

# **Methode zur Technologiebewertung für eine ergebnisorientierte Produktentwicklung**

Von der Fakultät Maschinenbau der Universität Stuttgart  
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Markus Kröll

aus Leverkusen

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. habil. H.-J. Bullinger

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. E. Westkämper

Tag der Einreichung: 31.01.2007

Tag der mündlichen Prüfung: 21.11.2007

# IPA-IAO Forschung und Praxis

Berichte aus dem  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung (IPA), Stuttgart,  
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und  
Organisation (IAO), Stuttgart,  
Institut für Industrielle Fertigung und  
Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart  
und Institut für Arbeitswissenschaft und  
Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper  
und

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. mult. Dr. h.c. mult. Hans-Jörg Bullinger  
und

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath




**I·A·T** Institut  
Arbeitswissenschaft und  
Technologiemanagement  
Universität Stuttgart



**Fraunhofer** Institut  
Arbeitswirtschaft und  
Organisation

Markus Kröll



Methode zur  
Technologiebewertung  
für eine ergebnisorientierte  
Produktentwicklung

Nr. 468

**JOST-JETTER VERLAG**  
Fachverlag · 71296 Heimsheim

Dr.-Ing. Markus Kröll

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. mult. Dr. h.c. mult. Hans-Jörg Bullinger

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, München

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

D 93

ISBN (10) 3-939890-26-X, ISBN (13) 978-3-939890-26-3

Jost Jetter Verlag, Heimsheim

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Jost Jetter Verlag, Heimsheim 2007.

Printed in Germany.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Druck: printsystem GmbH, Heimsheim

## Geleitwort der Herausgeber

Über den Erfolg und das Bestehen von Unternehmen in einer marktwirtschaftlichen Ordnung entscheidet letztendlich der Absatzmarkt. Das bedeutet, möglichst frühzeitig absatzmarktorientierte Anforderungen sowie deren Veränderungen zu erkennen und darauf zu reagieren.

Neue Technologien und Werkstoffe ermöglichen neue Produkte und eröffnen neue Märkte. Die neuen Produktions- und Informationstechnologien verwandeln signifikant und nachhaltig unsere industrielle Arbeitswelt. Politische und gesellschaftliche Veränderungen signalisieren und begleiten dabei einen Wertewandel, der auch in unseren Industriebetrieben deutlichen Niederschlag findet.

Die Aufgaben des Produktionsmanagements sind vielfältiger und anspruchsvoller geworden. Die Integration des europäischen Marktes, die Globalisierung vieler Industrien, die zunehmende Innovationsgeschwindigkeit, die Entwicklung zur Freizeitgesellschaft und die übergreifenden ökologischen und sozialen Probleme, zu deren Lösung die Wirtschaft ihren Beitrag leisten muss, erfordern von den Führungskräften erweiterte Perspektiven und Antworten, die über den Fokus traditionellen Produktionsmanagements deutlich hinausgehen.

Neue Formen der Arbeitsorganisation im indirekten und direkten Bereich sind heute schon feste Bestandteile innovativer Unternehmen. Die Entkopplung der Arbeitszeit von der Betriebszeit, integrierte Planungsansätze sowie der Aufbau dezentraler Strukturen sind nur einige der Konzepte, welche die aktuellen Entwicklungsrichtungen kennzeichnen. Erfreulich ist der Trend, immer mehr den Menschen in den Mittelpunkt der Arbeitsgestaltung zu stellen - die traditionell eher technokratisch akzentuierten Ansätze weichen einer stärkeren Human- und Organisationsorientierung. Qualifizierungsprogramme, Training und andere Formen der Mitarbeiterentwicklung gewinnen als Differenzierungsmerkmal und als Zukunftsinvestition in *Human Resources* an strategischer Bedeutung.

Von wissenschaftlicher Seite muss dieses Bemühen durch die Entwicklung von Methoden und Vorgehensweisen zur systematischen Analyse und Verbesserung des Systems Produktionsbetrieb einschließlich der erforderlichen Dienstleistungsfunktionen unterstützt werden. Die Ingenieure sind hier gefordert, in enger Zusammenarbeit mit anderen Disziplinen, z. B. der Informatik, der Wirtschaftswissenschaften und der Arbeitswissenschaft, Lösungen zu erarbeiten, die den veränderten Randbedingungen Rechnung tragen.

Die von den Herausgebern langjährig geleiteten Institute, das

- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA),
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO),
- Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart,
- Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

arbeiten in grundlegender und angewandter Forschung intensiv an den oben aufgezeigten Entwicklungen mit. Die Ausstattung der Labors und die Qualifikation der Mitarbeiter haben bereits in der Vergangenheit zu Forschungsergebnissen geführt, die für die Praxis von großem Wert waren. Zur Umsetzung gewonnener Erkenntnisse wird die Schriftenreihe „IPA-IAO - Forschung und Praxis“ herausgegeben. Der vorliegende Band setzt diese Reihe fort. Eine Übersicht über bisher erschienene Titel wird am Schluss dieses Buches gegeben.

Dem Verfasser sei für die geleistete Arbeit gedankt, dem Jost Jetter Verlag für die Aufnahme dieser Schriftenreihe in seine Angebotspalette und der Druckerei für saubere und zügige Ausführung. Möge das Buch von der Fachwelt gut aufgenommen werden.

Engelbert Westkämper    Hans-Jörg Bullinger    Dieter Spath

# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner wissenschaftlichen Tätigkeit im Ressort Forschung und Technologie der DaimlerChrysler AG und am Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart sowie am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO).

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. e. h. mult. Dr. h. c. mult. H.-J. Bullinger, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft und ehemaliger Leiter des Instituts für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart und des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), danke ich sehr für die wissenschaftliche Unterstützung und wohlwollende Förderung der Arbeit.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Prof. e. h. Dr.-Ing. e. h. Dr. h. c. mult. E. Westkämper, Leiter des Instituts für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart und Leiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), danke ich für die Übernahme des Mitberichts meiner Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. M. Richter, Leiter des Competence Centers Produktionsmanagement am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, für die inhaltliche Begleitung meiner Arbeit mit wertvollen Diskussionen und konstruktiver Kritik sowie das in mich gesetzte Vertrauen.

Darüber hinaus gilt mein Dank all denjenigen, die mich bei der heutigen Daimler AG während meiner Promotion gefördert haben. Insbesondere möchte ich die Herren Dr.-Ing. Patrick Nohe und Dipl.-Ing. Thomas Thurner an dieser Stelle erwähnen. Auch meinen zahlreichen Diplomandinnen und Diplomanden danke ich für Ihr großes Engagement und ihren Beitrag zum Gelingen der Arbeit.

Ebenso danke ich meiner Familie und meinem Freundeskreis für alles, was mich in meinem Denken und Handeln bestärkt und somit zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat. T., Danke für die schöne Zeit.

Stuttgart, im November 2007

Markus Kröll





<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>11</b>
1.1	Konkretisierung und Abgrenzung der Problemstellung.....	13
1.2	Zielsetzung und Aufbau der Arbeit.....	19
<b>2</b>	<b>State-of-the-art</b> .....	<b>23</b>
2.1	Zusammenhang von Technologie, Technik und Produkt.....	23
2.2	Abgrenzungs- und Unterscheidungsmerkmale von Technologien.....	27
2.3	Beschreibungsmerkmale von Technologien .....	31
2.4	Ziele und Nutzen der Technologieentstehung und -bewertung.....	34
2.5	Relevante Ansätze und Methoden im Umfeld der Technologieentstehung	37
2.5.1	Allgemeine Methoden der Technologiebewertung .....	39
2.5.2	Spezielle Methoden der Technologiebewertung.....	44
2.6	Defizite und Schwachstellen bisheriger Methoden und abgeleiteter Handlungsbedarf .....	49
2.7	Weitere relevante Bestandteile, Methoden und Verfahren zur Umsetzung einer Technologiebewertung.....	54
2.7.1	Quality Function Deployment .....	55
2.7.2	Bewertungskriterien als finale Zielgrößen .....	56
2.7.3	Umgang mit Unsicherheiten in der Bewertung .....	59
2.7.4	Transformationsfunktion.....	65
2.7.5	Monte Carlo Simulation (MCS).....	67
<b>3</b>	<b>Darstellung des Lösungskonzepts zur Technologiebewertung</b> .....	<b>69</b>
<b>4</b>	<b>Aufbau und Darstellung eines geeigneten Technologiemodells</b> .....	<b>72</b>
4.1	Abgrenzung Technologie- und Produktmodell.....	72
4.2	Übersicht zur Modellierung von EE-Technologien.....	72
4.3	Generierung alternativer Technologieverbünde.....	76
4.3.1	Abbildung von Fahrzeugfunktionen .....	77
4.3.2	Auswahl von Technologieelementen.....	82
4.3.3	<i>House of Technology</i> (HOT) als Vernetzungssystematik .....	85
<b>5</b>	<b>Methode zur Technologiebewertung</b> .....	<b>90</b>
5.1	Vorgehensweise der Bewertung.....	90
5.2	Definition von Bewertungskriterien und Zuordnung von Beschreibungsmerkmalen .....	93

5.2.1	Kosten .....	94
5.2.2	Qualität .....	96
5.2.3	Flexibilität .....	98
5.2.4	Technologischer Reifegrad.....	100
5.3	Chancen- und Risikobewertung der Einzelkriterien durch Wahrscheinlichkeitsaussagen.....	103
5.4	Aggregationssystematik.....	107
5.4.1	Normierung durch Transformationsfunktionen .....	107
5.4.2	Aggregation der Einzelkriterien mittels Monte Carlo Simulation....	120
5.4.3	Darstellung eines Gesamtbewertungsergebnisses .....	121
5.5	Chancen-Risiko-Aussage des Gesamtbewertungsergebnisses .....	123
<b>6</b>	<b>Validierung der Methode .....</b>	<b>124</b>
6.1	Beschreibung des industriellen Umfelds.....	124
6.1.1	Wichtige Bausteine eines Fensterhebermoduls .....	124
6.1.2	Erstellung des House of Technology (HOT).....	127
6.1.3	Auswahl einer Wahrscheinlichkeitsverteilung.....	130
6.1.4	Auswahl einer Transformationsfunktion .....	131
6.1.5	Berechnung des Gesamtergebnisses im HOT .....	133
6.2	Darstellung und Interpretation der Ergebnisse des Methodeneinsatzes..	134
6.3	Übertragbarkeit der Methode .....	139
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>140</b>
<b>8</b>	<b>Summary / Abstract .....</b>	<b>144</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>150</b>
<b>10</b>	<b>Abkürzungs- und Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>167</b>
10.1	Abkürzungsverzeichnis.....	167
10.2	Abbildungsverzeichnis .....	169
<b>11</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>172</b>
11.1	Weitere Transformationsfunktionen .....	172
11.2	Bewertungstabellen der finalen Zielgrößen.....	177
11.3	Datentabellen für Technologieelemente des Fensterhebers.....	180
11.4	Ergebnisse der Monte Carlo Simulation.....	187

## 1 Einleitung

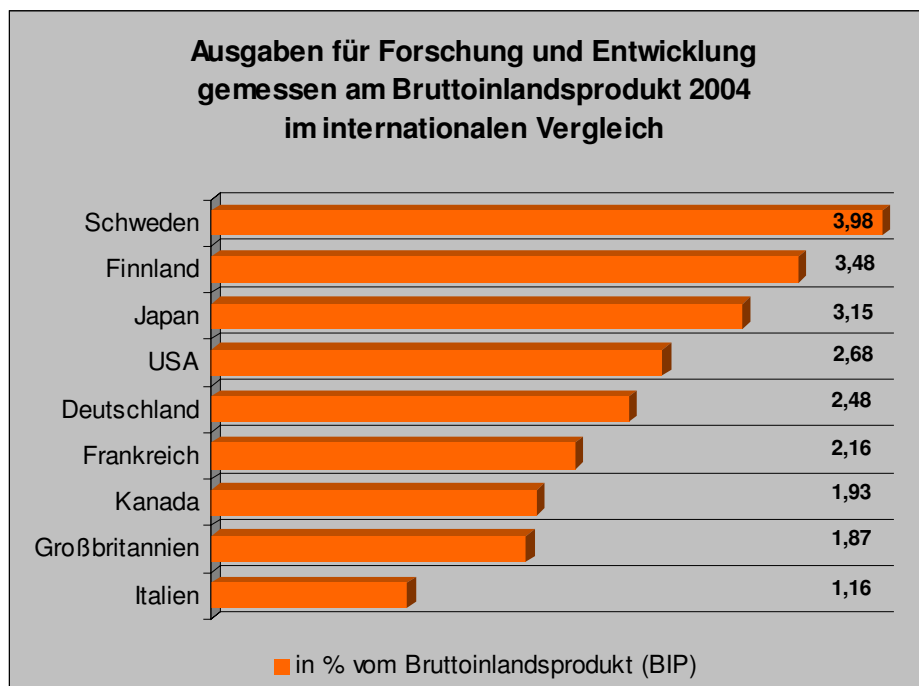
Die aktuelle Situation von Unternehmen ist gekennzeichnet durch sich permanent verkürzende Innovationszyklen bei gleichzeitigem Kostendruck sowie durch die Forderung nach qualitativ hochwertigen, marktgerechten Produkten. Das Verhalten der Märkte wird komplexer, dynamischer und turbulenter. Dieser Effekt wird insbesondere durch eine zunehmende Globalisierung und Liberalisierung der Weltmärkte weiter verstärkt, wodurch einerseits der technologische Wandel beschleunigt wird und andererseits der Wettbewerbsdruck erheblich ansteigt [BMWi99], [Bul03b], [Wes05a].

Die zunehmende Globalisierung und Öffnung der Märkte hat in vielen Branchen zu einem enormen Wettbewerbsdruck geführt. Wer im internationalen Wettbewerb bestehen will, muss die zur Verfügung stehenden Ressourcen optimal einsetzen. In der Folge resultiert ein hoher Bedarf an technologischen Innovationen, was für Unternehmen in erster Linie zu einem Rennen um die Technologieführerschaft wird, um somit auch neue Märkte besetzen zu können [VDI06]. Somit müssen immer mehr Bereiche eines Industrieunternehmens einen Beitrag zur Technologieführerschaft leisten. Wettbewerb wird also immer mehr ein Wettbewerb der Technologien. Wettbewerbsfähigkeit erfordert überlegene Problemlösungen, die auf zukunftssträchtigen Produkten mit technologischem und qualitativem Vorsprung beruhen [Bar05].

Neue Technologien sind auf vielfache Weise in der Lage, den Wettbewerb zu verändern. Der Einsatz neuer Technologien ist differenzierungs- und/oder kostenrelevant, da sie die Faktoren der Einmaligkeit sowie die Antriebskräfte für Kosten beeinflussen. Die technologischen Kompetenzen von Unternehmen stellen die nachhaltigsten Ursachen für langfristige Erfolgspositionen dar und können auf diese Weise einen zusätzlichen Wettbewerbsvorteil verschaffen [Fra00], [Wes04]. Entscheidende Wettbewerbsvorteile werden in Zukunft nicht mehr allein durch den Wert, die Qualität oder das Prestige „physischer“ Produkte erzielt. Vielmehr wird die Funktionalität der Produkte bzw. der Gesamtnutzen, den diese für den Kunden erbringen, an Bedeutung gewinnen [Bul98].

Vor diesem Hintergrund muss jedes Unternehmen Entscheidungen darüber treffen, welche Technologien wann und wie zum Einsatz kommen [Hie96]. Mit der Verankerung einer systematischen Technologieanalyse und –auswahl in der Organisation eines Unternehmens können diese Entscheidungsprozesse in den frühen Phasen der Produktentwicklung zu einer fundierten Technologieentscheidung führen. Zentrales Element ist dabei die Technologiebewertung. Unternehmen sind zur besseren Vorbereitung ihrer Entscheidungen, insbesondere zur Strukturierung der vielfältigen Informationen, zunehmend auf derart effiziente und integrierte Instrumente angewiesen. Eine solche Analyse, Bewertung, Auswahl und bedarfsgerechte Adaption von Technologien als Bestandteil eines umfassenden Technologiemanagements sowie deren wirtschaftlicher Einsatz fördert die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen und hilft sich von Wettbewerbern zu differenzieren [Tsc98]. Schließlich bestimmt die Marktposition über Umsatzzahlen und Gewinne und damit langfristig die Existenz des Unternehmens.

Bei den Ausgaben für Forschung und Entwicklung (F&E) liegt Deutschland nur im Mittelfeld (vgl. Abb. 1-1). Im internationalen Wettbewerb sind Unternehmen umso erfolgreicher, je mehr neue Technologien entwickelt und je schneller und effizienter sie in neue marktfähige Produkte und Dienstleistungen umgesetzt werden [BMW99].



**Abb. 1-1: Gesamtwirtschaftliche F&E-Intensität [BMBF06]**

Aufgrund des wachsenden Drucks sind die Unternehmen gefordert, ihre Innovationsfähigkeit und damit ihre Technologieführerschaft weiter zu verbessern. Unternehmen, die frühzeitig neue Technologien anwenden, haben Vorteile gegenüber anderen Nachfolgern [Spa04]. Dies gilt umso mehr, je schneller neue Produkte entwickelt und produziert werden und auf den globalen Märkten kurzfristig angeboten werden [Wes05b], [Alt07].

## 1.1 Konkretisierung und Abgrenzung der Problemstellung

Zur Konkretisierung der Problemstellung werden Marktsituation, Komplexitätsproblematik und Wirtschaftlichkeitsziele am Beispiel von Kfz-EE-Systemen diskutiert.

### **Marktsituation**

Ein Beispiel der historischen Entwicklung auf dem Markt für Rechneranlagen belegt, dass diejenigen Unternehmen vom Markt verdrängt wurden, die das Potential der elektronischen Technologie unterschätzten [Zah92]. Bei solchen Unternehmen besteht die Gefahr, wichtige Innovations- und Wertschöpfungspotentiale nicht rechtzeitig zu erkennen und für sich zu nutzen. Auch zukünftig werden die überwiegende Anzahl von Innovationen ohne Elektronik sowie dazugehöriger Software nicht realisierbar sein, wodurch deren Bedeutung bezüglich der Wettbewerbsfähigkeit steigt [Eve98]. Der Innovationsgrad im Elektrik/Elektronik-Umfeld ist nach wie vor sehr hoch und zwingt die entwickelnden Unternehmen zu stetigen Bemühungen im Wettbewerb um die Technologieführerschaft. Des Weiteren ist eine Adaption von Technologien für den spezifischen Einsatz eines serienreifen und marktfähigen Produkts zwingend erforderlich. Eine erfolgreiche Umsetzung von Innovationen und Technologien ist für die Innovationsproduktivität, d. h. dem Umsatz aus neuen Produkten je Entwickler, ausschlaggebend [Klu99].

In Fahrzeugen haben schon in der Vergangenheit Elektrik-Elektronik-Systeme die Entwicklung der Automobile insbesondere im Hinblick auf Sicherheits- und Komfortaspekte entscheidend beeinflusst. Airbag und Antiblockiersystem (ABS) sind nur zwei typische Vertreter [Kuh00].

Die wachsende Forderung nach 'intelligenten Produkten' führt zu einer Verlagerung von immer mehr Funktionen komplexer Produkte in elektrisch-elektronische Systeme und Komponenten. Derartige Systeme bestehen aus Hardware und Software-Anteilen sowie einer Komponente zu deren Vernetzung. Bei der Elektrik-Elektronik-Technologie handelt es sich demnach nicht mehr um eine versteckte Technologie, sondern sie rückt durch neue Funktionalitäten in den Blickpunkt des Kunden und bietet dadurch die Chance zur entscheidenden Wettbewerbsdifferenzierung.

Keine andere Technologie ist wie die Elektrik/Elektronik geeignet, künftige Kundenerwartungen an das Kraftfahrzeug zu erfüllen. Im modernen Kraftfahrzeug sind nahezu alle Funktionen mit elektronischen Steuerungen verknüpft. Funktionen werden durch Elektronik verbessert, oft sogar erst ermöglicht. Dadurch ist die Elektrik/Elektronik zur Schlüsseltechnologie im Kraftfahrzeug aufgestiegen [Gau97]. Schon heute werden 90% der Innovationen im Fahrzeug durch Elektronik geprägt, davon allein 80% im Bereich der Software [Sch99]. Automobile Visionen von übermorgen lassen sich erst durch Elektrik/Elektronik-Technologien realisieren [Gau97].

### **Komplexitätsproblematik**

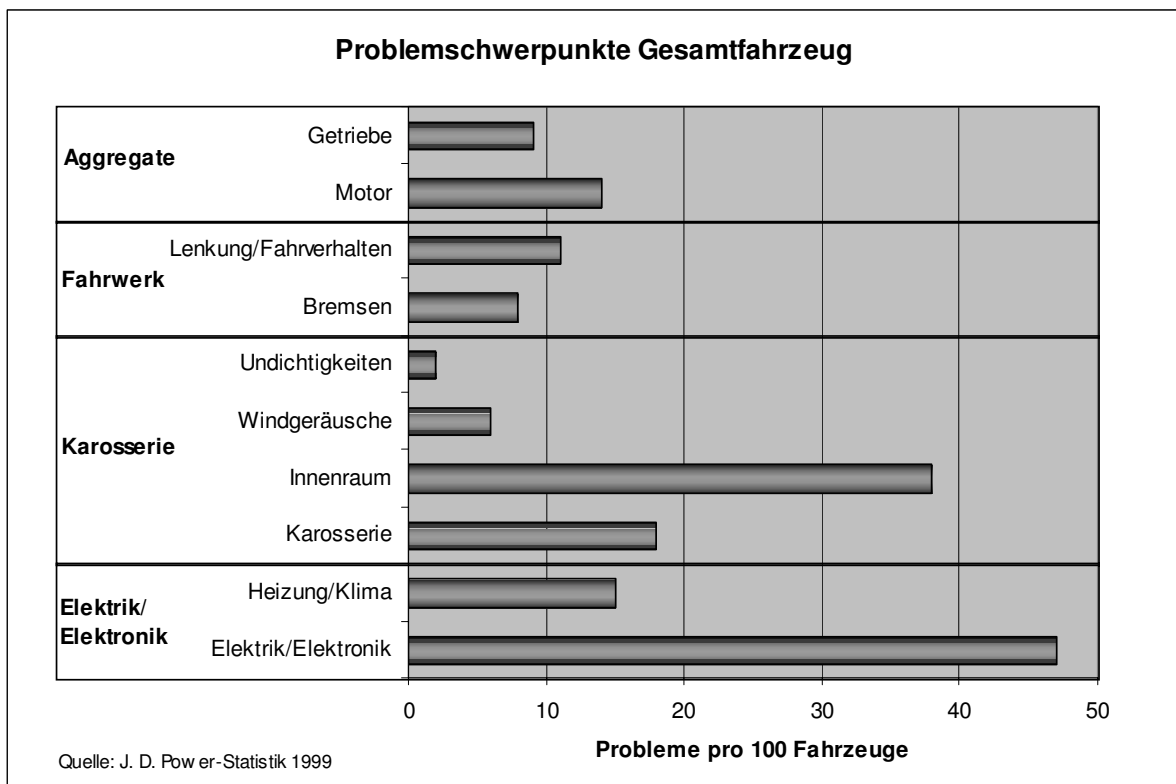
Zuvor wurde bereits dargestellt, dass neue Fahrzeugfunktionen oft durch Einsatz elektrisch-elektronischer Komponenten bzw. Systeme realisiert werden, wodurch die zunehmende Komplexität ebenfalls in die Elektrik/Elektronik verlagert wird [Cer98].

Darüber hinaus wirft eine derartige Verlagerung der Funktionalitäten in Elektrik-Elektronik-Systeme weitere Konsequenzen auf [Krö01]. Zur Erfüllung der Kundenerwartungen muss die richtige Technologie ausgewählt und appliziert werden [Gau97], [Kre99], [Gau06]. Das entstehende Variantenproblem wird dadurch entschärft, dass Hardware-Varianten immer mehr durch Software-Varianten ersetzt werden [Ble94]. Somit wird die Funktionalität solcher Elektrik-Elektronik-Systeme immer stärker in die Software verlagert. Der Vorteil stellt sich vorwiegend in der mit einer variablen Funktionalität einhergehenden höheren Flexibilität dar.

Software ist neben den Hardware-Komponenten also ein wesentlicher Bestandteil von Elektrik-Elektronik-Systemen und spielt eine entscheidende Rolle [Sch99]. Zudem ist die Innovationsgeschwindigkeit von Software und damit auch von Elektrik-Elektronik-Systemen im Vergleich zu anderen Kfz-Systemen bedeutend höher. Infolgedessen ist ein kurzer ergebnisorientierter Produktentwicklungsprozess

erforderlich, um den Innovationsvorsprung vor den Wettbewerbern effizient zu nutzen [Noh99]. Demzufolge müssen möglichst kurze Entwicklungszeiten realisiert werden.

Gleichzeitig stellt die Elektrik/Elektronik auch die häufigste Problemursache dar, wie die Statistik einer J. D. Power Untersuchung (vgl. Abb. 1-2) hinsichtlich der auftretenden Probleme beim Gesamtfahrzeug belegt. In weiteren Untersuchungen [Sch99], [DCX00a], [Fis01] wurde festgestellt, dass die Beanstandungen nach Serienanlauf zunächst dramatisch ansteigen, bevor sich die Reklamationen auf ein deutlich niedrigeres Niveau einpendeln. Als Gründe können kürzere Modellzyklen durch steigenden Konkurrenzdruck und die deshalb oft verfrühte Markteinführung der Neufahrzeuge angeführt werden. So werden relativ kurz vor Markteintritt Entscheidungen über neue Funktionen getroffen, wobei das Risiko zum Entscheidungszeitpunkt meist unterschätzt wird. Eine Verbesserung lässt sich erzielen, wenn der Reifegrad der einzusetzenden Technologie zu diesem Zeitpunkt messbar wäre.



**Abb. 1-2: Problemschwerpunkte Gesamtfahrzeug**

Darüber hinaus ist zu erkennen, dass die Elektrik/Elektronik-Probleme mit jeder Fahrzeuggeneration stetig wachsen. Dies kann u. a. auf die steigende Komplexität der EE-Systeme durch wachsenden Ausstattungsumfang zurückgeführt werden.

