die Herstellungskosten gegenüber den anderen Konzepten deutlich an. Trotz höherer Bepreisung und Profitabilität ist nach Lösungen zu suchen, den Gesamtaufbau des Sitzes kostengünstiger zu gestalten.

Folglich sollten bei der Ableitung geeigneter Maßnahmen diejenigen im Fokus stehen, welche mögliche Verbesserungen am Konzept hinsichtlich dieser unterqualifizierten und kritischen Kriterien versprechen.

5.4.2 Festlegung geeigneter Maßnahmen

Zur Festlegung geeigneter Maßnahmen für die Weiterentwicklung (oder Verwerfen) der Sitzkonzepte gilt es die Maßnahmen herauszuarbeiten, welche einen hohen positiven Einfluss auf die Verbesserung des Bewertungsergebnisses der unterqualifizierten und kritischen Kriterien bei gleichzeitig geringem Ressourceneinsatz versprechen. Auf der einen Seite kann die Erhöhung der Istleistung eines Kriteriums technisch limitiert sein, auf der anderen Seite können kleine positive Anpassungen der Istleistung bei manchen Kriterien einem unverhältnismäßig hohen Ressourceneinsatz (bspw. Entwicklungskosten) gegenüberstehen. Kann der Wert eines Konzeptes durch die Verbesserung unterqualifizierter und kritischer Kriterien bei geringem Aufwand erhöht werden, lohnt sich dessen Weiterverfolgung und -entwicklung. Hingegen ist ein Entwicklungsabbruch von Konzepten zu prüfen, deren Wert nur unter großem Aufwand bei geringem strategischen Fit der bewerteten Kriterien erhöht werden kann.

Im Folgenden werden die Kriterien betrachtet, bei denen kleine technische Veränderungen an den Sitzkonzepten eine Verbesserung der Kriterienbewertung zur Folge haben können.

Im ersten Schritt wird für jedes Konzept individuell analysiert, welche Kriterien stark von anderen Kriterien beeinflusst werden oder die selbst eine hohe Einflussstärke auf andere Kriterien vorweisen (s. Abb. 5-9 und Anhang 10.6).

Im zweiten Schritt werden den Kriterien mit hoher Einflussstärke der Wert und der erwartete Aufwand der Verbesserung zugeordnet, um eine Einordnung der Maßnahmen als Grundlage für eine Entscheidung zu ermöglichen. Die durchgeführte Expertenstudie zur Ausprägungsermittlung einiger Kriterien bietet den Vorteil, dass über die qualitative Befragung direkt Hinweise für Verbesserungsmaßnahmen gesammelt werden können. Diese und andere werden im Folgenden für die drei betrachteten Konzepte eingeordnet.

Betrachtete Kriterien	Einflussstärke	Beeinflussbarkeit
Umweltauswirkungen	2	3
Regulatorische Konformität	6	0
Herstellungskosten	1	3
Preis	2	11
Imagewirkung	3	5
Individuelle Akzeptanz	4	13
User Experience	5	10
Usability	8	4
Anthropometrie	8	1
Kontrollempfinden	4	2
Sicherheit	6	7

Abb. 5-9: Kriterien mit hoher kumulierten Einflussstärke oder Beeinflussbarkeit

Bei der *Baseline* stehen die Kriterien User Experience und Usability mit einer hohen Einflussstärke im Fokus. Bewertungen von Kriterien wie bspw. Imagewirkung, Preis und individuelle Akzeptanz lassen sich aufgrund ihrer hohen Beeinflussbarkeit durch die Verbesserung der anderen Kriterien verändern. Es kann z. B. durch die Einbringung zusätzlicher Funktionalität die User Experience gesteigert und dadurch die Imagewirkung erhöht werden. Konkret werden bei der Baseline Maßnahmen zur Intensivierung der Übernahmeaufforderung gefordert. Im Vergleich zu den kinästhetischen Konzepten ist die Mode Awareness während der automatisierten Fahrt und Salienz der Übernahmeaufforderung geringer. Lösungsvorschläge im Gesamtkontext des Fahrzeugkonzeptes sind die Erhöhung des visuellen Reizes durch die Nutzung der Ambientebeleuchtung als Status und Übernahmeaufforderungshinweis und die Nutzung von Signal-LEDs im Lenkrad, der Einsatz von Anzeigen in einem Head-Up Display, die Vibration des Lenkrads als taktiler Reiz sowie ein semantischer Prompt. Eine Ambientebeleuchtung und ein Head-Up Display sind für MAGNUS vorgesehen, eine Verknüpfung zur automatisierten Fahrfunktionalität muss noch vorgenommen werden. Das Multifunktionslenkrad müsste um die Signal-LEDs und Vibrationsfunktion erweitert werden, die aktuell nicht Projektstand sind. Über den eingeführten Sprachassistenten ist ein semantischer Prompt leicht umsetzbar und auch für die weiteren Konzepte zu berücksichtigen.

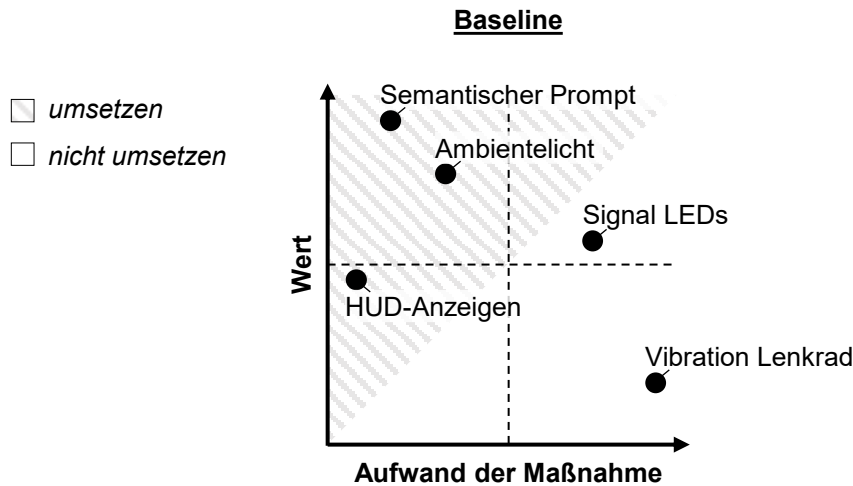


Abb. 5-10: Maßnahmenportfolio der Baseline

Beim *Tilt Seat* stehen die einflussstarken Kriterien Sicherheit und Anthropometrie im Vordergrund der Maßnahmenentwicklung. Konkret werden beim *Tilt Seat* die Maßnahmen des integrierten Sicherheitskonzeptes, Neupositionierung von Anzeigenelementen sowie Erweiterung um zusätzliche Bedienelemente am Sitz diskutiert. Das integrierte Sicherheitskonzept soll die Nachteile der liegenden Position während der automatisierten Fahrt aufwiegen. Bei der Entwicklung zu berücksichtigen sind damit verbundene Steigerungen der Herstellungskosten des Sitzes, was einen negativen Einfluss auf die Preisgestaltung haben wird. Zur besseren Erreichbarkeit der Anzeigen- und Bedienelemente wird eine Neupositionierung des Zentraldisplays an eine höhere Position vorgeschlagen, ohne Einfluss auf den Sichtbereich während der manuellen Fahrt zu haben. Bedienelemente am Sitz helfen bei der Remotesteuerung des Infotainmentsystems aufgrund größerer Entfernung des Torsos durch die Lehnenneigung. Eine weitere Maßnahme der stark beeinflussten Kriterien Imagewirkung und Preis ist, zusätzliche Komfortfunktionen in den Sitz zu integrieren, um das Nutzungsszenario der Entspannung während der automatisierten Fahrt auch bei den Kundinnen und Kunden stärker in den Fokus zu rücken. Dadurch lässt sich der Faktor des Sitzes am Mehrwert der Funktionalität erhöhen und ein höherer Preis erzielen.

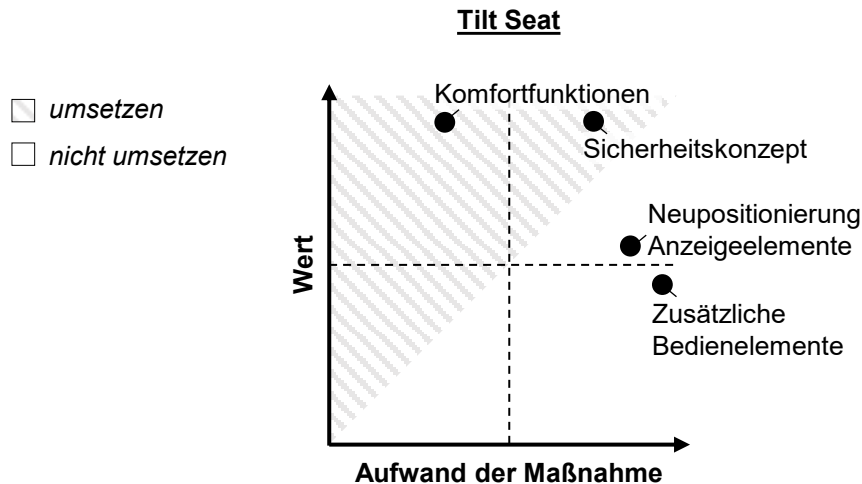


Abb. 5-11: Maßnahmenportfolio des Tilt Seats

Die einflussstarken Kriterien Materialeinsatz, Kontrollempfinden und regulatorische Konformität stehen bei der Maßnahmenentwicklung des *Turning Seats* im Fokus. Der Materialeinsatz hat Auswirkungen auf die Umweltbilanz und die Herstellungskosten des Sitzkonzeptes. Der Komponenteneinsatz und die -dimensionierung sind bereits auf einen zuverlässigen, langlebigen Serieneinsatz abgestimmt. Ansätze, die Umweltauswirkungen durch nachhaltigere Sitzmaterialien zu kompensieren, bspw. durch den Einsatz neuer, umweltschonender Materialien, sind vor dem Hintergrund der potenziellen Steigerung der Herstellungskosten kritisch zu prüfen. Das schlechte Wiedereinflinden in die ursprüngliche Fahrposition nach der Übernahmeaufforderung beeinflusst das Kontrollempfinden maßgeblich negativ. Eine Maßnahme zur Steigerung des Kontrollempfindens ist, die Pedalerie an die Sitzposition zu adaptieren. Dies kann entweder durch Wegfahren oder Mitrotieren geschehen. Eine weitere identifizierte Maßnahme ist die Reduzierung der Rotation auf 10°. Dadurch kann eine Konformität mit den Regularien und den Sicherheitsanforderungen hergestellt werden mit der Möglichkeit, die eingesetzten Komponenten kleiner zu dimensionieren. Dadurch können Kosten gespart und die negativen Auswirkungen des Sitzkonzeptes verringert werden. Es gilt jedoch zu prüfen, ob dadurch nicht die Vorteile in der User Experience und Usability gegenüber den anderen Konzepten verloren gehen, da die Drehbewegung keinen nennenswerten Raumgewinn, keine Mode Awareness und keinen Zugang zu Infotainmentfunktionen schafft.

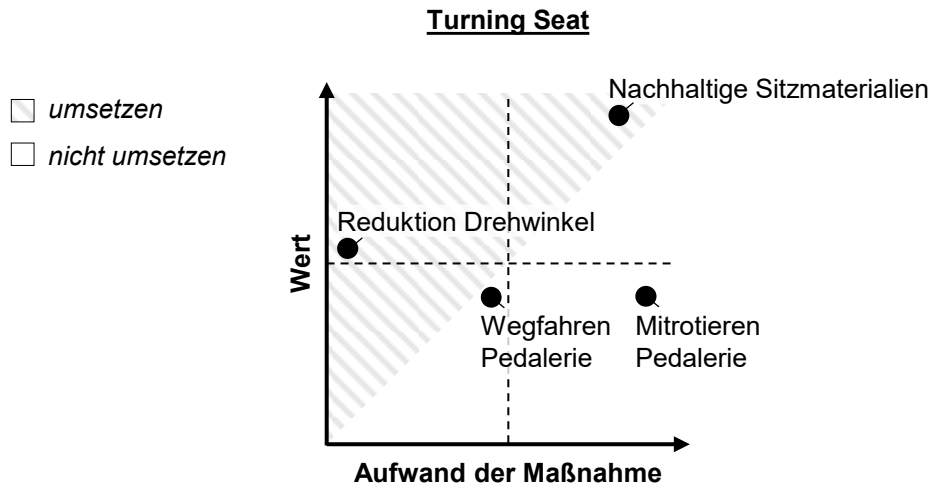


Abb. 5-12: Maßnahmenportfolio des Turning Seats

Aus der Gesamtbewertung der drei Sitzkonzepte wird zur weiteren Entwicklung außerdem das Szenario geprüft, die Konzepte des Tilt Seats und des Turning Seats zu kombinieren. Durch die Kombination der Sitzbewegungen ließen sich zusätzliche Vorteile realisieren wie die höhere Funktionalität zur Abdeckung aller gewünschten Nutzungsszenarien während der automatisierten Fahrt, adaptiert an den Nutzerwunsch.

Es obliegt nun den Entscheidungsträgern der CARL AG, mit der durch die Anwendung der Methodik zur Bewertung marktrelevanter Erfolgsfaktoren der Sitzkonzepte hergeleiteten objektiven Entscheidungshilfe die Maßnahmen einzuleiten, die für das Unternehmen am erfolgsversprechendsten sind.

6 Diskussion

Das vorangegangene Fallbeispiel der CARL AG und die drei betrachteten HMI-Konzepte zeigen die Komplexität einer Entscheidung zur Entwicklung und Einführung einer innovativen Ausstattungsvariante im Automobilbereich. Durch die Anwendung der Methodik zur Bewertung marktrelevanter Erfolgsfaktoren kann eine objektive Entscheidungsgrundlage hinsichtlich der Stärken und Schwächen der einzelnen Konzepte herausgearbeitet werden. Folglich ist das Forschungsziel dieser Arbeit durch die erfolgreiche Verifikation der Methodik erreicht.

Anforderungserfüllung der entwickelten Methodik

In Bezug auf die in Kapitel 3.1 aufgestellten Anforderungen an die Bewertungsmethodik ist zu prüfen, ob alle bzw. bis zu welchem Grad die Anforderungen erfüllt werden können. Von den *allgemeinen, formalen Anforderungen* an die Methodik kann empirische und formale Richtigkeit durch die erfolgreiche Anwendung der Methodik bei Widerspruchsfreiheit, Reproduzierbarkeit und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse gezeigt werden. Auch die Zweckbezogenheit ist durch die anwendungsorientierte Methodikgestaltung gegeben. Durch die allgemeine Orchestrierung der Methodikmodule ist eine Übertragbarkeit des Vorgehens auf weitere Bewertungsobjekte unabhängig des hier gewählten Betrachtungsfokus von HMI-Konzepten möglich. In Bezug auf die Gebrauchstauglichkeit lassen sich durch den modularen Aufbau der Methodik je nach Zeitpunkt in der Entwicklung Bewertungsschritte verkürzen, vertiefen oder überspringen, sodass eine hohe Anwendungsorientierung und ein praktikabler Einsatz gewährleistet werden können. Die Ergebnisse sind leicht verständlich und intuitiv durch die gewählten Darstellungsformen ablesbar. Außerdem werden verbreitete Begrifflichkeiten verwendet sowie gebräuchliche Methoden und Werkzeuge innerhalb der Methodik eingesetzt. Beispiele sind hier die durchgeführten Expertenstudien sowie Werkzeuge wie die *System Usability Scale* oder der *User Experience Questionnaire*. Die Durchführung der Methodik ist grundsätzlich aufwandsarm, jedoch vor dem Hintergrund zu sehen, dass die eingesetzten Methoden und Werkzeuge zur Ausprägungsermittlung der Bewertungskriterien durchaus mit höherem Aufwand verbunden sein können. Die Objektivierung des Bewertungsprozesses unterstützt die intersubjektive Nachprüfbarkeit der Ergebnisse. Der genutzte Forschungsansatz des Fünf-Ebenen-Modells stellt die Vollständigkeit und Zielhomogenität der Bewertung sicher. Folglich können alle allgemeinen Anforderungen erfüllt werden.

Die *inhaltlichen Anforderungen* gliedern sich in die Kategorien Objektorientierung, Modellorientierung und Zielorientierung. Die Objektorientierung wird durch die Ausrichtung des Kriterienmoduls auf Kriterien zur Bewertung von HMI-Konzepten erreicht, welche die funktionalen Zusammenhänge der zugrundeliegenden

Technologie erfassen. Durch das Stratiemodul werden wichtige, unternehmensstrategische Kenngrößen erfasst und die unternehmensexterne und -interne Perspektive repräsentativ abgebildet. Die Modellorientierung der entwickelten Methodik erfüllt die Anforderungen nach Ganzheitlichkeit der Bewertungsmethode über die Modularisierung und Adaptivität an den Bewertungskontext. Dadurch können Kriterien des Kriterienmoduls zu unterschiedlichen Bewertungszeitpunkten hinzugefügt oder entfernt werden, was eine hoch individualisierbare Gestaltung ermöglicht. Die Bewertungssystematik des Bewertungsmoduls verändert sich dabei nicht und eine Anwendbarkeit über den gesamten Entwicklungsprozess wird sichergestellt. Die Fähigkeit des Kriterien- und Entscheidungsmoduls, die Wechselwirkungen zwischen den Kriterien zu erfassen und bei der Entscheidungsfindung zu berücksichtigen, ermöglicht umfassende Kriterienstrukturen, mit denen ein breites Kontextfeld abgedeckt wird. Das Bewertungsmodul erlaubt die Integration quantitativer und qualitativer Daten durch die Nutzung von Maßzahlfunktionen. Mit dieser Zuordnungssystematik können auch Unsicherheiten über Wahrscheinlichkeitsverteilungen berücksichtigt werden. Die Anforderungen nach Zielorientierung der Methodik werden durch die Verarbeitung des Bewertungsergebnisses mittels geeigneter Darstellungsformen im Entscheidungsmodul erfüllt. So wird auf eine Aggregation verzichtet, um im Gegensatz zu einem Gesamtbewertungsergebnis genau die Schwachstellen der Bewertungsobjekte herauszuarbeiten, die weiterer Entwicklungsarbeit bedürfen. Durch die Portfolioeinordnung der identifizierten Handlungsmaßnahmen werden die einzuleitenden Entwicklungsschritte ressourcen-seitig abgeschätzt und offengelegt.

Einen zusammenfassenden Überblick über den Sollerfüllungsgrad der Anforderungen sowie über den Isterfüllungsgrad der Bewertungsmethodik liefert Abb. 6-1.

	Objektbereich						Modellbereich					Zielbereich	
	HMI-Konzepte	Gesellschaftliche Ebene	Regulatorische Ebene	Ökonomische Ebene	Individuelle Ebene	Technologische Ebene	Ganzheitlichkeit	Individualisierbarkeit	Qualitative Daten	Quantitative Daten	Anwendungsaufwand	Bewertungsausrichtung	Bewertungsergebnisse
Methodik-Soll	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Methodik-Ist	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	◐	●	●

Legende:

- voll erfüllt
- ◐ teilw. erfüllt
- nicht erfüllt

Abb. 6-1: Soll- und Isterfüllungsgrad der Anforderungen an die Methodik

Kritische Würdigung der Methodik

Das dargestellte Fallbeispiel zeigt die Komplexität des Bewertungsprozesses. Der Ansatz einer systematischen Literaturrecherche gewährleistet zwar eine wissenschaftlich korrekte Identifikation der Bewertungskriterien, obliegt jedoch der Unsicherheit, dass nicht alle relevanten Kriterien dadurch erfasst werden. Die Ergebnisse der ermittelten Kriterienausprägungen offenbaren zusätzlich die erwartete Interdependenz zwischen den Kriterien. Die Berücksichtigung dieser inhärenten Wirkbeziehungen findet bei der Ableitung weiterer Maßnahmen im Entscheidungsmodul statt. Grundlage sind die im Kriterienmodul identifizierten qualitativen, richtungsabhängigen Wirkzusammenhänge. Folglich besteht die Gefahr, dass die Einflussstärke mancher Kriterien nicht vollständig berücksichtigt wird. Eine Quantifizierung der Wirkzusammenhänge ist entsprechend notwendig, sofern dies möglich ist. Dadurch wird der Aufwand der Datenakquisition in der Initialisierungsphase deutlich erhöht. Dennoch ist dieser Aufwand unter Berücksichtigung der dargelegten Vorteile und des wertvollen Beitrags einer systematisierten Technologiebewertung zur Synchronisierung von Strategie und Produkt abzuwägen.

Das Fallbeispiel bewertet die vorgestellten Sitzkonzepte in der Phase des prototypischen Aufbaus. Einige der identifizierten Kriterien können zu diesem Zeitpunkt noch nicht vollständig bewertet werden und sind deshalb aus der Bewertung ausgeschlossen. Außerdem werden die Konzepte zunächst mit Hilfe von Expertinnen und Experten evaluiert, was im Zuge eines nutzerzentrierten Entwicklungsprozesses als Initialbewertung üblich ist [ISO19a]. Auf dieser Grundlage ist zu beachten, dass eine vollständige Validierung der Bewertungsmethodik nicht gegeben ist, da nicht alle Kriterien berücksichtigt werden und da die Bewertungsergebnisse aufgrund der geringen Anzahl an Testsubjekten nicht signifikant sind, was eine Darstellung über Mittelwerte suggerieren könnte. Im nächsten Schritt ist eine Anwendung der Methodik mit einem umfassenden Kriterienpool und bspw. anhand einer Nutzerstudie für einen größeren Anteil quantifizierter Ergebnisse sinnvoll.

Die Bewertung von neuen Konzepten eignet sich dann, wenn diese auf Basis unklarer und undefinierter Anforderungen entwickelt werden. Ohne den entsprechend lösungsoffenen Raum sind zur Bewertung der Konformität entwickelter Konzepte Tests zur Validierung und Verifikation der Anforderungen zu nutzen. Die entwickelte Methodik kann dafür keinen signifikanten Beitrag leisten.

Ausblick auf zukünftige Forschungsbedarfe

Die durchgeführte Anwendung und kritische Beurteilung der Methodik zeigt weiteres Forschungspotenzial zur Verbesserung der Anwendbarkeit und Genauigkeit auf. Zunächst empfiehlt sich eine Quantifizierung der Wirkzusammenhänge zwischen den

Bewertungskriterien zu prüfen, um die Interdependenzen in ihrer Stärke besser zu berücksichtigen. Außerdem muss der Kriterienkatalog je nach Unternehmen ggf. erweitert oder angepasst werden, um eine höhere Abdeckung des unternehmerischen Kontextes sicherzustellen.