Bislang ist es offensichtlich nicht gelungen, die Entwicklung von innovativen EE-Systemen so in den Griff zu bekommen, dass zuverlässig eine 100% fehlerfreie Produkteinführung erfolgen kann. Als Folge mangelnder Serienreife von Elektrik/Elektronik-Technologien zu Beginn des Einsatzes resultieren hohe Garantie- und Kulanzkosten.

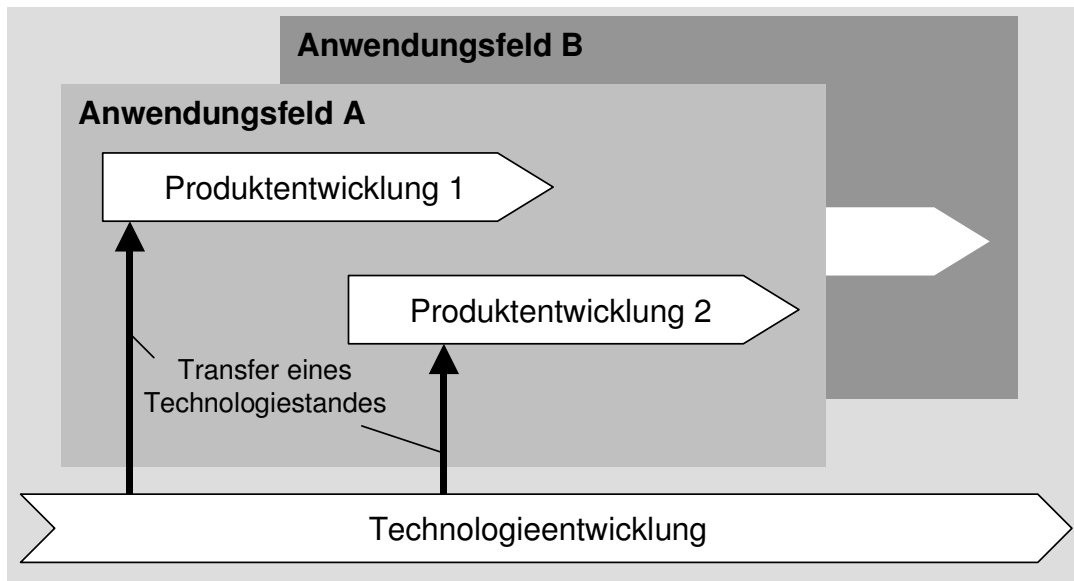
### **Wirtschaftlichkeitsziele**

Der Verdrängungswettbewerb auf dem Automobilmarkt hat bei allen Kfz-Herstellern dazu geführt, dass neue Produktansätze in erster Linie auch daran gemessen werden, ob sie ein Potential bieten, um Kosten einzusparen. Zusätzliche Elektronikfunktionen werden nur dann realisiert, wenn das Verhältnis von Kundennutzen zu Unternehmensaufwand relativ hoch ist [Ble94]. Damit ein Kunde bereit ist, für die zusätzliche Funktion Geld auszugeben, muss diese ihm einen deutlichen Mehrwert und ein attraktives Preis-Leistungsverhältnis bieten.

### **Fazit**

Unternehmen im Innovationswettbewerb müssen vor allem in den frühen Phasen der Produktentstehung Optimierungspotentiale möglichst vollständig ausschöpfen. Hier ist der Einfluss neuer Technologien auf das Produkt selbst sowie auf den weiteren Produktentstehungsprozess besonders hoch. Der Gesamtaufwand zur Bereitstellung qualitativ hochwertiger, marktgerechter Produkte lässt sich somit maßgeblich durch eine zielgerichtete Entwicklung in den frühen Phasen reduzieren. Die Technologieentwicklung erfolgt weitgehend unabhängig von der Produktentwicklung. Während der Phase der Produktentwicklung werden zur Erfüllung einzelner Produktfunktionen bestimmte vorhandene Technologien eingesetzt [Tsc98]. Dazu ist der aktuelle Stand der Technologieentwicklung in den Prozess der jeweiligen Produktentwicklung zu überführen (vgl. Abb. 1-3).





**Abb. 1-3: Zusammenhang von Technologie- und Produktentwicklung**

Die zu diesem Zeitpunkt existierende Technologie wird stetig weiterentwickelt und fließt entsprechend in neue Produktentwicklungen ein. Darüber hinaus ermöglicht die kontinuierliche Weiterentwicklung eine Erschließung neuer Anwendungsfelder.

Heutige Entwicklungsprozesse sind unter der Randbedingung einer hohen Innovationsdynamik der Märkte gefordert, Optimierungspotentiale in einem ganzheitlichen Konzept zu erschließen. Funktions-, Qualitäts- und Kostenmerkmale eines Produktes werden hierbei schon früh in einem Anforderungskatalog festgelegt, was jedoch ohne fundierte Kenntnisse des Marktes sowie ohne ausreichendes Wissen über einzusetzende Technologien und deren Zusammenwirken riskant und mit Unsicherheiten behaftet ist. Häufig führt dies zu kostenintensiven Änderungsaufwänden, einem verspäteten Markteintritt oder sogar zu am Markt vorbei entwickelten Produkten [Bul97].

Daher besteht ein großer Bedarf darin, im Rahmen einer Produktplanung eine Beurteilung innovativer Elektrik-Elektronik-Technologiealternativen vorzunehmen. Aufgrund der permanent steigenden Anforderungen an kurzen, ergebnisorientierten Entwicklungsprozessen ist einerseits die Serientauglichkeit einer Technologie vor ihrem Einsatz zu gewährleisten und andererseits mit einer höchstmöglichen

Gewissheit der Technologietransfer für einen zuverlässigen Einsatz in einem Produktvorhaben sicherzustellen.

Eine intensive Beobachtung und regelmäßige Analyse des relevanten Technologiemarktes ist also unerlässlich, um ein frühes Erkennen von Potentialen aktueller Technologien sicherzustellen. Demzufolge ist eine Bewertung verfügbarer Technologiealternativen durchzuführen, inwieweit mit deren Transfer in Produktentwicklungen für einen Einsatz in EE-Systemen Erfolgspotentiale bzw. Risiken für das jeweilige Unternehmen verbunden sein können.

Das Technologiemanagement bzw. die Technologiebewertung hat aufgrund der aufgezeigten Veränderungen in den letzten 5 bis 10 Jahren einen anderen, bedeutenderen Stellenwert erlangt. Heute verfügen Unternehmen über stark formalisierte und technisierte Entwicklungsprozesse bei immer kürzer werdenden Entwicklungszeiten, wodurch ein systematischer, durchgängiger Prozess benötigt wird, um Technologiealternativen abzubilden und anschließend zu bewerten. Daher ist ein methodisches und integriertes Konzept zu entwickeln, das zwecks einfacher Handhabung rechnergestützt anwendbar ist. Die Beschreibung der Technologiealternativen muss modell-basiert in einem Technologiemoell erfolgen, damit zum einen eine einheitliche Darstellung sowie objektive Vergleichbarkeit und zum anderen eine spätere Reproduzierbarkeit, Wiederverwendung und Ergänzung weiterer Alternativen bei einem technologischen Fortschritt gegeben ist. Gleichzeitig unterstützt ein Technologiemoell die Bewältigung der beschriebenen Komplexitätsproblematik.

Technologiemoelle ermöglichen eine strukturierte Bewertung, bei der sowohl qualitative als auch quantitative Größen als Bewertungsart berücksichtigt werden können. Die Bewertungskriterien sind so zu wählen, dass eine Entscheidung für eine Alternative alle notwendigen Kriterien mit der Bewertungsausrichtung auf einen Unternehmens- und Kundennutzen einbezieht.

Zum Zeitpunkt der Bewertung werden die Daten zu den Technologiealternativen nicht vollständig vorliegen und mit Unsicherheiten behaftet sein. Ein Bewertungsverfahren muss dem Rechnung tragen, z. B. durch wahrscheinlichkeitstheoretische Ansätze.

## 1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

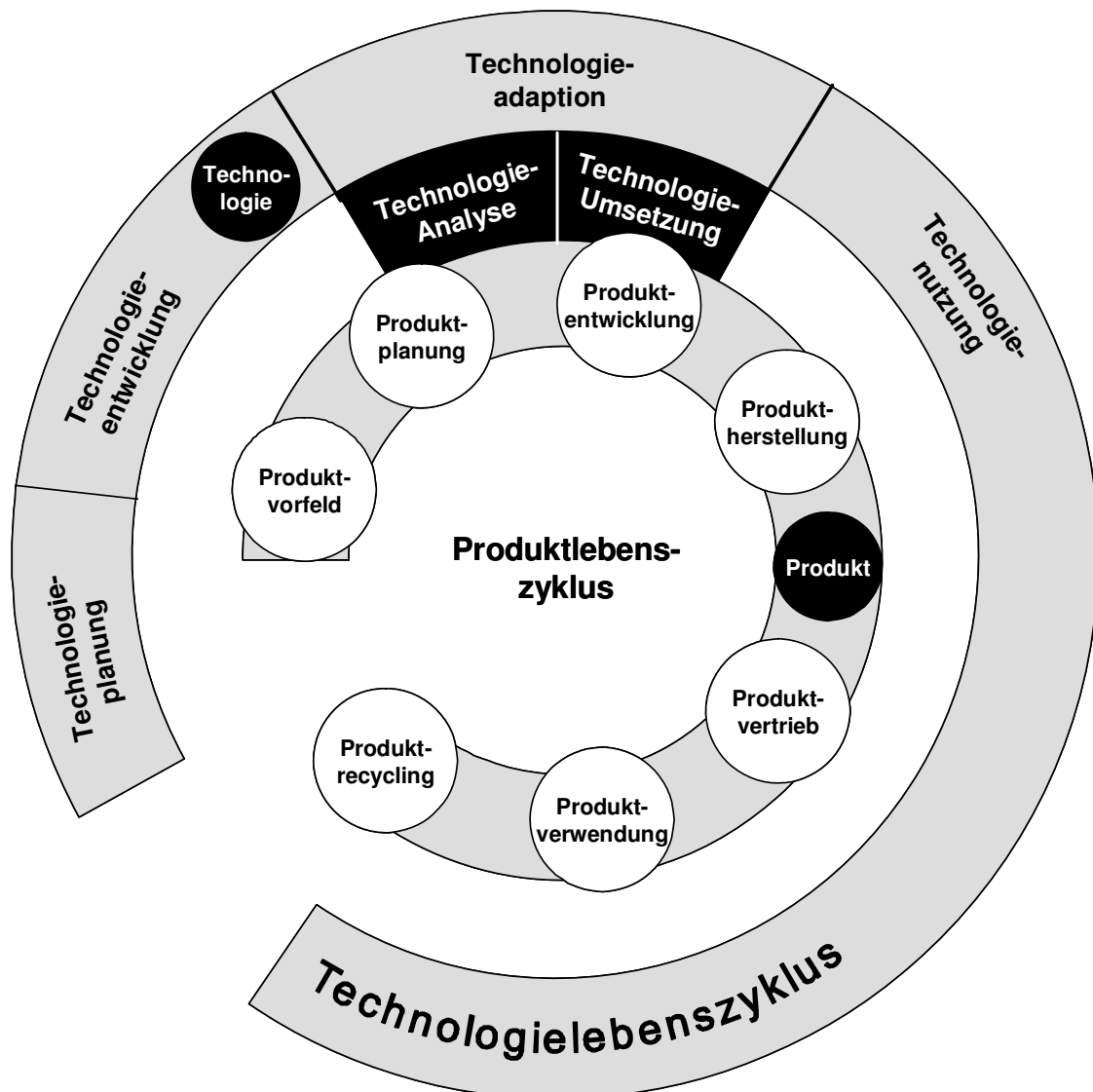
Vor dem Hintergrund der dargestellten Problemstellung soll im Rahmen der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit eine Methode zur Technologiebewertung für Elektrik-Elektronik-Systeme entwickelt werden, die einen Beitrag zur Gestaltung einer ergebnisorientierten Serienentwicklung bereits in frühen Produktentstehungsphasen leisten soll.

Das Verfahren soll als Bestandteil einer durchgängigen und ganzheitlichen Planung eines Technologieeinsatzes schon im Vorfeld einer späteren Serienentwicklung eingesetzt werden. Das methodische Konzept soll sich auf die Leitgedanken eines systematischen Technologiemanagements [Bul94], [Spu98], [Tsc98], [Bro99] mit Anknüpfung an die integrierte Produktentwicklung stützen und die Umsetzung einer Technologieentscheidung [Tsc98], [Bro99] und des dazugehörigen Transfers [Spu98] fördern. Die wissenschaftlichen Ausführungen sollen sich auf die zwei Aufgabenfelder zwischen Technologie- und Produktlebenszyklus beschränken (vgl. Abb. 1-4).

In dem Aufgabenfeld *Technologieanalyse* ist zu überprüfen, ob ein Einsatz der zur Verfügung stehenden Technologien unter Berücksichtigung der damit verbundenen Potentiale, Chancen und Risiken adäquat erscheint. Dazu erweist sich eine Entscheidungsunterstützung bei der Bewertung und Auswahl bereitgestellter Technologiealternativen als geeignet. Hierfür sind technische, organisatorische und wirtschaftliche Aspekte in einer formal strukturierten Beschreibung zu erfassen und anschließend unter Berücksichtigung wechselseitiger Relationen gesamtheitlich zu beurteilen. Darunter ist eine Aussage zu verstehen, die eine umfassende Auskunft über die Tauglichkeit der Technologie hinsichtlich ihrer Anwendung in einem serienreifen Produkt gibt, wobei einerseits der Unternehmensnutzen und andererseits der Kundennutzen maßgeblich sind. Die so generierte Vorgehensweise kann zu konkreten Auswahl- und Entscheidungsprozessen innovativer Produktentwicklungsvorhaben herangezogen werden.

Anschließend ist bei der *Technologieumsetzung* die erfolgreiche Realisierung der Technologieanwendung bei der Serienentwicklung durch ein systematisches Technologietransfermanagement abzusichern. Dieses bildet den organisatorischen Handlungsrahmen für die systematische Überführung der ausgewählten Technologie

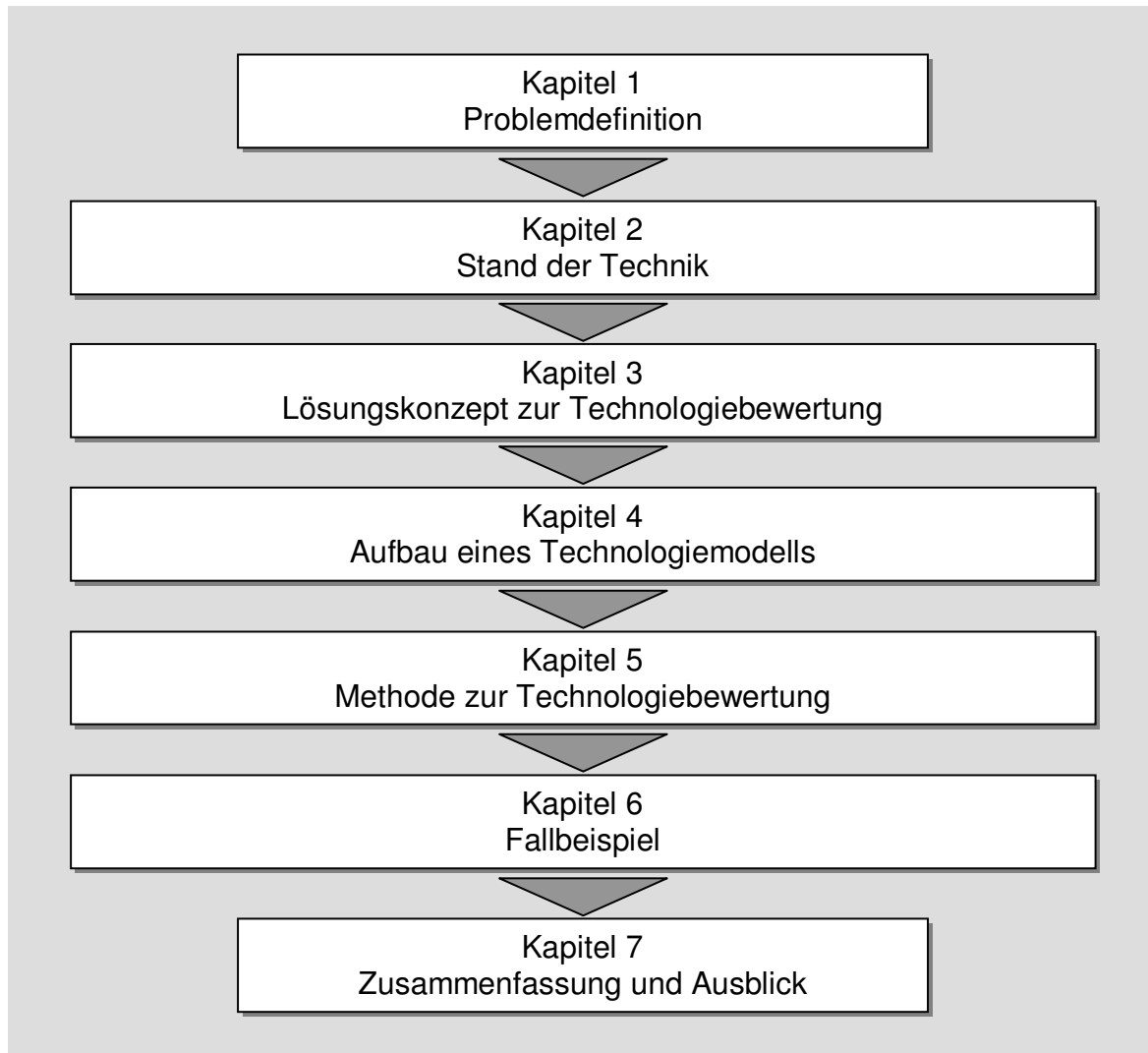
in einen bestehenden Produktentwicklungsprozess. Weiterhin eröffnet ein solches Konzept Potentiale zur Reduktion von Innovationszeiten.



**Abb. 1-4: Erweiterter Technologielebenszyklus**

Die vorliegende Arbeit ist dabei entsprechend Abb. 1-5 strukturiert. Zunächst wurde innerhalb der Einleitung eine Abgrenzung der Problemstellung sowie eine Darstellung der Zielsetzung vorgenommen. Als nächstes wird im folgenden Kapitel 2 der aktuelle Stand der Technik zum Technologiemanagement, insbesondere hinsichtlich der verfügbaren Bewertungsansätze von Technologien, dargestellt und deren Defizite aufgezeigt.

Der herausgearbeitete wissenschaftliche Handlungsbedarf ist Grundlage für das in Kapitel 3 darzustellende Gesamtkonzept für die zu erarbeitende Methode zur Technologiebewertung.



**Abb. 1-5: Aufbau der Arbeit**

Kapitel 4 stellt das zu erarbeitende Technologiemo­dell für Elektrik-Elektronik (EE) – Systeme als Grundlage für eine folgende Bewertung vor. Hierfür werden die notwendigen technologischen Merkmale eines solchen EE-Systems beschrieben. In einem zweistufigen Beschreibungsmodell sollen eine technologieneutrale Funktionsebene und eine technologiespezifische Realisierungsebene logisch miteinander verknüpft werden.

In Kapitel 5 wird eine Methode entwickelt, die auf Basis des vorgestellten Technologiemo­dells für EE-Systeme eine Technologiebewertung für eine ergebnisorientierte Serienentwicklung unterstützt. Dabei ist unter Berücksichtigung von Unternehmensnutzen und Kundennutzen eine Beurteilung des Technologiereifegrades für den Einsatz in einem serienreifen und marktfähigen Produkt vorzunehmen.

Im Rahmen einer Validierung soll in Kapitel 6 die Anwendbarkeit der Methode an einem Praxisbeispiel aus dem Elektrik-Elektronik-Umfeld im Automobilbau vorgenommen und nachgewiesen werden.

Abschließend werden in Kapitel 7 die Ergebnisse der entwickelten Methode sowie Möglichkeiten zukünftiger Weiterentwicklungen zusammengefasst.

## 2 State-of-the-art

Zur Einführung in die ‚State-of-the-art‘-Analyse ist eine Begriffs- und Betrachtungsabgrenzung in Hinblick auf bestehende Lösungsansätze im Umfeld der industriellen Technologie- und Produktentwicklung notwendig. Dabei stehen Bewertungsansätze im Bereich der Technologieentstehung im Vordergrund. Bewertungsmethoden stellen Handlungsanweisungen für Bewertungsvorgänge dar, die das Ziel verfolgen, den Anwender bei der Entscheidungsfindung zu unterstützen oder gefällte Entscheidungen nachvollziehbar zu dokumentieren [Len94]. Darüber hinaus wird ein Überblick über etablierte Methoden zur Beschreibung und Bewertung von Technologien gegeben.

Schließlich werden die verschiedenen Ansätze auf ihre Anwendbarkeit und ihren Beitrag hinsichtlich einer ergebnisorientierten Serienentwicklung unter Berücksichtigung der vorgegebenen Zielsetzung überprüft.

### 2.1 Zusammenhang von Technologie, Technik und Produkt

Die Definition und inhaltliche Abgrenzung des Technologiebegriffs ist in der Literatur umstritten [Cle92]. Eine einheitliche Verwendung findet weder für den Technologie- noch für den Technikbegriff statt [Bul94]. Im allgemeinen Sprachgebrauch findet häufig eine Vermischung der Begriffe statt, so dass nicht immer eindeutig klar ist, welcher sinngemäß gemeint ist. Daher sollen nachfolgend die eng miteinander verwandten Begriffe Technologie, Technik und Produkt präzisiert werden.

Formal können Technologien als anwendungsbezogene jedoch allgemeingültige Aussagen über naturwissenschaftlich-technische Ziel-Mittel-Relationen betrachtet werden, d. h. Technologien sind Vorschriften über die Bereitstellung von Mitteln, mit denen eine bestimmte Wirkung erzielt werden soll [Bul94], [Cle92].

Unter Technologie können gemäß [Bul94], [Cle92], [Pel99], [Rau91], [Whi88], [Bro99] folgende Aussagen verstanden werden:

- Wissen um naturwissenschaftlich-technische Zusammenhänge, sofern es Anwendung bei der Lösung technischer Probleme findet, verbunden mit betriebswirtschaftlichen, organisatorischen, sozialen, politischen und gesellschaftlichen Zusammenhängen
- Kenntnisse und Fertigkeiten zur Lösung technischer Probleme
- Ressourcen, die dazu dienen, naturwissenschaftliche Erkenntnisse praktisch umzusetzen

Demnach ist Technologie auch die abstrakte Existenz technischer Objekte in Form von Modellen, Operationen und Verfahren mit abstrakten technischen Funktionsprinzipien [Rau91].

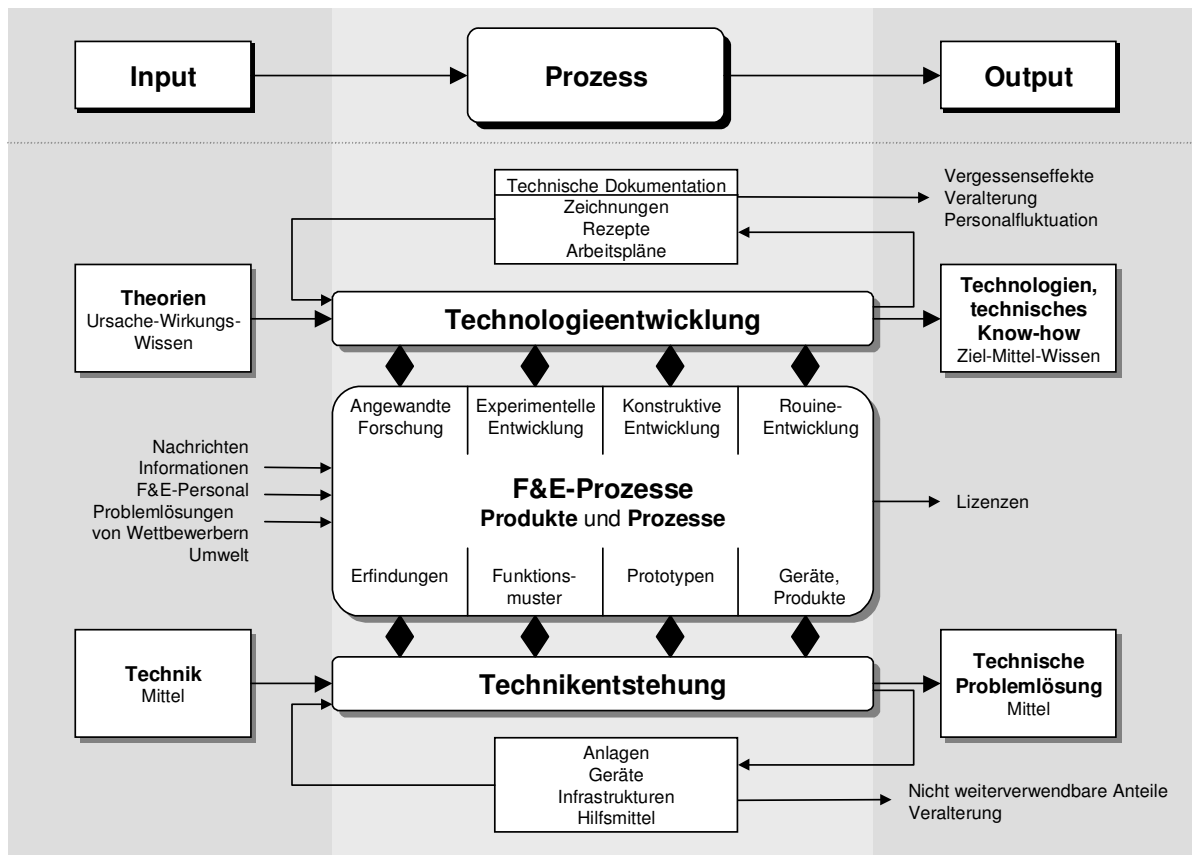
Für den Begriff Technik ergeben sich folgende Erläuterungen:

- Materielles Ergebnis eines Problemlösungsprozesses sowie die dazugehörige Herstellung und ihren Einsatz
- Realisierte Produkte, Betriebsmittel, Materialien, Transformationsprozesse und –verfahren spiegeln die materialisierte Form wider

Somit ist Technik die konkrete Existenz und Instrumentalisierung technischer Objekte [Rau91].

Die inhaltliche Abgrenzung der Begriffe macht deutlich, dass unter Technologie das Wissen über Lösungswege zur technischen Problemlösung zu verstehen ist. Darunter kann eine Wissensbasis oder verfügbares Know-how verstanden werden, das den Input für einen Problemlösungsprozess unter Anwendung der Technologie darstellt und dessen Ergebnis bzw. Output eine Problemlösung in den aufgeführten Formen ist (vgl. Abb. 2-1) [Bul94]. Während Technologie auf eine fortschreitende Veränderung deutet, also prozessbezogen zu verstehen ist, beinhaltet Technik mehr einen Zustand oder die Gesamtheit des technologischen Wissens [Spu98]. Eine zielädaquate Auswahl von Techniken kann als Implementierung von Technologien verstanden werden [Bro99].





**Abb. 2-1: Vernetzung der Technologie-, Technik- und Produktentstehung, nach [Ewa89]**

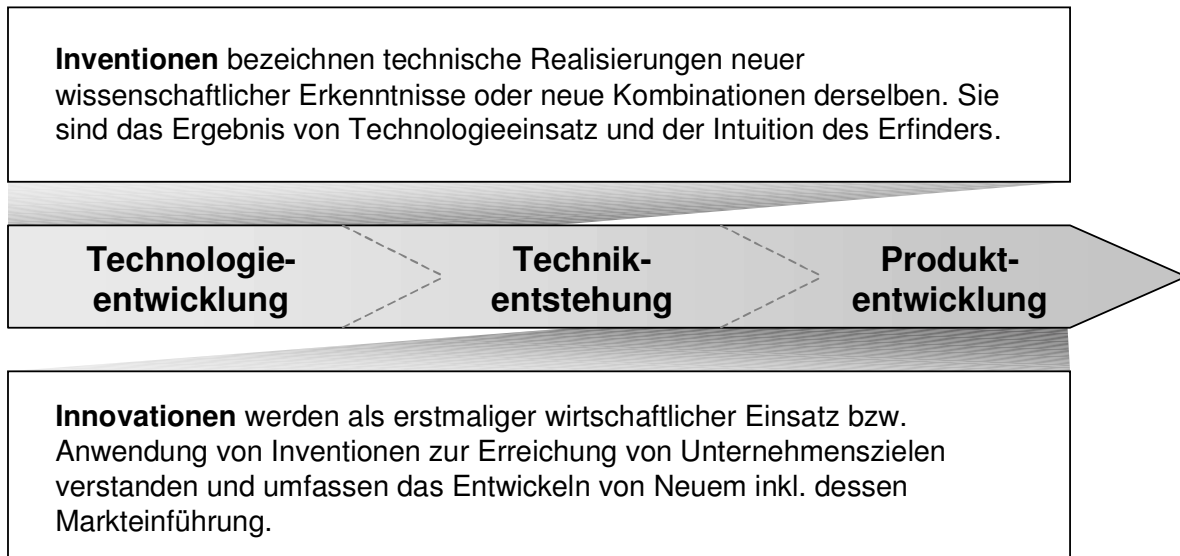
Im internationalen Schrifttum finden sich viele Variationen einer Auslegung des Technologiebegriffs, die eine Abgrenzung zum Technikbegriff weder einheitlich noch eindeutig vornehmen [Spu98]. In der englischsprachigen Literatur wird eine Abgrenzung der Begriffe nicht vollzogen, sondern beide Aspekte Wissen und Anwendung unter dem Begriff ‚technology‘ subsumiert [Pel99]. Die vorliegende Arbeit folgt dem Begriffsverständnis von Binder [Bin96] und Pelzer [Pel99], bei denen Technik als Subsystem der Technologie verstanden wird. Insofern soll eine bei [Spu98] genannte, sehr einfache, aber treffende Deutung aus dem Schrifttum der amerikanischen National Academy of Engineering im Folgenden gelten:

**“Technology is the means by which human life is improved.”**

Auf der technisch-ökonomischen Ebene steht die Umsetzung der Technik in unternehmerischen Erfolg im Vordergrund. Dazu lässt sich zwischen Invention und

Innovation unterscheiden (vgl. Abb. 2-2). Technische Neuerungen und Spitzentechnologien werden als technische Innovationen bezeichnet [Bul94].

Der Prozesscharakter bei der Entstehung von Inventionen und Innovationen muss sich in zeitgemäßen Bewertungskonzepten widerspiegeln. Dabei ist zu beachten, dass der Ausbreitungs- bzw. Diffusionsprozess neuer technologischer Funktionsprinzipien über die drei miteinander verflochtenen Entstehungsebenen Technologie, Technik und Produkt verläuft [Ser92].



**Abb. 2-2: Inventions- und Innovationsprozess**

Im Umfeld des Technologiebegriffs werden zahlreiche Wortkombinationen verwendet, die sich hinsichtlich inhaltlichen, qualitativen, zeitlichen, wirtschaftlichen und personellen Aspekten gruppieren lassen [Spu98]. Abb. 2-3 zeigt eine Auswahl häufig verwendeter, etablierter Technologiebegriffe.

Inhaltliche Aspekte	Qualitative Aspekte	Zeitliche Aspekte	Wirtschaftliche Aspekte	Personelle Aspekte
Technologiefelder	Technologiepotentiale	Technologietransfer	Technologiemarkt	Technologiepioniere
Technologiearten	Technologiefähigkeit	Technologiewandel	Technologieführerschaft	Technologieexperten
Technologietypen	Technologierisiko	Technologietrend	Technologiefolger	Technologieberater
Technologieprojekte	Technologiebewertung	Technologie reife	Technologiebedarf	Technologiepolitiker
Technologieprozesse	Technologieakzeptanz	Technologieablösung	Technologiemarketing	Technologiemanager
Technologiestrukturen	Technologiediffusion	Technologiezyklus	Technologieaufklärung	Technologieplaner
	Technologiekompetenz	Technologieprognose	Technologieakquisition	Technologieforscher
		Technologiestrategie	Technologiecontrolling	

**Abb. 2-3: Gruppierung von Technologiebegriffen [Spu98]**

Nachdem schon keine einheitliche Definition des Begriffs ‚Technologie‘ Verwendung findet, sind auch die häufig gebrauchten Begriffsprägungen im Technologieumfeld nicht immer eindeutig abgrenzbar [Spu98]. So sind immer wieder Überschneidungen oder sogar Widersprüche feststellbar.

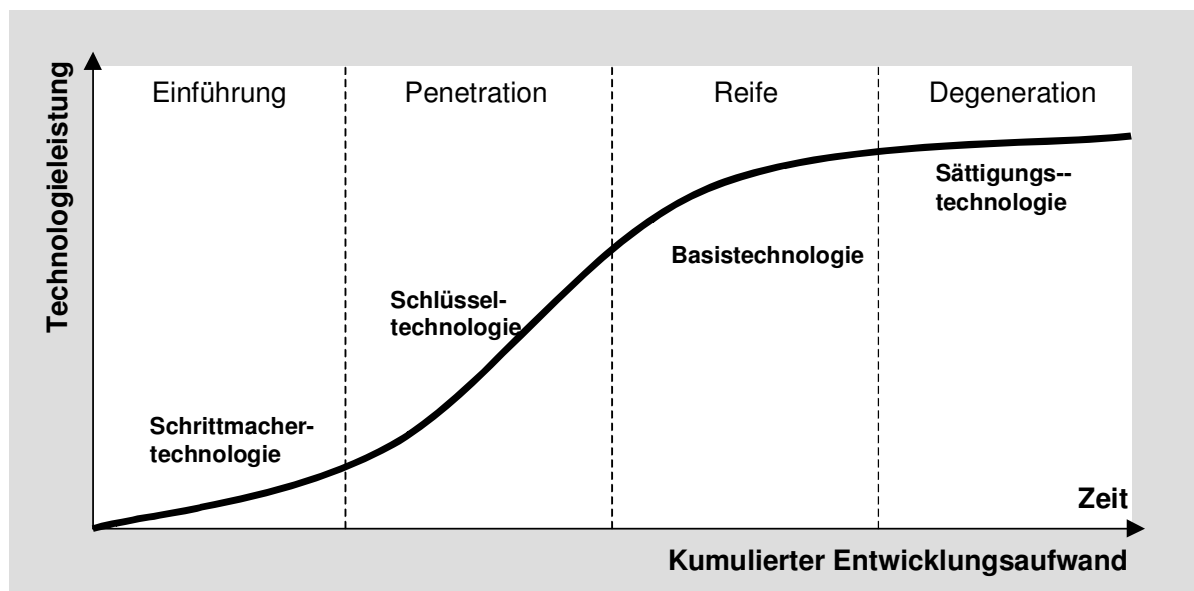
## 2.2 Abgrenzungs- und Unterscheidungsmerkmale von Technologien

Neben der begrifflichen Differenzierung lassen sich bei den Technologien weitere Unterscheidungen und Abgrenzungen anhand verschiedener Merkmale (vgl. Abb. 2-4) vornehmen.

Merkmals	Ausprägung	Erläuterung
Wettbewerbswirkung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kostenorientierte Technologien</li> <li>• Differenzierungsorientierte Technologien</li> <li>• Geschäftserneuerungsorientierte Technologien</li> </ul>	Ein und dieselbe Technologie in verschiedenen Anwendungsbereichen kann eine unterschiedliche Bedeutung haben und im Ergebnis zu jeweils anderen Wettbewerbswirkungen führen.
Wettbewerbspotential	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schrittmachertechnologien</li> <li>• Schlüsseltechnologien</li> <li>• Basistechnologien</li> <li>• Sättigungstechnologie</li> </ul>	In Abhängigkeit ihrer Phase bei der Technologieentwicklung wird das Potential der Technologie hinsichtlich ihrer Wettbewerbsrelevanz berücksichtigt.
Anwendungsbreite	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Längsschnitttechnologien</li> <li>• Querschnittstechnologien</li> <li>• Systemtechnologien</li> </ul>	Hierdurch wird das Spektrum an Einsatzmöglichkeiten beschrieben.
Schwierigkeitsgrad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Komplexe (Interdisziplinär-) Technologien</li> <li>• Simplexe Technologien</li> </ul>	Der Schwierigkeitsgrad wird nach Einbeziehung der Menge an naturwissenschaftlichen-technischen Erkenntnissen für die Technologieentwicklung bestimmt.
Entwicklungsstadium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wissenschaftslinien</li> <li>• Technologieansätze</li> <li>• Komponententechnologien</li> <li>• Systemtechniken</li> </ul>	Das Entwicklungsstadium kennzeichnet den Reifegrad von Technologien hinsichtlich ihrer Anwendung.

**Abb. 2-4: Unterscheidungsmerkmale und Ausprägungen; nach [Pei92], [Spu98]**

Eine deutliche Abgrenzung bietet die an dem Merkmal „Wettbewerbspotentiale“ orientierte Unterscheidung von Technologien nach ihrer Phase bei der Technologieentwicklung [Pei92]. Idealtypisch lassen sich vier unterschiedliche Phasen der Technologieentwicklung (vgl. Abb. 2-5) unterscheiden. Eine als attraktiv beurteilte Technologie ist anfänglich eine Schrittmachertechnologie, deren Leistungsfortschritt sich nur in kleinen Schritten realisieren lässt. Im Stadium der Schlüsseltechnologie erfolgen die Leistungsschritte dann wesentlich schneller, während sich diese bei Basistechnologien wiederum deutlich verlangsamen [Tsc98]. Schließlich geht diese in eine Sättigungstechnologie über. Dieser Technologieentwicklungsprozess verläuft entlang einer so genannten S-Kurve [Fos86].



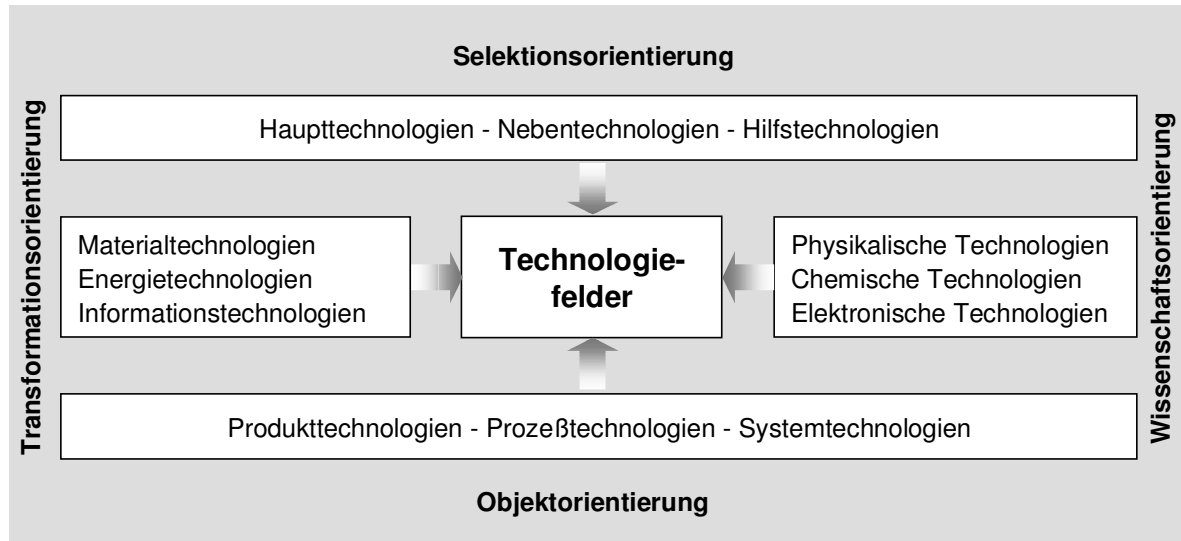
**Abb. 2-5: Phasen der Technologieentwicklung**

Bei den Technologien existiert eine große Anzahl an Technologiefeldern, die sich durch Gefüge, Aufbau und Gliederung in einer Technologiestruktur zusammenfassen lassen. Die Struktur als innere Gliederung einer Technologie ist auf ihre Gesamtfunktion gerichtet. Diese besteht meistens aus Teilfunktionen, die wiederum unterschiedlichen Technologiearten zugeordnet werden können. Die Gesamtwirkung einer Systemtechnologie kann als Synergieeffekt zugeordneter Einzeltechnologien entstehen [Spu98].

Eine Systematisierung von bekannten Technologiefeldern gestaltet sich daher schwierig und ist nicht unbedingt eindeutig. Viele Technologien überschneiden sich, sind voneinander abhängig oder beeinflussen sich gegenseitig. So hängt der Einsatz neuer Materialien beispielsweise von ihrer Verarbeitbarkeit und der Prozesstechnik ab. Das heißt, es ist von erheblicher Wettbewerbsrelevanz, Kompetenzen sowohl auf dem Gebiet der Werkstofftechnologie als auch in der Produktionstechnologie zu besitzen [DCX00b].

Demnach könnte eine Differenzierung von Technologien nach ihrer Orientierung (Abb. 2-6) zweckmäßig sein, um das komplexe Bild der zahlreichen Technologien zu strukturieren [Spu98].

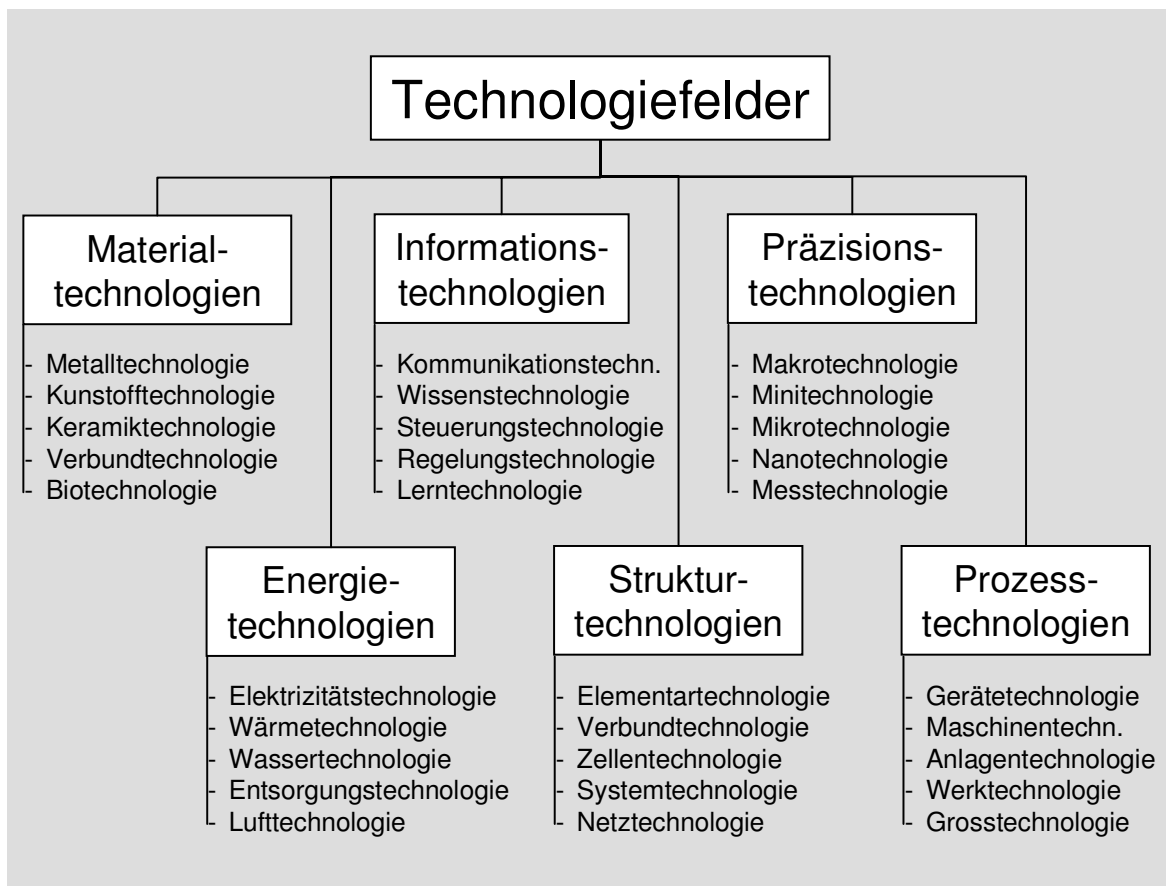
Somit kann eine systematische Gliederung der Technologiefelder nach verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen. Je nach Zweckmäßigkeit lassen sich auch andere Gliederungen von Technologiefeldern vornehmen [Spu98]. Abb. 2-7 zeigt eine Möglichkeit auf.



**Abb. 2-6: Orientierungsmöglichkeiten von Technologiefeldern [Spu98]**

In der Regel ist es nicht möglich, die Gesamtheit an wissenschaftlich-technischen Daten im für das Unternehmen relevanten Technologieumfeld zu analysieren, so dass durch eine entsprechende Systematisierung Beobachtungsschwerpunkte zu

setzen sind. Mangels verfügbarer Informationen muss diese erste Bedeutungseinordnung zum Großteil zunächst auf Basis bruchstückhafter Informationen erfolgen. Für ausgewählte Technologiefelder werden auf Basis vorhandener Informationen sowie zusätzlicher Recherchen Kurzbeschreibungen erstellt. Diese steckbriefartige Zusammenstellung von Erstinformationen zu ausgewählten Technologiefeldern ist zur Bewertung der aus diesen Technologieansätzen möglicherweise resultierenden Technologie- und Anwendungspotentiale bei weitem noch nicht ausreichend [Cle92].



**Abb. 2-7: Systematisierung von Technologiefeldern, nach [Spu98]**

### 2.3 Beschreibungsmerkmale von Technologien

Eine grundlegende Einteilung von Technologien lässt sich nach den nachfolgenden Orientierungsgesichtspunkten vornehmen und beschreiben [Spu98]:

- Wissenschaftsbezug
- Objektart
- Transformationsart
- Innovationswirkung
- Relativierung
- Selektierung
- Soziobezug

<b>Wissenschaftsorientierte Einteilung</b>	
Mechanische Technologie	Lehre von den Verfahren und Mitteln zur Wandlung von Formen durch mechanische Wirkungen
Chemische Technologie	Lehre von den Verfahren und Mitteln zur Wandlung von Stoffzusammensetzungen durch chemische Wirkungen
Thermische Technologie	Lehre von den Verfahren und Mitteln zur Wandlung von Zustandsänderungen durch thermische Wirkungen
Optische Technologie	Lehre von den Verfahren und Mitteln zur Wandlung von Zustandsänderungen durch optische Wirkungen
Elektronische Technologie	Lehre von den Verfahren und Mitteln zur Wandlung von Zustandsänderungen durch elektronische Wirkungen
Biotische Technologie	Lehre von den Verfahren und Mitteln zur Wandlung von Zustandsänderungen durch Stoffwechselwirkungen und Mikroorganismen
<b>Objektorientierte Einteilung</b>	
Produkttechnologie	Lehre über Entwicklung, Aufbau und Funktion technischer Produkte
Prozesstechnologie	Lehre über Entwicklung und Ablauf transformatorischer Wirkflüsse materieller, energetischer oder informationeller Art
Systemtechnologie	Lehre über Entwicklung, Aufbau und Funktion technischer Systeme
Netztechnologie	Lehre über Entwicklung, Aufbau und Funktion technischer Netzwerke
Umwelttechnologie	Lehre über Entwicklung, Aufbau und Funktion ökologischer Ausgleichssysteme
Soziotechnologie	Lehre über Entwicklung, Aufbau und Funktion soziotechnischer Produkte, Prozesse, Systeme oder Netzwerke

<b>Innovationsorientierte Einteilung</b>	
Basistechnologien	Technologien, die als Voraussetzung zum Markterfolg beherrscht werden
Schlüsseltechnologien	Technologien, die als Innovationen den Marktzuwachs bestimmen und sichern
Schrittmachertechnologien	Technologien, die den Fortschritt der Markteinführung einleiten und beschleunigen
Spitzentechnologien	Technologien, die durch ständige und nachhaltige Innovationen marktbeherrschend wirken
Hochtechnologien	Technologien, die durch eine aufwendige betriebene, intensive Forschung und Entwicklung marktwirksam werden
Zukunftstechnologien	Technologien, die strategisch aufbereitet die langfristige Sicherung des Markterfolges bewirken
<b>Relationsorientierte Einteilung</b>	
Querschnittstechnologien	Verfahren und Funktionen, die durch ihr breites Anwendungsfeld verknüpfend wirken
Konkurrenztechnologien	Verfahren und Funktionen, die bei gleicher Zielsetzung unterschiedliche Lösungswege aufweisen
Substitutionstechnologien	Verfahren und Funktionen, die vorhandene Lösungswege mit optimaler ersetzen
Komplementärtechnologien	Verfahren und Funktionen, die sich gegenseitig mit optimierender Wirkung ergänzen
Verbundtechnologien	Verfahren und Funktionen, die sich gegenseitig mit optimierender Wirkung durchdringen
<b>Selektionsorientierte Einteilung</b>	
Allgemeine Technologie	Methodenbezogene, fachgebietsübergreifende, systematische Lehre über Verfahren und Mittel für Zustandswandlungen technischer Systeme
Spezielle Technologie	Fachgebietsbezogene Lehre über Verfahren und Mittel für Zustandswandlungen abgegrenzter technischer Systeme
Haupttechnologie	In die Hauptfunktion eines technischen Systems eingebunden und damit systembestimmend
Nebentechnologie	In die Nebenfunktion eines technischen Systems mit regelmäßigen Vollzug eingebunden
Hilfstechnologie	In die Hilfsfunktion eines technischen Systems mit unregelmäßigen Vollzug eingebunden
Integrationstechnologie	Verfahren und Funktionen, die mehrere spezielle Technologien zu gemeinsamer Wirkung bringen
Singulärtechnologie	Verfahren und Funktionen, die als autonome Technologien in abgegrenzter Vereinzelung zur Wirkung kommen
<b>Sozioorientierte Einteilung</b>	
Wissenstechnologie	Lehre von den Verfahren und Mitteln zum Erzeugen, Speichern und Verarbeiten von Wissen zur Aufbereitung von Informationen
Kommunikationstechnologie	Lehre von den Verfahren und Mitteln zum Austausch und Weiterleiten von Informationen



Bildungstechnologie	Lehre von den Verfahren und Mitteln, Bildungsprozesse durch technische Systeme zu ergänzen
Gesundheitstechnologie	Lehre von den Verfahren und Mitteln, Gesundheit durch technische Systeme zu erhalten und zu fördern
Freizeittechnologie	Lehre von den Verfahren und Mitteln, für Freizeitprozesse technische Systeme zu verwenden
Arbeitstechnologie	Lehre von den Verfahren und Mitteln, für Arbeitsprozesse technische Systeme zu verwenden

**Abb. 2-8: Differenzierung von Technologien, nach [Spu98]**

Eine derartige Einteilung von Technologien kann jedoch nur eine erste Orientierungshilfe darstellen. Damit ist allerdings noch nicht geklärt, wie sich Technologien hinreichend beschreiben lassen. Hierzu können in Abhängigkeit des Entwicklungsfortschritts von Technologien unterschiedliche Detaillierungsgrade aufgezeigt werden. So wird für eine in der Entwicklung fortgeschrittene Technologie häufig bereits ein konkretes Anwendungsgebiet oder sogar ein konkretes Produkt bzw. Bauteil feststehen. Abb. 2-9 gibt beispielhaft Auskunft über Aspekte, die für eine Technologiebeschreibung herangezogen werden können.