Die Anwendung der Methodik ist toolseitig über MICROSOFT EXCEL umgesetzt. Eine dedizierte, softwareseitige Implementierung kann zukünftig helfen, den Aufwand weiter zu reduzieren und Teilschritte der Bewertung entweder zu automatisieren oder die Datenübertragung durch Vorauswahlen sicherer und effizienter zu gestalten. Weiter kann die Nutzung Künstlicher Intelligenz (KI) zweierlei Vorteile bringen: Zum einen kann die Datenbasis zur Identifikation von Bewertungskriterien und Zielgrößen entweder durch die Analyse von Internetdatenbanken oder die Aufbereitung von Daten über frühere Technologieentscheidungen des Unternehmens erweitert werden. Zum anderen kann künstliche Intelligenz bei der schnellen Ausprägungsermittlung einiger Kriterien genutzt werden, wie am Beispiel der *gesellschaftlichen Akzeptanz* verdeutlicht (s. Kapitel 5.3.1.1).

Weiteres Forschungspotenzial bietet die Untersuchung und Berücksichtigung von zeitlicher Veränderlichkeit in den Kriterienausprägungen. Die Ausprägungen des vorliegenden Anwendungsbeispiels sind eine Bestandsaufnahme bei erstmaliger Nutzung der Konzepte. Die Veränderlichkeit der Ausprägungen und damit der Bewertung wird nicht berücksichtigt. In realen Gegebenheiten sind die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Ausprägungen der Kriterien nicht als linear zu betrachten. So ist bspw. die User Experience bei häufiger Nutzung eines HMI-Konzeptes nicht konstant und kann steigen respektive fallen. Diese Verhältnismäßigkeit könnte über die Betrachtung der Kriterienausprägungen als Funktion der Zeit in die Methodik aufgenommen werden.

Zuletzt sind strategische Entscheidungen immer abhängig von Entscheidungen anderer Wettbewerber. Dies geht zurück auf die moderne Spieltheorie. [NEU07] So ist bspw. die Imagewirkung eines Technologiekonzeptes in der Entwicklung abhängig von dessen Marktanteil. Ein neues Konzept erzeugt dann eine innovative Wirkung, wenn andere Hersteller dieses nicht bereits früher in den Markt gebracht haben. Folglich ist eine Abbildung der Spieltheorie mittels unterschiedlich aufzuspannender Szenarien in der Bewertungsmethodik denkbar.

7 Zusammenfassung

Die Bedeutung von Innovationen in der Automobilindustrie war schon immer hoch, doch ist sie zuletzt aufgrund der Digitalisierung und Elektrifizierung des Fahrzeugs und des damit einhergehenden intensiven, globalen Wettbewerbs für die Überlebensfähigkeit etablierter Unternehmen weiter gestiegen. Die Transformationsfähigkeit eines Unternehmens wird durch richtige Entscheidungen zum richtigen Zeitpunkt stark beeinflusst, um die Balance zwischen sparsamem Ressourceneinsatz und notwendigen Zukunftsinvestitionen zu gewährleisten. Um Fehlentscheidungen zu vermeiden, muss die Abhängigkeit von Präferenzen einzelner Individuen verringert und Entscheidungen müssen frühzeitig an marktrelevanten Erfolgsfaktoren orientiert werden. Dies bedarf einer transparenten und nachvollziehbaren Entscheidungsgrundlage, mit Hilfe derer Entscheidungen objektiviert und systematisiert werden können.

Mit Hilfe strukturierter Methoden gelingt es, maßgebende Entscheidungsprozesse in Unternehmen bei der Entwicklung von Produkten regelbasiert und ganzheitlich entlang der jeweiligen Unternehmensstrategie zu gestalten. Sie setzen das Unternehmensumfeld in Relation zu den Unternehmenskompetenzen, um die richtigen Maßnahmen für Entwicklungsprozesse und Produktkonzepte abzuleiten. Vor diesem Hintergrund werden existierende Bewertungsmethoden dahingehend untersucht, ob eine Entscheidung in der frühen Phase einer HMI-Konzeptentwicklung unter Berücksichtigung der identifizierten Anforderungen hinsichtlich Bewertungsobjekt, -modell und -ziel hinreichend unterstützt wird. Begründet in den unterschiedlichen Einsatzschwerpunkten gibt es zurzeit keinen Ansatz, der allen aufgestellten Anforderungen entspricht.

Auf dieser Grundlage wird eine neue Bewertungsmethodik aufgebaut, welche als vorteilhaft identifizierte Elemente bestehender Bewertungsmethoden mit neuen Elementen verknüpft. So können HMI-Konzepte anhand marktrelevanter Erfolgsfaktoren bewertet werden, die über das Fünf-Ebenen-Modell erfasst und systematisiert sind.

Zunächst wird ein Vorgehensmodell definiert, welches die typischen Schritte zur Bewertung eines Konzepts beschreibt. Die genutzten Werkzeuge werden über ein Aufbaumodell in Module zusammengefasst, welche eine einfache Handhabung der Methode gewährleisten (s. Abb. 7-1). Das Kriterienmodul umfasst die Identifikation relevanter Bewertungskriterien, welche eine umfassende Beurteilung durch die Ermittlung ihrer Ausprägungen sicherstellen sollen. Das Strategiemodul schafft die Grundlage dafür, dass längerfristige Unternehmens- und Produktstrategien über Gewichtungen in einzelnen Konzeptentscheidungen Berücksichtigung finden. Das Bewertungsmodul löst die Aufgabe, unterschiedliche Skalen, Maßstäbe, Einheiten und

Genauigkeiten sowie Unsicherheiten der ermittelten Kriterienausprägungen über Maßzahlfunktionen in einem Bewertungsalgorithmus so zusammenzubringen, dass einzelne Stärken und Schwächen der untersuchten Konzepte offenbart werden. Durch die kriterienindividuelle Betrachtung wird das Bewertungsergebnis im Entscheidungsmodul transparent offengelegt, sodass Entscheidungen über geeignete Entwicklungsmaßnahmen identifiziert, abgeleitet und getroffen werden können.

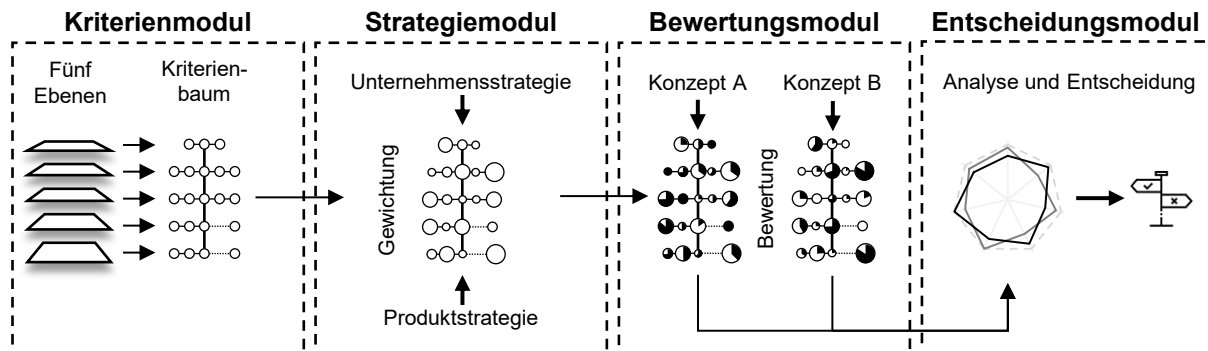


Abb. 7-1: Module der Bewertungsmethodik im Vorgehensmodell

Die entwickelte Bewertungsmethodik wird anhand eines Fallbeispiels aus der automobilindustriellen Praxis verifiziert. Die hochkomplexe Entscheidung über die Weiterentwicklung von drei zur Auswahl stehenden HMI-Konzepten zeigt das Potenzial für den Einsatz der Methodik, indem

- durch ein regelbasiertes Vorgehen die Komplexität der Entscheidung sukzessive reduziert wird,
- marktrelevante Erfolgsfaktoren durch spezifische, messbare Kriterien abgebildet und unter Berücksichtigung qualitativer und quantitativer Daten bewertet werden,
- die strategische Konformität der Entscheidung über den Einsatz von Gewichtungen sichergestellt wird und
- die kriterienindividuellen Ausprägungen ohne Informationsverlust über potenzielle Stärken und Schwächen einer Gesamtbewertung des Konzeptes zugeführt werden.

Folglich kann ein relevanter Mehrwert zur frühzeitigen Priorisierung von Entwicklungsaktivitäten geschaffen werden.

8 Abkürzungsverzeichnis

AAM	Alliance of Automotive Manufacturers
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
CCC	China Compulsary Certification
DIN	Deutsches Institut für Normung
DSGVO	Datenschutz-Grundverordnung
EBIT	Earnings Before Income and Taxes
ESoP	European Statement of Principles on human-machine interface for in-vehicle information and communication systems
FMVSS	Federal Motor Vehicle Safety Standards
ggf.	gegebenenfalls
GTR	Global Technical Regulations
HMI	Human Machine Interaction (Mensch-Maschine-Interaktion)
i.A.a.	in Anlehnung an
ISO	International Organization for Standardization
JAMA	Japan Automobile Manufacturers Association
kg	Kilogramm
KI	Künstliche Intelligenz
LED	Lichtemittierende Diode
LLM	Large Language Model
MKEM	Multikriterielle Entscheidungsmethoden
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration

ProdSG	Produktsicherheitsgesetz
ROI	Return On Investment (Kapitalrendite)
SAE	Society of Automobile Engineers
sog.	sogenannte
STVO	Straßenverkehrs-Ordnung
STZVO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
SuRT	Surrogate reference task
SUS	System Usability Scale
s.	siehe
s. u.	siehe unten
u. a.	unter anderem
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel

9 Literatur

- [ABE21] ABEGGLEN, C., BLEICHER, K.
Das Konzept Integriertes Management
Visionen - Missionen - Programme
Campus Verlag, Frankfurt am Main, New York, 10. Auflage, 2021
- [ADA20] ADAC E.V.
Reale Gefahren im Auto von morgen
ADAC untersucht Verletzungsrisiko bei Sitzpositionen der Zukunft
<https://presse.adac.de/meldungen/adac-ev/tests/reale-gefahren-im-auto-von-morgen.html>, abgerufen am: 05.07.24, 2020
- [AHR20] AHRAM, T., KARWOWSKI, W., VERGNANO, A., LEALI, F., TAIAR, R.
Intelligent Human Systems Integration 2020
Measuring Driver Discomfort in Autonomous Vehicles
Springer International Publishing, Cham, 2020
- [ALA18] AL-ALAWI, B. M., COKER, A. D.
Multi-criteria decision support system with negotiation process for vehicle technology selection
Energy, 2018, S. 278–296
- [ALB90] ALBACH, H. (Hrsg.)
Innovationsmanagement
Theorie und Praxis im Kulturvergleich
Gabler, Wiesbaden, 1990
- [ANT16] ANTONA, M.; STEPHANIDIS, C. (Hrsg.)
Universal Access in Human-Computer Interaction. Users and Context Diversity, Lecture Notes in Computer Science
Springer International Publishing, Cham, 2016
- [ARN11] ARNDT, S.
Evaluierung der Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen
Modell zum Kaufverhalten von Endkunden
Zugl.: Dresden, Techn. Univ., Diss., 2011
- [ART80] ARTHUR D. LITTLE, INC.
A Management System for 1980's
San Francisco, CA, 1980
- [AUS18] AUST, M. Ljung, BROSTRÖM, R., LINDVALL, S.
Assessing In-Vehicle Secondary Tasks with the NHTSA Visual-Manual Guidelines Occlusion Method

- In: Stanton, Neville A. (Hrsg.): Advances in Human Aspects of Transportation
Springer International Publishing, Cham, 2018, S. 373–382
- [BAE21] BAECKER, D. (Hrsg.)
Schlüsselwerke der Systemtheorie
Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint Springer VS, Wiesbaden,
4. Auflage, 2021
- [BAG19] BAGNARA, S.; TARTAGLIA, R.; ALBOLINO, S.; ALEXANDER, T.;
FUJITA, Y. (Hrsg.)
Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics
Association (IEA 2018)
Advances in Intelligent Systems and Computing
Springer International Publishing, Cham, 2019
- [BAI68] BAIN, J. Staten
Industrial organization
Wiley, New York, 2. Auflage, 1968
- [BAR17] BARG, S.
Kontextbezogene Auslegung von Produktbaukästen
Dissertation
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Apprimus Verlag, 2017
- [BAR91a] BARNEY, J.
Firm Resources and Sustained Competitive Advantage
Journal of Management 1, 1991, S. 99–120
- [BAR91b] BARROW, K.
Human Factors Issues Surrounding the Implementation of In-Vehicle
Navigation and Information Systems, 1991
- [BAU04] BAUMANN, M., KEINATH, A., KREMS, J. F., BENGLER, K.
Evaluation of in-vehicle HMI using occlusion techniques:
experimental results and practical implications
Applied ergonomics 3, 2004, S. 197–205
- [BAV20] BAVENDIEK, J., OSTAD, Y., ECKSTEIN, L.
Evaluating HMI-Development Approaches from an Automotive
Perspective
In: Krömker, Heidi (Hrsg.): HCI in Mobility, Transport, and Automotive
Systems. Automated Driving and In-Vehicle Experience Design
Springer International Publishing, Cham, 2020, S. 199–216

- [BEA11] BEAUJEAN, P.
Modular gestaltetes reaktives Qualitätsmanagement,
Apprimus Verlag, 2011
- [BEC04] BECKER, J.
Handelsinformationssysteme
Domänenorientierte Einführung in die Wirtschaftsinformatik
München, 1. Auflage 2004
- [BEC08] BECKER, S.
Innovationsprozessmanagement
Ein fachkonzeptionelles Referenzmodell
Zugl.: Münster (Westfalen), Univ., Diss., 2007
Shaker Verlag, Aachen, 2008
- [BEC15] BECKER, S., HANNA, P., WAGNER, V.
Human Machine Interface Design in Modern Vehicles
In: Crolla, David et al. (Hrsg.): Encyclopedia of automotive
engineering
Wiley, Chichester: 2015, S. 1–16
- [BEG17] BEGGIATO, M., HARTWICH, F., KREMS, J.
Der Einfluss von Fahrermerkmalen auf den erlebten Fahrkomfort im
hochautomatisierten Fahren
Automatisierungstechnik 7, vol. 65, 2017, S. 512–521
- [BEL95] BELL, D. E. (Hrsg.)
Decision making
Descriptive, normative, and prescriptive interactions
Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1995
- [BIO18] BIONDI, F., GETTY, D., MCCARTY, M., GOETHE, R., COOPER, J.,
STRAYER, D.
The Challenge of ADAS Assessment: A Scale for the Assessment of
the HMI of Advanced Driver Assistance Technology, 2018
- [BIR14] BIROLINI, A.
Reliability engineering
Theory and practice
Springer, Berlin, Heidelberg, 7. Auflage, 2014
- [BMW22] BMW GROUP
Group Bericht 2022
<https://www.bmwgroup.com/de/bericht/2022/downloads/BMW-Group-Bericht-2022-de.pdf>, abgerufen am: 04.07.2024, 2022

- [BOO82] BOOZ, A. & Hamilton
New Products Management for the 1980s
Booz, Allen & Hamilton, 1982
- [BÖS21] BÖSCHEN, S., GRUNWALD, A., KRINGS, B.-J., RÖSCH, C.
Technikfolgenabschätzung
Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, 2021
- [BOU04] BOUNDY, T. M., VITALE, N. A., FIGLIOLI, D. W.
“Multi Vector” Field of View Design Tool, 2004
- [BRA02] BRANDENBURG, F.
Methodik zur Planung technologischer Produktinnovationen
Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2001
Shaker Verlag, Aachen, 2002
- [BRA13] BRAESS, H.-H.; SEIFFERT, U. (Hrsg.)
Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik
ATZ/MTZ-Fachbuch
Springer Vieweg, Wiesbaden, 7. Auflage, 2013
- [BRA16] BRADLEY, M., LANGDON, P. M., CLARKSON, P. John
An Inclusive Design Perspective on Automotive HMI Trends
In: Antona, Margherita; Stephanidis, Constantine (Hrsg.): Universal
Access in Human-Computer Interaction. Users and Context Diversity
Springer International Publishing, Cham: 2016, S. 548–555
- [BRA86] BRANS, J. P., VINCKE, P., MARESCHAL, B.
How to select and how to rank projects: The Promethee method
European Journal of Operational Research 2, 1986, S. 228–238
- [BRE12] BRECHT, U.
BWL für Führungskräfte
Was Entscheider im Unternehmen wissen müssen
Springer, Wiesbaden, 2. Auflage, 2012
- [BRE97] BREIING, A., KNOSALA, R.
Bewerten technischer Systeme
Theoretische und methodische Grundlagen bewertungstechnischer
Entscheidungshilfen
Springer, Berlin, Heidelberg, 1997
- [BRO17] BROCH, F.
Integration von ökologischen Lebenswegbewertungen in
Fahrzeugentwicklungsprozesse
Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2017

- [BRO82] BROSE, P.
Planung, Bewertung und Kontrolle technologischer Innovationen
E. Schmidt, Berlin, 1982
- [BRO95] BROOKE, J.
SUS: A quick and dirty usability scale
Usability Eval. Ind., 1995
- [BRO99] BROCKHOFF, K.
Forschung und Entwicklung
Planung und Kontrolle
Oldenbourg; De Gruyter, München, Wien, Berlin, 5. Auflage, 1999
- [BUB15] BUBB, H., BENGLER, K., GRÜNEN, R. E., VOLLRATH, M.
Automobilergonomie
Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2015
- [BUC13] BUCHHOLZ, L.
Strategisches Controlling
Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2013
- [BUC16] BUCHHOLZ, L., GERHARDS, R.
Internes Rechnungswesen
Kosten- und Leistungsrechnung, Betriebsstatistik und
Planungsrechnung
Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 3. Auflage, 2016
- [BUE08] BUEHLER, R., KUNERT, U.
Trends und Determinanten des Verkehrsverhaltens in den USA und
in Deutschland Trends and Determinants of Travel Behavior in the
USA and in Germany, 2008
- [BUL12] BULLINGER, H.-J.
Einführung in das Technologiemanagement
Modelle, Methoden, Praxisbeispiele
B.G. Teubner, Stuttgart, 2012
- [BUR10] BURNS, P., HARBLUK, J., FOLEY, J. P., ANGELL, L.
The importance of task duration and related measures in assessing
the distraction potential of in-vehicle tasks
In: Dey, Anind K. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 2nd International
Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular
Applications
ACM, New York, NY, USA: 2010, S. 12–19

- [COE09] COENENBERG, A. Gerhard, FISCHER, T. M., GÜNTHER, T.
Kostenrechnung und Kostenanalyse
Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 7. Auflage, 2009
- [COE16] COENENBERG, A. G., FISCHER, T. M., GÜNTHER, T.
Kostenrechnung und Kostenanalyse
Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 9. Auflage, 2016
- [COL08] COLLIS, D., MONTGOMERY, C. A.
Competing on resources
Harvard business review HBR 7/8, (7/8), 2008, S. 140–150
- [COO02] COOPER, R. G.
Top oder Flop in der Produktentwicklung
Erfolgsstrategien; von der Idee zum Launch
Wiley-VCH, Weinheim, New York, 1. Auflage, 2002
- [COO11] COOPER, R. G.
Winning at new products
Creating value through innovation
Basic Books, New York, 4. ed., completely rev. and updated, 2011
- [COO93] COOPER, R. G., KLEINSCHMIDT, E. J.
SCREENING NEW PRODUCTS FOR POTENTIAL WINNERS
Long Range Planning, 1993, S. 74–81
- [COR89] CORSI, K. M., SATTLER, W. J.
Reconfigurable Displays Used as Primary Automotive
Instrumentation, 1989
- [DEL23] DELOITTE.
The future of automotive mobility to 2035
What might mobility providers' role be in tomorrow's value chain?
<https://image.marketing.deloitte.de/lib/fe31117075640474771d75/m/2/b01b0e58-9224-4043-a327-2e7b4153ca8f.pdf>, abgerufen am:
15.02.2024, 2023
- [DEL24] DELOITTE.
2024 Global Automotive Consumer Study
Key Findings: Global Focus Countries
<https://image.marketing.deloitte.de/lib/fe31117075640474771d75/m/1/ba6496b5-3f08-4cdd-8c3a-32ee37981de7.pdf>, abgerufen am:
15.02.2024, 2024
- [DEM00] DEMSETZ, H.
Toward a Theory of Property Rights

- In: Gopalakrishnan, Chennat (Hrsg.): Classic Papers in Natural Resource Economics
Palgrave Macmillan, London: 2000, S. 163–177
- [DIL14] DILLER, H. (Hrsg.)
Handbuch Preispolitik
Strategien, Planung, Organisation, Umsetzung
Gabler, Wiesbaden, 1. Auflage, 2014
- [DIL16] DILLERUP, R., STOI, R.
Unternehmensführung
Management & Leadership
Strategien - Werkzeuge - Praxis
Verlag Franz Vahlen, München, 5. Auflage, 2016
- [DIN14] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG
DIN EN 1325:2014-07
Value Management - Wörterbuch - Begriffe; Deutsche Fassung
Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [DIN17] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG
DIN 15005:2017
Straßenfahrzeuge - Ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und assistenzsystemen
Grundsätze des Dialogmanagements und Konformitätsprüfungen, 2017
- [DIN20] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG
DIN EN ISO 9241-110 9241-110
Ergonomie der Mensch-System-Interaktion
Interaktionsprinzipien, 2020
- [DIN96] DINKELBACH, W., KLEINE, A.
Elemente einer betriebswirtschaftlichen Entscheidungslehre
Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 1996
- [DIS12] DISSELKAMP, M. (Hrsg.)
Innovationsmanagement
Instrumente und Methoden zur Umsetzung im Unternehmen
Springer Gabler, Wiesbaden, 2. Auflage, 2012
- [DOL16] DOLLMAYER, A.
Target Costing
Zielkostenmanagement: Stand und Entwicklungstendenzen
YOUPublish, Stuttgart, 2016