Inhaltliche Aspekte	Qualitative Aspekte	Zeitliche Aspekte	Wirtschaftliche Aspekte	Personelle Aspekte
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anwendungsfall</li> <li>• Funktionalität</li> <li>• Umsetzbarkeit</li> <li>• Automatisierungsgrad</li> <li>• Bauteilgewicht</li> <li>• Geometrie</li> <li>• Systemverhalten</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zuverlässigkeit</li> <li>• Robustheit</li> <li>• Flexibilität</li> <li>• Großserienfähigkeit</li> <li>• Wartbarkeit</li> <li>• Ökologische Unbedenklichkeit</li> <li>• Recyclingfähigkeit</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wettbewerb</li> <li>• Trends</li> <li>• Forschungs- und Entwicklungsdauer</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investitionsbedarf</li> <li>• F&amp;E-Aufwände</li> <li>• Produktionskosten</li> <li>• Betriebskosten</li> <li>• Energieverbrauch</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Personalressourcen</li> <li>• Mitarbeiterqualifikation</li> <li>• ...</li> </ul>

**Abb. 2-9: Aspekte zur Technologiebeschreibung**

## 2.4 Ziele und Nutzen der Technologieentstehung und -bewertung

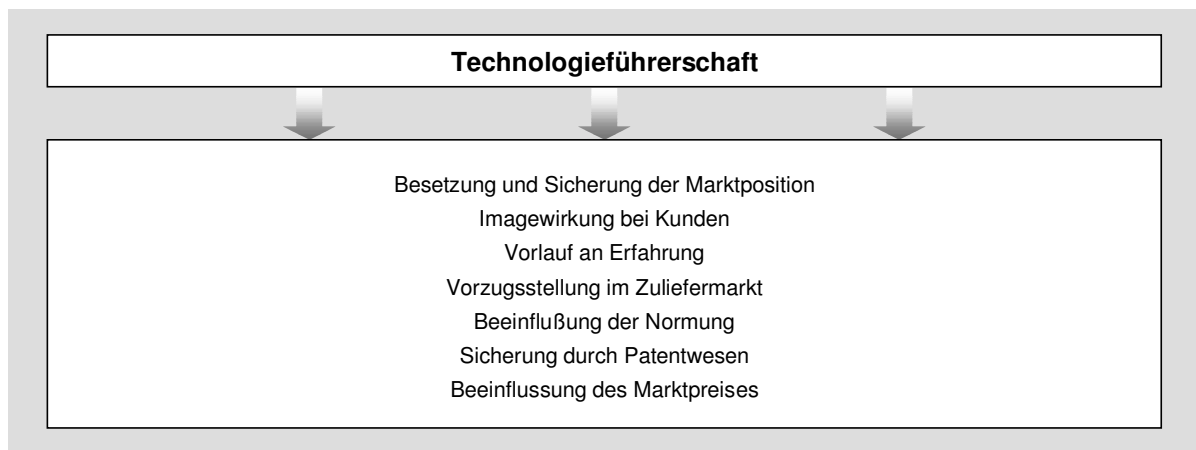
Technologie ist gleichzusetzen mit Macht, und derjenige, der die Technologie kontrolliert, kontrolliert auch die Macht, die durch die daraus entstandenen Produkte und Anwendungen entstanden ist [Whi88].

Durch den engen Zusammenhang zwischen Wissenschaft und Technologie entsteht häufig eine enorme wissenschaftliche Relevanz für die Menschheit und Gesellschaft durch Technologien [Whi88]. Ausgang eines länger andauernden Konjunkturaufschwungs ist eine Menge neuer so genannter Basistechnologien, auf deren Grundlage neue Schlüsseltechnologien entstehen. Der Aufschwung setzt sich solange fort, bis das Fortschrittspotential dieser Basistechnologien erschöpft ist [Zah92]. Am Beispiel der interdisziplinären Materialforschung wird dies deutlich. Die Werkstoffe haben in wichtigen Technologiefeldern eine Schrittmacherrolle übernommen. Oder wie es dort plakativ ausgedrückt wird: „Werkstoff ist nicht alles, aber ohne den richtigen Werkstoff ist alles nichts“ [Jop99].

In diesem Zusammenhang führen neue Technologien zum Entstehen neuer Märkte oder zur Entstehung neuer bzw. optimierter Produkte auf alten Märkten. Außerdem können Unternehmen durch den Einsatz neuer Technologien ihre Wertschöpfungskette optimieren und sich auf diese Weise zusätzliche Wettbewerbsvorteile schaffen [Zah92], [Bur96], [Bul03b].

Ein langfristiges Überleben von Unternehmen gelingt nur, wenn sie in der Lage sind, sich in innovativer Weise den Veränderungen der Umwelt anzupassen. Die notwendigen Anpassungsmaßnahmen müssen dabei ganz wesentlich auf dem Gebiet der Technologien erfolgen. Denn neue Technologien liefern neue Ideen für neue oder verbesserte Produkte. Allerdings können Ideen, deren Nutzen nicht eindeutig ist, nicht in erfolgreiche Produkte umgesetzt werden [Sia97].

Zur erfolgreichen Einführung neuer Produkte ist ein Wettbewerbsvorsprung zweifellos anzustreben, der mit einer Technologieführerschaft erreicht werden kann (vgl. Abb. 2-10).



**Abb. 2-10: Vorteile einer Technologieführerschaft, nach [Bul99c], [Por86]**

Unter Technologieführerschaft ist eine Marktposition zu verstehen, die auf schneller und permanenter Umsetzung von Innovationen beruht [Bul03c]. Sie kann durch eine Pionierstrategie erreicht werden, indem jede neue technologische Herausforderung angenommen und frühestmöglich eingeführt wird. Ebenso lässt sie sich durch eine Ausbeuterstrategie erzielen, die über den gesamten Lebenszyklus einer Technologie eine Führungsposition am Markt anstrebt, welche auch durch Preisgestaltung gesichert werden kann [Bul94], [Spu98].

Die gewählte Wettbewerbsstrategie von Unternehmen entscheidet somit auch über die zu verfolgende, marktorientierte Technologiestrategie, bei der schließlich alternative Technologien im Wettbewerb miteinander stehen [Bro99], [Bul03c].

Technologiestrategien verfolgen einen zweifachen Zweck. Zum einen sind Entscheidungsgrundlagen zu erarbeiten, die eine Auswahl von Technologien zur Stärkung der Wettbewerbsposition des Unternehmens ermöglichen. Zum anderen sollen Technologiestrategien adäquate Wege zur Nutzung und Beherrschung ausgewählter Technologien aufzeigen [Tsc98]. Zur Umsetzung der Technologiestrategien ist eine Gestaltung der Organisation hinsichtlich einer bestmöglichen Unterstützung der strategischen Technologie-Absichten ebenso notwendig, wie die Bereitstellung geeigneter Informations- und Managementsysteme zur Analyse, Planung und Kontrolle [Fra00]. Demnach werden Instrumente benötigt,

die die Alternativen in ihrer Gesamtheit überblicken und gleichzeitig hinsichtlich einiger für die Wettbewerbsfähigkeit wesentlich erscheinender Variablen bewerten [Bro99].

Dabei kann die eigentliche Motivation für eine Technologiebewertung ganz unterschiedliche Ursachen haben. So lassen sich aus Unternehmenssicht hauptsächlich politisch-, ökonomisch- und technisch-geprägte Beweggründe feststellen, die für die Auswahl einer Technologiealternative ausschlaggebend sind. Ebenso werden zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Lebenszyklus von Technologien Bewertungen durchgeführt, um beispielsweise in unterschiedlichen Entwicklungsstadien Aussagen über die Chancen, Risiken und Folgen eingesetzter Technologien zu erhalten. Insofern existieren auch bei der Technologiebewertung unterschiedliche Arten bzw. Ausprägungen.

So wird mit einer Technologiebewertung versucht, Ansätze zukünftiger Technologien in sehr frühen Entwicklungsstadien einer Vorbewertung zu unterziehen. Das Ziel einer Bewertung von Technologieansätzen besteht darin, eine möglichst qualifizierte Aussage darüber zu erhalten, welche relative Bedeutung dem betreffenden Technologieimpuls aus der Betrachtungsperspektive des Unternehmens zukommt [Ser92].

Die Technologiefrühaufklärung zeigt auf, wie auf Basis der gegenwärtigen Situation sowie zukünftiger Möglichkeiten und Gefahren für das Unternehmen Annahmen für die strategische Planung und die Entwicklung von Strategien gewonnen werden [Zin00]. Zur Durchführung einer systematischen Technologiefrühaufklärung ist es erforderlich, den Prozess der Technologieentwicklung und Technikentstehung zu verstehen [Zah92]. In diesem Zusammenhang wird auch häufig der Begriff Technologiefolgenabschätzung verwendet. Damit sollen Szenarien über mögliche Technologiefolgen so frühzeitig entwickelt werden, dass Handlungsalternativen bezüglich Technologiegestaltung und –einsatz ergriffen werden können. Die Technologiefolgenabschätzung bzw. –frühaufklärung bildet aber nur einen Teil aus dem Bereich der Technologiebewertung ab. Darüber hinaus fasst Bullinger [Bul94] die Technologiebewertung als Technikpotentialabschätzung auf, bei der neben den Folgen auch die Entwicklungsmöglichkeiten einer Technologie abzuschätzen und zu beurteilen sind.

In diesem Sinne ist auch die Bewertung von bereits verfügbaren Technologien in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium zu verstehen. Vor einer Anwendung der Technologie in einem Serienprodukt ist durch eine entsprechende Technologieanalyse (vgl. Abb. 1-4) zu klären, ob diese Technologie über einen ausreichenden Reifegrad für einen erfolgreichen Einsatz verfügt. Für ein Unternehmen ist zweifellos primär der wirtschaftliche Nutzen für den Erfolg relevant. Nach Koschatzky [Kos97] ist aber auch der Kundennutzen ein wichtiges Indiz für das Erfolgspotential eines F&E-Projektes, der mit der technischen Entwicklung angestrebt wird. Unter Beachtung der gesamtheitlichen Prozesskette ist diesem Aspekt bei der Technologieanalyse ebenfalls Rechnung zu tragen.

## 2.5 Relevante Ansätze und Methoden im Umfeld der Technologieentstehung

In diesem Kapitel werden ausgewählte Methoden zur Beurteilung und Bewertung von Technologien beschrieben. Diese Methoden dienen zur Planung, Steuerung und Kontrolle eines möglicherweise bevorstehenden oder zukünftigen Technologieeinsatzes und sind in unterschiedlichen Phasen ihres Entstehungsprozesses einsetzbar. Die Auswahl dieser Methoden erfolgte unter Berücksichtigung der Anwendbarkeit und ihrer Relevanz in der Praxis.

Hierbei konnten grundsätzliche Konzepte zur *Technologiefrühaufklärung*, *Technologiefolgenabschätzung* und *Technologiebewertung* in Abhängigkeit ihrer jeweiligen Zielverfolgung bzw. ihres Betrachtungsschwerpunktes gefunden werden. Bevor im Folgenden auf die identifizierten Methoden eingegangen wird, sollen die wesentlichen Unterschiede in den Grundgedanken der Konzepte aufgezeigt werden.

Die *Technologiefrühaufklärung* wird vor allem im Zusammenhang einer strategischen Planung bzw. Strategieentwicklung in Unternehmen bei der frühen Technologieentstehung gesehen [Zin00]. Die Technologiefrühaufklärung wird als vorerst letzte Stufe in der Evolution technologischer Beobachtungs- und Analysesysteme betrachtet. Das Ziel besteht darin, die relevanten Technologietrends im Gesamtzusammenhang ihrer Entstehung möglichst frühzeitig zu erkennen sowie die sich daraus ergebenden Chancen und Gefahren abzuschätzen [Zah92].

Unerwünschte Nebenwirkungen und Folgen von Techniken bzw. Produkten können ihren Ursprung bereits in der frühen Phase der Technologieentstehung, bei der technischen Umsetzung oder erst im Rahmen einer marktorientierten Anwendung haben. Erste Hinweise auf Akzeptanzbarrieren innovativer Technologieansätze ergeben sich schon während der Technologieentstehung [Ser92]. Die *Technologiefolgenabschätzung* nimmt sich dieser Problematik an und versucht eine Beurteilung von Auswirkungen und Innovationsaufwand, um möglichen unerwünschten Effekten bereits in diesen frühen Phasen entgegenzuwirken [Alt07].

In der englischsprachigen Literatur werden alle Ansätze unter dem Begriff ‚technology assessment‘ zusammengefasst (vgl. Kapitel 2.1). Als Übersetzung hat sich weitgehend der Begriff der Technologiefolgenabschätzung durchgesetzt. Die Technologiebewertung geht über die Identifizierung und Quantifizierung von Folgewirkungen weit hinaus. Danach besteht die Aufgabe der Technologiebewertung allgemein darin, die Bedingungen und Auswirkungen der Einführung und verbreiteten Anwendung von Technologien systematisch zu erforschen und zu bewerten, gesellschaftliche Konfliktfelder, die durch den Technikeinsatz entstehen können, zu identifizieren und zu analysieren sowie Handlungsmöglichkeiten zur Verbesserung der betrachteten Technologie bzw. ihrer Anwendungsmodalitäten aufzuzeigen und zu überprüfen.

Eine ganzheitliche Betrachtungsweise der Technologiebewertung unterscheidet sich gegenüber den traditionellen Bewertungskonzepten durch eine Technikfolgen- und Kontextorientierung der Bewertungsinformationen [Ser92]. Ohne dass Servatius/Peiffer [Ser92] weitere Angaben über traditionelle Bewertungskonzepte machen, wird deutlich, dass darunter Methoden mit singulären Bewertungszielrichtungen bzw. -bausteinen verstanden werden.

Demzufolge lassen sich unter Technologiebewertung ebenfalls die Frühaufklärung und Folgenbetrachtung einbeziehen.

### 2.5.1 Allgemeine Methoden der Technologiebewertung

Durch den fließenden Übergang von Technologie- zu Technikentstehung, der gleichbedeutenden Verwendung im angelsächsischen Sprachgebrauch und die damit einhergehende Verwandtschaft von Technologie- und Technikbewertung werden zusätzlich Methoden der Technikbewertung betrachtet (Vgl. Kapitel 2.1). In der VDI-Richtlinie 3780 werden insbesondere wissenschaftliche, methodische Prinzipien der Technikbewertung (vgl. Abb. 2-11) behandelt [VDI00]. Viele dieser Methoden stammen zum größten Teil aus anderen Arbeitsfeldern und werden als allgemeine heuristische Methoden des Problemlösens eingestuft [Zin00].

Methode	Art		Phase		
	Qualitativ	Quantitativ	Definition Strukturierung	Folgen- abschätzung	Bewertung
Trendextrapolation		●		●	
Historische Analogiebildung	●	●		●	
Brainstorming	●		●	●	
Delphi-Expertenumfrage	●	●	●	●	●
Morphologische Klassifikation	●		●	●	
Relevanzbaum-Analyse	●	●	●	●	●
Risiko-Analyse		●		●	●
Verflechtungsmatrix-Analyse	●	●		●	●
Modellsimulation		●	●	●	●
Szenario-Gestaltung	●		●	●	●
Kosten-Nutzen-Analyse		●			●
Nutzwert-Analyse	●	●	●		●

**Abb. 2-11: Methoden der Technikbewertung [VDI00]**

Im Folgenden werden die aufgeführten Methoden und Verfahrensweisen kurz vorgestellt.

Bei der *Trendextrapolation* handelt es sich um eine Prognose-Methode, die eine aus der Vergangenheit bekannte Entwicklung als beständig annimmt und in die Zukunft überträgt. Hierbei wird eine Zeitreihe in ihrem Verlauf mathematisch-statistisch analysiert und als Funktion der Zeit präzisiert. Zukünftige zu erwartende Werte werden durch Eintrag zukünftiger Zeitwerte in der Funktion gewonnen. Nachteilig ist, dass die Methode von bisher unverändert wirksamen Faktoren ausgeht und keine zusätzlichen Faktoren berücksichtigt werden. Dadurch ist eine Anwendung bei heutigen dynamischen Randbedingungen nicht zu empfehlen [Wen73], [Lud95], [VDI00], [Zin00].

Die *historische Analogiebildung* geht ebenfalls von einer vergleichbaren früheren Entwicklung aus, um auf den zu erwartenden Verlauf einer gegenwärtigen Entwicklung zu schließen. Die Vergleichbarkeit wird damit begründet, dass es sich entweder um gleiche zeitversetzte Erscheinungen in verschiedenen Erstreckungsbereichen handelt oder eine gegenwärtige Entwicklung wegen einer bestimmten Verwandtschaft als eine Art Wiederholung der früheren Entwicklung im gleichen Erstreckungsbereich verläuft. Neben der Problematik von Trendextrapolationen erhebt sich hier zusätzlich die Frage, ob die angenommene Vergleichbarkeit tatsächlich in zureichendem Maß vorliegt [Lud95], [VDI00], [Zin00].

Das *Brainstorming* ist eine intuitiv-heuristische Methode zum Ermitteln bzw. Identifizieren von Einfällen. Hierzu wird ein möglichst heterogener Kreis bis zu 10 Personen mit einer Frage konfrontiert und aufgefordert, spontan in freier Assoziation alles zu äußern, was den Teilnehmern gerade in den Sinn kommt. Die Einfälle werden lediglich protokolliert. Eine Bewertung unterbleibt zunächst bewusst. Erst nach Abschluss der Sitzung werden die protokollierten Ideen geordnet, beurteilt und gegebenenfalls weiterentwickelt [Lud95], [VDI00].

Bei der *Delphi-Expertenumfrage*, eine Ideenfindungs- und Prognosemethode, werden Einsichten und Zukunftseinschätzungen ausgewählter Fachleute systematisch erhoben und ausgewertet. Die Umfrageergebnisse werden den beteiligten Experten meist mehrmals zur erneuten Urteilsbildung vorgelegt, so dass sie ihre Auffassungen in Diskussion und Kommunikation mit anderen Experten überprüfen und ihre Position gegebenenfalls korrigieren können. Der Erfolg der



Methode ist jedoch stark von der Auswahl der befragten Fachleute abhängig. So wird schließlich eine Mehrheitsmeinung gebildet und abweichende Auffassungen nur ansatzweise berücksichtigt [Lud95], [Beh99], [VDI00].

Die *morphologische Klassifikation* bzw. der morphologische Kasten ist eine rational-heuristische Suchmethode, die durch systematische Auffächerung aller Merkmale und Merkmalsausprägungen einer komplexen Systemklasse kombinatorisch sämtliche denkbaren Systemtypen bildet. Die Methode lässt sich deskriptiv zur Übersicht einer Vielfalt von Systemtypen einsetzen oder antizipativ anwenden, um bisher unbekannte Systemtypen als neuartige Kombinationen aus bekannten Elementen zu generieren [Kra84], [Lud95], [VDI00], [Zin00].

Die *Relevanzbaum-Analyse* ist eine problemspezifische Interpretation der graphentheoretischen Baumstruktur und dient dazu, komplexe mehrstufige Bedingungsgefüge oder Folgenbündel eines angestrebten oder erwarteten Ereignisses transparent zu machen. Eine Variante dieses Modells mit komplizierter Maschenstruktur ist das Terminplanungsverfahren der so genannten Netzplantechnik. Ein Entscheidungsbaum liegt vor, wenn das Ausgangsereignis in einer Entscheidung besteht, an die sich divergierende Ketten von Folgenentscheidungen anschließen. Bei einem Wertbaum werden begriffliche Hierarchiebeziehungen zwischen Unterzielen, Zielen, Oberzielen und Werten repräsentiert. Zur Quantifizierung der Relevanz der Mittel bzw. Folgen mittels numerischer Verfahren lassen sich den Knoten des Baums Zahlenwerte für den jeweiligen Aufwand oder Nutzen und den Verbindungen zwischen den Knoten Wahrscheinlichkeitswerte zuordnen. Die Methode eignet sich zur Darstellung und Strukturierung bekannter Zusammenhänge sowie als Suchschema zum Auffinden weiterer Abhängigkeiten. Die Quantifizierung erscheint nur bei wohlstrukturierten Problemen sinnvoll, für die empirisch bewährte Schätzwerte verfügbar sind [Kra84], [Lud95], [VDI00], [Zin00], [Bul02b].

Bei der *Risiko-Analyse* werden Varianten der Relevanzbaum-Methode verwendet. Zentral ist hier eine bestimmte Eintrittswahrscheinlichkeit für das Versagen eines Systems oder Projekts, wozu die jeweiligen Bedingungen und Folgen zu ermitteln sind. Die Bedingungsanalyse wird eingesetzt, um die Gesamtwahrscheinlichkeit des

Versagens aus den Teilwahrscheinlichkeiten von Komponentenausfällen unter Berücksichtigung deren Verknüpfung zu ermitteln. Die Folgen-Analyse hingegen untersucht die von einem Versagen ausgelösten Ketten von Schädwirkungen. Aus den Teilanalysen wird das Gesamtrisiko errechnet. Problematisch bei der Risiko-Analyse ist, dass insbesondere für neuartige oder nur vereinzelt eingesetzte Komponenten keine verlässlichen Ausfallwahrscheinlichkeiten ermittelt werden können. Gleiches gilt für die Abschätzung von Folgewahrscheinlichkeiten für Schäden [Tur72], [Lud95], [VDI00].

Die *Verflechtungsmatrix-Analyse* bzw. *Cross-Impact-Methode* untersucht die wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen mehreren möglichen Ereignissen. Die Ereignisse werden gleichermaßen den Zeilen und Spalten einer Matrix zugeordnet und in die Felder die wechselseitigen Einflüsse nach qualitativen oder wahrscheinlichkeitstheoretischen Gesichtspunkten eingetragen. Die Methode beschränkt sich im Wesentlichen darauf, Interdependenzen mehr oder weniger gleichzeitiger Entwicklungen überschaubar zu machen [Lud95], [VDI00].

Die *Modell-Simulation* umfasst eine Vielzahl mathematischer Verfahren mit einfachen bis komplexen Optimierungsrechnungen über die Modelle. Die Modell-Simulation ist ein Berechnungsexperiment, das mögliche Entwicklungen in der Erfahrungswirklichkeit dadurch zu antizipieren versucht, in dem der relevante Realitätsbereich mit einem mathematischen Modell abgebildet wird und unterschiedliche Bedingungskonstellationen für mögliche Ereignisse der Realität analysiert und interpretiert werden. Die Modell-Simulation ist ein äußerst leistungsfähiges Werkzeug, um das Verhalten vielfach vernetzter Systeme zu untersuchen, vor allem bei zahlreichen interdependenten Faktoren, die intuitiv nicht mehr abschätzbar sind. Schwierigkeiten existieren aufgrund unzureichender Datenbestände, der Quantifizierung von qualitativen Faktoren sowie der Verwendung von möglicherweise nicht angemessenen mathematischen Formalismen [Lud95], [Röh97], [VDI00].

Die *Szenario-Gestaltung* wird als qualitativ-literarische Methode zur ganzheitlichen Beschreibung möglicher komplexer Zukunftssituationen gesehen. Dazu integriert die Methode weitgehendst quantitative Ergebnisse anderer Methoden. Das Szenario

repräsentiert eine in sich stimmige Antizipation einer Reihe aufeinander folgender, zukünftiger Ereignisse und Zustände, die unter explizit formulierten Ausgangsbedingungen eintreten können. Häufig werden Szenarien für die Fortschreibung eines gegenwärtigen Zustands gestaltet, wobei ein besonders optimistisches und pessimistisches Szenario durch denkbare Extremwerte für die Ausgangsbedingungen die Grenzen bilden. Die Methode kommt nicht als exakte Planungsgrundlage in Betracht, da sie lediglich das ‚Was-wäre-wenn‘ beantwortet. Sie kann vorteilhaft sein, um das Verständnis für soziotechnische Gestaltungsspielräume zu vertiefen und die Folgenbündel von Entscheidungsalternativen zu verdeutlichen [Lud95], [Gau96], [Röh97], [VDI00].

Die *Kosten-Nutzen-Analyse* ist eine Weiterentwicklung der herkömmlichen Wirtschaftlichkeitsbewertung. Sie erfasst alle Aufwendungen und Erträge eines Projekts über die gesamte Nutzungsdauer und macht sie durch Umrechnung in Geldeinheiten sowie Abzinsung auf einen bestimmten Stichtag vergleichbar. Darüber hinaus werden auch sekundäre Effekte und qualitative Auswirkungen durch bestimmte Umrechnungsfaktoren in Geldwerten ausgedrückt und berücksichtigt. Die Stärke der Methode liegt neben der Beachtung technisch-wirtschaftlicher Kriterien in dem Einbezug metaökonomischer Gesichtspunkte. Umstritten ist hingegen die monetäre Quantifizierung von qualitativen Effekten [Lud95], [Wor96], [Röh97], [VDI00].

Die *Nutzwert-Analyse* bzw. *Scoring-Methode* beruht auf einem entscheidungstheoretischen Modell, das die Nutzwerte mehrerer Handlungsalternativen bezüglich mehrerer Bewertungskriterien ermittelt, ordnet und für jede Alternative zu einem Gesamtnutzen aggregiert. Hierzu werden in einer Matrix die Handlungsalternativen den Bewertungskriterien gegenübergestellt und die Nutzwerte nach einer entsprechenden Skala eingetragen. Nach Gewichtung der Bewertungskriterien werden die gewichteten Teilnutzwerte zum Gesamtnutzwert zusammengefasst, der dann den abschließenden Wertvergleich der Alternativen erlauben soll. Die Methode hat den Vorteil, komplexe Bewertungsvorgänge zu strukturieren, intuitive Präferenzen offen zu legen und dadurch eine rationale Bewertungsdiskussion zu erleichtern. Allerdings ist auf die quantitativen Berechnungsergebnisse bei qualitativer Anwendung der Methode nicht unbedingt

Verlass, da nicht zwangsläufig messtheoretische, entscheidungslogische und mathematische Voraussetzungen erfüllt sind [Zan73], [Len94], [Lud95], [Röh97], [VDI00], [Bul02b].

### 2.5.2 Spezielle Methoden der Technologiebewertung

Im Rahmen der Methode des *Technologieportfolios* [Pfe83] wird die strategische Position von Produkt- und Herstellungstechnologien innerhalb der zweidimensionalen Matrix mit den Bewertungsdimensionen Technologieattraktivität und Ressourcenstärke abgebildet. Die Technologieattraktivität wird mittels Indikatoren zur Messung der so genannten Technologie-Potential-Relevanz (Weiterentwickelbarkeit, Zeitbedarf) sowie zur Erfassung der Technologie-Bedarfs-Relevanz beschrieben. Während die Technologieattraktivität die wirtschaftlichen und technischen Vorteile erfassen soll, die durch Weiterentwicklung im jeweiligen Gebiet strategisch realisiert werden können, drückt die Ressourcenstärke die technische und wirtschaftliche Beherrschung des Technologiegebietes in Relation zur relevanten Konkurrenz aus. Zur systematischen Erfassung und Auflistung der Technologien für die Analyse hinsichtlich der genannten Bewertungsdimensionen wird eine stufenweise, hierarchisch abwärtsschreitende Zergliederung des Produktes in seine Subsysteme, Baugruppen und Elemente empfohlen.