- [DUF07] DUFFY, V. D.
Digital Human Modeling
First International Conference, ICDHM 2007, Held As Part of HCI International 2007, Beijing, China, July 22-27, 2007, Proceedings
Springer Berlin / Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2007
- [DUN16] DUNGS, J., HERRMANN, F., DUWE, D., SCHMIDT, A.,
STEGMÜLLER, S., GAYDOUL, R., PETERS, L. Peters, SOHL, M.
The value of time
Nutzerbezogene Service-Potenziale durch autonomes Fahren
https://www.iao.fraunhofer.de/content/dam/iao/images/iao-news/studie-value_of_time.pdf, abgerufen am: 05.07.24
Fraunhofer IAO, Horváth & Partners, 2016
- [EBE14] EBEL, B.
Automotive Management
Strategie und Marketing in der Automobilwirtschaft
Springer Berlin / Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2. Auflage, 2014
- [EBE20] EBERT, G., STEINHÜBEL, V.
Kosten- und Leistungsrechnung
Mit einem ausführlichen Fallbeispiel
Springer Gabler, Wiesbaden, 12. Auflage, 2020
- [ECK06] ECKSTEIN, L., VAN GIJSSEL, A.
HMI Guidelines and their Effect on Process, Product and Traffic Safety, SAE Technical Paper 2006-01-0574, 2006
- [ECK18] ECKSTEIN, L., DITTMAR, T., ZLOCKI, A., WOOPEN, T.
Automated Driving - Potentials, challenges and solutions
ATZ worldwide S1, 2018, S. 58–63
- [ESA92] ESAKI, K., WEBBER, K., SAKURAI, S., NOZAWA, A.
Esaki-1992-Recent progress in closing the loop of automobile recyclability, 1992
- [EUR00a] EUROPEAN STANDARD OF PRINCIPLES (ESoP)
Commission Recommendation on safe and efficient in-vehicle information and communication systems
A European statement of principles on human machine interface
Official Journal of the European Communities, 2000
- [EUR00b] Directive 2000/53/EC on End-of Life Vehicles
2000/53/EC2000, 2000

- [EUR08] Commission Recommendation of 26 May 2008 on safe and efficient in-vehicle information and communication systems: update of the European Statement of Principles on human-machine interface 2008/653/EC, 2008
- [EUR19a] Verordnung (EU) 2019/2144 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. November 2019 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge im Hinblick auf ihre allgemeine Sicherheit und den Schutz der Fahrzeuginsassen und von ungeschützten Verkehrsteilnehmern. EU2019/2144, 2019
- [EUR19b] Verordnung (EU) 2019/631 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. April 2019 zur Festsetzung von CO₂-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge. EU 2019/631, 2019
- [EUR19c] HADRIAN
Holistic Approach for Driver Role Integration and Automation Allocation for European Mobility Needs
Behind the wheel of automated driving cars, 2019
- [EUR21] Verordnung (EU) 2021/1119 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Juni 2021 zur Schaffung des Rahmens für die Verwirklichung der Klimaneutralität
EU 2021/11930.06.2021
- [EUR22] Richtlinie (EU) 2022/2464 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2022 zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 537/2014 und der Richtlinien 2004/109/EG, 2006/43/EG und 2013/34/EU hinsichtlich der Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen.
EU 2022246414.12.2022
- [EUR23] EUROPEAN UNION
EU transport in figures
Statistical pocketbook 2023
Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023
- [FIS94] FISCHER, R.-P., BUNDSCHUH, M.
Praxis der Entscheidungstechnik
Fischer, Frankfurt (Main), 1. Auflage, 1994

- [FRA09] FRANZKOCH, B.
Wertorientiertes Verfügbarkeitsmanagement
Apprimus Verlag, 2009
- [FRA16] FRANÇOIS, M., OSIURAK, F., FORT, A., CRAVE, P., NAVARRO, J.
Automotive HMI design and participatory user involvement: review
and perspectives
Ergonomics 4, 2016, S. 541–552
- [FRI14] FRIEDL, G., HOFMANN, C., PEDELL, B.
Kostenrechnung
Eine entscheidungsorientierte Einführung
Vahlen, München, 2. Auflage, 2014
- [FRI22] FRIEDL, G., HOFMANN, C., PEDELL, B.
Kostenrechnung
Eine entscheidungsorientierte Einführung
Verlag Franz Vahlen, München, 4. Auflage, 2022
- [FUL99] FULOP, L.
Decision making in organizations
In: Management.
Palgrave, London, 1999
- [GAB19] GABLER (Hrsg.)
Gabler Wirtschaftslexikon
Springer Gabler, Wiesbaden, Heidelberg, 19. Auflage, 2019
- [GÄL05] GÄLWEILER, A.
Strategische Unternehmensführung
Campus, Frankfurt am Main, 3. Auflage, 2005
- [GEI81] GEIST, M.; KÖHLER, R. (Hrsg.)
Die Führung des Betriebes
Pöschel, Stuttgart, 1981
- [GEL10] GELAU, C., SCHINDHELM, R.
Enhancing the occlusion technique as an assessment tool for driver
visual distraction
IET Intelligent Transport Systems 4, 2010, S. 346
- [GEL14] GELDERMANN, J., LERCHE, N.
Leitfaden zur Anwendung von Methoden der multikriteriellen
Entscheidungsunterstützung
Georg-August-Universität Göttingen - Wirtschaftswissenschaftliche
Fakultät - Lehrstuhl für Produktion und Logistik, 2014

- [GEL99] GELDERMANN, J.
Entwicklung eines multikriteriellen
Entscheidungsunterstützungssystems zur integrierten
Technikbewertung
VDI-Verl., Düsseldorf, 1999
- [GHA13] GHAZIZADEH, M., VENKATRAMAN, V., TORRES, M., GIBSON, M.
C., LEE, J. D., BOYLE, L. Ng
Text Readability and Drivers' Reading Time
Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual
Meeting 1, 2013, S. 1879–1883
- [GÖP98] GÖPFERT, J.
Modulare Produktentwicklung
Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation
Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 1998
- [GOT05] GOTTSCHALK, B.
Markenmanagement in der Automobilindustrie
Die Erfolgsstrategien internationaler Top-Manager
Gabler Verlag, Wiesbaden, 2. Auflage, 2005
- [GOT06a] GOTTSCHALK, S. Friedrich
Dedicated Flexibility - Komplexitätsorientierte Gestaltung manueller
Serienmontage, 2006
- [GOT06b] GOTTSCHALK, S. Friedrich
Dedicated Flexibility
Komplexitätsoptimale Gestaltung manueller Serienmontage
Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2006
Shaker Verlag, Aachen, 2006
- [GRA07] GRANIG, P.
Innovationsbewertung
Potentialprognose und -steuerung durch Ertrags- und
Risikosimulation
Zugl.: Klagenfurt, Univ., Diss., 2005
Dt. Univ.-Verlag, Wiesbaden, 1. Auflage, 2007
- [GUI18] GUISSOUMA, H., KLARE, H., SAX, E., BURGER, E.
An Empirical Study on the Current and Future Challenges of
Automotive Software Release and Configuration Management, 2018,
S. 298–305
- [GUS10] GUSIG, L.-O.
Fahrzeugentwicklung im Automobilbau

- Aktuelle Werkzeuge für den Praxiseinsatz
Hanser Verlag, München, 2010
- [HAB12] HAB, G.
Projektmanagement in der Automobilindustrie
Effizientes Management von Fahrzeugprojekten entlang der
Wertschöpfungskette
Springer, Dordrecht, 4. Auflage, 2012
- [HAB15] HABERFELLNER, R. (Hrsg.)
Systems Engineering
Grundlagen und Anwendung
Orell Füssli, Zürich, 13. Auflage, 2015
- [HAB17] HAB, G.
Projektmanagement in der Automobilindustrie
Effizientes Management von Fahrzeugprojekten entlang der
Wertschöpfungskette
Springer Gabler, Wiesbaden, 5. Auflage, 2017
- [HAB20] HABROCK, M.
Die Automobilindustrie im Umbruch. Auswirkungen der digitalen
Transformation auf Automobilunternehmen
GRIN Verlag, München, 1. Auflage, 2020
- [HAD00] HADELER, T.
Gabler Wirtschaftslexikon
Die Ganze Welt der Wirtschaft: Betriebswirtschaft, Volkswirtschaft,
Recht und Steuern
Springer Gabler. in Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH,
Wiesbaden, 15. Auflage, 2000
- [HAH06] HAHN, D.
Strategische Unternehmungsplanung — Strategische
Unternehmensführung
Stand und Entwicklungstendenzen
Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2006
- [HAH17] HAHN, J.
Eigenschaftsbasierte Fahrzeugkonzeption
Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2017
- [HAH96] HAHN, D.
PuK - Controllingkonzepte
Planung und Kontrolle - Planungs- und Kontrollsysteme - Planungs-
und Kontrollrechnung

- Springer Gabler. in Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH,
Wiesbaden, 5. Auflage, 1996
- [HAJ06] HAJKOWICZ
Taking a closer look at multiple criteria analysis and economic
evaluation
Australian Agricultural and Resource Economics Society
Sydney, Australia, 2006
- [HAL02] HALL, K.
Ganzheitliche Technologiebewertung
Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 2002
- [HAM02] HAMACHER, N., KRAISS, K.-F.
Einsatz formaler Methoden zur Evaluierung der Gebrauchsfähigkeit
interaktiver Geräte
In: it + ti Informationstechnik und Technische Informatik, Volume 44,
Heft 1, pp. 49-55, Oldenbourg, 2002
- [HAM06] HAMACHER, N. Alexander
Automatische kriterienorientierte Bewertung der
Gebrauchstauglichkeit interaktiver Systeme
Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2006
Verl. Dr Hut, München, 1. Auflage, 2006
- [HAN14] HANIFFAH, N. Akmal, ZAKARIA, M. Fazrul, SHENG, T. Kean
Design and Analysis of Automotive Instrument Panel
Advanced Materials Research, 2014, S. 263–268
- [HAR06a] HARBLUCK, J. L., P.C. BURNS, E. GO, AND A.H. MORTON
The Occlusion Procedure for Assessing in-Vehicle Telematics: Tests
of Current Vehicle Systems, 2006
- [HAR06b] HART, S. G.
Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later
Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual
Meeting 9, 2006, S. 904–908
- [HAR09] HART, O.
Firms, contracts, and financial structure
Clarendon Press, Oxford, 2009
- [HAR11] HARVEY, C., STANTON, N. A., PICKERING, C. A., MCDONALD,
M., ZHENG, P.
A usability evaluation toolkit for In-Vehicle Information Systems

- (IVISs)
Applied ergonomics 4, 2011, S. 563–574
- [HAR88] HART, S. G., STAVELAND, L. E.
Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical
and Theoretical Research
In: Human Mental Workload
Elsevier, 1988, S. 139–183
- [HAR93] HARPER, P., NORMAN, K.
Improving user satisfaction: The questionnaire for user interaction
satisfaction version 5.5, 1993
- [HAS09] HASTIE, R., DAWES, R. M.
Rational choice in an uncertain world
The psychology of judgment and decision making
SAGE Publications, Inc, Thousand Oaks, 2. Auflage, 2009
- [HAU16] HAUSCHILDT, J.
Innovationsmanagement
Franz Vahlen, München, 6. Auflage, 2016
- [HEI12] HEINRICH, C.
Automotive HMI International Standards, 2012
- [HER07] HERSTATT, C.; VERWORN, B. (Hrsg.)
Management der frühen Innovationsphasen
Grundlagen - Methoden - Neue Ansätze
Gabler, Wiesbaden, 2. Auflage, 2007
- [HIL88] HILL, C. W. L.
Differentiation versus Low Cost or Differentiation and Low Cost: A
Contingency Framework
The Academy of Management Review 3, 1988, S. 401
- [HÖC00] HÖCHERL, I.
Das S-Kurven-Konzept im Technologiemanagement
Eine kritische Analyse
Zugl.: Kiel, Univ., Diss., 1999
Lang, Frankfurt am Main, 2000
- [HOF11] HOFSTEDE, G.
Dimensionalizing Cultures: The Hofstede Model in Context
Online Readings in Psychology and Culture 1, 2011
- [HOF21] HOFER, A., PEMSEL, B., PUTZ, M.
Potenzialbasierte Bewertung innovativer Technologien in der

- Produktion
Ein Konzept zur Bewertung von Produktionstechnologien und deren
Einfluss auf die Produktion, das Produkt und das
Gesamtunternehmen, 2021, S. I–XL
- [HOF80] HOFFMANN, F.
Führungsorganisation
Mohr, Tübingen, 1980
- [HOF88] HOFMANN, M.; BAETGE, J. (Hrsg.)
Funktionale Managementlehre
Springer, Berlin, Heidelberg, 1988
- [HTA21] HTAY, L.
Finding HMI Performance for the Long Run
<https://www.automation.com/en-us/articles/2019/finding-hmi-performance-for-the-long-run>, abgerufen am: 27.12.2021
IDEC Corporation
- [HWA16] HWANGBO, H., LEE, S. Chan, JI, Y. Gu
Complexity Overloaded in Smart Car
In: Pfleging, Bastian et al. (Hrsg.): Adjunct Proceedings of the 8th
International Conference on Automotive User Interfaces and
Interactive Vehicular Applications
ACM, New York, NY, USA: 2016, S. 81–86
- [HWA81] HWANG, C.-L., YOON, K.
Methods for Multiple Attribute Decision Making
In: Hwang, Ching-Lai; Yoon, Kwangsun (Hrsg.): Multiple attribute
decision making. Methods and applications; a state-of-the-art-survey
Springer, Berlin, Heidelberg: 1981, S. 58–191
- [ISH13] ISHIZAKA, A., NEMERY, P.
Multi-criteria decision analysis
Methods and software
Wiley, Chichester, West Sussex, United Kingdom, 2013
- [ISO06] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION
ISO 14040:2006-07
Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und
Rahmenbedingungen, 2006
- [ISO18] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION
ISO 26262
Road vehicles – Functional safety, 2018

- [ISO19a] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION
ISO 9241
Ergonomics of human-system interaction
Part 210: Human-centred design for interactive systems
- [ISO19b] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION
ISO 14198:2019
Road vehicles - Ergonomic aspects of transport information and control systems
Calibration tasks for methods which assess driver demand due to the use of in-vehicle systems
- [JAN12] JANDER, H., BORGVALL, J., RAMBERG, R.
Towards a Methodological Framework for HMI Readiness Evaluation
Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting 1, 2012, S. 2349–2353
- [JIA00] JIAN, J.-Y., BISANTZ, A., DRURY, C.
Foundations for an Empirically Determined Scale of Trust in Automated Systems
International Journal of Cognitive Ergonomics, 2000, S. 53–71
- [JOC22] JOCHUM, S., SAUPP, L., OSTAD, Y., ECKSTEIN, L.
Parametrizing an attention-guiding seating concept for conditionally automated driving
ATZ worldwide, Volume 124, pages 40–45, 2022
- [KAY20] KAYSER, M.; WOHLFART, L.; WAGNER, F. (Hrsg.)
Dynamische Technologiebewertung
In: Knothe, T., Gering, P., Rimmelspacher, S., Maier, M. (eds) Die Digitalisierungshürde lässt sich Meister(n).
Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2020
- [KHA14] KHAN, T., WILLIAMS, M.
A Study of Cultural Influence in Automotive HMI: Measuring Correlation between Culture and HMI Usability
SAE International Journal of Passenger Cars - Electronic and Electrical Systems 2, 2014, S. 430–439
- [KHU98] KHURANA, A., ROSENTHAL, S. R.
Towards Holistic “Front Ends” In New Product Development
Journal of Product Innovation Management 1, 1998, S. 57–74
- [KIE20] KIESER, A., KUBICEK, H.
Organisation
De Gruyter, Berlin, Boston, 2. Auflage, 2020

- [KIT07] KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S.
Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering
Technical report, EBSE Technical Report EBSE-2007-01, 2007
- [KLE09] KLEVERS, T.
Wertstrom-Mapping und Wertstrom-Design
Verschwendung erkennen - Wertschöpfung steigern
mi-Wirtschaftsbuch, München, 1. Auflage, 2009
- [KNO06] KNOLL, C. M.
Einfluss des visuellen Urteils auf den physisch erlebten Komfort am Beispiel von Sitzen: ein Beitrag zu dem Verhältnis von Ergonomie und Industriedesign
Stuttgart & München, 2006
- [KÖR18] KÖRBER, M.
Theoretical considerations and development of a questionnaire to measure trust in automation
In: Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018), 2018
- [KRE12] KREIMEYER, M., KARRER-MÜLLER, E., METZGER, U.
Ganzheitliche Bewertung unterschiedlicher Lösungskonzepte - Konzeptbewertung in den frühen Phasen der Entwicklung
Commercial Vehicle Symposium, 2012
- [KRI71] KRIEG, W.
Kybernetische Grundlagen der Unternehmungsgestaltung
Haupt, 1971
- [KRÖ07] KRÖLL, M.
Methode zur Technologiebewertung für eine ergebnisorientierte Produktentwicklung
Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2007
Jost-Jetter-Verl., Heimsheim, 2007
- [KUB76] KUBICEK, H.
Heuristische Bezugsrahmen und heuristisch angelegte Forschungsdesign als Elemente einer Konstruktionsstrategie empirischer Forschung
Inst. für Unternehmungsführung im Fachbereich Wirtschaftswiss. d. Freien Univ, Berlin, 1976
- [KUH13] KUHLMANN, K. Kristian
Methodik zur Gestaltung von Geschäftsprozessen im industriellen

Werkzeugbau

Apprimus Wissenschaftsverlag, Aachen, 1. Auflage, 2013

- [KUR20] KURPIERS, C., BIEBL, B., MEJIA HERNANDEZ, J., RAISCH, F.
Mode Awareness and Automated Driving—What Is It and How Can It
Be Measured?
Information 5, 2020, S. 277
- [LAU08] LAUGWITZ, B., HELD, T., SCHREPP, M.
Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire
In: Holzinger, Andreas (Hrsg.): HCI and usability for education and
work. 4th Symposium of the Workgroup Human-Computer Interaction
and Usability Engineering of the Austrian Computer Society
Springer, Berlin, Heidelberg, 2008, S. 63–76
- [LAU12] LAUX, H., GILLENKIRCH, R. M., SCHENK-MATHES, H. Y.
Entscheidungstheorie
Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 8. Auflage, 2012
- [LEW92] LEWIS, J. R.
Psychometric Evaluation of the Post-Study System Usability
Questionnaire: The PSSUQ
Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting 16, 1992,
S. 1259–1260
- [LIE17] LIENIG, J.; BRÜMMER, H. (Hrsg.)
Fundamentals of electronic systems design
Electrical Engineering
Springer, Cham, 2017
- [LIN03] LINNE, G., SCHWARZ, M.
Handbuch nachhaltige Entwicklung
Wie ist nachhaltiges Wirtschaften machbar?
Leske + Budrich, Opladen, 2003
- [LIN16] LINDEMANN, U. (Hrsg.)
Handbuch Produktentwicklung
Hanser, München, 2016
- [LIS16] LISBOA, I. C., VIEIRA, J., MOUTA, S., MACHADO, S., RIBEIRO, N.,
SILVA, E., RIBEIRO, R. A., PEREIRA, A. F.
An MCDM Approach to the Selection of Novel Technologies for
Innovative In-Vehicle Information Systems
International Journal of Decision Support System Technology 1,
2016, S. 43–55

- [LOO99] LOOTSMA, F. A.
Multi-criteria decision analysis via ratio and difference judgement
Kluwer Acad. Publ, Dordrecht, 1999
- [MAC20] MACHER, G., SCHMITTNER, C., DOBAJ, J., ARMENGAUD, E.,
MESSNARZ, R.
An Integrated View on Automotive SPICE, Functional Safety and
Cyber-Security
In: SAE Technical Paper Series
Warrendale, PA, United States, 2020
- [MAR95] MARTINI, C. Josef
Marktorientierte Bewertung neuer Produktionstechnologien
Rosch-Buch, Hallstadt, 1995
- [MCK16] MCKINSEY&COMPANY
Automotive revolution - perspective towards 2030
How the convergence of disruptive technology-driven trends could
transform the auto industry
<https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/automotive%20and%20assembly/our%20insights/disruptive%20trends%20that%20will%20transform%20the%20auto%20industry/auto%202030%20report%20jan%202016.pdf>, abgerufen am: 15.02.2024, 2016
- [MCK21] MCKINSEY&COMPANY
The future of interior in automotive
Understanding and preparing for cabin experience as a new
opportunity for differentiation
<https://www.mckinsey.de/publikationen/2021-09-07-future-of-interior>,
abgerufen am: 15.02.2024, 2021
- [MCK70] MCKINSEY&COMPANY
Enduring Ideas: The GE-McKinsey nine-box matrix
<https://www.mckinsey.com/capabilities/strategy-and-corporate-finance/our-insights/enduring-ideas-the-ge-and-mckinsey-nine-box-matrix>, abgerufen am: 13.04.2024
McKinsey&Company; General Electric, 1970
- [MEI17] MEIXNER, G., MÜLLER, C.
Automotive user interfaces
Creating Interactive experiences in the car
Springer International Publishing, Cham, 2017
- [MER08] MEROTH, A., TOLG, B.
Infotainmentsysteme im Kraftfahrzeug

Grundlagen, Komponenten, Systeme und Anwendungen
Vieweg, Wiesbaden, 2008

- [MER22] MERCEDES BENZ AG
Geschäftsbericht 2022
<https://group.mercedes-benz.com/dokumente/investoren/berichte/geschaeftsberichte/mercedes-benz/mercedes-benz-geschaeftsbericht-2022-inkl-zusammengefasster-lagebericht-mbg-ag.pdf>, abgerufen am: 04.07.2024, 2022
- [MIL86] MILLER, D., FRIESEN, P. H.
Porter's (1980) Generic Strategies and Performance: An Empirical Examination with American Data
Organization Studies 1, 1986, S. 37–55
- [MOR81] MORAN, T. P.
The Command Language Grammar: a representation for the user interface of interactive computer systems
International Journal of Man-Machine Studies 1, 1981, S. 3–50
- [MÜH19] MÜHLBAUER, C.
Entwicklung eines Vorgehensmodells für die Evaluation der Fahrzeug-HMI in frühen Phasen der Entwicklung
Dissertation
Technische Universität Ilmenau; Universitätsverlag Ilmenau, 2019
- [MÜL16] MÜLLER-STEWENS, G., LECHNER, C.
Strategisches Management
Wie strategische Initiativen zum Wandel führen
Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 5. Auflage, 2016
- [MÜL93] MÜLLER, S.
Entwicklung einer Methode zur prozeßorientierten Reorganisation der technischen Auftragsabwicklung komplexer Produkte
Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 1992
Shaker Verlag, Aachen, 1993
- [MUS06] MUSSNIG, W., BLEYER, M., GIERMAIER, G.
Controlling für Führungskräfte
Analysieren, bewerten, entscheiden
Linde International, Wien, 1. Auflage, 2006
- [NAT05] NATU, M., BHISE, V.
Designing Driver Interface for the UM-D's Low Mass Vehicle for China, India and the United States, 2005

- [NAT19] NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION AND U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION
Visual-Manual Driver Distraction Guidelines—Test Procedures - Task Acceptance Testing: Occlusion and Eye Glance Measurement Using Driver Simulator Testing, 2019
- [NAU19] NAUJOKS, F., WIEDEMANN, K., SCHÖMIG, N., HERGETH, S., KEINATH, A.
Towards guidelines and verification methods for automated vehicle HMIs
Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2019, S. 121–136
- [NEU07] NEUMANN, J. von, MORGENSTERN, O.
Theory of games and economic behavior
Princeton University Press, Princeton, 60. Auflage, 2007
- [NIE07] NIEMANN, J.
Eine Methodik zum dynamischen Life Cycle Controlling von Produktionssystemen
Zugl. Stuttgart, Univ., Diss., 2007
Jost-Jetter-Verl., Heimsheim, 2007
- [NIE93] NIELSEN, J.
Usability engineering
AP Professional, Cambridge, Mass., 1993
- [OPE22] OPENAI
Chat-GPT
<https://openai.com/>, abgerufen am: 05.07.2024
OpenAI, 2022
- [OSS12] OSSWALD, S., WURHOFFER, D., TRÖSTERER, S., BECK, E., TSCHELIGI, M.
Predicting information technology usage in the car
In: Kun, Andrew L. (Hrsg.): Proceedings of the 4th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications
New York, NY: 2012, S. 51–58
- [PAG21] PAGE, M. J., MCKENZIE, J. E., BOSSUYT, P. M., BOUTRON, I., HOFFMANN, T. C., MULROW, C. D., SHAMSEER, L., TETZLAFF, J. M., AKL, E. A., BRENNAN, S. E., CHOU, R., GLANVILLE, J., GRIMSHAW, J. M., HRÓBJARTSSON, A., LALU, M. M., LI, T., LODER, E. W., MAYO-WILSON, E., MCDONALD, S.,

MCGUINNESS, L. A., STEWART, L. A., THOMAS, J., TRICCO, A. C., WELCH, V. A., WHITING, P., MOHER, D.

The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews

BMJ, 2021

[PAL04]

PALLI, M. C.

Wertorientierte Unternehmensführung

Konzeption und Empirische Untersuchung Zur Ausrichtung der Unternehmung Auf Den Kapitalmarkt

Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 2004

[PAR17]

PARNELL, K. J., STANTON, N. A., PLANT, K. L.

What's the law got to do with it? Legislation regarding in-vehicle technology use and its impact on driver distraction

Accident; analysis and prevention, 2017, S. 1–14

[PAT82]

PATZAK, G.

Systemtechnik - Planung komplexer innovativer Systeme

Grundlagen, Methoden, Techniken

Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 1982

[PEN11]

PENROSE, E. Tilton

The theory of the growth of the firm

Oxford Univ. Pr, Oxford, 4. Auflage, 2011

[PÉR15]

PÉREZ-GLADISH, B.; GARCIA-BERNABEU, A.; BALLESTERO, E.

(Hrsg.)

Socially Responsible Investment

A Multi-Criteria Decision Making Approach

Springer eBook Collection Business and Economics, 219

Springer, Cham, 2015

[PET10]

PETERSON, M. (Hrsg.)

An introduction to decision theory

Cambridge introductions to philosophy

Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2010

[PFE19]

PFEFFER, J.

Grundlagen der agilen Produktentwicklung

Basiswissen zu Scrum, Kanban, Lean Development, 2019

[PFE91]

PFEIFFER, W., METZE, G., SCHNEIDER, W., AMLER, R.

Technologie-Portfolio zum Management strategischer

Zukunftsgeschäftsfelder

Vandenhoeck und Ruprecht, Göttingen, 6. Auflage, 1991

- [PFE95] PFEIFFER, W., WEIß, E.
Methoden zur Analyse und Bewertung technologischer Alternativen,
In: E. Zahn (ed.): Handbuch Technologiemanagement, Stuttgart
1995, p. 663–679.
- [POR04] PORTER, M. E.
Competitive Strategy
Techniques for analyzing industries and competitors
Free Press, New York, 1. Auflage, 2004
- [POR85] PORTER, M. E., MILLAR, V. A.
How Information Gives You Competitive Advantage
In: Millar, Victor A. (Hrsg.), 1985
- [POR89] PORTER, M. E.
How Competitive Forces Shape Strategy
In: Asch, David; Bowman, Cliff (Hrsg.): Readings in strategic
management
Macmillan, Houndmills: 1989, S. 133–143
- [POR99] PORTER, M. E.
Wettbewerbsstrategie
Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten =
(Competitive strategy)
Campus-Verl., Frankfurt am Main, 10. Auflage, 1999
- [PRA06] PRAHALAD, C. K., HAMEL, G.
The Core Competence of the Corporation
In: Taylor, Bernard (Hrsg.): Strategische Unternehmensplanung —
Strategische Unternehmensführung. Stand und
Entwicklungstendenzen
Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg: 2006, S. 275–292
- [PRO13] PROFF, H.
Herausforderungen für das Automotive Engineering & Management
Technische und betriebswirtschaftliche Ansätze
Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2013
- [PU18] PU, Y., MA, F., ZHANG, J., YANG, M.
Optimal Lightweight Material Selection for Automobile Applications
Considering Multi-Perspective Indices
IEEE Access, 2018, S. 8591–8598
- [PÜM22] PÜMPIN, C., AMANN, W.
SEP - Strategische Erfolgspositionen

Kernkompetenzen aufbauen und umsetzen
Haupt, Bern, 1. Auflage, 2022

- [PWC11] PWC
Automobilindustrie und Mobilität in China: Plan, Wunsch und Realität
<https://store.pwc.de/de/publications/automobilindustrie-und-mobilitaet-in-china-plan-wunsch-und-realitaet>, abgerufen am: 15.02.2024
pwc, 2011
- [PWC17] PWC
eascy - Die fünf Dimensionen der Transformation der Automobilindustrie
https://www.pwc.de/de/automobilindustrie/pwc_automotive_eascy-studie.pdf, abgerufen am: 15.02.2024
pwc, 2017
- [RAS98] RASENACK, W.
Parametervariationen als Hilfsmittel bei der Entwicklung des Fahrzeug-Package
Zugl.: Berlin, Techn. Univ., Diss., 1998
Univ.-Bibl. Techn. Univ. Abt. Publikationen, Berlin, 1998
- [REI10] REICHHUBER, A.
Strategie und Struktur in der Automobilindustrie
Strategische und organisatorische Programme zur Handhabung automobilwirtschaftlicher Herausforderungen, 2010
- [REZ16] REZAEI, J.
Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model
Omega, 2016, S. 126–130
- [RIB03] RIBBENS, J.; GANE, J.; KASKAVALTZIS, C.; SOLLARS, C.
Emissions: advanced catalyst and substrates, measurement and testing, and diesel gaseous emissions
Warrendale, Pa., 2003
- [RIC72] RICHARDSON, G. B.
The Organisation of Industry
The Economic Journal 327, 1972, S. 883
- [ROL20] ROLAND BERGER
Computer on Wheels: Disruption in automotive electronics and semiconductors
<https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/The-car-will->

- become-a-computer-on-wheels.html, abgerufen am: 15.02.2024, 2020
- [ROP09] ROPOHL, G.
Allgemeine Technologie
Eine Systemtheorie der Technik
Teilw. zugl.: Karlsruhe, Univ., Habil.-Schr., 1978
Univ.-Verl. Karlsruhe, Karlsruhe, 3. Auflage, 2009
- [ROP12] ROPOHL, G.
Allgemeine Systemtheorie
Einführung in transdisziplinäres Denken
Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, Baden-Baden, 1. Auflage, 2012
- [ROY68] ROY, B.
Classement et choix en présence de points de vue multiples
Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle 8, 1968, S. 57–75
- [RÜE03] RÜEGG-STÜRM, J.
Das neue St. Galler Management-Modell
Grundkategorien einer integrierten Managementlehre; der HSG-Ansatz
Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, 2. Auflage, 2003
- [RUM14] RUMMEL, S.
Eine bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten in der Technologieentwicklung
Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2014
Fraunhofer Verlag, Stuttgart, 2014
- [RYU13] RYU, J.-B., SIHN, Y.-K., YU, S.-B.
Assessment of risky driving caused by the amount of time focused on an in-vehicle display system
International Journal of Automotive Technology 2, 2013, S. 259–264
- [SAA06] SAATY, T., VARGAS, L., SAATY, T. L., VARGAS, L. G.
Decision Making with the analytic Network Process
Springer, New York, NY, 1. Auflage, 2006
- [SAA87] SAATY, R. W.
The analytic hierarchy process—what it is and how it is used
Mathematical Modelling 3-5, 1987, S. 161–176

- [SAE21] SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS J3016 202104
Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation
Systems for On-Road Motor Vehicles
- [SAN12] SAN CRISTÓBAL MATEO, J. Ramón
Multi Criteria Analysis in the Renewable Energy Industry
Springer London, London, 2012
- [SCH02] SCHREYÖGG, G.
Organisation
Grundlagen moderner Organisationsgestaltung; mit Fallstudien
Gabler, Wiesbaden, 3. Auflage, 2002
- [SCH03] SCHMIDT-GALLASS, DIRK
Strategische Produktgestaltung
Ansatz zur marktorientierten Gestaltung profitabler Produkte
Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2003
- [SCH04] SCHREYÖGG, G.; CHMIELEWICZ, K. (Hrsg.)
Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre
Poeschel, Stuttgart, 4. Auflage, 2004
- [SCH08a] SCHUH, G., STÖLZLE, W., STRAUBE, F.
Anlaufmanagement in der Automobilindustrie erfolgreich umsetzen
Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2008
- [SCH08b] SCHMALENSEE, R.; WILLIG, R. D. (Hrsg.)
Handbook of industrial organization
Handbooks in economics, 1
Elsevier, Amsterdam, 10. Auflage, 2008
- [SCH11a] SCHUH, G., KAMPKER, A.
Strategie und Management produzierender Unternehmen
Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2011
- [SCH11b] SCHUH, G., KLAPPERT, S.
Technologiemanagement
Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2011
- [SCH12] SCHUH, G.
Innovationsmanagement
Springer Vieweg, Berlin, 2. Auflage, 2012
- [SCH15] SCHMIDT, S.
Recommended OICA Worldwide Distraction Guideline Policy
Position
Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles, 2015

- [SCH16] SCHWANINGER, M.
Das größere Ganze
In: Baecker, Dirk (Hrsg.): Schlüsselwerke der Systemtheorie
Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden: 2016, S. 351–360
- [SCH17a] SCHRÖDER, A.
Agile Produktentwicklung
Schneller zur Innovation - erfolgreicher am Markt
Menschen größer machen
Hanser, München, 2017
- [SCH17b] SCHMID, M., MAIER, T.
Technisches Interface Design
Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2017
- [SCH20] SCHOMAKER, R. M., SITTER, A.
Der Betriebswirt: Volume 61, Issue 1
Der Betriebswirt 1, 2020, S. 3–21
- [SCH21] SCHÖMIG, N.; WIEDEMANN, K.; JULIER, R.; NEUKUM, A.;
WIGGERICH, A.; HOFFMANN, H. (Hrsg.)
Methoden für die Bewertung der Mensch-Maschine-Interaktion beim
teilautomatisierten Fahren
= User studies for the evaluation of human-machine-interaction with
partial automated driving functions
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Fahrzeugtechnik, F,
Heft 141
Fachverlag NW in Carl Ed. Schünemann KG, Bremen, 2021
- [SCH22] SCHOLZ, P.
Methodik zur potenzial- und risikobasierten Technologiebewertung
Apprimus Wissenschaftsverlag, Aachen, 1. Auflage, 2022
- [SCH47] SCHUMPETER, J. A.
The Creative Response in Economic History
The Journal of Economic History 2, 1947, S. 149–159
- [SCH78] SCHWEITZER, M. (Hrsg.)
Auffassungen und Wissenschaftsziele der Betriebswirtschaftslehre
Wege der Forschung, 502
Wissenschaftl. Buchges, Darmstadt, 1978
- [SCH85a] SCHWER, D.
Zum Innovationsmanagement betriebsgrößenbezogene
Innovationsstrategien
Krefeld, Marchal-und-Matzenbacher-Wissenschaftsverl., 1985

- [SCH85b] SCHMIDT, B.
Systemanalyse und Modellaufbau
Grundlagen der Simulationstechnik
Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 1985
- [SEI01] SEIFFERT, H.
Einführung in die Wissenschaftstheorie Bd. 3
Handlungstheorie, Modallogik, Ethik, Systemtheorie
Beck, München, 3. Auflage, 2001
- [SLA90] SLADE, M. E.
Strategic pricing models and interpretation of price-war data
European Economic Review 2-3, 1990, S. 524–537
- [SPE02a] SPECHT, G., BECKMANN, C., AMELINGMEYER, J.
F&E-Management
Kompetenz im Innovationsmanagement
Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 2. Auflage, 2002
- [SPE02b] SPECHT, D.
Gabler Lexikon Technologie Management
Management Von Innovationen und Neuen Technologien Im
Unternehmen
Springer Gabler, Wiesbaden, 2002
- [SPR92] SPREMANN, K.; AEGERHARD, K. (Hrsg.)
Controlling
Grundlagen - Informationssysteme – Anwendungen
Lehrbuch
Gabler, Wiesbaden, 1992
- [STA08] STAMATIS, D. H.
Failure mode and effect analysis
FMEA from theory to execution
ASQ Quality Press, Milwaukee, Wis., 2. Auflage, 2008
- [STA73] STACHOWIAK, H.
Allgemeine Modelltheorie
Springer, Wien, New York, 1973
- [STA98] STABELL, C. B., FJELDSTAD, Ø. D.
Configuring value for competitive advantage: on chains, shops, and
networks
Strategic Management Journal 5, 1998, S. 413–437

- [STE09] STEFAN MATTES, ANDERS HALLÉN
Surrogate Distraction Measurement Techniques: The Lane Change Test
In: Driver Distraction, 2009, S.107-122
- [STE10] STEVENS, A., BURNETT, G., HORBERRY, T.
A reference level for assessing the acceptable visual demand of in-vehicle information systems
Behaviour & Information Technology 5, 2010, S. 527–540
- [STR12] STREICHERT, T., TRAUB, M.
Elektrik/Elektronik-Architekturen im Kraftfahrzeug
Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2012
- [STR13] STRAßENVERKEHRS-ORDNUNG
§21a: Sicherheitsgurte, Rollstuhl-Rückhaltesysteme, Rollstuhlnutzer-Rückhaltesysteme, Schutzhelme, 2013
- [SUT07] SUTTON, J.
Sunk costs and market structure
Price competition, advertising, and the evolution of concentration
The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England,
1. Auflage, 2007
- [SYD05] SYDOW, J.
Strategische Netzwerke
Evolution und Organisation
Zugl.: Berlin, Freie Univ., Habil.-Schr., 1992
Gabler, Wiesbaden, 6. Auflage, 2005
- [TAT09] TATARCZYK, B.
Organisatorische Gestaltung der frühen Phase des Innovationsprozesses
Konzeptionen, Methoden und Anwendung am Beispiel der Automobilindustrie
Gabler Verlag, GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, Wiesbaden, 2009
- [THE21] THEOBALD, E.
PESTEL-Analyse
Die wichtigsten Einflussfaktoren der Makroumwelt
In: Kaufmann, Traute (Hrsg.): Strategiewerkzeuge aus der Praxis
Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2021, S. 19–28
- [THI21] THIRUNAVUKKARASU, D.
Ökonomische und ökologische Bewertungsmethodik für

Leichtbautechnologien in der Karosserie
Dissertation
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 2021

- [TIM00] TIMPE, K.-P.; BAGGEN, R. (Hrsg.)
Mensch-Maschine-Systemtechnik
Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation
Symposion Publ, Düsseldorf, 1. Auflage, 2000
- [TIM02] TIMPE, K.-P.; BAGGEN, R. (Hrsg.)
Mensch-Maschine-Systemtechnik
Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation
Düsseldorf, 2. Auflage, 2002
- [TIR11] TIROLE, J.
The theory of industrial organization
MIT Press, Cambridge, Mass., 20. Auflage, 2011
- [TRI10] TRIANTAPHYLLOU, E.
Multi-criteria decision making methods
A comparative study
Kluwer, Dordrecht, 2010
- [ULR01] ULRICH, H.
Systemorientiertes Management
Das Werk von Hans Ulrich; Auszug aus dem Werk von Hans Ulrich
Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, 2001
- [ULR68] ULRICH, H.
Die Unternehmung als produktives soziales System
Grundlagen der allgemeinen Unternehmungslehre
Haupt, Bern, Stuttgart, 1968
- [ULR78] ULRICH, H.
Unternehmungspolitik
Haupt, Bern, Stuttgart, 1978
- [ULR79] ULRICH, P., HILL, W.
Wissenschaftstheoretische Aspekte ausgewählter
betriebswirtschaftlicher Konzeptionen
Vahlen, München, 1979
- [ULR84] ULRICH, H.; DYLLICK, T.; PROBST, G. J. B. (Hrsg.)
Management
Schriftenreihe Unternehmung und Unternehmungsführung, 13
Haupt, Bern, Stuttgart, 1984

- [UNI22] UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE
Vehicle Regulations
<https://unece.org/transport/vehicle-regulations>, abgerufen am:
04.07.2024
UNECE, 2022
- [UNR21] UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE
UN Regulation No. 157 - Automated Lane Keeping Systems
ALKS, 2021
- [UNR22] UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE
UN Regulation No. 17 - Uniform provisions concerning the approval
of vehicles with regard to the seats, their anchorages and any head
restraints, 2022
- [VAH23] VAHS, D., BREM, A., OSWALD, C.
Innovationsmanagement
Von der Idee zur erfolgreichen Vermarktung
Schäffer-Poeschel, Freiburg, 6. Auflage, 2023
- [VAS17] VASWANI, A.; SHAZEER, N.; PARMAR, N.; USZKOREIT, J.;
JONES, L.; GOMEZ, A. N.; KAISER, L.; POLOSUKHIN, I.
Attention Is All You Need, 2017
- [VDI00] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE VDI 3780
Technikbewertung
Begriffe und Grundlagen, 2000
- [VDI11] VDI-GESELLSCHAFT PRODUKT- UND PROZESSGESTALTUNG
Wertanalyse – das Tool im Value Management
Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2011
- [VEN03] VENKATESH, MORRIS, DAVIS
User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View
MIS Quarterly 3, 2003, S. 425
- [VEN06] VENTER, C.
Besonderheiten bei der Bewertung von Komponenteninnovationen in
der Automobilindustrie
Berücksichtigung spezifischer Aspekte im Bereich Technik, Markt
und Wirtschaftlichkeit
Zugl.: Erlangen, Nürnberg, Univ., Diss., 2006
Shaker Verlag, Aachen, 2006
- [VER05] VERWORN, B.
Die frühen Phasen der Produktentwicklung

Eine empirische Analyse in der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik
Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, Gabler Edition Wissenschaft, 2005

- [VOG09] VOGELER, S.
Entwicklung eines Vorgehensmodells zur Implementierung der RFID-Technologie in logistischen Systemen am Beispiel der Bekleidungswirtschaft
Zugl.: Berlin, Techn. Univ., Diss., 2009
Univ.-Verl. der Techn. Univ, Berlin, 1. Auflage, 2009
- [VOM09] VOM BROCKE, J., SIMONS, A., NIEHAVES, B., RIEMER, K., PLATTFAUT, R., CLEVEN, A.
Reconstructing the Giant: On the Importance of Rigour in Documenting the Literature Search Process
In: European Conference on Information Systems (ECIS), 2009
- [WAL07] WALLER, S., GOODMAN-DEANE, J., BRADLEY, M., HOSKING, I., CLARKSON, J.
Inclusive Design Toolkit
Exclusion Calculator
<https://calc.inclusivedesigntoolkit.com/>, abgerufen am: 03.07.2024
University of Cambridge, 2007
- [WAL09] WALLENTOWITZ, H., FREIALDENHOVEN, A., OLSCHESKI, I.
Strategien in der Automobilindustrie
Technologietrends und Marktentwicklungen
Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 1. Auflage, 2009
- [WAL11] WALLENTOWITZ, H.; REIF, K. (Hrsg.)
Handbuch Kraftfahrzeugelektronik
Grundlagen - Komponenten - Systeme – Anwendungen
Kraftfahrzeugtechnik
Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 2. Auflage, 2011
- [WAL96] WALTERSCHEID, H.
Effektivität computergestützter Management-Entscheidungsprozesse
Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, Gabler Edition Wissenschaft, 1996
- [WEB09] WEBER, J.
Automotive Development Processes
Processes for Successful Customer Oriented Vehicle Development
Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2009

- [WEB93] WEBBER, B., PHILLIPS, C., BADLER, N.
Simulating Humans-Computer Graphics Animation and Control, 1993
- [WEN97] WENQI SHEN, KEN C. PARSONS
Validity and reliability of rating scales for seated pressure discomfort
International Journal of Industrial Ergonomics, 1997, S. 441–461
- [WER84] WERNERFELT, B.
A resource-based view of the firm
Strategic Management Journal 2, 1984, S. 171–180
- [WHE95] WHEELWRIGHT, S. C., CLARK, K. B.
Leading product development
The senior manager's guide to creating and shaping the enterprise
Free Press, New York, 1995
- [WIL10] WILLIAMSON, O. E.
The economic institutions of capitalism
Firms, markets, relational contracting
Free Press, New York, NY, 2010
- [WIL11] WILLIAMS, M. A., ATTRIDGE, A., PITTS, M.
User-centred design and evaluation of automotive seat adjustment
controls, 2011
- [WIL13] WILDEMANN, H.
Advanced Purchasing
Leitfaden zur Einbindung der Beschaffungsmärkte in den
Produktentwicklungsprozess
TCW-Verl., München, 13. Auflage, 2013
- [WIL18] WILDEMANN, H.
Strategische Investitionsplanung
Leitfaden zur Nutzung von Chancen und Reduzierung von Risiken
für Industrie 4.0
TCW, München, 2. Auflage, 2018
- [WIL78] WILD, J.
Grundlagen der Unternehmensplanung
Rowohlt, Reinbek bei Hamburg, 1978
- [WIN15] WINNER, H., HAKULI, S., LOTZ, F., SINGER, C.
Handbuch Fahrerassistenzsysteme
Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2015
- [WIN17] WINKELHAKE, U.
Die Digitale Transformation der Automobilindustrie