Mit dem *Portfolio-Ansatz zur integrierten Technologie- und Marktplanung* [Mic87] soll eine integrierte Technologiebewertung erzielt werden, bei der die Komplexität im Technologie-Produkt-Zusammenhang und darüber hinaus Anleitungen für eine konsistente Einbindung in die strategische Gesamtplanung gesehen werden. In einem zweistufigen Konzept werden mittels Grobanalyse wenig Erfolg versprechende Technologien ausgesondert, um die verbleibenden durch eine Feinanalyse anhand differenzierter Kriterien detaillierter zu analysieren. Diese Kriterien werden in Subpotentiale aus Problemlösung, Implementierung, Diffusion und Differenzierung zu Innovationsattraktivität und –stärke zusammengefasst und in Innovationsfeldern eines Portfolios beurteilt. Eine Einbindung in die strategische Gesamtplanung findet durch Anwendung der Feinanalyse im Rahmen der strategischen Marktplanung statt. Positiv ist der Methode anzurechnen, dass

zumindest ansatzweise markt- bzw. kundenrelevante Aspekte bei der Ermittlung der Subpotentiale aufgegriffen werden.

In der *arbeitnehmerorientierten Konzeption zur Technologiefolgenabschätzung* [Rau91] werden die Interessen der Arbeitnehmer in Hinblick auf die Wirkungen eines Technologieeinsatzes in Zusammenhang gebracht. Dabei werden Einstellungen, Konzepte und Beteiligungsformen, ihre Möglichkeiten und Grenzen aufgezeigt. Die Folgen können von gesundheitlichen Be- und Entlastungen, veränderten Arbeitsinhalten und Qualifikation, Kontrollmöglichkeiten am Arbeitsplatz bis zu einer Veränderung in den rechtlichen Arbeitsbeziehungen reichen. Eine Bewertung wird mittels eines Kriterienrasters an Aspekten des gesellschaftlichen Nutzens, ökonomischer Chancen, strukturpolitischer Einbindung und Gestaltungsmöglichkeiten für die Arbeitswelt vorgenommen. Zur Erhebung, Analyse und Auswertung der notwendigen Informationen wird eine systematische Vorgehensweise bereitgestellt, die sich auf bereits etablierte Methoden stützt. Die Ergebnisse werden schließlich in einer einfachen Bewertungsmatrix dargestellt.

Die *Systemkonzeption der Technologiefrühaufklärung* [Pei92] liefert eine methodische Unterstützung bei der Identifikation und Analyse von Ansätzen zukünftiger Technologien. Zunächst werden durch Bildung von Indikatoren bzw. Orientierungsparametern bedeutsame technologische Umfeldentwicklungen aus der Gesamtheit naturwissenschaftlich-technischer Informationen ausgefiltert. Die Indikatoren werden zur Abgrenzung aussichtsreicher Technologiefelder eingesetzt. Zur Bestimmung der für das jeweilige Unternehmen relevanten Erfolgspotentiale und Restriktionen erfolgt eine Bewertung der identifizierten Technologiefelder hinsichtlich ihres Zukunftspotentials auf Basis einzelner Bausteine. Diese berücksichtigen u. a. die Einsatzbreite, den Aufwand, das Einsatz- und Weiterentwicklungspotential, die Anwendungsarten und mögliche Folgen.

Die *Problematik der technischen Bewertung* [Len94] wird durch ein allgemeines Verfahren gelöst, das aus den Phasen Analyse der Aufgabenstellung und Synthese der Kriterien, Analyse der Alternativen, Synthese der Einzelurteile und der Gesamturteile, Analyse der Bewertungsergebnisse und Übergang zur Entscheidungsfindung besteht. Hierbei werden Bewertungskriterien nach qualitativen

und quantitativen Gesichtspunkten berücksichtigt und einer Gewichtung unterzogen. Unter Beachtung von erarbeiteten Grundsätzen zur Beschreibung von Alternativen werden einzelne Merkmalsausprägungen mittels direkter Urteile, diskreter Ausprägungs-Urteils-Relationen und Wertfunktionen beurteilt. Schließlich werden die qualitativen Urteile normiert und die quantitativen Teilergebnisse mittels statistischer Methoden aggregiert und zu einer Gesamtaussage kombiniert.

Durch die *Technikfolgenbewertung am Beispiel des Elektro-PKW bei geschlossener Betrachtung von Verkehr und Energieversorgung* [Hei97] soll eine Alternative der Antriebstechnologien zur besseren Energienutzung untersucht werden, mit dem Ziel die wachsende Nachfrage im Transportsektor ökologisch vertretbar zu gestalten. Bewertet werden die elektrizitätswirtschaftlichen und ökologischen Folgen bei Einsatz einer großen Flotte von Elektro-Autos im Stadtverkehr, die auch den Anforderungen z. B. hinsichtlich Beschleunigungsverhalten entsprechen. Grundlage für eine Erfassung des Einflusses auf den Primärenergieeinsatz ist die Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Nachbildung von Verkehrsverhalten, Batterie- und Fahrzeugtechnik sowie der Ladestrategie. Die daraus resultierenden Ergebnisse zeigen, dass ein verstärkter Elektro-PKW-Einsatz nicht zu einer erhöhten Auslastung der Kernkraftwerke, sondern zur verstärkten Nutzung des umweltfreundlichen Primärenergieträgers Gas führt. Aufgrund der geringeren SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> Emission dient der Elektro-PKW nicht nur der umweltfreundlichen Gestaltung des innerstädtischen Bereiches, sondern auch auf regionaler und globaler Ebene.

Das Konzept des *Management strategischer Innovationsfelder* [Sch97] kommt im Rahmen des strategischen Managements von Technologien und Innovationen zum Tragen. Das Ziel besteht in der Gestaltung einer Methodenkonzeption, die Planungs-, Durchführungs- und Kontrollmethoden/-instrumente bereitstellt, um geschäftsfeld-, technologiefeld- und innovationsfeldorientierte Managementaktivitäten zu koordinieren. Dazu wurde ein modulares Prozessmodell erarbeitet, das für verschiedene Phasen des strategischen Managementprozesses einerseits Orientierungshilfen für Auswahl und Anwendung von Methoden und andererseits auch Methoden selbst zur Verfügung stellt. Als Hilfsmittel dienen Indikatorensysteme, deren Grundlage sowohl qualitative Einflussgrößen als auch

quantitative Effizienzkriterien (Kosten, Zeit) sind. Zur Ergebnisinterpretation kommen die Portfolio-Technik und Matrixdarstellung zum Einsatz.

Die *Entwicklung eines multikriteriellen Entscheidungsunterstützungssystems zur integrierten Technikbewertung* [Gel99] befasst sich mit den Anforderungen einer integrierten Technikbewertung hinsichtlich ökologischer und techno-ökonomischer Aspekte. Das Konzept wurde auf die speziellen Anforderungen der Eisen- und Stahlindustrie ausgerichtet und soll eine Entscheidungsunterstützung bei der Bewertung und Auswahl von Emissionsminderungsmaßnahmen bieten. Der Ablauf dieser integrierten Technikbewertung beginnt mit dem sog. First Screening zur Ermittlung der relevanten Stoff- und Energieströme, um ggf. den Untersuchungsraum eingrenzen oder erweitern zu können. Diejenigen Techniken, die aufgrund gesetzlicher Forderungen ausscheiden, werden als weitere Alternativen für die nachfolgende Stoff- und Energiebilanz nicht zugelassen. Nach der Datensammlung und Modellierung der relevanten Stoff- und Energieströme erfolgt eine Berechnung von technischen, ökologischen und ökonomischen Kennzahlen. Die Entscheidungsunterstützung erfolgt schließlich durch Datenaufbereitung, Gewichtung der Kennzahlen, einer multikriteriellen Auswertung und einer Sensitivitätsanalyse.

Die *Methodik zur Identifizierung und Nutzung technologischer Potentiale* [Pel99] liefert als Ergebnis ein Potentialportfolio als Leitfaden für das strategische Technologiemanagement sowie Entwicklungsvorschläge zur Nutzung freier zukunftssträchtiger technologischer Potentiale. Im Potentialportfolio werden die Zukunftsträchtigkeit und die Technologiebeherrschung abgebildet, um als Entscheidungsgrundlage für die Fokussierung und strategische Ausrichtung auf bestimmte Technologien zu dienen. Dazu wird die Zukunftsträchtigkeit durch eine unternehmensneutrale Bewertung des Kosten-, Differenzierungs-, Weiterentwicklung- und Imagepotentials ermittelt. Die Technologiebeherrschung eines Unternehmens wird durch die Kriterien Sachmittelpotential, Anwendungsperformance und Know-how zur Weiterentwicklung der Technologie bestimmt. Mittels Suchfeldbildung sollen auf Basis der zuvor identifizierten Technologien neue Produkte oder Anwendungsfelder identifiziert werden. Die so generierten Ideen werden auf ihre Markteignung, Strategie- und Potentialkonformität überprüft.

Ziel der *Bewertung von Innovationsideen mit Hilfe von Lebenszyklusaufwand* [Hah00] ist, das Risiko auf dem Weg der Umsetzung von Innovationsideen zu am Markt eingeführten Produkten zu reduzieren. Im Mittelpunkt der Betrachtung steht das wirtschaftliche Risiko bei der Umsetzung einer Innovationsidee und somit das damit verbundene Investitionsproblem unter der Prämisse, dass Unternehmen knappe Ressourcen zur Ideenrealisierung bereitstellen. Die Methode stellt kein neues Bewertungsverfahren auf, sondern erweitert und verknüpft bestehende Verfahren insbesondere die der Investitionsrechnung. Eine Entscheidung für oder gegen die betrachtete Innovation wird auf Basis der Kriterien Nützlichkeit und Ausgaben vorgenommen.

Bei der *szenariobasierten Frühnavigation im strategischen Technologiemanagement* [Zin00] handelt es sich um ein strategisches Planungs- und Entscheidungsinstrument zur Technologiefrühaufklärung mit dem Hintergrund, durch Entwicklung von Szenarien auf mögliche Eventualitäten vorbereitet zu sein und frühzeitig Entwicklungstendenzen zu erkennen. Hierzu werden Szenarien unter Verwendung von vor allem qualitativen Befragungs- und Analysemethoden generiert und die sich daraus ergebenden Einflussfaktoren dokumentiert. Darauf aufbauend erfolgt eine Trendbewertung durch Indikatoren, die in einem Feldprofil abgebildet werden. Schließlich lassen sich charakteristische Felder identifizieren, anhand derer die am meisten realistische Einschätzung erkannt wird.

Die Aufbaustruktur der *Methodik zur Planung technologischer Produktinnovationen* [Bra02] besteht aus einem Vorgehens-, Zukunfts-, Informations-, Bewertungs- und Umsetzungsmodell. Das Vorgehensmodell repräsentiert die Ablaufstruktur der Methode und besteht aus mehreren Planungsstufen. Das Zukunftsmodell soll die Gestaltungsbereiche eines Unternehmens derart systematisch analysieren, dass Innovationspotentiale identifiziert werden können. Eine frühzeitige, planungsbegleitende Dokumentation bei der Entstehung von Zukunftsprojekten stellt in einem Informationsmodell die Informationen für die nachfolgenden Planungsphasen bereit. Das Bewertungsmodell bewertet unter Nutzung entscheidungstheoretischer Ansätze die Zukunftsträchtigkeit von Produktideen in einem Markt-Technologie-Portfolio und in einem Portfolio für den Unternehmensnutzen. Die Umsetzungsplanung erfolgt anhand einer Innovations-



Roadmap und aggregiert die Ergebnisse der vorhergehenden Planungsphasen. Sie stellt die Basis für die Steuerung der späten Phasen des Innovationsprozesses dar.

Das *Informationssystem für das Technologiemanagement* [Wal03] beinhaltet eine Prozess- und Informationsplattform zur Beschreibung von Aufgaben im Technologiemanagement und ein Kommunikationsmodell als Bindeglied. Bestandteil der Prozessplattform ist das Prozess- und Projektmodul zur Darstellung des Geschäftsprozesses zum Technologiemanagement bzw. unternehmensspezifischen Abbildung typischer Projekte. Die Informationsplattform besteht aus einem Informationsmodul zur Verwaltung von Informationen über Technologien, Produkte, Projekte und das Unternehmen sowie einem Benutzermodul zur Benutzerverwaltung (z. B. Rechteverwaltung). Die Informationen werden zur Strukturierung in Modellform abgebildet, wobei die einzelnen Modelle z. T. miteinander vernetzt sind. Dabei stehen informationstechnische Zusammenhänge wie beispielsweise Datenstrukturen und -formate im Fokus. Das Informationssystem liefert Daten und Werte zu Technologien, bleibt allerdings eine Bewertung schuldig.

## **2.6 Defizite und Schwachstellen bisheriger Methoden und abgeleiteter Handlungsbedarf**

Die Gegenüberstellung von diskutierten Ansätzen und Methoden im Umfeld der Technologieentstehung (Abb. 2-12) umfasst entsprechend des Schwerpunktes der vorliegenden Arbeit nur Ansätze zur Technologiebewertung (vgl. Kapitel 2.5). Anschließend findet eine separate Diskussion der transferorientierten Methoden und Verfahren statt.

Zur Klassifikation der Methoden werden deren Ausprägungen hinsichtlich der Merkmale *Technologiemodell*, *Bewertungsart*, *Bewertungsausrichtung*, *Lebenszyklusabschnitt* und *Lösungsansatz* herangezogen. Diese Klassifikationsmerkmale tragen den eingangs der Arbeit diskutierten Anforderungen Rechnung (vgl. Kap. 1.1).

Mit dem *Technologiemodell* wird angegeben, ob explizit ein strukturiertes Beschreibungsmodell zur Erfassung von Technologiemerkmalen verwendet wird.

Der Aspekt *Bewertungsart* unterscheidet, ob das jeweilige Verfahren eine Bewertung auf quantitative oder qualitative Art vornimmt. Dabei sind auch die Bewertungskriterien von Bedeutung.

Bei der Überprüfung der *Bewertungsausrichtung* wird unterschieden, inwieweit die Bewertungskriterien und –ergebnisse auf einen möglichen Unternehmens- oder Kundennutzen zielen. In gewisser Hinsicht lassen sich somit Effizienz- und Effektivitätsaspekte differenzieren.

Von zentraler Bedeutung ist der *Lebenszyklusabschnitt*, d. h. die Phase im Technologielebenszyklus (vgl. Abb. 1-4), in der der betrachtete Ansatz zum Einsatz kommt bzw. kommen kann.

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal wird durch den *Lösungsansatz* gegeben. Hier erfolgt eine Abgrenzung der Konzepte hinsichtlich einer organisatorischen, methodischen, toolunterstützten Vorgehensweise sowie Integration. Herausgestellt werden soll, ob die untersuchten Ansätze jeweils entsprechende Maßnahmen zur Realisierung beinhalten.

Außerdem lassen sich allgemein noch die nachfolgenden Anmerkungen bezüglich bestehender Probleme bzw. Defizite in Hinblick auf einen möglichen Methodeneinsatz anführen.

Als Kernprobleme konnten die zeitlich und inhaltlich flexible Zuordnung von bewertungsrelevanten Daten, und unterschiedliche Sicherheits- und Genauigkeitsgrade bei der Informationsbeschaffung und –auswertung identifiziert werden [Ser92].

Wird in diesem Zusammenhang vom Innovationsprozess gesprochen, so hat auch die Zusammenführung von Bewertungsinformationen im Entstehungsprozess immer nur den Charakter von Momentaufnahmen, wobei die Informationen zum Teil in stark differierenden Detaillierungsgraden vorliegen [Ser92].

Merkmale  Bewertungsansätze	Technologie-modell	Art		Ausrichtung		Lebenszyklusabschnitt						Lösungsansatz			
		qualitativ	quantitativ	Kunden-nutzen	Unternehmens-nutzen	Technologie-planung	Technologie-entwicklung	Technologie-analyse	Technologie-adaption	Technologie-umsetzung	Technologie-nutzung	Organisatorisches Konzept	Methodisches Konzept	Toolgestütztes Konzept	Integriertes Konzept
Strategisch-orientiertes Forschungs- und Technologiemanagement [Pfe83]	○	●	○	◐	●	●	◐	○	○	○	○	○	●	○	●
Portfolio-Ansatz zur integrierten Technologie- und Marktplanung [Mic87]	○	●	○	◐	●	●	◐	◐	○	○	○	○	●	○	●
Arbeitnehmer-orientierte Konzeption zur Technologiefolgenabschätzung [Rau91]	○	●	○	◐	○	●	●	●	●	●	●	◐	●	○	●
Identifikation und Bewertung in der strategischen Unternehmensplanung [Pei92]	○	●	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	●	○	●
Zur Problematik der technischen Bewertung [Len94]	○	●	●	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	○	○	●	○	○
Technikfolgenbewertung des Elektro-PKW [Hei97]	○	◐	●	◐	◐	●	●	◐	◐	○	○	○	●	○	◐
Prozessbasierte Integration markt- und technologieorientierter Instrumente [Sch97]	○	●	◐	●	●	●	◐	◐	○	○	○	◐	●	○	●
Multikriterielles Entscheidungssystem zur integrierten Technikbewertung [Gel99]	○	◐	●	○	●	○	○	◐	○	○	◐	○	●	●	◐
Identifizierung und Nutzung strategischer Technologiepotentiale [Pel99]	○	●	◐	●	●	●	●	◐	◐	○	○	○	●	●	●
Bewertung von Innovationsideen mit Hilfe von Lebenszyklusaufwand [Hah00]	○	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	●	○	○
Szenariobasierte Frühnavigation im strategischen Technologiemanagement [Zin00]	○	●	◐	○	●	●	◐	◐	◐	○	○	◐	●	●	●
Planung technologischer Produktinnovationen [Bra02]	○	◐	●	○	●	◐	○	◐	○	◐	○	◐	●	○	○
Informationssystem für das Technologiemanagement [Wal03]	●	○	○	○	◐	●	○	◐	○	◐	○	○	●	◐	○
SOLL	●	●	●	●	●	○	○	●	○	●	○	○	●	●	●

Merkmal ausgeprägt     
  Merkmal teilweise ausgeprägt     
  Merkmal nicht ausgeprägt

Abb. 2-12: Überblick über relevante Ansätze zur Technologiebewertung

Einige ökonomische Verfahren gehen von einem zu engen Anwendungsrahmen (Wirtschaftlichkeit) aus oder sind nur für bestimmte Zwecke (Risikominimierung) bzw. unter sehr praxisfernen Bedingungen einsatzfähig. Herkömmliche Kosten-Nutzen-Analysen oder andere Bilanzen der Vor- und Nachteile sind zwar in der Lage, Nutzen und Risiko miteinander zu vergleichen, beinhalten aber gleichzeitig das Problem universeller Vergleichbarkeit, der Inkommensurabilität verschiedener Dimensionen und die Objektivierung von Vergleichsmaßstäben. Ludwig [Lud95] präzisiert die Kritik und sieht Schwierigkeiten bei der Gesamtbewertung durch die unterschiedlichen Betrachtungsweisen der zugrunde liegenden Größen. Die Problematik besteht in der Einstufung von nichtvergleichbaren Größen bezüglich eines Maßstabs. Die Nichtvergleichbarkeit liegt in einer unzureichenden Modellierung begründet. Mit dem monetären Bewertungsmaßstab wird versucht, eine scheinbare Vergleichbarkeit zu schaffen.

Liegen mehrere Lösungsansätze vor, entsteht die Aufgabe, aus dieser Menge unter zieladäquaten und zweckgerichteten Gesichtspunkten auszuwählen. Eine effiziente Entscheidungsfindung und –wahl setzt ein geeignetes Verfahren sowie passende Entscheidungskriterien und Bewertungsmethoden voraus [Bul02b].

Keiner der dargestellten Ansätze kann das Phänomen der technologischen Innovationen bzw. die Technologieentwicklung vollständig erklären. Innovationen haben viele Ursachen und ein in sich geschlossenes Konzept im Technologielebenszyklus konnte bisher nicht vorgestellt werden. Damit besteht ein großes Missverhältnis zwischen der Notwendigkeit zur Durchführung einer systematischen Technologiebewertung und der bisherigen, theoretischen Fundierung von Technologie- und Technikentwicklungsprozessen [Zah92].

So existiert nicht *die* Methode zur Technologiebewertung. Jede Methode besitzt ihre Stärken und Schwächen, die daher einen universellen Einsatz nicht ratsam erscheinen lassen.

Die meisten verfügbaren Verfahren zur Technologiebewertung beziehen sich auf eine strategische Planung oder eine Folgenabschätzung und sind für den Einsatz als Bewertungsverfahren zur Auswahl alternativer Technologien im Übergang zur Produktentwicklung nicht geeignet. Methoden der Technologiebewertung zur Produktentwicklung sind zudem deutlich unterrepräsentiert. Die Schwächen der vorgestellten Ansätze macht eine Bereitstellung weiterer Bewertungsmethoden für abgegrenzte Anwendungsfelder zwingend notwendig.

Um eine Technologieentscheidung zu treffen, dürfen Technologien nicht isoliert betrachtet werden [Spe99]. Vielmehr müssen die Wechselwirkungen mit anderen Technologien in die Betrachtung mit einbezogen werden. Nur so lässt sich eine adäquate Entscheidung für den Einsatz einer Technologie herbeiführen.

Die vorhandenen Ansätze für einen systematischen Technologietransfer sind bislang nur rudimentärer Natur und befinden sich noch am Anfang ihrer Entwicklung, die in Hinblick auf die zunehmende Wettbewerbssituation von Unternehmen weiter an Bedeutung gewinnt. Spur [Spu98] ist sich dieser Erkenntnis bewusst und gibt Anregungen für einen übergreifenden Technologietransfer von Organisationen, die sich auch unternehmensintern abbilden ließen. Eine systematische Vorgehensweise

bleibt er allerdings schuldig, obgleich er grundsätzlich Technologietransfer als Funktion des Technologiemanagements für organisierbar hält. Baumann [Bau99] sieht vor allem einen Personalaustausch als Maßnahme, um einen wirksamen Technologietransfer zu leisten. In seinem vorgestellten Grundmodell werden die verschiedenen Beziehungsarten zwischen den Beteiligten berücksichtigt. Eine Systematik zur Umsetzung wird hingegen nicht aufgezeigt. Wilhelm [Wil99] und Eggers [Egg97] führen zwar die Randbedingungen auf, die für einen erfolgreichen Transferprozess erfüllt werden müssen, stellen aber keine Umsetzungsmethode zur Verfügung. Eine Studie aus dem Jahr 2003 bestätigt diesen Eindruck. Demnach wird ein Prozess zum Transfer neuer Technologien in die Serie zwar von Unternehmen häufig definiert und kommuniziert, jedoch überwiegend selten oder gar nicht entsprechend umgesetzt [Bul03b].

Als Fazit kann festgestellt werden, dass bislang nur unzureichende Methoden existieren, um einen erfolgreichen Technologietransfer systematisch methodisch abzusichern.

Aus der Gegenüberstellung der Bewertungsansätze in Abb. 2-12 wird ersichtlich, dass bislang kein Vorgehen sowohl eine Analyse, Bewertung von Technologien für den Einsatz in der Produktentwicklung als auch die Umsetzung durch einen adäquaten Technologietransfer umfassend behandelt.

Dem sich aus den Anforderungen (Kapitel 1.1) und der State-of-the-art-Analyse ergebende Handlungsbedarf muss insbesondere durch nachfolgende Zielsetzungen eines Lösungsansatzes entsprochen werden:

- *Modellbasierte Technologiebeschreibung*  
Die zur Analyse und Auswertung benötigten Daten und Informationen sollen in einem modellhaften Beschreibungsschema mit einheitlicher Merkmalsstruktur abgebildet werden. Dadurch lassen sich Technologien systematisch charakterisieren. Gleichzeitig wird eine bessere Vergleichsmöglichkeit erzielt.
- *Objektive Vergleichsmöglichkeit alternativer Technologien*  
Das Ziel der Technologiebewertung besteht vornehmlich darin, qualifizierte Aussagen über die betrachteten Technologien zu erhalten. Damit soll ebenfalls

eine Gegenüberstellung von Technologiealternativen bereitgestellt werden. Hierzu können geeignete Kennzahlen eingesetzt werden.

- *Verfolgung des Prinzips der Ergebnisorientierung*

Die bereitzustellende Methode soll eine zielgerichtete Analyse und Bewertung in Hinblick auf das zu entwickelnde serienreife Produkt vornehmen, um letztlich das gewünschte Ergebnis zu gewährleisten. Anforderungen an Technologien sind aufgrund der produktähnlichen Funktionsrealisierung gleichermaßen wie Anforderungen an Produkte hinsichtlich der Zielgrößen Kosten, Qualität und Flexibilität zu bewerten.

- *Beurteilung einer Technologie für den Einsatz in der Serie*

Zunächst ist die Technologie hinsichtlich Ihrer Attraktivität bezogen auf den jeweiligen Kunden- und Unternehmensnutzen unter Annahme ihrer Anwendung zu beurteilen. Darauf aufbauend ist die betrachtete Technologie hinsichtlich ihres Reifegrads durch Interpretation der zur Verfügung stehenden Informationen zu bewerten, um einen erfolgreichen Einsatz der Technologie in einem Serienprodukt sicherzustellen. Hierdurch ergibt sich die weitere Zielgröße des Technologischen Reifegrads.

## **2.7 Weitere relevante Bestandteile, Methoden und Verfahren zur Umsetzung einer Technologiebewertung**

Aus den im vorangegangenen Kapitel dargestellten Anforderungen leitet sich der Bedarf ab, weitere relevante Methodenelemente für eine adäquate Technologiebewertung zu betrachten. Dabei wird als Schwerpunkt auf das Quality Function Deployment (QFD), die genannten finalen Zielgrößen und Verfahren im Umgang mit unscharfen Informationen und Wahrscheinlichkeiten eingegangen.

### 2.7.1 Quality Function Deployment

Das Quality Function Deployment (QFD) ist eine Methode zur systematischen Planung der Qualität eines Zielproduktes ausgehend von kunden- und marktseitigen Qualitätsanforderungen [Pfe01]. Darüber hinaus werden Anforderungen an die zur Herstellung des Zielproduktes notwendigen Produktionsprozesse und Qualitätssicherungsmaßnahmen abgeleitet. Die Maxime des QFD lautet, dass bei qualitätsrelevanten Entscheidungen der Stimme des Kunden stets Vorrang einzuräumen ist.

Zentrale Bedingung des Quality Function Deployment ist eine konsequente Kundenorientierung des Gesamtunternehmens und seiner Teilbereiche. Darüber hinaus müssen in ausreichendem Umfang Informationen über die Qualitätsanforderungen der Kunden verfügbar sein.

Bis heute existiert keine umfassende und einheitliche Definition der Methode des Quality Function Deployment [Pfe01]. So liegt insbesondere keine entsprechende Norm der bekannten Organisationen vor. Es gibt vielmehr unterschiedliche methodische Varianten und Entwicklungstendenzen. Die gegenwärtig vorherrschende Anwendungspraxis in den USA und Europa orientiert sich an der durch das Institut der Amerikanischen Zulieferindustrie (American Supplier Institute, ASI) formalisierten Vorgehensweise.

Die QFD-Methode nach ASI gliedert sich in die folgenden vier Phasen:

#### PHASE I: „Produktplanung“

Erfassung kunden- und marktseitiger Qualitätsanforderungen (Kundenforderungen) und Ableitung lösungsneutraler Qualitätsanforderungen an die Konstruktion (Konstruktionsanforderungen).

#### PHASE II: „Teileplanung“

Ausgehend von den Qualitätsanforderungen an die Konstruktion werden Konstruktionskonzepte sowie Qualitätsanforderungen an Teilsysteme und Bauteile (Teileanforderungen) abgeleitet.

#### PHASE III: „Prozessplanung“

Hier werden ausgehend von den Qualitätsanforderungen an die Teile Produktionskonzepte und -prozesse ausgewählt sowie die Prozessparameter festgelegt.

#### PHASE IV: „Produktionsplanung“

Abschließend werden ausgehend von den Produktionsprozessen Qualitätssicherungsmaßnahmen abgeleitet und die Parameter der Maßnahmen festgelegt.

Zentrales Element der QFD-Methode ist die Erstellung von Planungstafeln zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen den Qualitätsplanungsinformationen der verschiedenen Arbeitsbereiche. Das Quality Function Deployment weist eine hohe Verflechtung mit bereichsspezifischen Arbeitstechniken auf. So werden in der ersten, zweiten, dritten und vierten Phase schwerpunktmäßig Techniken aus den Bereichen Marketing, Konstruktionstechnik, Produktionsplanung bzw. Qualitätsmanagement integriert.

Bekannt ist insbesondere das House of Quality als Planungstafel der Produktplanung, das in 8 Schritten erstellt wird (vgl. [Gie01]). Dabei werden u. a. Kundenanforderungen ermittelt, gewichtet und diese mit Qualitäts-/Produktmerkmalen korreliert. Daraus lässt sich schließlich die Bedeutung der Produktmerkmale ermitteln.

Im Rahmen der QFD-Methode werden häufig die Begriffe Merkmal, Sollwert und Anforderung verwendet. Hier steht der Begriff Merkmal für eine variable Stellgröße und ist damit ein freier Parameter. Ein Beispiel für ein Merkmal ist die maximale Leistung eines Antriebs. Eine Anforderung ist demgegenüber ein Merkmal zusammen mit einem quantitativen oder qualitativen Sollwert.

#### 2.7.2 Bewertungskriterien als finale Zielgrößen

Anforderungen an Technologien lassen sich ebenso wie an Produkte hinsichtlich Kosten, Qualität und Flexibilität unterscheiden (vgl. [Noh99]), da sie sich auf die produktähnliche Funktionsrealisierung beziehen und eine Art Zukunftshypothese darstellen. Ob eine Technologiealternative auch zukünftig eine geeignete Lösung darstellt, muss zu Entwicklungsbeginn die Tragfähigkeit einer Technologie und zu Serienbeginn deren Anwendungsreife sichergestellt werden [Bul03c]. Da keine geeigneten Vorarbeiten für die Bewertung eines Technologischen Reifegrads existieren, wird dieser im Rahmen dieser Arbeit entwickelt und definiert (Kapitel 5.2.4).



### *2.7.2.1 Kosten*

Kosten wurden als ein finales Bewertungskriterium gewählt, da gemäß Target Costing Kosten eine entscheidende Rolle bei der Realisierung von Produktfunktionen spielen. Da diese Produktfunktionen durch Technologien realisiert werden, sind auch die Kosten, die im Zusammenhang mit diesen Technologien anfallen von entscheidender Bedeutung. In der VDI RICHTLINIE 2235 wird darauf hingewiesen, dass der größte prozentuale Anteil des Kostenanfalls in der Entwicklungs- und Konstruktionsphase festgelegt wird, dort jedoch nur ein geringer Prozentsatz der Kosten anfällt [VDI87]. Daraus ist ersichtlich, dass auch der Entscheid für eine Technologiealternative mit einer erheblichen Kostenfestlegung für die nachfolgende Produktrealisierung einhergeht.

Nach [Cor04] wird allgemein unter Kosten der bewertete sachzielbezogene Güterverzehr einer Periode verstanden. Die Gesamtkosten setzen sich aus den fixen Kosten, die bei einer Variation der Outputmenge konstant bleiben und den variablen Kosten, die sich bei einer Variation der Outputmenge verändern, zusammen. An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass der Anteil der Fixkosten an den Stückkosten bei steigender Outputmenge abnimmt. Dies wird als Fixkostendegression bezeichnet [Cor04].

### *2.7.2.2 Qualität*

Qualität wurde als eines der finalen Bewertungskriterien gewählt, da diese im Rahmen der Wettbewerbsstrategien insbesondere bei der Verfolgung der Differenzierungsstrategie eine entscheidende Rolle einnehmen kann [Por02]. Vor diesem Hintergrund muss sichergestellt werden, dass die F&E-Ergebnisse eine wettbewerbsfähige Qualität erreichen [Mat91]. Daraus folgt, dass auch die Technologien, die bestimmte Produktfunktionen erfüllen sollen, eine entsprechende Qualität aufweisen müssen.

In der DIN EN ISO 8402 wird der Begriff der Qualität als die Gesamtheit von Merkmalen einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen, definiert [DIN95].

Wichtige Qualitätskriterien sind z. B. die Funktionserfüllung sowohl aus Kundesicht wie auch aus Unternehmenssicht. da diese beiden Interessensgruppen je nach zu bewertender Technologiealternative unterschiedliche Forderungen an diese haben

können. So können Technologien unterschieden werden, die direkt vom Kunden wahrgenommen werden (z.B. Bildschirmtechnologien) und Technologien, die nicht direkt vom Kunden wahrgenommen werden (z. B. Verkabelungstechnologien). Die für den Kunden entscheidenden Qualitätsmerkmale ergeben sich häufig erst aus dem Zusammenwirken sämtlicher Einzelelemente eines Erzeugnisses [Wes04].

### *2.7.2.3 Flexibilität*

Flexibilität ist die Fähigkeit, sich auf Veränderungen einzustellen und die dazu erforderlichen Anpassungsvorgänge zeitnah und zielgerichtet vorzunehmen [Vah99]. Flexibilität steht beispielsweise für Übernahmemöglichkeiten von E/E-Komponenten aus einer Fahrzeugbaureihe in eine andere, die heute trotz einer weitgehend etablierten Grundarchitektur gering sind. Dies bindet durch den steigenden Elektronikanteil im Fahrzeug zunehmend Entwicklungsressourcen, erhöht das Entwicklungsrisiko aufgrund der steigenden Komplexität und verlangsamt nachhaltig den bei divergierenden Marktzyklen wichtiger werdenden Markteintrittszeitpunkt [Ste01]. Weiterhin haben Elektroniksysteme deutlich kürzere Innovationszyklen als die Fahrzeugbaureihen, was dazu führen kann, dass innerhalb der Fahrzeuglaufzeit neue Systeme zu integrieren oder bestehende zu aktualisieren sind [Bec03]. Auch die für die Hardware zur Verfügung stehenden Bauräume im Fahrzeug sind begrenzt. So sind in heutigen E/E-Architekturen mehr als 50 Steuergeräte im Einsatz, deren Verbindung insgesamt Leitungslängen von über 3 km haben [Hof01]. Eine weitere Problematik spiegelt sich darin wider, dass in Zukunft aufgrund des steigenden Leistungsbedarfs durch den vermehrten Einsatz von Elektronik im Fahrzeug die Bordnetzspannung erhöht werden wird. In der Diskussion sind verschiedene Konzepte, wobei sich abzeichnet, dass mittelfristig ein 42V Bordnetz realisiert werden wird. Für die Übergangszeit werden unter anderem auch Zweispannungsbordnetze wie beispielsweise ein 14V/42V Bordnetz diskutiert. Dies ist in den Technologien der heutigen Verbraucher begründet, die nicht alle bei 42V betrieben werden können [Kno00].

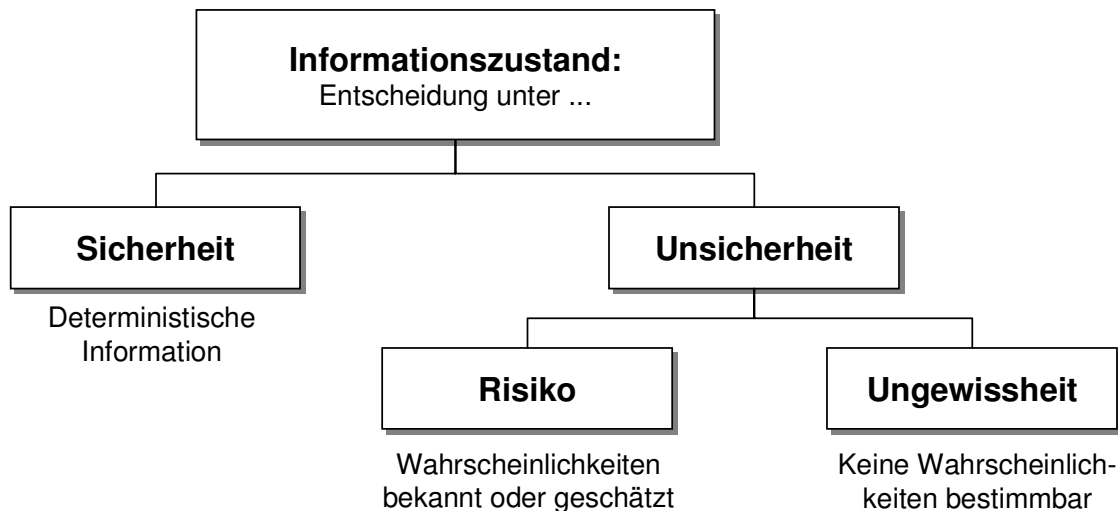
Ein weiterer Aspekt der Flexibilität ist die Skalierbarkeit. In diesem Zusammenhang bedeutet dies, dass E/E-Komponenten bei Bedarf einfach in das Gesamtsystem integriert und bei Bedarf gegen andere eventuell leistungsfähigere ausgetauscht werden können. Diese Skalierbarkeit ist sowohl für spezifische Baureihen als auch

durch eine Standardisierung von Modulen baureihenübergreifend anzustreben [Bec03].

### 2.7.3 Umgang mit Unsicherheiten in der Bewertung

In der Realität sind zu Beginn einer Entwicklung in der Regel nicht alle relevanten Informationen mit Sicherheit bekannt. Insbesondere für die geplante Anwendung im Rahmen einer Technologiebewertung in frühen Entwicklungsstadien ist davon auszugehen, dass viele der verwendeten Daten sich im Zeitablauf unvorhersehbar verändern, oder lediglich geschätzt werden können [Löf96]. Zum Zeitpunkt der Entscheidung über den Einsatz einer Technologie in einer Fahrzeugbaureihe ist neben dem derzeitigen Entwicklungsstand der Technologie besonders auch der erwartete Zustand zum Zeitpunkt des Serienstarts von entscheidender Bedeutung.

Die in der Literatur zur Entscheidungstheorie (Vgl. [Bam04], [Lau03]) gebräuchlichste Klassifizierung unvollkommener Information unterscheidet nach der Art der verfügbaren Information in Entscheidungen unter Sicherheit und Entscheidungen unter Unsicherheit. Im ersten Fall ist die verwendete Information deterministisch, d. h. alle relevanten Informationen sind mit Sicherheit bekannt. Der zweite Fall, Entscheidung unter Unsicherheit, liegt dann vor, wenn entscheidungsrelevante Daten, wie zum Beispiel Messgrößen, zukünftige Entwicklungen oder Präferenzen, nicht mit Sicherheit bekannt, sondern entweder gänzlich unbekannt sind oder nur geschätzt werden können. Dieser Fall lässt sich weiterhin unterteilen in Situationen, in denen Wahrscheinlichkeiten für unsichere Ereignisse oder Zustände angegeben werden können, sie werden als Entscheidungen unter Risiko bezeichnet, und solche, in denen dies nicht möglich ist – Entscheidungen unter Ungewissheit. (vgl. Abb. 2-13) Wenn hierbei von Ereignissen und Zuständen die Rede ist, so sind genau genommen deren Konsequenzen gemeint. Von Interesse sind die relevanten Ergebnisse, die einen Einfluss auf die Entscheidung haben.



**Abb. 2-13: Informationszustand zur Klassifizierung von Entscheidungen**

Ebenfalls gebräuchlich ist eine andere Nomenklatur, die den Informationszustand in die drei Kategorien Sicherheit, Risiko und Unsicherheit unterteilt, wobei Unsicherheit im Gegensatz zu den oben eingeführten Bezeichnungen den Fall beschreibt, in dem keine Wahrscheinlichkeiten für mögliche Ereignisse angegeben werden können [Pfo81]. Laux (2003) verwendet, um Verwechslungen vorzubeugen, die Begriffe „Unsicherheit“ und „Unsicherheit im engeren Sinne“. Lindley (1994) hingegen verwendet lediglich den Begriff Unsicherheit und argumentiert, dass „unter der Voraussetzung der transitiven Ordnungsbeziehung [...] für jedes unsichere Ereignis eine Wahrscheinlichkeit existiert“ [Lin94]. In dieser Arbeit sollen die Bezeichnungen gemäß Abb. 2-13 verwendet werden, die auch in [Bam04] und [Eis03] verwendet werden. Die Frage nach der Existenz einer Wahrscheinlichkeit für jedes unsichere Ereignis verliert ihre praktische Relevanz unter der Annahme, dass nicht für jedes unsichere Ereignis eine Wahrscheinlichkeit angegeben werden kann. Trotzdem ist, wie im folgenden Abschnitt noch erläutert wird, eine Modellierung realer Situationen als Risikosituationen grundsätzlich besser geeignet [Lau03].

### 2.7.3.1 Ungewissheit

Wie in Abb. 2-13 dargestellt, beschreibt der Begriff Ungewissheit eine Situation, in der für die Menge der möglichen eintretenden Konsequenzen keine Wahrscheinlichkeiten angegeben werden können. Für diesen Fall existiert eine Reihe sehr einfacher Entscheidungsregeln wie die Maximin- oder Maximax-Regel,

das Hurwicz-Prinzip oder die Laplace-Regel, auch genannt Prinzip des unzureichenden Grundes [Lau03]. Abgesehen von der allgemeinen Kritik, die an derartigen Ansätzen geübt wird, erscheinen sie für den vorliegenden Anwendungsfall wenig geeignet. Laux (2003) argumentiert ausführlich, dass ein Entscheidungsträger zumindest in der Lage sein sollte, subjektive Wahrscheinlichkeiten anzugeben, die er aus seinen Erfahrungen und verfügbaren Informationen ableitet.

### 2.7.3.2 Risiko

Im Finanzwesen wird Risiko definiert als die Höhe des möglichen Verlustes oder die Standardabweichung des möglichen Gewinnes. Festgelegt werden hierzu neben der Kategorie des betrachteten Risikos (Markt-, Kreditrisiken, ...), außerdem der betrachtete Zeitraum, sowie das verwendete Konfidenzniveau [Pic02]. Ansonsten werden Risiken in der Praxis häufig auch dadurch dargestellt, dass die Konsequenzen einzelner negativer oder katastrophaler Ereignisse, zumeist gemessen in Geldeinheiten, mit ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit multipliziert werden. Nicht alle Risiken können ohne weiteres in jedem Fall monetär bewertet werden. Insbesondere operationelle Risiken, die Jovic (2001) in die Bereiche Technologie, Prozesse, Organisation, Faktor Mensch und externe Ereignisse unterteilt, sind mitunter schwer in Geldeinheiten zu messen [Jov01]. Des Weiteren setzt eine Aggregation die Darstellung in einer gemeinsamen Einheit voraus.

Breiting (1997) schlägt beispielsweise eine derartige Risikoanalyse vor, bei der die „Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Risikofalls“ und die „Tragweite T, mit der bei Eintritt einer Risikosituation gerechnet werden muß“ jeweils auf einer diskreten ganzzahligen Punkteskala von 0 bis 4 bewertet werden.

Wahrscheinlichkeit W		Tragweite T	
Beschreibung	Punktwert	Beschreibung	Punktwert
nicht vorhanden	0	keine Auswirkung	0
gering	1	geringe Auswirkung	1
mittelgroß	2	mittlere Auswirkung	2
groß	3	große Auswirkung	3
sehr groß	4	äußerst große Auswirkung	4

**Abb. 2-14: Risikobewertung mittels [Bre97]**

Das Risiko definiert er hierbei als Produkt aus Wahrscheinlichkeit  $W$  und Tragweite  $T$ , das Gesamtrisiko als Summe der so berechneten Einzelrisiken

$$R_{ges.} = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n (W_i \cdot T_i)$$

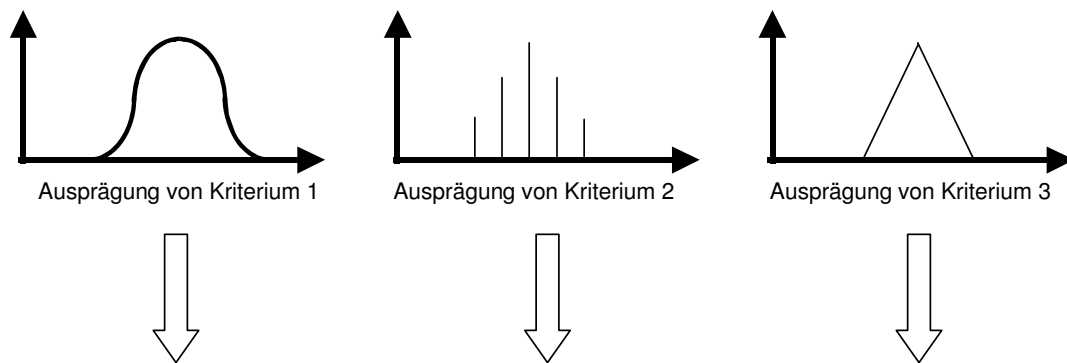
Breiting (1997) weist selbst darauf hin, dass diese Art der Risikoanalyse lediglich zu „überschlägigen Abschätzungen“ geeignet ist und schlägt vor, das „Ergebnis einer Risikoanalyse [...] – evtl. rückwirkend – als eigenständiges Kriterium in eine Bewertung einfließen“ zu lassen [Bre97].

Zur Verarbeitung quantitativer Informationen sowohl über Konsequenzen als auch über Wahrscheinlichkeiten eignen sich die existierende Ansätze der Risikoanalyse, des Korrekturverfahrens, Best Case / Worst Case Analyse, die hier nicht näher erläutert werden.

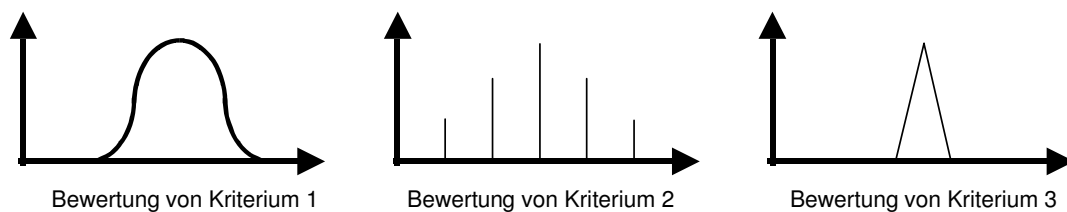
Breiting (1997) nennt beispielhaft eine Reihe von Risikokriterien für die Technologiebewertung, unter anderem die Verursachung von Schäden an Personen oder der Umwelt, wirtschaftliche Risiken wie Lieferschwierigkeiten von Unterlieferanten, oder Betriebsstörungen, politische Risiken und Risiken durch Naturkatastrophen oder Umweltveränderungen. Ereignisse wie Katastrophen, Störungen oder Schäden sind hier jedoch nur insofern relevant, als sie Konsequenzen haben, die sich auf Kriterienausprägungen auswirken und somit die Entscheidung für oder gegen eine der Alternativen beeinflussen. Praktisch gesehen sollte bei der Aufstellung der Kriterien zur Technologiebewertung auch unter dem Gesichtspunkt der Risikobewertung explizit auf Vollständigkeit geachtet werden.

Ausgehend von der Annahme, dass diskrete oder kontinuierliche Wahrscheinlichkeitsverteilungen für mögliche Ausprägungen aller Kriterien vorliegen, bleibt noch zu klären, in welcher Form sie in eine Bewertung überführt werden können. Damit verbunden auch die Frage, ob es möglich ist, solche Verteilungen direkt auf die Bewertungsskala mit zu transformieren (vgl. Abb. 2-15).

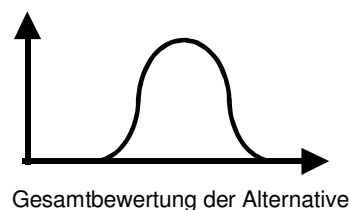
Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen und relative Häufigkeiten über Kriterienausprägungen



Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen und relative Häufigkeiten über Bewertungen



Aggregation der Einzelbewertungen (analytisch oder per Simulation)



**Abb. 2-15: Transformation**

Als Resultat erhält man somit Wahrscheinlichkeitsverteilungen über Bewertungen in den einzelnen Kriterien, die analytisch oder mittels Simulation zu einer Gesamtbewertung aggregiert werden können. Diese Herangehensweise nimmt auf disaggregierter Ebene keinerlei Bewertung von Chancen und Risiken vor, sondern erst auf Ebene der Gesamtbewertung. Dort liegt dann für jede Technologiealternative eine Wahrscheinlichkeitsverteilung ihrer Bewertung vor.

Eine alternative Vorgehensweise nimmt eine Bewertung von Chancen und Risiken bereits auf Ebene der einzelnen Kriterien vor. Dabei werden Wahrscheinlichkeitsverteilungen über Kriterienausprägungen nicht auf eine Verteilung über Bewertungen abgebildet, sondern sie werden direkt bewertet, indem sie auf eine Risikonutzenskala abgebildet werden.

Beide Vorgehensweisen sind zulässig, wie einerseits Ralph Lyons Keeney (1969) unter dem Begriff „Multiple Attribute Utility Theory“ (MAUT) und andererseits Ronald A. Howard (1968) nachgewiesen haben [Wat87]. Folglich kann die Auswertung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen und damit die Modellierung der Risikopräferenz auf die Ebene der aggregierten Gesamtbewertung verlagert werden. Der bei hoher Anzahl von Kriterien wesentlich reduzierte Aufwand ergibt sich daraus, dass nicht für jedes Kriterium einzeln eine Risikopräferenz und Risikonutzenfunktion modelliert werden muss. Außerdem besteht das Endergebnis je Alternative nicht mehr nur aus einer einzelnen Zahl, sondern einer Verteilung aus der das Risiko direkt ersichtlich ist. Die Übertragbarkeit der Risikopräferenz, die auf Ebene der Gesamtbewertung definiert wird, auf alle Kriterien kann stichprobenartig geprüft werden.

### 2.7.3.3 Unschärfe

Ein nicht unbeträchtlicher Anteil der Literatur zur multikriteriellen Entscheidungsunterstützung befasst sich inzwischen mit einer weiteren Kategorie unvollkommener Information, der so genannten Unschärfe oder „fuzziness (vgl. beispielsweise [Ott01], [Rom94], [Zim91], [Hwa95], [Che92]).

Selbst unter renommierten Experten ist jedoch immer noch umstritten, ob eine derartige Kategorie unvollkommener Information generell, insbesondere aber im Kontext der Entscheidungstheorie, notwendig oder überhaupt sinnvoll ist.

Eine sehr ausführliche Argumentation gegen die Modellierung von Unschärfe in der Entscheidungstheorie, welche diese Frage von sehr vielen unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet, findet sich bei Bosch (1993). Besonders überzeugend erscheint dabei die Argumentation, das Ziel einer systematischen Unterstützung von Entscheidungsproblemen sei es ja gerade, eine auf den ersten Blick unscharfe und unentscheidbare Situation entscheidbar zu machen und nicht, die unscharfe Situation möglichst genau so unscharf abzubilden, wie sie sich dem Entscheidungsträger auf den ersten Blick ohnehin schon darstellt [Bos03a], [Fre93].



#### 2.7.4 Transformationsfunktion

Im vorigen Kapitel wurde bereits die Transformation von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen angedeutet, was an dieser Stelle vertieft wird. Eine Transformation erfolgt aus mathematischer Sicht durch eine Transformationsfunktion. Der Anwendungsrahmen hinsichtlich der vorliegenden Aufgabenstellung wird später in Kapitel 5.4.1 verdeutlicht.

Grundsätzlich lassen sich verschiedene Arten von Transformationen bzw. Transformationsfunktionen unterscheiden. Im folgenden Abschnitt sind die in der Entwicklungs- und Konstruktionspraxis generell vorkommenden Grundformen von Transformationsfunktionen, ihre Anwendung und die Bestimmung der Parameter erläutert [Bre97]. Weitere befinden sich im Anhang (Kapitel 11.1).

##### **Lineare Wachstumsfunktion**

Die Grundform der linearen Wachstumsfunktion folgt der Gleichung

$$m = aW$$

mit der Steigung

$$a = \frac{1}{W_{\max}} .$$

Die lineare Wachstumsfunktion kommt dann zur Anwendung, wenn ein niedriger Wert schlecht und ein hoher Wert gut zu bewerten ist und die Verteilung der Werte  $x$  als linear angenommen werden kann.