Treiber - Roadmap - Praxis
Springer Berlin / Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2017

- [WÖL20] WÖLTJE, J.
Betriebswirtschaftliche Formelsammlung
Rechenwege, Formeln, Kennzahlen kompakt erklärt
Haufe Group, Freiburg, München, Stuttgart, 7. Auflage, 2020
- [WRE00] WREGGIT, S. S., POWELL, J., KIRN, C., HAYES, E.
Human Factors Evaluation of the Truck Productivity Computer's™
Electroluminescent Display
In: SAE Technical Paper Series
Warrendale, PA, United States, 2000
- [WUL15] WULF, F.
Analyse des Sicherheitsgewinns durch Teilautomation am Beispiel
eines Stauassistenten
KIT Scientific Publishing, 2015
- [YOU05] YOUNG, R. A., DIXON, J. R., MEYER, W. Weston
Alliance Principle 1.4: Visual Downangle Criteria for Navigation and
Telematics Displays in Vehicles
In: SAE Technical Paper Series
Warrendale, PA, United States, 2005
- [YÜK12] YÜKSEL, I.
Developing a Multi-Criteria Decision Making Model for PESTEL
Analysis
International Journal of Business and Management 24, 2012
- [ZAH95] ZAHN, E. (Hrsg.)
Handbuch Technologiemanagement
Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 1995
- [ZAI19] ZAIDI, F., BASTIEN, C., CHALANDON, X., MOISELET, L.,
THIANCHE, E.
The Research-Practice Gap: An Explanatory Factor for Automotive
HMI Customers' Complaints?
In: Bagnara, Sebastiano et al. (Hrsg.): Proceedings of the 20th
Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)
Springer International Publishing, Cham, 2019, S. 744–755
- [ZAN14] ZANGEMEISTER, C.
Nutzwertanalyse in der Systemtechnik
Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von

- Projektoalternativen
Zangemeister & Partner, Winnemark, 5. Auflage, 2014
- [ZAR15] ZARDARI, N. Hassan
Weighting Methods and their Effects on Multi-Criteria Decision
Making Model Outcomes in Water Resources Management
Springer, Cham, 2015
- [ZIM20] ZIMMERMANN, A. W., WUNDERLICH, J., MÜLLER, L., BUCHNER,
G. A., MARXEN, A., MICHAÏLOS, S., ARMSTRONG, K., NAIMS, H.,
MCCORD, S., STYRING, P., SICK, V., SCHOMÄCKER, R.
Techno-Economic Assessment Guidelines for CO2 Utilization
Frontiers in Energy Research, 2020
- [ZIM91] ZIMMERMANN, H.-J., GUTSCHE, L.
Multi-Criteria Analyse
Einführung in die Theorie der Entscheidungen bei
Mehrfachzielsetzungen, 1991
- [ZLO14] ZLOCKI, A., ECKSTEIN, L.
Automated Driving - Concept and Evaluation
23rd Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology, 2014,
595 - 611

10 Anhang

10.1 Multikriterielle Entscheidungsmethoden

Analytic Hierarchy Process (AHP) [SAA87]

Die 1970 von SAATY entwickelte AHP-Methode ist eine der ersten MKEM und zählt zu den Einzelkriterium-Ansätzen. Sie wird zur Bestimmung der bevorzugten Handlungsalternative sowie einer Rangfolge der Alternativen unter gleichzeitiger Berücksichtigung aller Zielgrößen verwendet. Im Allgemeinen kann die AHP-Methode in drei Schritte unterteilt werden. Im ersten Schritt wird ein hierarchisches Modell der Zielgrößen und Bewertungskriterien erstellt. Im zweiten Schritt werden die Gewichte zugewiesen. Dazu wird der Entscheidungsträger mittels paarweiser Vergleiche zwischen den Elementen einer Hierarchieebene angeleitet, die Zielgrößen und Bewertungskriterien hinsichtlich ihrer relativen Bedeutung für das Entscheidungsproblem zu ordnen. SAATY schlägt für diesen Schritt eine Likert-Skala von 1 bis 9 vor. Aus den paarweisen Vergleichen werden die Gewichtungen über die Eigenwertmethode in numerischen Werten quantifiziert. Im dritten Schritt werden die Gesamtprioritäten durch Produktbildung zwischen normalisierter Kriterienbewertung und normalisierter Gewichtung ermittelt und aggregiert. Durch das Ergebnis kann eine Rangfolge der Handlungsalternativen abgeleitet werden. Die Robustheit des Ergebnisses kann durch Konsistenzprüfungen untersucht werden. [SAA87]

Die AHP-Methode ist zum einen unabhängig vom jeweiligen Anwendungsfeld und ermöglicht die Berücksichtigung von Zielgrößen unterschiedlicher Dimensionen. Zum anderen ist das Gesamtergebnis unabhängig von der Bewertung der Alternativen. Sie stellt aufgrund ihrer Merkmale eine Lösung für die Arbeit mit schwer zu quantifizierenden Daten dar.

Analytic Network Process (ANP) [SAA06]

Die ANP-Methode von SAATY ist eine Weiterentwicklung der AHP-Methode, bei der das zugrundeliegende Entscheidungsmodell um eine Netzwerkstruktur erweitert wird. Im Vergleich zum AHP verzichtet der ANP darauf, die Zielgrößen hierarchisch zu strukturieren. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass in der Realität kausale und korrelative Zusammenhänge, Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Bewertungskriterien innerhalb verschiedener Hierarchieebenen bestehen können. Dazu werden alle Kriterien sowie die Vernetzung der Kriterien in einer Netzwerkstruktur dargestellt. Letztere wird über einen weiteren Prozessschritt durch einen separaten paarweisen Vergleich ermittelt, indem Einflüsse mit einem binären Zustand gekennzeichnet werden. Hat Kriterium A auf Kriterium B einen Einfluss, so ist

der Zustand 1, andernfalls 0. Dieser Zuordnung kann sowohl objektive Logik zugrunde liegen als auch die subjektive Betrachtung des Entscheidungsträgers. [SAA06]

Im Vergleich zum AHP gibt es keinen Unterschied in Bezug auf das jeweilige Anwendungsfeld, allerdings orientiert sich der ANP näher an den realen Gegebenheiten.

TOPSIS [HWA81]

Der von HWANG und YOON *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) ist ein Outranking-Ansatz, bei dem die bevorzugte Handlungsalternative eines Entscheidungsproblems den kürzesten geometrischen Abstand zur idealen Lösung sowie den größten geometrischen Abstand zur negativ-idealen Lösung aufweist. Dies unterliegt der Annahme, dass die Nutzenfunktionen der Zielgrößen monoton steigend oder monoton fallend sind. Dadurch können die ideale, d.h. die beste Ausprägung eines Bewertungskriteriums, und die negativ-ideale Lösung ermittelt werden. Die Präferenzordnung der Alternativen ergibt sich in der Folge aus dem Vergleich der euklidischen Abstände. Zur Berechnung dieser Abstände wird in sechs Schritten vorgegangen. Im ersten Schritt wird die normalisierte Entscheidungsmatrix aufgestellt. Die Normalisierung ist erforderlich, da die Kriterien in unterschiedlichen Dimensionen vorliegen können. Die Gewichtung der Kriterien wird im zweiten Schritt durchgeführt und in eine gewichtete normalisierte Entscheidungsmatrix überführt. Im dritten Schritt werden die Ideallösungen über Maximierung oder Minimierung der Kriterienausprägungen festgelegt. Die euklidischen Abstände werden im vierten Schritt über den Abstand der Kriterienausprägung zur Ideallösung berechnet. Der fünfte Schritt dient der Auswertung der Handlungsalternativen über alle Abstände der zugrundeliegenden Kriterien, sodass ein Gesamtwert für jede Alternative vorliegt. Aus den Gesamtwerten wird im sechsten Schritt die Präferenzordnung unter den Alternativen gebildet. [HWA81], [TRI10], [ISH13], [GEL14]

TOPSIS ist eine Kompensationsmethode, bei der Kompromisse zwischen den Kriterien gebildet werden. Hier wiegt eine gute Bewertung eines Kriteriums eine schlechte Bewertung eines anderen Kriteriums auf. Dadurch ist die Methode in vielen Anwendungsfeldern einsetzbar, da im Vergleich zu nicht-kompensatorischen Methoden bestimmte Alternativen nicht aufgrund fester Grenzwerte ausgeschlossen werden. Die Ermittlung der relativen Abstände einzelner Kriterien zur Ideallösung ermöglicht das Aufzeigen individueller Stärken und Schwachstellen einzelner Handlungsalternativen.

PROMETHEE [BRA86]

Die von Brans entwickelte MKEM *Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation* zählt zu den Outranking-Ansätzen und eignet sich besonders bei Vorliegen schwer quantifizierbarer oder vergleichbarer Bewertungskriterien. Ausgehend von einer Entscheidungsmatrix wird die Rangfolge der Handlungsalternativen in einem fünfschrittigen Verfahren ermittelt. Im ersten Schritt wird für jedes Bewertungskriterium eine Präferenzfunktion festgelegt. Dazu werden die die Kriteriumsausprägungen zweier Alternativen paarweise verglichen, um zu prüfen, ob die Differenz der Ausprägungen auch zu einer Präferenz beim Entscheidungsträger führt. Je nach Kriterium kann so eine Präferenzfunktion definiert werden, die bspw. linear verläuft. Im zweiten Schritt werden die subjektiven Kriteriengewichtungen so ermittelt, dass die relative Bedeutung des Kriteriums im Vergleich zu den anderen Kriterien widerspiegelt wird. Eine konkrete Gewichtungsmethode wird nicht vorgegeben. Die Outranking-Relationen werden im dritten Schritt bestimmt. Diese ergeben sich über die Summe der Multiplikation einzelner Präferenzwerte mit der jeweiligen Kriteriengewichtung. Im vierten Schritt werden Flussgrößen berechnet, die angeben, welche Vor- und Nachteile eine Alternative gegenüber den weiteren Alternativen aufweist. Der Ausgangsfluss gibt an, wie stark eine Alternative bevorzugt wird. Der Eingangsfluss hingegen zeigt, inwiefern die Alternative von anderen Alternativen dominiert wird. Die Aggregation folgt im fünften Schritt, ist aber je nach Methodenvariante von PROMETHEE unterschiedlich. Allen gemein ist, dass die Präferenzordnung auf Basis der Flussgrößen gebildet wird. So werden bspw. Ein- und Ausgangsflüsse miteinander verglichen, Nettoflüsse berechnet oder grafisch dargestellt. Durch die Darstellung der Flussgrößen können auch Unvergleichbarkeiten abgebildet werden. [BRA86], [SAN12], [GEL14]

Die Möglichkeiten, komplexe Entscheidungsprobleme realitätsnah darzustellen, implizites Wissen über Präferenzfunktionen der Entscheidungsträger auszudrücken sowie Unvergleichbarkeiten abzubilden, führt dazu, dass PROMETHEE in der Vergangenheit in vielen Anwendungsfeldern eingesetzt wurde und weiterhin eingesetzt wird.

ELECTRE [ROY68]

Der von Roy entwickelte Outranking-Ansatz *Elimination et Choix Traduisant la Réalité* basiert auf der partiellen Aggregation von Präferenzen. Unter der Annahme, dass der Entscheidungsträger nicht rational handelt, kann er im Vergleich zu anderen Ansätzen bei der Rangfolgebildung der Alternativen Präferenzen, Indifferenzen, aber auch schwache Präferenzen oder Unvergleichbarkeiten angeben. Dazu werden innerhalb eines vierschrittigen Vorgehens im ersten Schritt Schwellenwertfunktionen gebildet. In Bezug auf die einzelnen Kriterien wird eine Indifferenz- und Präferenzschwelle

definiert. Diese Schwelle kennzeichnet die Akzeptanz von Ungenauigkeiten in der Kriterienbewertung. Eine Präferenz eines Kriteriums gegenüber einem anderen wird dann ausgebildet, wenn die Indifferenzschwelle verlassen wird, andernfalls gelten sie als indifferent. Dadurch können Unsicherheiten bei der Datenerhebung berücksichtigt werden. Im zweiten Schritt werden die Kriterien gewichtet und der Grad der Überlegenheit zwischen zwei Kriterien wird berechnet. Dabei greift ein Veto-Schwellenwert, der verhindert, dass eine schlechte Bewertung eines Kriteriums extreme Ausschläge in der Bewertung der Alternative birgt. Im dritten Schritt wird ein Outranking Maß ermittelt, welches im vierten Schritt genutzt wird, um die Rangfolge der Alternativen herzuleiten. [ROY68]

ELECTRE bildet eine in der Berechnung aufwendige MKEM, weshalb zur Anwendung auf Softwareprogramme zurückgegriffen wird. Sie wird bei Entscheidungsproblemen angewandt, bei denen die Ausprägung der Kriterien in unterschiedlichen Skalen und Einheiten und eine hohe Unsicherheit der Daten vorliegen. Durch Veto-Schwellenwerte ist sie nicht kompensatorisch, wodurch weder besonders gut noch schlecht bewertete Kriterien eine zu starke Verzerrung des Rankingergebnisses zur Folge haben. [ISH13]

10.2 Ansätze zur Technologiebewertung

Technologie-Portfolio zum Management strategischer Zukunftsgeschäftsfelder nach PFEIFFER [PFE91]

PFEIFFER entwickelt in seiner Arbeit ein „*Technologie-Portfolio zum Management strategischer Zukunftsgeschäftsfelder*“, welches Produkt- und Produktionstechnologiepositionen anhand der Bewertungsdimensionen Technologieattraktivität und Ressourcenstärke erfasst. Die Technologieattraktivität stellt eine externe, vom Unternehmen nicht beeinflussbare Bewertungsdimension dar und zeigt die realisierbaren technisch-wirtschaftlichen Vorteile eines Produkts bzw. eines Prozesses auf. Sie wird über potenzielseitige und bedarfsseitige Indikatoren abgebildet, die wiederum über die Bewertungskriterien „Weiterentwicklungspotenzial“, „Kompatibilität“ und „Anwendungsbreite“ erfasst werden. Die Ressourcenstärke ist eine unternehmensspezifische, steuerbare Bewertungsdimension und beinhaltet technisch-ökonomische Faktoren über die Beherrschung der Technologiekonzepte im Vergleich zur Konkurrenz. Sie wird über die „Know-how-Stärke“ und „Finanzstärke“ abgebildet. Die unterschiedliche Bedeutung der Bewertungskriterien im jeweiligen Bewertungsfall wird über eine Gewichtung zur Erstellung des Technologieportfolios zum Ausdruck gebracht. Die Berechnung der Portfoliopositionen erfolgt über die Addition der Ausprägungen multipliziert mit der relativen Bedeutung der Teilindikatoren. Die Positionierung im Portfolio erfolgt jedoch in beiden Bewertungsdimensionen auf einer qualitativen Skala, die von „Gering“ bis „Hoch“ reicht. Aus der Portfoliomatrix lassen sich strategische Handlungsempfehlungen für die Entscheidungssituation in Abhängigkeit der Technologieeinordnung über vorgegebene Normstrategien („Investieren“, „Selektieren“, „Desinvestieren“) ableiten. [PFE91]

Neben dem Technologie-Portfolio nach Pfeiffer existieren weitere Portfolio-Methoden, wie die Ansätze nach BOOZ, ALLEN und HAMILTON [BOO82], nach ARTHUR D. LITTLE [ART80] und nach MCKINSEY [MCK70]. Die Hauptunterschiede liegen in den Bewertungsdimensionen auf der Ordinate und der Abszisse der Portfoliomatrix sowie den verwendeten Bewertungskriterien. Des Weiteren unterscheiden sich die abzuleitenden Normstrategien mit der Gemeinsamkeit, technischen und ökonomischen Mitteleinsatz zukunftsorientiert am Potenzial einer Technologie zu orientieren. Allen Portfolio-Ansätzen ist gemein, dies auf Grundlage einer technologischen internen und marktorientierten externen Bewertungsdimension zu veranschaulichen.

Marktorientierte Bewertung neuer Produktionstechnologien nach MARTINI [MAR95]

MARTINI entwickelt in seiner Arbeit „Marktorientierte Bewertung neuer Produktionstechnologien“ eine Planungsmethode zur frühzeitigen und marktrelevanten Nutzung innovativer Produktionsverfahren. Das Ziel der Methode sind die Analyse und Prognose des Markterfolgs für Innovationen zur Bestimmung und Priorisierung der Art, Höhe und Zeitpunkte von Investitionen in Produktionstechnologien. Das vorgeschlagene Verfahren gliedert sich in sieben Schritte zur ganzheitlichen Technologiebewertung. Im ersten Schritt der Technologiemodellierung gilt es, den Untersuchungsbereich einzugrenzen und derzeitige Prozesse und Produkte zu modellieren. Den zweiten Schritt bildet die Nutzenpositionierung, indem das Technologieniveau gegenüber dem Wettbewerb bestimmt wird und daraus Zielgrößen für die Produktionsverfahren abgeleitet werden. Der dritte Schritt dient der unternehmenseigenen Strategieformulierung durch eine Marktanalyse und strategische Zielformulierung zwischen Differenzierung und Kostenführerschaft. Im vierten Schritt wird der technologische Entwicklungsbedarf durch Berechnung einer Ziellücke aufgezeigt. In diesem Rahmen werden Innovationen vor dem Hintergrund der analysierten Produktionstechnologie einer Bewertung unterzogen, welche einen Wert für die Priorität einer Produktionstechnologie abbildet. Die wesentlichen, funktionell abhängigen Bewertungskriterien sind die interne Kostenwirkung der Investition, der einmalige Ressourcenverzehr der Investition, die Erlöswirkung der Investition sowie der Potenzialaufbau der Investition. Die Kriterien besitzen auf Basis der zugrundeliegenden Produktionsstrategie unterschiedliche Gewichtungen und funktionelle Abhängigkeit, mit denen sie in der Bewertungsfunktion berücksichtigt werden. Die Bewertungsfunktion arbeitet mit qualitativen Daten, sodass bspw. quantitative Kostendaten in qualitative Daten überführt werden. Anschließend folgt im fünften Schritt eine Wertschöpfungsanalyse zur Ermittlung der relativen Technologiebedeutung für das Unternehmen. Die Zielleistungsanalyse im sechsten Schritt dient der Potenzialprognose der Produktionstechnologie sowie der Prognose des Realisierungsaufwands. Im letzten Schritt werden für Technologien mit hoher Markt- und Zielkonformität strategische Programme abgeleitet und auf Basis von Normstrategien werden die zu initiiierenden Aktivitäten vorgeschlagen. Daraus lassen sich dann die Art, die Intensität und die Zeitpunkte der Investitionen bestimmen. MARTINI liefert damit eine Methode, in der die Priorität von Investitionen in Produktionstechnologien auf Basis einer Bewertung von Innovationen vor dem Hintergrund der unternehmenseigenen Technologiestrategien ermittelt wird. [MAR95]

Entwicklung eines multikriteriellen Entscheidungsunterstützungssystems zur integrierten Technikbewertung nach GELDERMANN [GEL99]

GELDERMANN erarbeitet in ihrer Arbeit eine integrierte Bewertungsmethode, die Technologieentscheidungen zu Umweltschutzmaßnahmen im Produktionsprozess der Stahl- und Eisenindustrie durch die Betrachtung multipler ökologischer und technökonomischer Kriterien unterstützt. Die Methode lässt sich in vier Bewertungsschritte unterteilen: First Screening, Stoff- und Energiebilanz, Kennzahlenbildung und Entscheidungsunterstützung. Das First Screening zielt darauf ab, die relevanten Stoff- und Energieströme datenseitig zu erfassen. Technologiealternativen, welche die entsprechenden gesetzlichen Anforderungen nicht erfüllen, können frühzeitig aus dem betrachteten Untersuchungsraum entfernt werden. Die Stoff- und Energiebilanz dient der Modellierung der relevanten Stoff- und Energieströme, die als Grundlage zur Berechnung der technischen, ökonomischen und ökologischen Kennzahlen dient. Die Kennzahlen erlauben, die Stoff- und Energieströme einzelner Technologien relativ zu bewerten, um einen direkten Vergleich zu ziehen. Die Bewertung und Zusammenführung der berechneten Kennzahlen erfolgt im Entscheidungsunterstützungsmodell. Das im Entscheidungsmodell genutzte Vorgehen orientiert sich am Outranking-Verfahren PROMETHEE. Anschließend werden die Bewertungsergebnisse über eine Sensitivitätsanalyse abgesichert und visuell aufbereitet. Zwischen den Prozessschritten erlaubt die Methode ein frühzeitiges Treffen von Entscheidungen durch Integration qualitativer Daten der Entscheidungsträger. [GEL99]

Ganzheitliche Technologiebewertung nach HALL [HAL02]

HALL stellt in seiner Arbeit ein zweiphasiges Modell zur ganzheitlichen Technologiebewertung vor. Es umfasst prozessual den gesamten Entwicklungsprozess und berücksichtigt neben technischen auch wirtschaftliche, marktorientierte Zielgrößen. Die erste „Explorationsphase“ dient auf der einen Seite der Identifikation von Kundenanforderungen und auf der anderen Seite der systematischen Beschreibung und Charakterisierung der zu bewertenden Technologie. Die Technologiemerkmale gliedern sich in Strukturmerkmale (technische und physikalische Eigenschaften eines Produktes), Prozessmerkmale (z.B. Flexibilität, Produktivität), wirtschaftliche Merkmale (Auswirkungen auf Kosten und Profitabilität), Umweltmerkmale (Auswirkungen auf Ressourcenverbräuche) und gesellschaftliche Merkmale (u.a. Auswirkungen auf Mitarbeitende des Unternehmens, regulatorische Stakeholder). Die anschließende „Bewertungsphase“ gleicht die erhobenen Bedarfe mittels Bewertungsmatrix mit den Technologiemerkmale ab. Die Matrizendarstellung ermöglicht eine Analyse der Beziehungen zwischen den kundenseitigen und technologischen Bewertungskriterien, die anschließend über Kennwerte dargestellt

werden. Die Multiplikation der Kriterienausprägungen mit den Beziehungsfaktoren veranschaulicht die Fähigkeit der einzelnen Technologiemerkmale, zum Gesamtnutzen der Technologie beizutragen, und insgesamt die Kundenanforderungen zu erfüllen. Abschließend schlägt HALL vor, die Interpretation durch Visualisierung der Ergebnisse über ein Portfolio zu erleichtern. [HAL02]