Da in der Regel der Wertebereich nicht im Koordinatenursprung beginnt, ergibt sich gegenüber ihm eine Verschiebung und es gilt

$$m = aW + c$$

mit der Steigung

und  $a = \frac{m_{\max} - m_{\min}}{W_{\max} - W_{\min}}$  der Verschiebung auf der Ordinate

$$c = -aW_{\min} + m_{\min} \quad .$$

### **Nichtlineare Wachstumsfunktion mit degressivem Verlauf**

Die nichtlineare Wachstumsfunktion mit degressivem Verlauf folgt der Gleichung

$$m = aW^b \quad \text{mit } b < 1$$

mit dem Exponenten

$$b = \frac{\ln m_{\max} - \ln a}{\ln W_{\max}} \quad .$$

Die nichtlineare Wachstumsfunktion mit degressivem Verlauf ist gut geeignet, wenn die Zunahme der Maßzahlen im unteren Wertebereich größer sein soll, als im oberen Wertebereich.

Der Maßstabsfaktor  $a$  gibt die anfängliche Steigung an und bestimmt somit die anschließende Degression.

Der Exponent  $b$  stellt ein Maß für die Degression, insbesondere im unteren Wertebereich dar.

### **Grundform der nichtlinearen quadratischen Wachstumsfunktion**

Die Grundform der nichtlinearen quadratischen Wachstumsfunktion folgt der Gleichung

$$m = \left( \frac{W - W_{\min}}{W_{\max} - W_{\min}} \right)^2$$

Die nichtlineare quadratische Wachstumsfunktion kommt dann zur Anwendung, wenn die Zunahme der Maßzahlen im unteren Wertebereich geringer sein soll, als im oberen Wertebereich.

Weitere Grundformen zu den Transformationsfunktionen werden im Anhang beschrieben. Darüber hinaus soll im Folgenden auf die problemangepasste Transformationsfunktion eingegangen werden.

### Problemangepasste Transformationsfunktion

Ein Beispiel für die Gleichung einer problemangepassten Transformationsfunktion ist

$$m = aW + c \quad \text{für } W_{\min} \leq W < W_1,$$

$$m = 1 \quad \text{für } W_1 \leq W < W_2,$$

$$m = -bW + d \quad \text{für } W_2 \leq W < W_{\max}.$$

Der Anwendungsbereich der problemangepassten Wertefunktion ist, wenn quantitative Werte in keinerlei linearem oder funktionell stetig verlaufendem Zusammenhang stehen. Damit lassen sich prinzipiell beliebige Zusammenhänge abhängig von der Definition der jeweils betrachteten Intervalle und deren Auflösung abbilden.

#### 2.7.5 Monte Carlo Simulation (MCS)

Die Bezeichnung der Monte Carlo Simulation (MCS) ist durch die Arbeit der Wissenschaftler von Neumann und Ulam an der Entwicklung der Atombombe im 2. Weltkrieg geprägt worden. Sie benutzten die Technik der Simulation, um mathematische Funktionen, die nicht explizit programmiert werden konnten, abzubilden. Der Ursprung der Technik lässt sich bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts zurückverfolgen. Damals dienten solche Methoden beispielsweise zur Berechnung der Zahl  $\pi$  [Fre01]. Die Monte Carlo Methode wird in unterschiedlichen Aufgabengebieten eingesetzt. So kann sie beispielsweise zur Berechnung komplizierter Integral- und Differentialgleichungen verwendet werden. Des Weiteren kann sie zur Vermeidung des notwendigen Umfangs von Zufallsprozessen für eine vorgegebene statistische Auswertegenauigkeit (Methods of reduced Sample Size) benutzt werden. Ein weiteres Anwendungsfeld der MCS ist die künstliche Erzeugung von Stichproben einer vorgegebenen Zufallsgröße oder eines vorgegebenen stochastischen Prozesses [Run99]. In der letzt genannten Verwendung wird die MCS zur quantitativen Risikoanalyse in der Versicherungswirtschaft und zur Berechnung des Value-at-Risk (VaR) genutzt.

Bei bekannter Wahrscheinlichkeitsverteilung unsicherer Parameter von Simulationsmodellen wird eine Anzahl von Simulationsläufen vorgenommen. Die unsicheren Werte werden entsprechend ihrer Wahrscheinlichkeitsverteilung per Zufallsgenerator festgelegt. Die Anzahl der Rechenläufe muss so groß sein, dass diese eine repräsentative Stichprobe bilden. Auf diese Weise entsteht eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Ergebnisse der Simulationsrechnung.

### 3 Darstellung des Lösungskonzepts zur Technologiebewertung

Zur Erläuterung der methodischen Vorgehensweise zur Bewertung von möglichen EE-Technologiealternativen werden die einzelnen Schritte miteinander verknüpft (vgl. Abb. 3-1). Durch die Darstellung des vollständigen Methodenablaufs ergibt sich ein logischer und reproduzierbarer Gesamtzusammenhang.

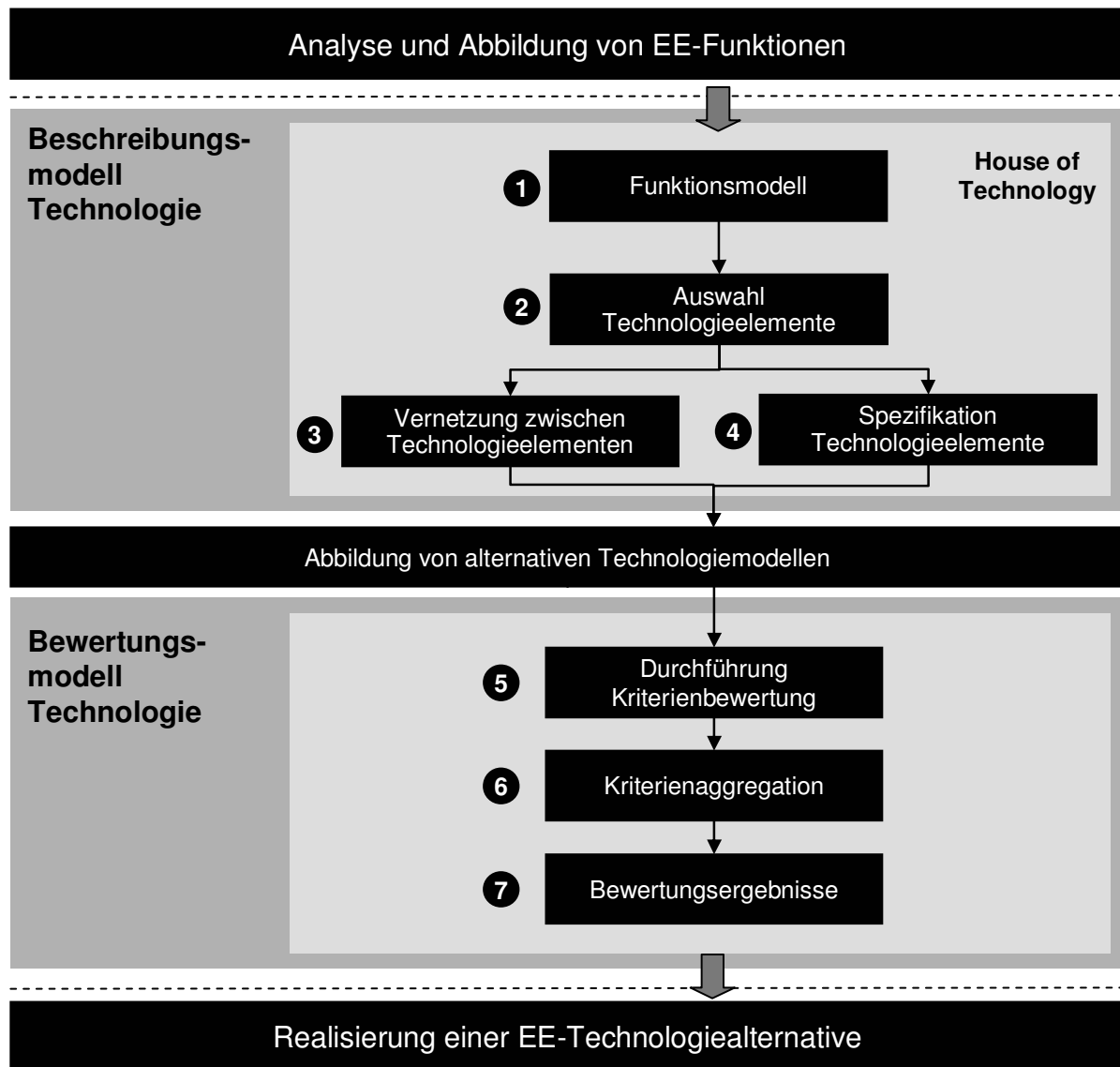


Abb. 3-1: Vorgehensmodell zur Technologiebewertung

Die einzelnen Prozessschritte aus dem Vorgehensmodell werden in Abb. 3-2 an Hand des notwendigen Inputs, des zu realisierenden Outputs und der dazu entsprechenden methodischen oder toolgestützten Hilfsmittel näher beschrieben.

	Input	Prozessschritt	Output	Support
1	EE-(Teil-) Funktionen	Funktionsbeschreibung	Funktionsmodell	StateMate Matlab/Simulink
2	Funktionsmodell	Auswahl von Technologieelementen zur (Teil-) Funktionserfüllung	Alternative Technologieelement-Liste	Morphologischer Kasten
3	Alternative Technologieelement-Liste	Vernetzung zwischen Technologieelementen	Alternative Technologiemodelle	House of Technology
4	Alternative Technologiemodelle	Spezifikation der Technologieelemente	Spezifische Technologiealternativen	Daten zu ausgewählten Technologien
5	Spezifische Technologiealternativen	Durchführung der Kriterienbewertung	Technologie-kriterienbewertung	Definition von Bewertungskriterien
6	Technologie-kriterienbewertung	Aggregation der Kriterien zu einer multidimensionalen Bewertungsaussage	Aggregiertes Bewertungsergebnis	Aggregations-systematik
7	Aggregiertes Bewertungsergebnis	Interpretation der Bewertungsergebnisse	Entscheidungsunterstützung	Entscheidungshilfe

**Abb. 3-2: Beschreibung der Prozessschritte zur Technologiebewertung**

Zunächst wird im Rahmen der Funktionsbeschreibung, aufbauend auf einer systematischen Analyse und Erfassung von umzusetzenden EE-Funktionalitäten im Fahrzeug gemäß einem Rahmenheft, die Funktionsweise und ihre Zusammenhänge in einem entsprechenden Funktionsmodell teilweise oder ganz abgebildet. Dabei ist zu unterscheiden, welche Funktionen von bestehenden EE-Komponenten bzw. –Systemen übernommen, adaptiert oder neuzuerstellen sind. Danach werden mit Hilfe eines morphologischen Kastens EE-Technologieelemente ausgewählt, die in der Lage sind, die entsprechend verschiedenen Teilfunktionen aus dem zuvor generierten Funktionsmodell zu übernehmen. Im Anschluss daran sind die einzelnen Elemente durch eine logische Verknüpfung miteinander zu vernetzen. Zur Gewährleistung der Übernahme von Funktionen bzw. Teilfunktionen sind die

spezifischen Eigenschaften der Technologieelemente in Hinblick auf die zu leistende Aufgabe zu definieren. Da Teilfunktionen durch unterschiedliche Technologieelemente übernommen werden können, ergeben sich daraus verschiedene Alternativen, die in Form von Technologiemoellen repräsentiert werden. Diese spezifischen Technologiealternativen bilden ein Teilergebnis und fließen in das nachfolgende Bewertungsmodell ein.

Bei der Anwendung des Bewertungsmodells sind zuerst Bewertungskriterien zu formulieren und einzusetzen. Die Bewertungsaussage wird durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen vorgenommen und danach mit Hilfe von Transformationsfunktionen normiert. Mittels einer Kriterienaggregation werden die Einzelaussagen zu entscheidungsrelevanten Größen verdichtet, so dass anhand derer eine Interpretation der Bewertungsergebnisse erfolgt.

Abschließend ermöglicht ein Verfahren zur Entscheidungsunterstützung durch eine multidimensionale Bewertungsaussage hinsichtlich Kosten, Qualität, Flexibilität und Technologischer Reifegrad eine Gegenüberstellung der Technologiealternativen. So lässt sich aus der Vielzahl von technologischen Möglichkeiten der Funktionsumsetzung eine Erfolg versprechende, zu realisierende Technologiealternative determinieren.

## **4 Aufbau und Darstellung eines geeigneten Technologiemo­dells**

### **4.1 Abgrenzung Technologie- und Produktmodell**

Aufgrund der ähnlichen Begriffe von Technologiemo­dell und Produktmodell ist eine Unterscheidung dringend notwendig. Unter einem Produktmodell wird ein Modell verstanden, das alle für die Produkterstellung, -nutzung und –entsorgung relevanten Informationen in hinreichender Vollständigkeit enthält [Ehr03]. Das Produktmodell bildet als Träger der Produktinformationen alle charakteristischen Merkmale und Daten eines Produktes über dessen Produktlebenszyklus ab.

Im Gegensatz dazu ist unter einem Technologiemo­dell eine Beschreibung von Technologien zu verstehen, die in einer späteren Phase in einem Produkt eingesetzt werden. Dabei bildet das Technologiemo­dell alle relevanten Informationen hinsichtlich seiner charakteristischen Technologiemerkmale sowie die Beziehung der einzelnen, eingesetzten Technologien bzw. Technologieelemente zueinander ab. Die Informationen und Daten beziehen sich dabei auf bereits vorliegende Technologien und sind in dem Technologielebenszyklus in der Phase der Technologieadaption bzw. beim Produktlebenszyklus in den Phasen der Produktplanung und –entwicklung von Bedeutung.

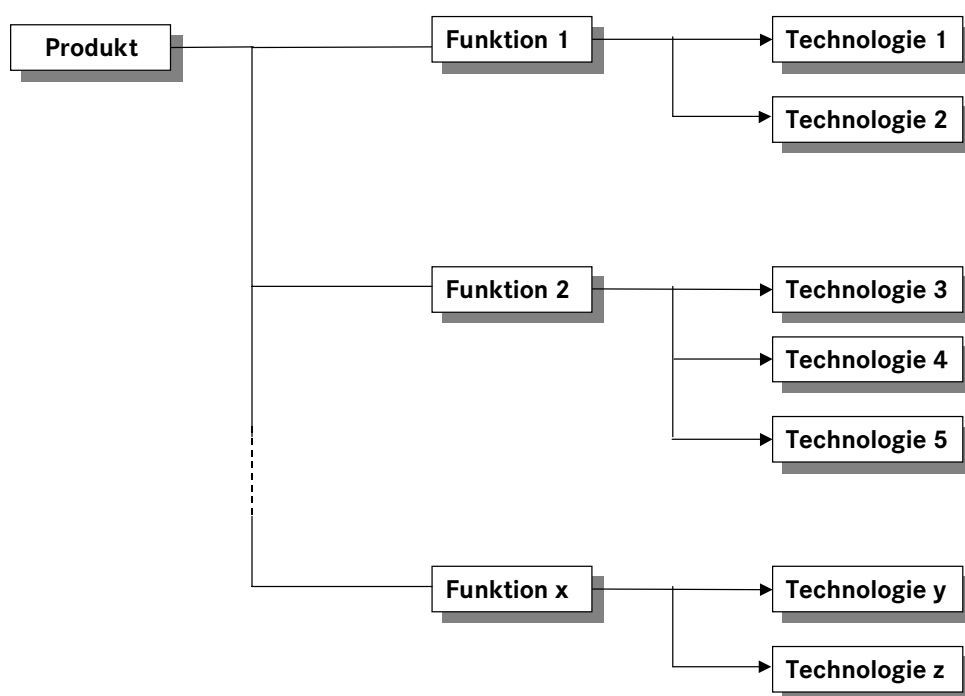
### **4.2 Übersicht zur Modellierung von EE-Technologien**

Der Grundgedanke besteht darin, dass Technologien eingesetzt werden, um bestimmte Funktionen eines Produktes zu erfüllen. Dabei lässt sich eine Funktion durch eine oder mehrere Technologien realisieren (Abb. 4-1), die sich wiederum gegenseitig beeinflussen können. Somit ergeben sich so genannte Technologieverbände als anwendungsspezifische Kombination von Einzeltechnologien, die in Wechselbeziehungen zueinander stehen [Spu93]. Jede Veränderung oder Weiterentwicklung innerhalb dieses Verbundes kann zu einer



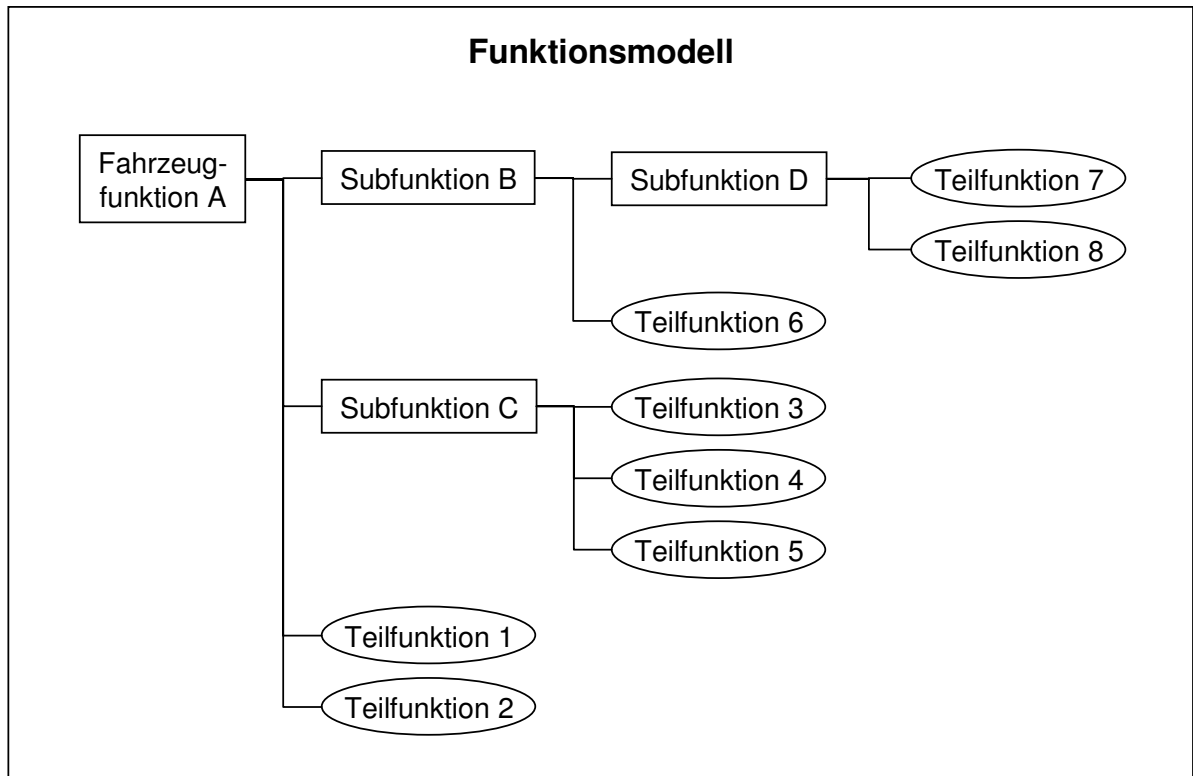
Änderung oder Beeinflussung anderer Technologien bzw. zu einer Veränderung der funktionalen Verknüpfung führen [War98].

Um die relevanten Einzeltechnologien bzw. so genannten Technologieelemente eines Technologieverbundes auswählen zu können, ist zu klären, welchen Zweck ein solcher Technologieverbund erfüllen soll. Die Beschreibung eines solchen Technologieverbundes erfordert eine bestimmte Ordnung bzw. Strukturierung mittels methodischer Unterstützung. Ausgangspunkt einer solchen Ordnung sind die zu erfüllenden Funktionen eines späteren Produktes. Auf diese Weise entsteht ein Technologieelemente-Verbund für das geplante Produkt (vgl. [Spa04]).



**Abb. 4-1: Zuordnung von Funktionen und Technologien [Spe99]**

Der Beschreibungs- und Bewertungsprozess startet mit der Ermittlung der Funktionen und Teilfunktionen, die im jeweiligen Anwendungsfall zu realisieren sind. Hierzu stehen verschiedene Quellen zur Verfügung (vgl. Kap. 4.3.1). Die identifizierten Funktionen lassen sich in einem hierarchischen Funktionsmodell abbilden (vgl. Abb. 4-2).

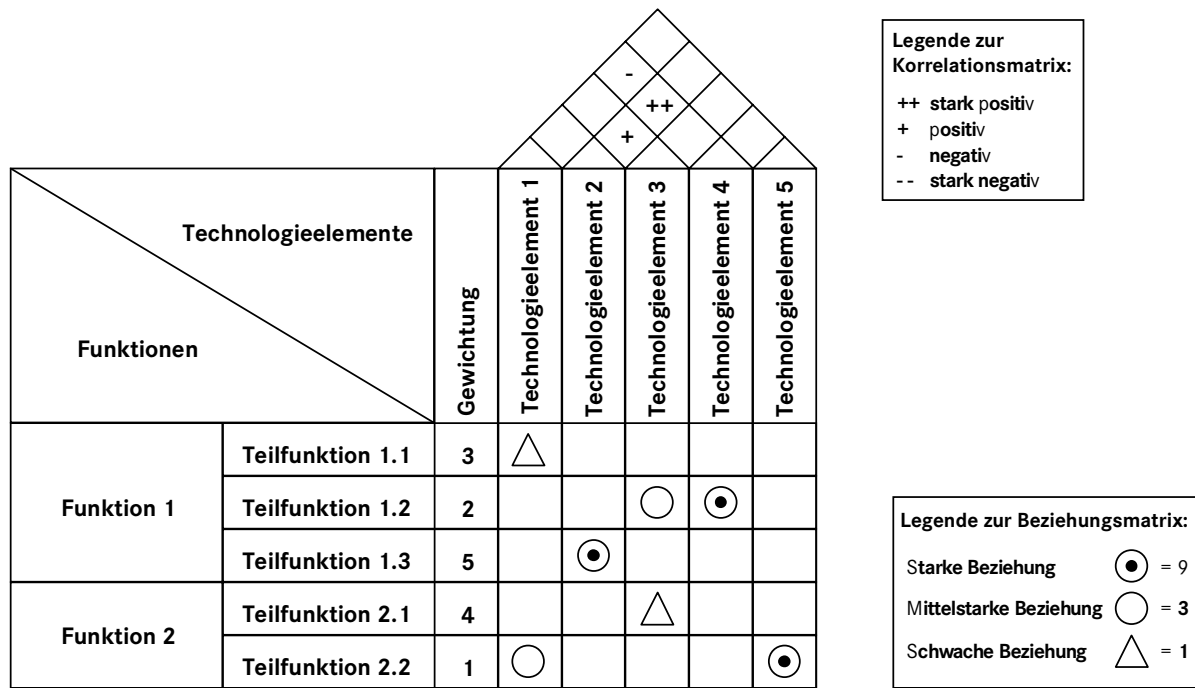


**Abb. 4-2: Prinzip eines hierarchischen Funktionsmodells**

In Analogie zum Quality Function Deployment (QFD) mit dem House of Quality wird im Rahmen dieser Arbeit ein House of Technology (HOT) definiert. Im House of Quality werden die ermittelten Kundenanforderungen in die Zeilen und dem gegenüber die festgelegten Produktmerkmale in die Spalten einer Beziehungsmatrix aufgetragen (vgl. [Wes02], [Sch04a]).

Bei dem House of Technology (HOT) treten anstelle der Kundenanforderungen die Struktur des hierarchisch-gegliederten Funktionsmodells, in dem in die Zeilen die Funktionen und Teilfunktionen eingetragen werden. Je nach Wichtigkeit und Relevanz der Teilfunktionen kann ebenfalls eine entsprechende Gewichtung hinterlegt werden.

Die mittels eines morphologischen Kastens identifizierte Technologieelemente, die die Position der Produktmerkmale einnehmen, werden in die entsprechenden Spalten des House of Technology aufgenommen und spannen eine Beziehungsmatrix auf (vgl. Abb. 4-3).



**Abb. 4-3: Bewertungsprinzip funktional-gekoppelter Technologieverbünde**

In der Beziehungsmatrix wird die Korrelation zwischen den zu realisierenden Funktionen und den passenden Technologeelementen mit leicht erkennbaren Symbolen dokumentiert und gewichtet. So lassen sich beispielsweise einzelne Teilfunktionen durch mehrere Technologeelemente abbilden. Umgekehrt kann ein Technologeelement zur Erfüllung mehrerer Funktionen dienen. Durch die beschriebene Systematik lassen sich komplexe Abhängigkeiten zwischen Funktionen und Technologeelementen ideal beschreiben. Damit ist eine authentische Vernetzung von Funktionen und Technologeelementen gewährleistet.

Darüber hinaus lässt sich überprüfen, ob einerseits alle Funktionen bzw. Teilfunktionen durch Technologeelemente ausreichend berücksichtigt wurden und andererseits die ausgewählten Technologeelemente überhaupt zur Funktionserfüllung benötigt werden.

Zusätzlich wird die gegenseitige Beeinflussung der Technologeelemente durch eine weitere Korrelationsmatrix, dem Dach des House of Technology, dokumentiert. Unter Korrelationen zwischen den Technologeelementen sind Forderungen zu verstehen, die miteinander positiv oder negativ in Wechselwirkung treten können. So können sich ausgewählte Technologeelemente entweder gegenseitig verstärken, abschwächen oder neutral zueinander verhalten.

Ein Beispiel aus dem zuvor in Kapitel 1.1 abgegrenzten Fokus auf Elektrik/Elektronik-Technologien im Bereich von Fahrzeugsystemen verdeutlicht diesen Gesichtspunkt anhand von eingesetzten Technologieelementen eines Fensterhebers im Automobil. Hierbei stellt die Kombination von Gleichstrommotor und Hallsensor eine positive Korrelation zwischen Technologieelementen dar, da diese Elemente als eine integrierte Komponente verfügbar sind. Damit kann die Integrations- und Kombinationsfähigkeit der Technologieelemente abgebildet werden und bei der Bewertung des Technologieverbundes einfließen.