Methodik zur Planung technologischer Produktinnovationen nach BRANDENBURG [BRA02]

BRANDENBURG entwickelt in seiner Arbeit eine Methodik zur Planung und Bewertung von Ideen in frühen Phasen der Produktentwicklung zur Erbringung technologischer Innovationen. Der Bewertungsprozess untergliedert sich in die Phasen Zielbildung, Zukunftsanalyse, Ideenfindung, Ideenbewertung, Ideendetaillierung, Konzeptbewertung und Umsetzungsplanung. Im Rahmen der Zielbildung werden die der Entwicklung unterliegenden Unternehmensstrategien (u.a. Gewinnsteigerung, Wachstumssteigerung und -sicherung, Kapazitätsauslastung sowie Risikostreuung) als Basis der zu erarbeitenden Bewertungskriterien klassifiziert. Die Zukunftsanalyse analysiert die zu berücksichtigenden globalen Trends unterteilt in fünf Umfeldbereiche: ökonomisches, sozio-kulturelles, technologisches, politisch-rechtliches und ökologisches Umfeld. Aus der Zukunftsanalyse werden in der nachfolgenden Phase Ideen mit Innovationspotenzial abgeleitet, die nach der Detaillierung mittels einer multikriteriellen Entscheidungsmethode bewertet werden. Zur Ermittlung eines Bewertungsergebnisses nutzt BRANDENBURG je nach Informationslage die Grundelemente der Fuzzy-Logik oder den von SAATY entwickelten AHP. Die Ideen- und Konzeptbewertungen werden in jeweils einem Unternehmensnutzen- und Markt-Technologie-Portfolio visualisiert, um anschließend Handlungsmaßnahmen abzuleiten. In der abschließenden Umsetzungsplanung werden die Bewertungsergebnisse aggregiert und in einer *InnovationRoadMap* mit den zukünftigen Marktanforderungen und den Innovationspotenzialen verknüpft. Die *InnovationRoadMap* stellt gleichzeitig ein dynamisches Planungsinstrument zur Steuerung weiterer Entwicklungsphasen dar. [BRA02]

Methode zur Technologiebewertung für eine ergebnisorientierte Produktentwicklung nach KRÖLL [KRÖ07]

KRÖLL entwickelt in seiner Arbeit eine Methode zur Technologiebewertung am Beispiel von Elektrik-Elektronik Systemen, die neben dem Aufgabenfeld der Technologieanalyse auch eine erfolgreiche Technologieumsetzung begleitet. Die Methode wird in der frühen Phase der Produktentwicklung eingesetzt mit dem Ziel, Aussagen über die Tauglichkeit eines Technologiekonzeptes auf Basis des Kunden- und Unternehmensnutzen durch eine Reifegradbewertung zu liefern und als systematisierte Entscheidungsvorlage zu dienen. KRÖLL legt der Technologiebewertung die

übergeordneten Kriterien Kosten, Qualität, Flexibilität und Technologiereife zugrunde, die sich jeweils in Subkriterien über einen Kriterienbaum aufgliedern. Empirische Daten und Unsicherheiten in der Prognose der Kriterienausprägungen werden über Wahrscheinlichkeitsverteilungen und Erwartungswerte berücksichtigt, die durch Transformationsfunktionen normiert werden. Dies ermöglicht die Betrachtung qualitativer und quantitativer Daten in der Kriterienbewertung. Die Kriterien werden über einen paarweisen Vergleich gewichtet und anschließend jeweils mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation aggregiert. Durch die Aggregation der Teilergebnisse kann ein Gesamtbewertungsergebnis in Form einer Wahrscheinlichkeitsverteilung dargestellt und damit eine Aussage über die erfolgversprechendste Technologiealternative getroffen werden. Weiterführend soll das Bewertungsergebnis als organisatorischer Handlungsrahmen für Überführung in einen Produktentwicklungsprozess durch ein systematisches Technologietransfermanagement dienen. [KRÖ07]

Eine bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten in der Technologieentwicklung nach RUMMEL [RUM14]

RUMMEL entwickelt in ihrer Arbeit ein methodisches Vorgehen zur Bewertung von Technologiekonzepten anhand quantifizierter Reifegrade der technologischen Leistungsfähigkeit. Dabei werden vier verschiedene Bewertungsdimensionen unterschieden: die technologische, kundenbezogene, fertigungsbezogene und wirtschaftliche Bewertungsdimension. Die Methode gliedert sich in vier Phasen. In Phase eins werden die Entwicklungsziele und -schwerpunkte des Konzeptes festgelegt. Diese untergliedern sich in inhaltsbezogene, projektbezogene und strategiebezogene Ziele (u.a. Technologie-, Wettbewerbs- und Markteintrittsstrategieziele), durch deren Festlegung unternehmensindividuelle Rahmenbedingungen bei der späteren Bewertung berücksichtigt werden können. In Phase zwei wird der Entwicklungsprozess der Technologiekonzepte begleitet. Phase drei dient der Bewertung der Entwicklungsergebnisse. Dazu wird ein Reifegrad für jede Bewertungsdimension unter Berücksichtigung diverser Subkriterien und deren Aggregation ermittelt. Für die technologiebezogene Bewertungsdimension erfolgt die Reifegradermittlung über die Beurteilung der Leistungsfähigkeit der betrachteten Technologie in Verknüpfung mit der Funktionserfüllung. Durch die Ermittlung von Kundenanforderungen über Lead-User-Methoden und die Beurteilung der Anforderungserfüllung wird der Reifegrad der kundenbezogenen Bewertungsdimension abgeleitet. Der fertigungsbezogene Reifegrad ermittelt sich über eine Bedarfsanalyse und Bewertung der Fertigungsverfahren. Aus der Verknüpfung einer Markt- und Unternehmenssicht wird der wirtschaftliche Reifegrad ermittelt. Dazu werden die Preisbereitschaft und zulässigen Kosten des Technologiekonzeptes den inhärenten Herstellungskosten des Unternehmens gegenübergestellt. In Phase vier werden die Ergebnisse der Bewertung durch einen aggregierten Reifegrad über alle

Bewertungsdimensionen technologiespezifisch in ein Portfolio positioniert, durch welches sich Maßnahmen für die weitere Entwicklung der Konzepte ableiten lassen. [RUM14]

Methodik zur potenzial- und risikobasierten Technologiebewertung nach SCHOLZ [SCH22]

Mit der Methodik zur potenzial- und risikobasierten Technologiebewertung entwickelt SCHOLZ eine ganzheitliche Bewertungsmethode, welche die frühzeitige Technologieauswahl zur Selektion nachfolgender Entwicklungsaktivitäten unterstützt. Die Methode setzt an der Schnittstelle zwischen Technologiefrüherkennung und Technologieplanung innerhalb der strategischen Unternehmensführung an. Der besondere Fokus liegt auf der Bewertung von Technologien im unternehmensindividuellen Gesamtkontext vor dem Hintergrund der unternehmenseigenen strategischen Planung. Dazu dienen zwei übergeordnete Bewertungsdimensionen: das Potenzial einer Technologie sowie das mit der Technologie verbundene Realisierungsrisiko. Die Methode gliedert sich in fünf Schritte zur systematischen Bewertung von Technologien. Im ersten Schritt werden die Technologien anhand generischer Merkmale in einem Beschreibungsmodell charakterisiert, um geeignete Eingabegrößen für die folgende Bewertung zu erhalten. Im zweiten Schritt wird der Anwendungskontext der Technologie im betrachteten Unternehmen über ein weiteres Beschreibungsmodell beschrieben. Dies ermöglicht, die Anwendungsfelder der Technologie im Unternehmen zu identifizieren und die unternehmensindividuelle Bedeutung abzuleiten. Beide Beschreibungsmodelle arbeiten mit qualitativen Daten und sind von Technologieexperten zu bedienen. Im dritten und vierten Schritt folgt die Ermittlung der Technologiepotenzial- und Risikogröße. Das Technologiepotenzial gliedert sich in übergeordnete Potenzialdimensionen, denen spezifische Bewertungskriterien zugeordnet sind. Zur Ermittlung der Potenzialgröße wird ein Scoring-Ansatz verwendet, bei dem die unterliegenden Werte der Potenzialdimensionen zu einem Gesamtwert des Technologiepotenzials aggregiert werden. Dabei unterliegen den Potenzialdimensionen Wirkbeziehungen, welche über die AHP-Methode quantifiziert und in der Aggregation über Gewichtungsfaktoren berücksichtigt werden. Die Gewichtung erfolgt durch eine ermittelte Rangfolge der Einzelpotenziale nach einem paarweisen Vergleich auf Basis der strategischen Ziele des Unternehmens. Die Ermittlung der Risikogröße erfolgt analog durch Betrachtung relevanter Risikofaktoren, welche auf neun Teilrisiken konsolidiert sind. Im letzten Schritt werden die Ergebnisse grafisch durch eine Positionierungsmatrix angelehnt an Portfoliomethoden aufbereitet. Gleichmaßen lassen sich dadurch Normstrategien für die weiteren Entwicklungsaktivitäten ableiten. [SCH22]

An MCDM Approach to the Selection of Novel Technologies for Innovative In-Vehicle Information Systems nach LISBOA ET AL. [LIS16]

LISBOA ET AL. entwickeln einen Ansatz der multikriteriellen Bewertung zur Auswahl innovativer Technologien für Informations- und Kommunikationssysteme von Fahrzeugen. Das methodische Vorgehen orientiert sich am Entscheidungsprozess nach TURBAN ET AL., welcher in drei Phasen gegliedert wird. In der ersten Phase „Intelligence“ werden zunächst relevante Technologien analysiert und kategorisiert. In der zweiten „Design“ Phase werden die Bewertungskriterien definiert, die Technologien durch Experten bewertet und anschließend die Gewichtung der Kriterien ermittelt. Die Bewertungskriterien umfassen das subjektive Innovationsempfinden einer Technologie, die Sicherheit der Interaktion, das Potenzial, die Leistung der Fahraufgabe oder Nebenaufgaben zu verbessern, technische Machbarkeit der Implementation, den Begeisterungsfaktor der Nutzenden, die Freude bei regelmäßiger Nutzung und den Mehrwert für die Nutzenden unter Berücksichtigung der Kosten. Die Bewertung der Kriterien erfolgt über eine Delphi-Expertenumfrage anhand einer qualitativen Likert-Skala im Wertebereich 1 bis 5. Dabei wird erwartet, dass das rein qualitative Bewertungsverfahren ohne die Festlegung objektiver Grenzen keine vollständig unabhängige Bewertung der Alternativen hervorbringt. Die anschließende Gewichtungsermittlung findet erneut statt auf Basis einer Experteneinschätzung mittels einer qualitativen Likert-Skala im Wertebereich 1 bis 7. Die Gewichtungsfaktoren werden anschließend auf das Intervall $[0,1]$ normiert und den Kriterienausprägungen zugeordnet. In der dritten und letzten „Choice“ Phase wird für jede Technologiealternative eine Gesamtbewertung durch Aggregation der normalisierten Kriterienbewertungen ermittelt. Die resultierende Rangfolge offenbart im oberen Quartil die Technologien, die weiterführend auf Entwicklungsmöglichkeiten geprüft werden sollen. Zur anschließenden Analyse der einzelnen Alternativen werden die individuellen Kriterienausprägungen der höchst bewerteten Technologien miteinander verglichen, um konkrete Stärken und Schwächen herauszuarbeiten. [LIS16]

Multi-Criteria Decision Support System with Negotiation Process for Vehicle Technology Section nach AL-ALAWI ET AL. [ALA18]

AL-ALAWI ET AL. entwickeln eine multikriterielle Entscheidungsmethode für Fahrzeugtechnologien, um die Auswahl einer Fahrzeugtechnologie vor dem Hintergrund regulatorischer, ökonomischer, nutzerbezogener Einflussfaktoren zu treffen. Ziel der Methode ist, den Entscheidungsträgern einen systematischen Ansatz zur Bewertung und Rangfolgenermittlung verschiedener Fahrzeugtechnologien darzubieten. Der Fokus der entwickelten Methode liegt auf der Auswahl geeigneter Antriebsstrangtechnologien. Zu diesem Zweck schlagen AL-ALAWI ET AL. ein

Entscheidungsmodell vor, welches alle potenziellen Stakeholder und Interessengruppen berücksichtigt. Darunter fallen Automobilhersteller, politische Entscheidungstragenden und Endnutzerinnen und -nutzer. Die individuellen Zielgrößen und daraus entstehenden Zielsysteme der einzelnen Interessengruppen sollen bei der Bewertung unterschieden werden. Dazu nutzen AL-ALAWI ET AL. den Outranking-Ansatz PROMETHEE, um die Rangfolge der Technologiealternativen für jede Interessengruppe individuell zu ermitteln. Die Bewertungskriterien der Automobilhersteller umschließen quantitativ-ökonomische und -technische Kriterien (u.a. Kosten, CO₂ Emissionen), aber auch qualitative Kriterien (u.a. die Auswirkung der Technologie auf das Markenimage, die notwendige Expertise zur Markteinführung der Technologie). Das Zielsystem der politischen Entscheidungsträger umfasst u.a. Kriterien wie die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen, die Nutzung grüner Energie, CO₂-Emissionen, Kraftstoffpreiseffekte sowie Infrastrukturbedarf und -kosten. Nutzerbezogene Kriterien umfassen u.a. Lebenszykluskosten (TCO), Reichweite, Verbrauch, Tankinfrastruktur. Aus den mittels PROMETHEE ermittelten Rangfolgen wird anschließend durch Compromise Programming die bestgeeignete Technologiealternative ausgewiesen. [ALA18]

Entwicklung eines Vorgehensmodells für die Evaluation der Fahrzeug-HMI in frühen Phasen der Entwicklung nach MÜHLBAUER [MÜH19]

MÜHLBAUER schlägt in seiner Arbeit ein Vorgehensmodell für die Bewertung von HMI-Konzepten in den frühen Phasen der Produktentwicklung vor. Der Fokus liegt auf der Bewertung der Usability und damit der Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung von Funktionen und Inhalten der HMI-Konzepte für die Nutzenden. Dafür leitet MÜHLBAUER aus Automotive-Richtlinien, konzeptrelevanten Fahrer-Fahrzeug-Umfeld Anforderungen und Grundsätzen der Dialoggestaltung Bewertungskriterien her, welche Experten in Form von qualitativen Fragebögen während des Entwicklungsprozesses zur Verfügung gestellt werden. Die Bewertungskriterien umfassen die Aufgabenangemessenheit, die Selbstbeschreibungsfähigkeit, die Erwartungskonformität, die Steuerbarkeit und die Individualisierbarkeit des betrachteten HMI-Konzepts. Die gezielte Entwicklung eines geeigneten Fragebogens soll eine objektive, valide Bewertung ermöglichen. Die Anwendung des Vorgehensmodells wird jedoch auf die erste Phase der Konzeptentstehung eingeschränkt, da die Anforderungen an die Bewertungskriterien nach MÜHLBAUER in den folgenden Umsetzungs- und Implementierungsphasen zu differenzieren sind. [MÜH19]

10.3 Detaillierte Diskussion des Modellbereich der MKEM

AHP und ANP

Der von SAATY entwickelte *AHP* wird vordergründig bei schwer quantifizierbaren Bewertungskriterien eingesetzt und arbeitet hauptsächlich auf Basis qualitativer Daten. Wirkbeziehungen zwischen den Bewertungskriterien werden lediglich durch die Gewichtungen der Kriterien über einen paarweisen Vergleich berücksichtigt. Diese Berücksichtigung unterliegt stark den Präferenzen des Entscheidungsträgers, der die Gewichtung durchführt, wodurch die Ganzheitlichkeit des Ansatzes eingeschränkt wird. Außerdem zählt der *AHP* zu den kompensatorischen Methoden, wobei die schlechte Bewertung eines Kriteriums die gute Bewertung eines weiteren Kriteriums aufwiegen kann. Stärken und Schwächen des Gesamtkonzeptes sind so nicht abzuleiten. Durch die zugrundeliegenden Aggregationsmethoden sind Kriterien unterschiedlicher Hierarchieebenen nicht in Bezug zueinander zu setzen. Im Gegensatz zum *AHP* ist in der Weiterentwicklung des *ANP* dieser Schwäche durch die Einbringung einer Kriterienvernetzung entgegengewirkt. So orientiert sich der *ANP* durch einen separaten paarweisen Vergleich und den Möglichkeiten, Wirkbeziehungen und strategische Fragestellungen besser miteinzubeziehen, näher an den realen Gegebenheiten der Praxis. Beide Ansätze unterliegen einem verhältnismäßig geringen Anwendungsaufwand.

TOPSIS

TOPSIS eignet sich für die Arbeit mit qualitativen als auch quantitativen Daten, da eine Normierung der Kriterienausprägungen vorgenommen wird. Die Normierung erfolgt in Abhängigkeit zu weiteren Kriterienausprägungen, wodurch eine Ermittlung der relativen Abstände zum Ideal ermöglicht wird. Daraus können Stärken und Schwächen an den Stellen im Technologiekonzept ermittelt werden, an denen der Abstand zum Ideal besonders groß ist. Allerdings ist der direkte Vergleich des Erfüllungsgrades einzelner Kriterien durch die von den Ausprägungen abhängige Normierung nicht möglich. Auch das Aufzeigen von Wirkbeziehungen durch eine Kriterienvernetzung ist nicht möglich. Ähnlich wie beim *AHP* wird dies nur implizit über die Gewichtungen der Kriterien abzubilden sein. *TOPSIS* zählt zu den Kompensationsmethoden, bei denen negative Ausprägungen durch positive in der Aggregation der Ergebnisse aufgewogen werden. Ein in der Entwicklung nutzbarer Rückschluss aus dem Bewertungsergebnis ist nicht zu ziehen.

PROMETHEE und ELECTRE

Im Gegensatz zu den Kompensationsmethoden stehen *PROMETHEE* und *ELECTRE*, die aufgrund einer Erweiterung des Präferenzbegriffs sowie der Ermittlung partieller

Ordnungen einen höheren Zielbezug bieten. Durch den paarweisen Vergleich der Ausprägungen einzelner Kriterien zwischen den zu wählenden Alternativen werden Präferenzfunktionen gebildet, sodass die relative Bedeutung eines Kriteriums hervorgehoben wird. In Bezug auf die Ganzheitlichkeit haben Ausprägungen neben den zugehörigen Gewichtungen einen größeren Einfluss auf das Bewertungsergebnis. Die Alternativen werden bei Outranking-Verfahren in erster Linie gegeneinander bewertet, was zu einer hohen Abhängigkeit des Ergebnisses mit den betrachteten Alternativen führt. Eine grundsätzliche Präferenzaussage unter Betrachtung der zugrundeliegenden Technologie eines Konzeptes ist so nur bedingt herzuleiten. Wechselwirkungen können auch hier nur indirekt über die subjektiven Gewichtungen und Präferenzfunktionen abgebildet werden.

Der Präferenzbegriff wird im Rahmen von *ELECTRE* um Indifferenzen, schwache Präferenzen und Unvergleichbarkeiten erweitert. Dies ermöglicht die gezielte Betrachtung von Unsicherheiten und die Glättung von Extremwerten durch die Zuhilfenahme von Schwellwerten. Wechselwirkungen können nur bedingt betrachtet werden. Die Zusammenführung von Einheiten wird innerhalb *ELECTRE* vermieden, was sich positiv auf Transparenz und Informationsqualität der Ergebnisse auswirkt. Der Anwendungsaufwand ist besonders hoch und nur unter Zuhilfenahme von Softwaretools möglich. Ein zügiger Einsatz innerhalb der Entwicklung bietet sich nicht an. Zusammenfassend sind die Grundelemente und mathematischen Modelle der MKEM, besonders der letzten beiden, für die Konzeption einer Bewertungsmethode geeignet und sind deshalb im weiteren Verlauf der Arbeit auf ihre Einsatzfähigkeit zu prüfen.

10.4 Systematische Literaturrecherche

Ziel ist, durch eine geeignete Suchstrategie einen spezifischen Untersuchungsbereich möglichst vollständig abzudecken und die wesentlichen Erkenntnisse des Untersuchungsbereichs herauszuarbeiten. Die Qualität des Rechercheergebnisses ist bedingt durch die Wahl der verwendeten Quellen. Entsprechend ist die Nutzung von Quellen aus anerkannter Wissenschaftsliteratur unabdingbar, welche oftmals in umfangreichen Datenbanken präsentiert werden. Durch den strukturierten Rechercheprozess wird eine initiale Recherche eines Untersuchungsbereichs unterstützt. Darüber hinaus kann der Prozess zu einem späteren Zeitpunkt wiederholt werden, was das Hinzufügen und die Analyse neuer Quellen des gleichen Untersuchungsbereichs ermöglicht.

1. Festlegung des Untersuchungsschwerpunkts und der Suchstrategie

Im ersten Schritt der Literaturrecherche wird der Untersuchungsbereich thematisch festgelegt. Dadurch kann er eingegrenzt und ein entsprechender Schwerpunkt der Recherche kann gesetzt werden. Das Vorgehen entspricht der in Kapitel 2.1 dargestellten objektbezogenen und prozessbezogenen Eingrenzung. Im weiteren Verlauf wird dadurch eine gezielte Definition der Suchstrategie und des Suchalgorithmus erleichtert. Die Suchstrategie umfasst die weitere Vorgehensweise der Literaturrecherche und unterscheidet sich bei neuen Recherchen zu dem Update einer bereits durchgeführten Literaturrecherche.

Im Fall der Identifikation von Bewertungskriterien für HMI-Konzepte wird eine neue Literaturrecherche durchgeführt. Berücksichtigt werden Quellen, die das Ergebnis der systematischen Untersuchung wissenschaftlicher Datenbanken sind, sowie weitere Quellen, die aus der Untersuchung des Stands der Technik der vorliegenden Arbeit stammen. Grundsätzlich erfüllen alle berücksichtigten Quellen die folgenden Eigenschaften:

- Quellen zur Analyse von Kriterien für die Bewertung von HMI-Konzepten,
- Quellen zur Analyse von Kriterien für die Technologiebewertung,
- Quellen, die im Automobilbereich Anwendung finden oder in diesem angewendet werden können,
- Quellen, die Bewertungskriterien berücksichtigen, die mind. einer der fünf Ebenen des Fünf-Ebenen-Modells zugeordnet werden können.

2. Definition eines geeigneten Suchterminus

Im zweiten Schritt wird ein geeigneter Suchterminus definiert, mit dem der eingegrenzte Untersuchungsschwerpunkt möglichst umfassend abgedeckt wird. Dazu werden relevante Schlagwörter festgelegt und über BOOLSCHHE Operatoren miteinander verknüpft. Durch „UND“-Verknüpfungen kann der Untersuchungsbereich durch entsprechende Eingrenzungen dargestellt werden. Durch „UND NICHT“-Verknüpfungen können spezifische Themenfelder, die ggf. Schnittmengen mit dem Untersuchungsbereich haben, ausgeklammert werden. Durch „ODER“-Verknüpfungen können Synonyme der Schlüsselwörter sowie Wörter inhaltlich gleicher Bedeutung erfasst und bei der Suche berücksichtigt werden. Durch die transparente Darstellung des Suchterms lässt sich die Suche reproduzieren und zu einem späteren Zeitpunkt erweitern oder durch eine Anpassung des Suchterminus weiter fokussieren.

Der für die Untersuchung von Bewertungskriterien von HMI-Konzepten im Rahmen dieser Arbeit genutzte Suchterminus lautet wie folgt:

interface? OR hmi OR display? OR “instrument panel” OR mmi OR hci OR ui OR ux OR gui OR hsi OR in-vehicle cockpit? OR “technology assessment” OR ta

AND

vehicle? OR automotive OR car? OR automobile?

AND

assess* OR evaluat* OR analys* OR analyse OR recommend*

AND

criteria OR criterion OR standard? Or principle? OR norm OR guideline

AND

societal OR social OR society OR community OR cultur* OR law? OR legal OR legislation? OR regulation? OR right? OR cost* OR econom* OR financ* OR business OR “human factors” OR individual OR ergonom* OR technic* OR industr* OR assembly OR production OR design?

AND NOT

healthcare OR clinical OR therapie? OR “health care” OR surgery OR surgeries OR diseases

3. Auswahl der Suchwerkzeuge

Im dritten Schritt erfolgt die Auswahl der Suchwerkzeuge bzw. Datenbanken, die zur Identifikation der relevanten wissenschaftlichen Literatur dienen. Literaturdatenbanken

beinhalten alle wichtigen Journale und Fachzeitschriften sowie Monografien und können je nach Größe und Qualität der wissenschaftlichen Publikationen variieren.

In dieser Arbeit werden folgende Datenbanken genutzt, die durch ihre Eigenschaften eine breite Untersuchung der Bewertungskriterien von HMI-Konzepten ermöglichen:

- SCOPUS (<https://www.scopus.com>)
- WEB OF SCIENCE (<https://www.webofscience.com>)
- GOOGLE SCHOLAR (<https://scholar.google.com>)
- SPRINGERLINK (<https://link.springer.com>)

Die Publikationen werden auf Literatur in deutscher und englischer Sprache eingeschränkt. Außerdem wird die Suche auf Publikationen nach dem Jahr 1990 begrenzt, um die Aktualität der Suchergebnisse zu gewährleisten.

4. Durchführung der Literatursuche

Der vierte Schritt umfasst die Durchführung der Literaturrecherche sowie das damit verbundene Sortieren und Selektieren von Quellen. Die durch die Suchstrategie ausgegebenen Publikationen der genutzten Datenbanken werden zunächst analysiert und auf Relevanz geprüft. Es lassen sich bereits Quellen anhand des Titels und der Kurzzusammenfassung herausfiltern, die nicht dem Untersuchungsbereich entstammen und für die weitere Betrachtung ungeeignet sind. Die relevanten Publikationen werden im Anschluss in eine lokale Datenbank aufgenommen und anhand der Volltexte kritisch geprüft. Weitere Ausschlusskriterien sind bspw. überholte bzw. veraltete Datengrundlagen, Mängel an einer Studie (Studiendesign, Studiendurchführung) oder zu große Abweichungen vom Untersuchungsbereich. Die ermittelte Literatur wird dann in eine tiefgreifende Analyse zur Ermittlung der Bewertungskriterien überführt.

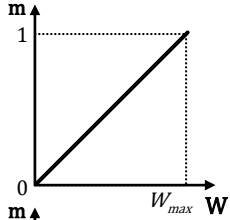
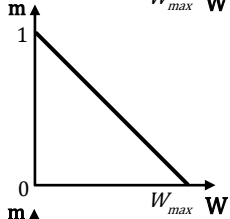
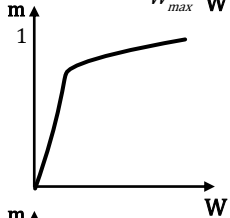
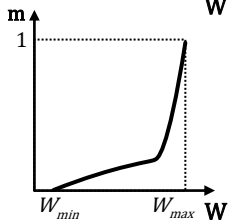
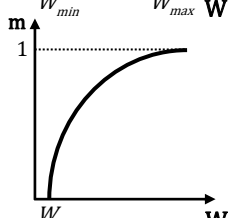
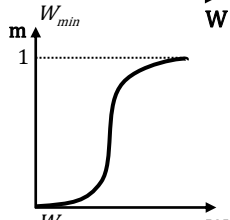
10.5 Einbezogene Publikationen der Literaturrecherche und Konsolidierung zu Kriterien der entsprechenden Ebene

Ebene	Quellen
Gesellschaftliche Ebene	[BAR91b], [BAV20], [BEC15], [BRA16], [ISO06], [ESA92], [HAN14], [HOF21], [HOF11], [KHA14], [OSS12], [THE21], [THI21], [WAL07], [YÜK12]
Regulatorische Ebene	[DIN20], [DIN17], [ECK06], [EUR08], [HAN14], [HEI12], [ISO18], [NAT19], [NAT05], [PAR17], [SCH15], [THE21], [UNI22], [YOU05]
Ökonomische Ebene	[BUC16], [COE09], [DIL14], [FRI14], [HAN14], [HOF21], [KRE12], [KRÖ07], [MAR95], [MUS06], [NIE07], [RIB03], [RUM14], [WÖL20], [ZIM20]
Individuelle Ebene	[AHR20], [ARN11], [AUS18], [BAR91b], [BAU04], [BEC15], [BIO18], [BOU04], [BRO95], [BUB15], [BUR10], [COR89], [DUF07], [FRA16], [GEL10], [GHA13], [HAR06a], [HAR93], [HAR88], [HAR11], [HWA16], [JAN12], [JIA00], [KHA14], [KNO06], [LAU08], [LEW92], [MÜH19], [NAT05], [NAU19], [NIE93], [RYU13], [SCH17b], [SCH21], [STE10], [VEN03], [WEB93], [WIL11], [WRE00], [WUL15]
Technische Ebene	[ALA18], [BIR14], [BRA02], [GUI18], [HAL02], [HAM02], [HAN14], [HTA21], [ISO18], [KLE09], [KRE12], [KRÖ07], [LIE17], [LIS16], [MAR95], [PFE91], [PU18], [RIB03], [RUM14], [SCH22], [STA08], [THI21], [ZIM20]

10.6 Einflussmatrix inhärenter Wirkbeziehungen

Einfluss von	auf																															
	Gesellschaftliche Akzeptanz	Interkulturelle Robustheit	Inklusivität	Umweltauswirkung	Konformität mit nationalen Gesetzen	Konformität mit internationalen Richtlinien	Verbraucherschutz	Konformität mit Normen und Standards	Konformität mit Guidelines	Herstellungskosten	Betriebliche Gemeinkosten	Instandhaltungskosten	Recycling- und Entsorgungskosten	Preis	Imagewirkung	Individuelle Akzeptanz	User Experience	Usability	Anthropometrie	Komfort	Vertrauen	Kontrollempfinden	Leistungsfähigkeit	Sicherheit	Technische Kompatibilität	Materialeinsatz	Zuverlässigkeit	Packageinfluss	Produktionsfähigkeit	Updatebarkeit	Latenz	
Gesellschaftliche Akzeptanz	-															1					1											
Interkulturelle Robustheit	1	-															1															
Inklusivität			-																													
Umweltauswirkung				-										1	1																	
Konformität mit nationalen Gesetzen	1				-		1																									
Konformität mit internationalen Richtlinien	1				1	-																			1							
Verbraucherschutz	1						-																	1								
Konformität mit Normen und Standards								-	1									1														
Konformität mit Guidelines									-							1																
Herstellungskosten										-				-1																		
Betriebliche Gemeinkosten											-			-1																		
Instandhaltungskosten												-				-1																
Recycling- und Entsorgungskosten				1									-																			
Preis														-	1	-1																
Imagewirkung														1	-	1					1											
Individuelle Akzeptanz	1													1	1	-	1															
User Experience	1													1	1	1	-				1											
Usability			1											1	1	1	-	1		1	1	1	1									
Anthropometrie			1													1	1	-	1		1	1	1									
Komfort														1	1	1				-												
Vertrauen	1															1					-											
Kontrollempfinden	1															1	1			1		-										
Leistungsfähigkeit														1		1		1					-	1								
Sicherheit	1					1			1					1									-		1		1					
Technische Kompatibilität									1	1															-							
Materialeinsatz				1					1	1	1					1							1		-	1		1				
Zuverlässigkeit										1						1									-							
Packageinfluss																1	1	1		1	1			1			-	1				
Produktionsfähigkeit				1					1														1						-			
Updatebarkeit														1	1	1	1						1							-		
Latenz																	1	1						1							-	

10.7 Übersicht der häufigsten Zielwertfunktionen nach [BRE97]

Bezeichnung	Formel	Abbildung
Lineare Wachstumsfunktion	$m = a * W + c$	
Lineare Straffungsfunktion	$m = -a * w + c$	
Nichtlineare Wachstumsfunktion mit degressivem Verlauf	$m = a * W^b \text{ mit } b < 1$	
Nichtlineare quadratische Wachstumsfunktion	$m = \left(\frac{W - W_{min}}{W_{max} - W_{min}} \right)^2$	
Steigende Sättigungsfunktion mit degressivem Verlauf	$m = 1 - e^{-\left(\frac{W - W_{min}}{a}\right)}$	
Steigende S-Funktion	$m = 1 - e^{(-a * (W - W_{min}))^3}$	

Bezeichnung	Formel	Abbildung
Nichtlineare quadratische Straffungsfunktion	$m = \left(1 - \frac{W - W_{min}}{W_{max} - W_{min}}\right)^2$	
Fallende Sättigungsfunktion mit degressivem Verlauf	$m = e^{-\left(\frac{W - W_{min}}{a}\right)}$	
Fallende S-Funktion	$m = e^{(-a * (W - W_{min}))^3}$	
Beliebige nichtlineare Maximumsfunktion	$m = 1 - \left(\frac{W - a}{b}\right)^2$	
Beliebige nichtlineare Minimumsfunktion	$m = \left(\frac{W - a}{b}\right)^2$	
Problemangepasste Wertefunktion	Für $W_{min} \leq W < W_1$: $m = a * W + c$ Für $W_1 \leq W < W_2$: $m = 1$ Für $W_2 \leq W < W_{max}$: $m = -b * W + d$	

10.8 Matrix mit Gewichtungen der Bewertungskriterien

	Gesellschaftliche Akzeptanz	Interkulturelle Robustheit	Inklusivität	Umweltauswirkung	Regulatorische Konformität	Kosten	Preis	Imagewirkung	Individuelle Akzeptanz	User Experience	Usability	Anthropometrie	Komfort	Vertrauen	Kontrollempfinden	Leistungsfähigkeit	Sicherheit	Technische Kompatibilität	Materialeinsatz	Packageinfluss	Updatebarkeit
Gesellschaftliche Akzeptanz	1	2	1	1/7	1/5	1/9	1/9	1/5	1/2	1/5	1/5	1/7	1/4	1/2	1/7	1/5	1/3	1/4	1/5	1/3	1/3
Interkulturelle Robustheit	1/2	1	1	1/7	1/8	1/9	1/9	1/7	1/3	1/6	1/5	1/7	1/5	1/5	1/7	1/6	1/7	1/7	1/7	1/8	1/5
Inklusivität	1	1	1	1/7	1/2	1/8	1/9	1/7	1/7	1/8	1/8	1	1/2	1/5	1/7	1/2	1/2	1/3	1/3	1/2	1/3
Umweltauswirkung	7	7	7	1	2	1	1	1	1/2	1	1	2	3	7	5	1	7	1	2	9	
Regulatorische Konformität	5	8	2	1/2	1	1/2	1/2	1/7	1	1/2	1	3	9	7	5	9	1	9	3	5	9
Kosten	9	9	8	1	2	1	1/2	1	5	2	2	3	5	3	5	5	1/2	2	2	2	5
Preis	9	9	9	1	2	2	1	1	2	1	3	5	7	3	3	9	1/2	5	7	5	1
Imagewirkung	5	7	7	1	7	1	1	1	7	2	2	3	5	2	1	5	1	5	5	7	3
Individuelle Akzeptanz	2	3	7	2	1	1/5	1/2	1/7	1	1/2	1	3	3	7	2	9	1	7	3	7	9
User Experience	5	6	8	1	2	1/2	1	1/2	2	1	1	7	7	9	1	3	1	9	3	9	9
Usability	5	5	8	1	1	1/2	1/3	1/2	1	1	1	1	7	9	1	3	1/2	9	3	5	3
Anthropometrie	7	7	1	1/2	1/3	1/3	1/5	1/3	1/3	1/7	1	1	1	5	1/5	1	1/5	1	1/2	1/5	1/2
Komfort	4	5	2	1/2	1/9	1/5	1/7	1/5	1/3	1/7	1/7	1	1	2	1/9	1/2	1/7	3	5	3	7
Vertrauen	2	5	5	1/3	1/7	1/3	1/3	1/2	1/7	1/9	1/9	1/5	1/2	1	1/9	1/5	1/7	5	2	3	5
Kontrollempfinden	7	7	7	1/7	1/5	1/5	1/3	1	1/2	1	1	5	9	9	1	7	1	9	3	3	5
Leistungsfähigkeit	5	6	2	1/5	1/9	1/5	1/9	1/5	1/9	1/3	1/3	1	2	5	1/7	1	1/3	1/7	3	1/2	1/5
Sicherheit	3	7	2	1	1	2	2	1	1	1	2	5	7	7	1	3	1	9	2	1	9
Technische Kompatibilität	4	7	3	1/7	1/9	1/2	1/5	1/5	1/7	1/9	1/9	1	1/3	1/5	1/9	7	1/9	1	1/3	1/2	1/3
Materialeinsatz	5	7	3	1	1/3	1/2	1/7	1/5	1/3	1/3	1/3	2	1/5	1/2	1/3	1/3	1/2	3	1	1/7	1
Packageinfluss	3	8	2	1/2	1/5	1/2	1/5	1/7	1/7	1/9	1/5	5	1/3	1/3	1/3	2	1	2	7	1	7
Updatebarkeit	3	5	3	1/9	1/9	1/5	1	1/3	1/9	1/9	1/3	2	1/7	1/5	1/5	5	1/9	3	1	1/7	1

Normierung	Gesellschaftliche Akzeptanz	Interkulturelle Robustheit	Inklusivität	Umweltauswirkung	Regulatorische Konformität	Kosten	Preis	Imagewirkung	Individuelle Akzeptanz	User Experience	Usability	Anthropometrie	Komfort	Vertrauen	Kontrollempfinden	Leistungsfähigkeit	Sicherheit	Technische Kompatibilität	Materialeinsatz	Packageinfluss	Updatebarkeit
Gesellschaftliche Akzeptanz	0,011	0,022	0,011	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,005	0,002	0,002	0,002	0,003	0,005	0,002	0,002	0,004	0,003	0,002	0,004	0,004
Interkulturelle Robustheit	0,005	0,011	0,011	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,004	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002
Inklusivität	0,011	0,011	0,011	0,002	0,005	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,011	0,005	0,002	0,002	0,005	0,005	0,004	0,004	0,005	0,004
Umweltauswirkung	0,076	0,076	0,076	0,011	0,022	0,011	0,011	0,011	0,005	0,011	0,011	0,022	0,022	0,032	0,076	0,054	0,011	0,076	0,011	0,022	0,097
Regulatorische Konformität	0,054	0,086	0,022	0,005	0,011	0,005	0,005	0,002	0,011	0,005	0,011	0,032	0,097	0,076	0,054	0,097	0,011	0,097	0,032	0,054	0,097
Kosten	0,097	0,097	0,086	0,011	0,022	0,011	0,005	0,011	0,054	0,022	0,022	0,032	0,054	0,032	0,054	0,054	0,005	0,022	0,022	0,022	0,054
Preis	0,097	0,097	0,097	0,011	0,022	0,022	0,011	0,011	0,022	0,011	0,032	0,054	0,076	0,032	0,032	0,097	0,005	0,054	0,076	0,054	0,011
Imagewirkung	0,054	0,076	0,076	0,011	0,076	0,011	0,011	0,011	0,076	0,022	0,022	0,032	0,054	0,022	0,011	0,054	0,011	0,054	0,054	0,076	0,032
Individuelle Akzeptanz	0,022	0,032	0,076	0,022	0,011	0,002	0,005	0,002	0,011	0,005	0,011	0,032	0,032	0,076	0,022	0,097	0,011	0,076	0,032	0,076	0,097
User Experience	0,054	0,065	0,086	0,011	0,022	0,005	0,011	0,005	0,022	0,011	0,011	0,076	0,076	0,097	0,011	0,032	0,011	0,097	0,032	0,097	0,097
Usability	0,054	0,054	0,086	0,011	0,011	0,005	0,004	0,005	0,011	0,011	0,011	0,011	0,076	0,097	0,011	0,032	0,005	0,097	0,032	0,054	0,032
Anthropometrie	0,076	0,076	0,011	0,005	0,004	0,004	0,002	0,004	0,004	0,002	0,011	0,011	0,011	0,054	0,002	0,011	0,002	0,011	0,005	0,002	0,005
Komfort	0,043	0,054	0,022	0,005	0,001	0,002	0,002	0,002	0,004	0,002	0,002	0,011	0,011	0,022	0,001	0,005	0,002	0,032	0,054	0,032	0,076
Vertrauen	0,022	0,054	0,054	0,004	0,002	0,004	0,004	0,005	0,002	0,001	0,001	0,002	0,005	0,011	0,001	0,002	0,002	0,054	0,022	0,032	0,054
Kontrollempfinden	0,076	0,076	0,076	0,002	0,002	0,002	0,004	0,011	0,005	0,011	0,011	0,054	0,097	0,097	0,011	0,076	0,011	0,097	0,032	0,032	0,054
Leistungsfähigkeit	0,054	0,065	0,022	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,004	0,004	0,011	0,022	0,054	0,002	0,011	0,004	0,002	0,032	0,005	0,002
Sicherheit	0,032	0,076	0,022	0,011	0,011	0,022	0,022	0,011	0,011	0,011	0,022	0,054	0,076	0,076	0,011	0,032	0,011	0,097	0,022	0,011	0,097
Technische Kompatibilität	0,043	0,076	0,032	0,002	0,001	0,005	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,011	0,004	0,002	0,001	0,076	0,001	0,011	0,004	0,005	0,004
Materialeinsatz	0,054	0,076	0,032	0,011	0,004	0,005	0,002	0,002	0,004	0,004	0,004	0,022	0,002	0,005	0,004	0,004	0,005	0,032	0,011	0,002	0,011
Packageinfluss	0,032	0,086	0,022	0,005	0,002	0,005	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,054	0,004	0,004	0,004	0,022	0,011	0,022	0,076	0,011	0,076
Updatebarkeit	0,032	0,054	0,032	0,001	0,001	0,002	0,011	0,004	0,001	0,001	0,004	0,022	0,002	0,002	0,002	0,054	0,001	0,032	0,011	0,002	0,011

10.9 Überblick über Kriterien, Erhebungsmethoden und Datengrundlage

Kriterium	Erhebungsmethode	Datengrundlage
Gesellschaftliche Akzeptanz	Publikationsanalyse durch Large Language Model	Qualitativ
Interkulturelle Robustheit	Literaturrecherche	Qualitativ
Inklusivität	Expertenstudie	Qualitativ
Umweltauswirkungen	Life-Cycle Analyse	Qualitativ
Konformität mit Gesetzen, Richtlinien, Normen, Standards und Guidelines	Systemanalyse	Qualitativ
Herstellungskosten und betriebliche Gemeinkosten	Kostenträgerrechnung	Quantitativ
Preis	Preissensibilität	Quantitativ
Imagewirkung	Expertenstudie	Qualitativ
Individuelle Akzeptanz	Expertenstudie	Qualitativ
User Experience	Expertenstudie	Qualitativ
Usability	Expertenstudie, Datenanalyse	Qualitativ und quantitativ
Anthropometrie	Expertenstudie	Qualitativ
Komfort	Expertenstudie	Qualitativ
Vertrauen	Expertenstudie	Qualitativ
Kontrollempfinden	Expertenstudie	Qualitativ
Leistungsfähigkeit	Expertenstudie, Datenanalyse	Qualitativ und quantitativ
Sicherheit	Expertenstudie	Qualitativ
Technische Kompatibilität	Kompatibilitätsanalyse	Quantitativ
Materialeinsatz	Gewichtsanalyse (Life Cycle)	Quantitativ
Packageeinfluss	CAD-Analyse	Quantitativ
Updatebarkeit	Funktionsanalyse	Qualitativ

10.10 Simulatorstudie

Das Ziel der Expertenstudie ist der Vergleich der drei Sitzkonzepte (Turning Seat, Tilt Seat und Baseline) in einem Within-Subject-Design. Dazu wird ein realitätsnahes Simulator Mock-Up aufgebaut, welches mit einem Lenkrad, Pedalerie, einem Kombiinstrument und einem zentralen Infotainment-Display ausgestattet ist (s.u.). Dieses wird in einem statischen Fahrsimulator platziert, bestehend aus einer Fahrsimulation und einer ca. 120° abdeckenden Bildfläche, erzeugt durch drei große curved Fernseher. Das fahrzeugeigene Audiosystem wird für akustische Sounds (bspw. Fahrgeräusch, Übernahmesignale) während der Studie genutzt. Die automatisierte Fahrfunktion wird über einen Schalter am Lenkrad aktiviert.



Versuchsaufbau statischer Fahrsimulator



Interieur des Fahrsimulators

Nach Aktivierung der Automatisierung dreht sich beim Turning Seat der Sitz zur Fahrzeugmitte, sodass sich die oder der Fahrende auf die zur Verfügung gestellten Infotainmentfunktionen konzentrieren kann. Die Deaktivierung der automatisierten Fahrfunktion kann entweder manuell über die Lenkradtaste erfolgen oder, im Falle einer Übernahmeaufforderung des Systems durch ein CAN-Signal, vom Steuergerät des Fahrzeugs. Bei der Übernahmeaufforderung wird der Sitz zurück in die Ausgangsposition gedreht und die fahrende Person kann sich der Fahraufgabe zuwenden. Analog bewegt sich beim Tilt Seat die Rückenlehne des Sitzes (s. Kapitel 5.2.2).

Während der automatisierten Fahrt werden die Fahrenden mit Nebenaufgaben beschäftigt, die von der Fahraufgabe losgelöst sind und die volle Aufmerksamkeit der Fahrenden erfordern. Es handelt sich um den Surrogate Reference Task (SuRT) [ISO19b], bei dem die Fahrenden die Aufgabe im Infotainmentsystem mit Hilfe eines Controllers so schnell und so genau wie möglich ausführen sollen. Der SuRT ermöglicht eine Ablenkung der Fahrenden unter kontrollierten Bedingungen durch seine künstlich motorisch-visuelle Gestaltung. [STE09]

Als Fahraufgabe nach der Übernahme wird die Handhabung einer komplexen Verkehrssituation aufgrund des vorher gefahrenen Automatisierungsgrad als angemessen erachtet. Sie beinhaltet eine Navigationsaufgabe, die wissensbasiertes Verhalten erfordert, dargestellt durch einen Spurwechsel vor einer Abfahrt. Die Kategorisierung der Situation erfolgt in Anlehnung an das menschliche Verhaltensmodell von RASMUSSEN und das Modell der Fahraufgabe von DONGES [WIN15].

Der Studienablauf beginnt mit dem Ausfüllen rechtlich-formaler Unterlagen, einer kurzen Vorbefragung sowie einer Eingewöhnungsfahrt der Teilnehmenden. Die Fahrten werden nach folgendem Muster durchgeführt: Nach einer einminütigen manuellen Fahrt auf einer dreispurigen Autobahn wird eine visuelle Information präsentiert, dass die Automatisierung des Fahrzeugs aktiviert werden kann. Die Teilnehmenden werden angewiesen, das Angebot des Fahrzeugs anzunehmen. Während der automatisierten Fahrt ist die nicht fahrbezogene Aufgabe (SuRT) durchzuführen. Nach vier Minuten automatisierter Fahrt wird die Übernahmeaufforderung getriggert. Die Teilnehmenden haben ein Zeitbudget von 15 Sekunden, um die Fahraufgabe zu übernehmen. Bei dem an die automatisierte Fahrt anschließend zu initiierten Spurwechsel ist die Wahl zwischen Aachen oder Berlin so zu wählen, dass eine Weiterfahrt nach Aachen erfolgt. Welche Spur nach Aachen führt, wird von Durchgang zu Durchgang randomisiert und durch Straßenschilder angezeigt (s.u.).

Während der Fahrt werden alle wesentlichen Fahrdaten für die Auswertung protokolliert. Im Anschluss an den Spurwechsel werden die Teilnehmenden gebeten, das Fahrzeug auf dem Standstreifen zum Halt zu bringen, aus dem Mock-Up auszusteigen und einen Fragebogen über das erlebte Fahrscenario zu beantworten (s. Anhang 10.11). Dieser beinhaltet die qualitativ zu bewertenden Kriterien. Nach Abschluss der Fahrten mit allen Sitzkonzepten ist ein Präferenzfragebogen auszufüllen. Die Gesamtzeit der Studie beträgt pro Teilnehmenden in Summe ca. 75 Minuten. Befragt werden neun Expertinnen und Experten aus dem Bereich Verkehrspsychologie, Fahrzeugkonzeption, Fahrzeugsicherheit und HMI. Darunter sind sechs männliche und drei weibliche Personen, die zwischen 21 und 37 Jahre alt sind. Alle Teilnehmenden sind im Besitz einer gültigen Fahrerlaubnis. Kein Teilnehmender hat eine Seh-, Hör- oder Gleichgewichtsstörung.

Im Zuge der durchzuführenden Expertenstudie ist es vorteilhaft, neben der qualitativen Bewertung Anmerkungen, Erklärungen und Bewertungen zuzulassen, um in Hinblick auf die Analysephase die richtigen Maßnahmen für die weitere Entwicklung abzuleiten.



Übernahmeszenario der Expertenstudie

10.11 Fragebogen der Expertenstudie

ID: **Datum:**
VL: **Zeit:**
System:
Wird vom Versuchsleiter ausgefüllt

Vertrauen

In der Versuchsfahrt haben Sie eine automatisierte Fahrt einschließlich einer Übernahmeaufforderung erlebt. Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen bezogen auf die Übernahmeaufforderung.

B.01: Die Sicherheit der Übernahmeaufforderung würden Nutzende empfinden als...

Unsicher 1	2	3	4	5	6	Sicher 7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung kurz:

Was würde die empfundene Sicherheit steigern?

B.02: Die Übernahmeaufforderung beeinflusst die Fahrsicherheit...

Negativ 1	2	3	4	5	6	Positiv 7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung kurz:

B.03: Das Vertrauen gegenüber der Übernahmeaufforderung würden Nutzende empfinden als...

Kein Vertrauen 1	2	3	4	5	6	Vertrauen 7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung kurz:

Was würde das empfundene Vertrauen steigern?

B.04: Die Übernahmeaufforderung würden Nutzende empfinden als...

Unverständlich 1	2	3	4	5	6	Klar verständlich 7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung kurz:

Was würde die empfundene Verständlichkeit steigern?

B.05: Die Übernahmeaufforderung würden Nutzende empfinden als...

Langweilig 1	2	3	4	5	6	Spannend 7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung kurz:

B.06: Die Übernahmeaufforderung würde die Übernahmeperformanz von Nutzenden...

Verschlechtern 1	2	3	4	5	6	Verbessern 7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung kurz:

Akzeptanz

B.07: Die Übernahmeaufforderung würden Nutzende empfinden als...

Unnütz 1	2	3	4	5	6	Nützlich 7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung kurz:

Was würde die empfundene Nützlichkeit steigern?

B.08: Nutzende würden dieses Konzept zur Übernahmeaufforderung...

Gar nicht nutzen 1	2	3	4	5	6	Immer nutzen 7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung kurz:

Was würde die Nutzungshäufigkeit steigern?

B.09: Die Übernahmeaufforderung würden Nutzende empfinden als...

Inakzeptabel 1	2	3	4	5	6	Akzeptabel 7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung kurz:

Was würde die empfundene Einfachheit des Systems steigern?

Komfort

B.10: Den Komfort der Übernahmeaufforderung würden Nutzende empfinden als...

Unangenehm 1	2	3	4	5	6	Angenehm 7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung kurz:

Was würde den empfundenen Komfort steigern?

Beanspruchung

B.11: Mentale (geistige) Beanspruchung: In welchem Maße stellt die vorherige Übernahmeaufforderung geistige Anforderungen an Nutzende, also denken, entscheiden, beobachten?

sehr gering 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	sehr hoch 20
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung kurz:

Kontrolle

B.12: Wie angemessen würden Nutzende ihr Kontrollerleben während der automatisierten Fahrt einschließlich der Übernahmeaufforderung bewerten?

Unangemessen 1	2	3	4	5	6	Angemessen 7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Bitte begründen Sie Ihre Entscheidung kurz:

Inklusives Design

B.13: Ist das System auch für Nutzende mit Beeinträchtigungen uneingeschränkt nutzbar?

- ☐ Ja
- ☐ Nein, weil...

Allgemeine Bewertung

B.14: Stört Sie etwas an der erlebten Übernahmeaufforderung? Wenn ja, was?

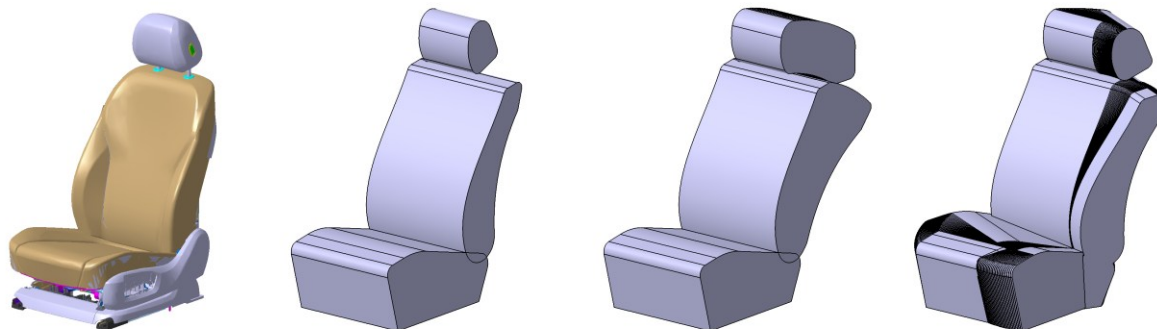
B.15: Haben Sie Verbesserungswünsche bzgl. der Gestaltung der Übernahmeaufforderung? Wenn ja, welche?

B.16: Wie zufrieden wären Nutzende insgesamt mit dem System?

Gar nicht zufrieden 1	2	3	4	5	6	Sehr zufrieden 7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Weitere Anmerkungen**B.17: Möchten Sie uns sonst noch etwas mitteilen?**

10.12 Packageeinfluss



10.13 Kriterien Maßzahlen

Gesellschaftliche Akzeptanz	Akzeptanz der Konzepte	Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Skala	1 Sehr Gering	Lineare Wachstumsfunktion	Ausprägung	Sehr hoch	Sehr hoch	Sehr hoch
	2 Gering		Maßzahl	5	5	5
	3 Mittel		Normiert	1	1	1
	4 Hoch		d	0	0	0
	5 Sehr Hoch		delta	0	0	0
Interkulturelle Robustheit	Einsatzmöglichkeiten in den Märkten	Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Skala	1 Sehr gering, Nischenmarkt/lokal	Steigende Sättigungsfunktion	Ausprägung	Sehr hoch	Hoch	Sehr hoch
	2 Gering, Teilmarkt/regional/Land		Maßzahl	5	4	5
	3 Mittel, ein Markt, expandierbar/exportierbar		Normiert	1	0,75	1
	4 Hoch, mind. 2/3 Volumenmärkten, einsetzbar		d	0	0,25	0
	5 Sehr hoch, alle Volumenmärkte, global		delta	0	0,000699986	0
Inklusivität	Wenn Beeinträchtigung vorliegt, ...	Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Skala	1 nicht nutzbar	Lineare Wachstumsfunktion	Ausprägung	leicht eingeschränkt nutzbar	voll nutzbar	voll nutzbar
	2 stark eingeschränkt nutzbar		Maßzahl	4	5	5
	3 eingeschränkt nutzbar		Normiert	0,75	1	1
	4 leicht eingeschränkt nutzbar		d	0,25	0	0
	5 voll nutzbar		delta	0,001127096	0	0
Umweltauswirkungen	Einfluss auf die Fahrzeugrecyclingquote	Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Skala	Starke Verschlechterung (niedrigerer Anteil Wiederverwertung, Recycling und therm. Verwertung)	Steigende S-Funktion	Ausprägung	kein Einfluss	leichte Verschlechterung	leichte Verschlechterung
	2 Verschlechterung (niedrigerer Anteil Wiederverwertung und Recycling)		Maßzahl	4	3	3
	3 leichte Verschlechterung (niedrigerer Anteil Wiederverwertung)		Normiert	0,5	0,333333333	0,333333333
	4 kein Einfluss		d	0,5	0,666666667	0,666666667
	5 leichte Verbesserung (erhöhter Anteil Recycling)		delta	0,017631918	0,023509224	0,023509224
	6 Verbesserung (erhöhter Anteil Wiederverwertung und Recycling)					
	7 Starke Verbesserung (größerer Anteil Wiederverwertung)					
Regulatorische Konformität	Zulassungswahrscheinlichkeit	Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Skala	1 Sehr Gering, nicht absehbar	Lineare Wachstumsfunktion	Ausprägung	Sehr hoch	Mittel	Hoch
	2 Gering, zukünftig absehbar		Maßzahl	5	4	4
	3 Mittel, große Anpassungen notwendig		Normiert	1	0,75	0,75
	4 Hoch, kleine Anpassungen notwendig		d	0	0,25	0,25
	5 Sehr Hoch, bei Markteinführung erreicht		delta	0	0,010314396	0,010314396
Kosten	Kosten	Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Skala	12 0 - 167 €	Lineare Straffungsfunktion	Ausprägung	400	900	1650
	11 167 - 333 €		Maßzahl	10	7	3
	10 333 - 500 €		Normiert	0,818181818	0,545454545	0,181818182
	9 500 - 667 €		d	0,181818182	0,454545455	0,818181818
	8 667 - 833 €		delta	0,006832807	0,017082017	0,030747631
	7 833 - 1000 €					
	6 1000 - 1167 €					
	5 1167 - 1333 €					
	4 1333 - 1500 €					
	3 1500 - 1667 €					
	2 1667 - 1833 €					
	1 1833 - 2000 €					
Preis	Erzielbarer Preis durch Zahlungsbereitschaft	Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Skala	1 0 - 179 €	Lineare Wachstumsfunktion	Ausprägung	0 €	1.170 €	2.232 €
	2 179 - 358 €		Maßzahl	1	7	13
	3 358 - 537 €		Normiert	0	0,333333333	0,666666667
	4 537 - 716 €		d	1	0,666666667	0,333333333
	5 716 - 895 €		delta	0,044015444	0,029343629	0,014671815
	6 895 - 1074 €					
	7 1074 - 1253 €					
	8 1253 - 1432 €					
	9 1432 - 1611 €					
	10 1611 - 1791 €					
	11 1791 - 1970 €					
	12 1970 - 2149 €					
	13 2149 - 2328 €					
	14 2328 - 2507 €					
	15 2507 - 2686 €					
	16 2686 - 2865 €					
	17 2865 - 3044 €					
	18 3044 - 3223 €					
	19 3223 - 3402 €					

Imagewirkung		Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat	
Skala	1 Sehr gering	Lineare Wachstumsfunktion	Ausprägung	2	3,5	5,1	
	2 ...		Maßzahl	2	3,5	5,1	
	3 ...		Normiert	0,166666667	0,416666667	0,683333333	
	4 ...		d	0,833333333	0,583333333	0,316666667	
	5 ...		delta	0,033462033	0,023423423	0,012715573	
	6 ...						
	7 Sehr hoch						
Individuelle Akzeptanz		Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat	
Skala	1 Sehr gering	Lineare Wachstumsfunktion	Ausprägung	5,12	6	5,75	
	2 ...		Maßzahl	5,12	6	5,75	
	3 ...		Normiert	0,686666667	0,833333333	0,791666667	
	4 ...		d	0,313333333	0,166666667	0,208333333	
	5 ...		delta	0,011185291	0,005949623	0,007437029	
	6 ...						
	7 Sehr hoch						
User Experience		Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat	
Skala	1 Sehr schlecht	Lineare Wachstumsfunktion	Ausprägung	4,25	5,25	5,25	
	2 ...		Maßzahl	4,25	5,25	5,25	
	3 ...		Normiert	0,541666667	0,708333333	0,708333333	
	4 ...		d	0,458333333	0,291666667	0,291666667	
	5 ...		delta	0,02029172	0,012912913	0,012912913	
	6 ...						
	7 Sehr gut						
Usability		Zusammengesetzte Usability (Verständlichkeit, Nutzbarkeit, Effektivität und Effizienz)	Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Skala	1 Sehr gering	Lineare Wachstumsfunktion	Ausprägung	3,745	5,62	5,675	
	2 ...		Maßzahl	3,745	5,62	5,675	
	3 ...		Normiert	0,4575	0,77	0,779166667	
	4 ...		d	0,5425	0,23	0,220833333	
	5 ...		delta	0,018385886	0,007794938	0,00748427	
	6 ...						
	7 Sehr hoch						
Anthropometrie		Erreichbarkeit der Anzeigen und Bedienelemente	Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Skala	1 Sehr schlecht	Lineare Wachstumsfunktion	Ausprägung	Sehr gut	Schlecht	Mittel	
	2 ...		Maßzahl	5	2	3	
	3 ...		Normiert	1	0,25	0,5	
	4 ...		d	0	0,75	0,5	
	5 Sehr gut		delta	0	0,011110498	0,007406999	
Komfort		Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat	
Skala	1 Sehr unkomfortable	Lineare Wachstumsfunktion	Ausprägung	4,62	5,62	5,37	
	2 ...		Maßzahl	4,62	5,62	5,37	
	3 ...		Normiert	0,603333333	0,77	0,728333333	
	4 ...		d	0,396666667	0,23	0,271666667	
	5 ...		delta	0,00725476	0,004206541	0,004968596	
	6 ...						
	7 Sehr komfortable						
Vertrauen		Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat	
Skala	1 Sehr geringes Vertrauen	Lineare Wachstumsfunktion	Ausprägung	4,5	5,87	5,37	
	2 ...		Maßzahl	4,5	5,87	5,37	
	3 ...		Normiert	0,583333333	0,811666667	0,728333333	
	4 ...		d	0,416666667	0,188333333	0,271666667	
	5 ...		delta	0,006684235	0,003021274	0,004358121	
	6 ...						
	7 Sehr hohes Vertrauen						
Kontrollempfinden		Subjektives Empfinden	Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Skala	1 Sehr gering	Lineare Wachstumsfunktion	Ausprägung	5,5	5,62	4,62	
	2 ...		Maßzahl	5,5	5,62	4,62	
	3 ...		Normiert	0,75	0,77	0,603333333	
	4 ...		d	0,25	0,23	0,396666667	
	5 ...		delta	0,009958326	0,00916166	0,015800543	
	6 ...						
	7 Sehr hoch						
Leistungsfähigkeit		Subjektives Leistungsempfinden	Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Skala	1 Sehr gering	Lineare Wachstumsfunktion	Ausprägung	3,62	4,62	5	
	2 ...		Maßzahl	3,62	4,62	5	
	3 ...		Normiert	0,436666667	0,603333333	0,666666667	
	4 ...		d	0,563333333	0,396666667	0,333333333	
	5 ...		delta	0,008096644	0,005701187	0,004790913	
	6 ...						
	7 Sehr hoch						
Sicherheit		Schutzwirkung für die Insassen	Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Skala	1 Sehr gering	Lineare Wachstumsfunktion	Ausprägung	Sehr hoch	Gering	Hoch	
	2 Gering		Maßzahl	5	2	4	
	3 Mittel		Normiert	1	0,25	0,75	
	4 Hoch		d	0	0,75	0,25	
	5 Sehr hoch		delta	0	0,026254826	0,008751609	

Technische Kompatibilität	Einsetzbarkeit in weiteren Fahrzeugmodellen	Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Skala	1 Keine weitere Einsetzbarkeit	Steigende Sättigungsfunktion	Ausprägung	20 Modelle	14 Modelle	6 Modelle
	2 Zwei Modelle		Maßzahl	7	6	4
	3 3 - 4 Modelle		Normiert	1	0,833333333	0,5
	4 5 - 7 Modelle		d	0	0,166666667	0,5
	5 8 - 11 Modelle		delta	0	0,002268663	0,00680599
	6 12 - 15 Modelle					
	7 > 16 Modelle					
Materialeinsatz	Gesamtgewicht des Konzepts	Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Skala	9 20 - 20,5 kg	Fallende Sättigungsfunktion mit degressivem Verlauf	Ausprägung	22	24	27
	8 20,5 - 21 kg		Maßzahl	6	4	2
	7 21 - 21,6 kg		Normiert	0,625	0,375	0,125
	6 21,6 - 22,2 kg		d	0,375	0,625	0,875
	5 22,2 - 23 kg		delta	0,005248207	0,008747012	0,012245817
	4 23 - 24 kg					
	3 24 - 25,2 kg					
	2 25,2 - 27 kg					
	1 27 - 30 kg					
Packageeinfluss		Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Skala	7 < 110 Liter	Lineare Straffungsfunktion	Ausprägung	117,5	172	168
	6 110 - 130 Liter		Maßzahl	6	3	4
	5 130 - 150 Liter		Normiert	0,833333333	0,333333333	0,5
	4 150 - 170 Liter		d	0,166666667	0,666666667	0,5
	3 170 - 190 Liter		delta	0,003517531	0,014070125	0,010552593
	2 190 - 210 Liter					
	1 > 210 Liter					
Updatebarkeit		Wachstumsfunktion	A/M/N	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Skala	1 Sehr Gering	Steigende S-Funktion	Ausprägung	3	4	5
	2 Gering (zusätzliche Funktionen ohne Level 4)		Maßzahl	3	4	5
	3 Mittel (Level 4)		Normiert	0,5	0,75	1
	4 Hoch (Level 4 & Funktionserweiterung)		d	0,5	0,25	0
	Sehr hoch (Level 4 & Funktionserweiterung & zusätzliche Funktionalität)					
	5 zusätzliche Funktionalität		delta	0,00672019	0,003360095	0

10.14 Gesamtbewertung der Kriterien

	Baseline	Tilt Seat	Turning Seat
Gesellschaftliche Akzeptanz	1	1	1
Interkulturelle Robustheit	1	0,999300014	1
Inklusivität	0,998872904	1	1
Umweltauswirkung	0,982368082	0,976490776	0,976490776
Regulatorische Konformität	1	0,989685604	0,989685604
Kosten	0,993167193	0,982917983	0,969252369
Preis	0,955984556	0,970656371	0,985328185
Imagewirkung	0,966537967	0,976576577	0,987284427
Individuelle Akzeptanz	0,988814709	0,994050377	0,992562971
User Experience	0,97970828	0,987087087	0,987087087
Usability	0,981614114	0,992205062	0,99251573
Anthropometrie	1	0,988889502	0,992593001
Komfort	0,99274524	0,995793459	0,995031404
Vertrauen	0,993315765	0,996978726	0,995641879
Kontrollempfinden	0,990041674	0,99083834	0,984199457
Leistungsfähigkeit	0,991903356	0,994298813	0,995209087
Sicherheit	1	0,973745174	0,991248391
Technische Kompatibilität	1	0,997731337	0,99319401
Materialeinsatz	0,994751793	0,991252988	0,987754183
Packageeinfluss	0,996482469	0,985929875	0,989447407
Updatebarkeit	0,99327981	0,996639905	1