Darüber hinaus lässt sich aus der Gewichtung der Funktionen und der Beziehungsstärke zu den Technologieelementen eine Priorität dieser Technologieelemente festlegen. Dies eröffnet in Zusammenhang mit einer Bewertung die Möglichkeit, kritische Technologieelemente zu identifizieren und diese anschließend gezielt durch alternative Technologieelemente zu substituieren. Als kritisch sind solche Technologieelemente zu bezeichnen, die im Technologieverbund als besonders schlecht bewertet wurden.

In Kapitel 4.3 wird näher erläutert, wie die Modellierung eines Technologiemo­dells, angefangen bei der Identifizierung von Funktionen und Teilfunktionen bis zur Auswahl möglicher Technologieelemente im Bereich der Elektrik/Elektronik erfolgt.

### **4.3 Generierung alternativer Technologieverbünde**

Einzelne Funktionen bzw. Teilfunktionen lassen sich prinzipiell durch eine Reihe unterschiedlicher Technologieelemente realisieren. Das bereits erwähnte Beispiel des Fensterhebers soll dabei nachfolgend zur Illustration dienen. Anhand der Gesamtfunktion des Fensterhebers wird deutlich, dass sich die Teilfunktion „Auf-/Abbewegung des Fensters“ grundsätzlich durch unterschiedliche Motortechnologien realisieren lässt. So kann sowohl ein Schrittmotor als auch ein Gleichstrommotor für diesen Zweck eingesetzt werden. Auf diese Art und Weise lassen sich für die verschiedenen Funktionen systematisch unter Einsatz von morphologischen Kästen (vgl. Kap. 4.3.1) alternative Technologieelemente und in der Konsequenz durch sinnvolle Zusammenstellung alternative Technologieverbünde finden. Die unterschiedlichen Möglichkeiten können jeweils in einem House of Technology

abgebildet werden und beschreiben somit mehrere unterschiedliche Technologiealternativen (Abb. 4-4), die schließlich einer Chancen-Risiko-Bewertung unterzogen werden.

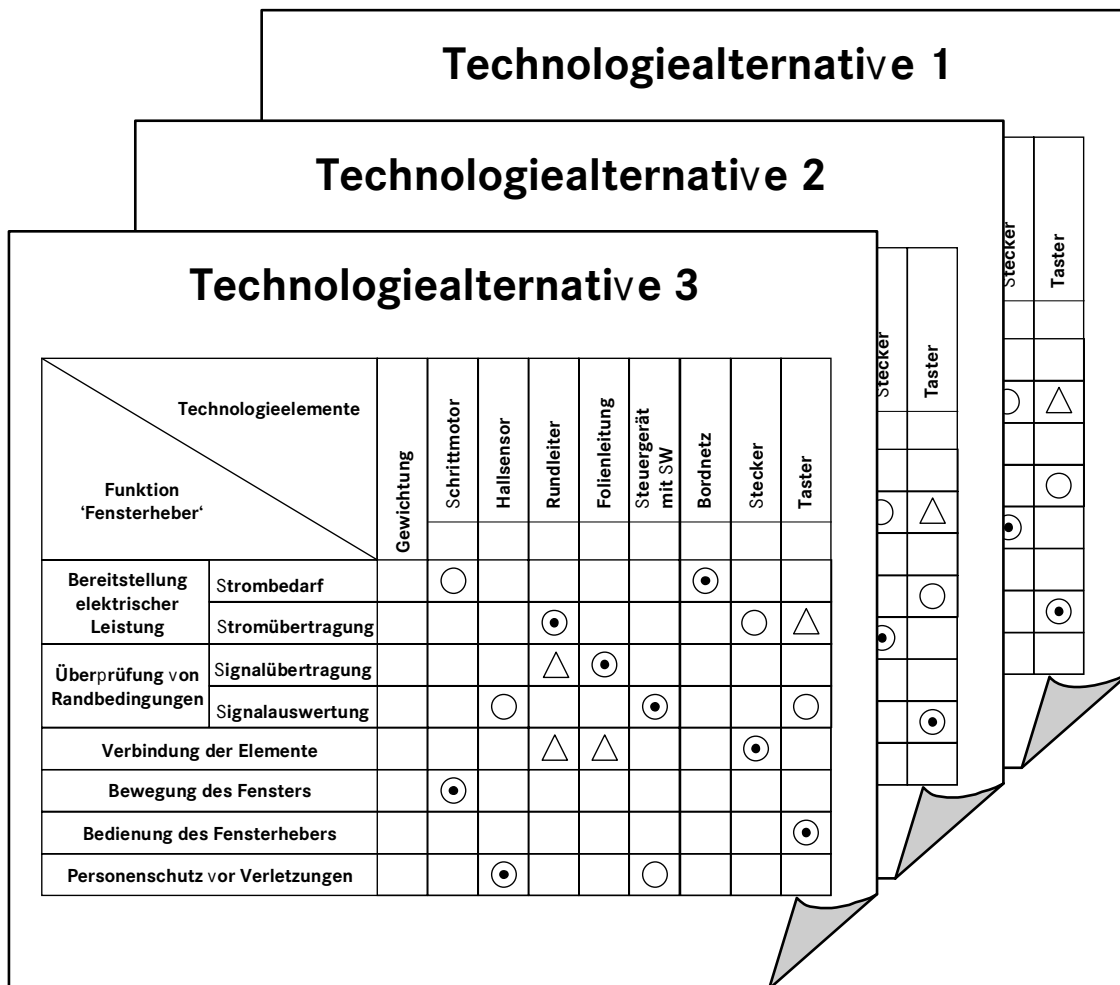


Abb. 4-4: Vergleich von Technologiealternativen

4.3.1 Abbildung von Fahrzeugfunktionen

Im Bereich der Fahrzeugelektronik existieren geeignete Funktionsmodelle, die das Verhalten von Systemen beschreiben und durch einen Tooleinsatz unterstützt werden. In den Abschnitten 4.3.1.1 und 4.3.1.2 werden der Aufbau und die Funktionsweise der Funktionsabbildung der zwei etablierten Tools STATEMATE und MATLAB/SIMULINK erläutert.

#### 4.3.1.1 Funktionsbeschreibung nach STATEMATE

Das STATEMATE System ist eine Entwicklungsumgebung zur graphischen Spezifikation von komplexen, reaktiven, elektronischen Steuerungssystemen. Das Einsatzgebiet liegt überwiegend im Automobilbau sowie in der Luft- und Raumfahrttechnik, Telekommunikation, Anwendungs- und Konsumelektronik. Mit seinen einzelnen Werkzeugen unterstützt das STATEMATE System den Entwicklungsprozess aus unterschiedlichen Modellsichten [Pro01]. Die Systemsichten sind in Abb. 4-5 dargestellt.

Darin stellen so genannte Activitycharts die funktionelle Sicht, d. h. das Funktionsmodell, innerhalb des Gesamtmodells durch ein hierarchisches Datenfluss-Diagramm dar. Die Activitycharts dienen im Wesentlichen einer Strukturierung und können ineinander verschachtelt sein. Sie enthalten zudem Statecharts für die Festlegung der Reaktionen der Activity [Har98], [Pro01]. Das Beispiel in Abb. 4-5 verdeutlicht den Aufbau eines Activitycharts anhand der verschiedenen Funktionen Blinker, Scheibenwischer und Licht innerhalb einer Lenkstocksäule.

Die Statecharts bilden die wichtigste Sichtweise innerhalb des STATEMATE Systems und stellen eine Art Funktionsbeschreibung da. Somit komplettieren sich Activity- und Statecharts gegenseitig. Sie basieren auf erweiterten, endlichen Zustandsautomaten, die das Verhalten des Modells in Form von Zuständen und Zustandsübergängen beschreiben. Jeder Zustand in einem Statechart kann in einem untergeordneten Statechart weitere Folgezustände besitzen, wobei jedes untergeordnete Statechart wie ein einzelner Zustand im übergeordneten Statechart behandelt wird. Die Zustandsübergänge zwischen den Zuständen bestehen aus einer Übergangsbedingung und einem Aktionsteil. Zur Auslösung eines Zustandsübergangs von einem aktiven Zustand zu einem Folgezustand ist die Erfüllung der Übergangsbedingung erforderlich. Als Übergangsbedingungen sind Ereignisse, Bedingungen und vergleichende Ausdrücke zugelassen. Im Aktionsteil einer Übergangsbedingung stehen die in einem Zustandsübergang auszuführenden Aktionen [Har98], [Pro01].

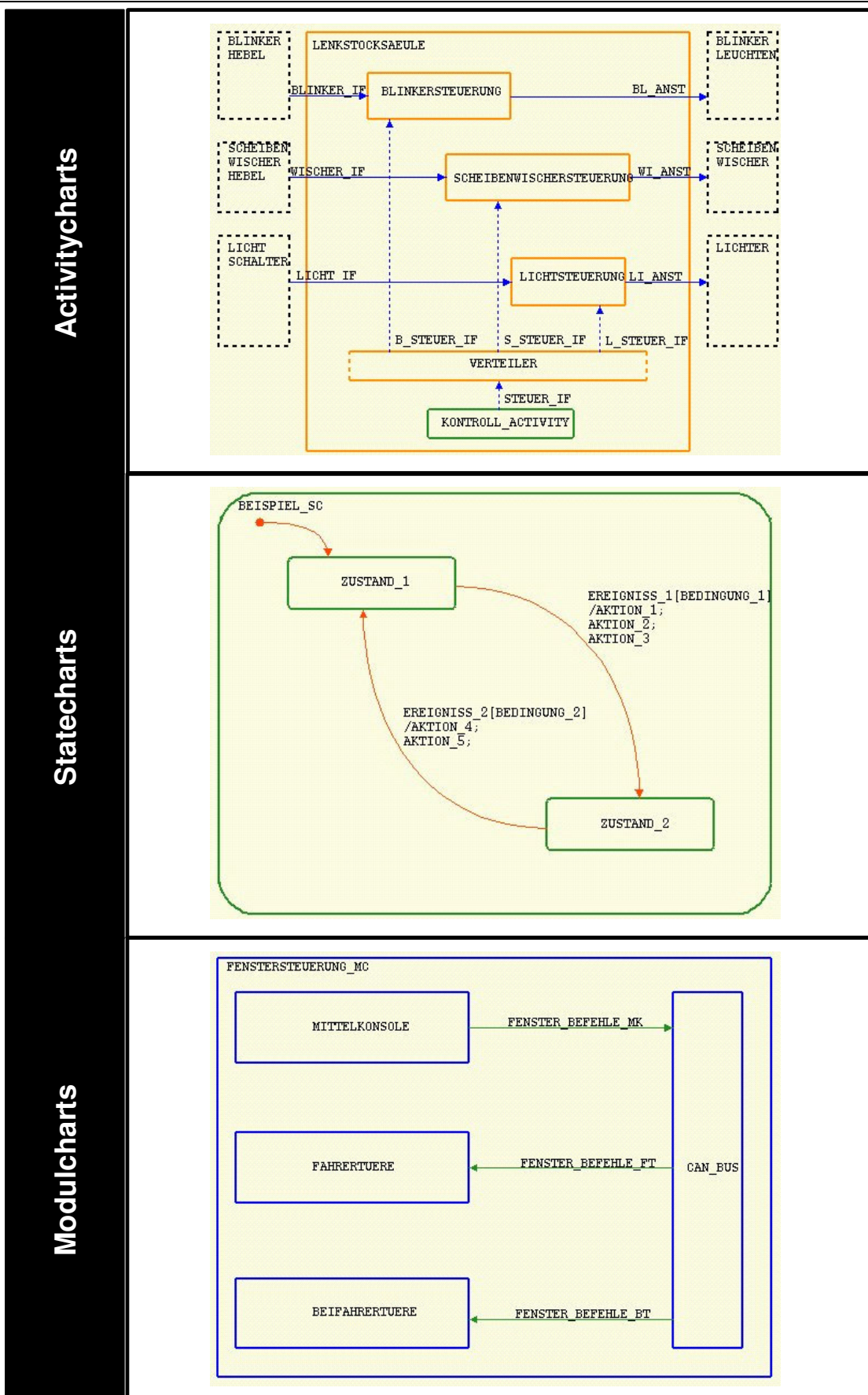
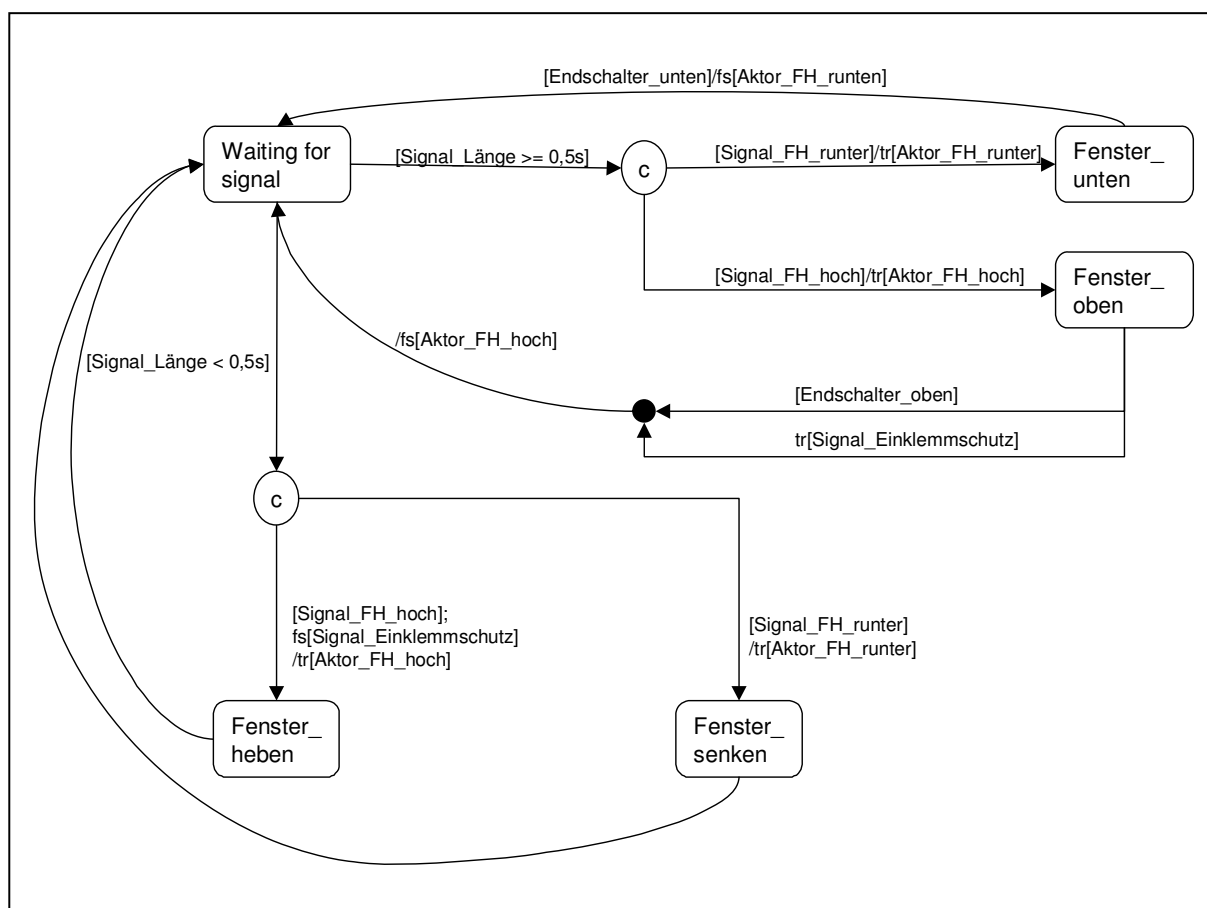


Abb. 4-5: STATEMATE-Systemansichten mit Beispielen

Schließlich stellen die Modulcharts die strukturelle Sicht von STATEMATE dar. In ihnen wird die physikalische Struktur des Modells einschließlich der Kommunikationswege nachgebildet. Das Modulchart verdeutlicht die physikalische Aufteilung der einzelnen benannten Module.

Demnach lassen sich auf Basis des STATEMATE Systems fahrzeugbezogene Funktionen in ihren unterschiedlichen Facetten beschreiben. Selbst komplexe Funktionen können mit Hilfe der Beschreibungssprache logisch erfasst und dargestellt werden. Somit können sämtliche Funktionen sowie deren Vernetzung und Abhängigkeiten aufgezeigt werden. Abb. 4-6 zeigt ein Beispiel für eine Fensterheber-Funktion.



**Abb. 4-6: Funktionsbeschreibung einer Fensterheber-Funktion nach STATEMATE**



4.3.1.2 Funktionsbeschreibung nach MATLAB/SIMULINK

Das System MATLAB/SIMULINK dient zur Lösung schwieriger mathematisch-technischer Probleme, wobei mit Hilfe so genannter Toolboxen ein breites Spektrum von Anwendungsbereichen abdeckt wird. Diese Toolboxen sind umfassende Sammlungen von Funktionen zur Erweiterung der MATLAB-Umgebung, um bestimmte, anwendungsspezifische Probleme zu lösen. Mit SIMULINK lassen sich Beschreibungen von Zustandsgraphen in die Umgebung einbinden sowie die graphischen Modellbeschreibungen verallgemeinern. Im industriellen Bereich, insbesondere im Automobil- und Flugzeugbau, wird das Tool für fahrdynamische Simulationen und Berechnung mechanischer Systeme ebenso eingesetzt wie für Untersuchungen elektrischer und elektronischer Systeme [Bri95], [Pro01].

Wesentliche Elemente dieser Modelle sind in Analogie zum zuvor beschriebenen STATEMATE System Zustände, Zustandsübergänge und Ereignisse (vgl. Abb. 4-7). Insofern sind starke Parallelen zum STATEMATE-Modell gegeben.

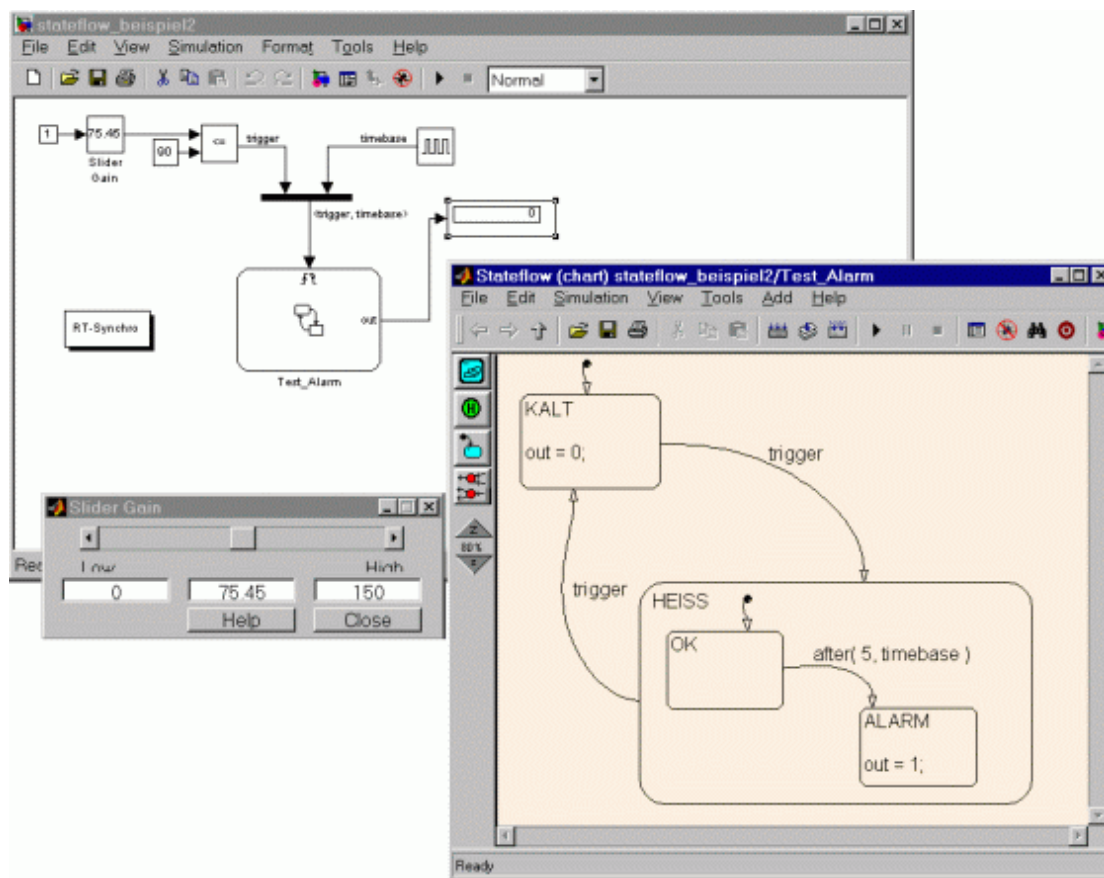
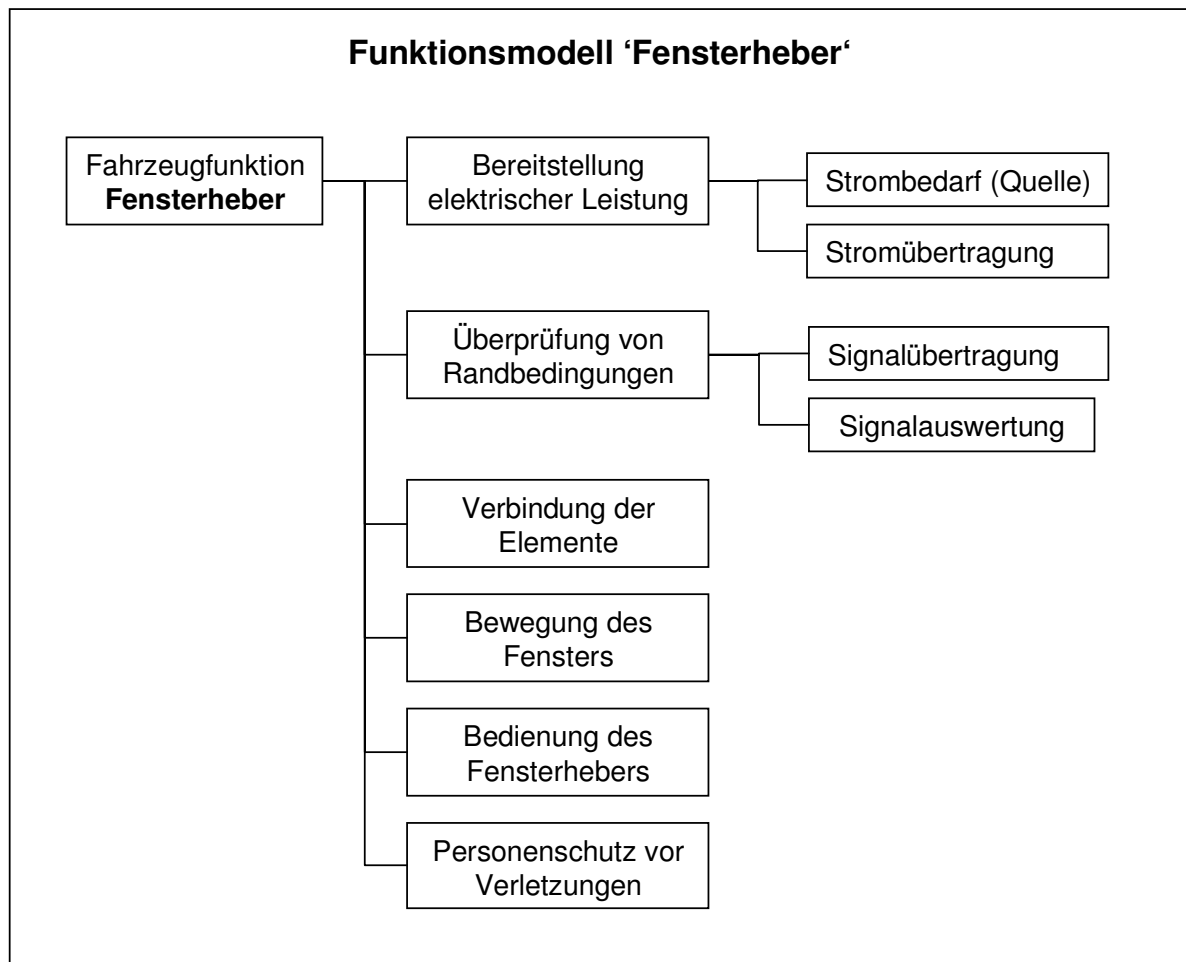


Abb. 4-7: Beispiel eines Statecharts in Stateflow [Pro01]

## 4.3.2 Auswahl von Technologieelementen

Nachdem die zu betrachtende Fahrzeugfunktion in einem entsprechenden Funktionsmodell mit ihrer Beschreibung abgelegt wurde, sind relevante Teilfunktionen so zu identifizieren, dass keine weitere Unterteilungen sinnvoll erscheinen. Daraus gehen die einzelnen Teilfunktionen und ihre Zuordnung zu den entsprechenden übergeordneten Funktionsgruppen hervor, wodurch eine systematische Sammlung zu realisierender Teilfunktionen erfolgen kann. Danach lassen sich, wie am Beispiel eines Fensterhebers in Abb. 4-8 dargestellt, ebenso einzelne, zu realisierende Fahrzeugfunktionen modellhaft abbilden, die durch eine Systemgrenze umfasst sind. Dabei lässt sich ebenfalls an einer allgemeinen Systemstruktur und dem zugehörigen Funktionsnetz/-baum bei der Beschreibung von Systemanforderungen nach VDA 4.2 orientieren (vgl. [Sch04c]).



**Abb. 4-8: Funktionsmodell am Beispiel Fensterheber**

Anschließend besteht die Aufgabe technologische Lösungen zur Realisierung der Funktionen bzw. Teilfunktionen zu finden. Zur Unterstützung wurden bereits Methoden entwickelt, die eine schnelle Lösungsfindung mit Hilfe systematischer Suchmethoden ermöglichen. Die bekannteste Ideenfindungsmethode dieser Art ist die Anwendung des morphologischen Kastens nach Zwicky [Zwi66], [Eve02].

Bei der Anwendung der Morphologie werden alle denkbaren Lösungen eines Problems aufgezeigt, auch wenn davon nicht alle erforscht, verwirklicht oder konstruktiv verwertet werden können. Die Lösungsmöglichkeiten werden in einem Schema dargestellt, das die Grundlage für das Auffinden einer idealen Lösung bildet. Die Qualität der Lösungsmöglichkeiten spiegelt das Ergebnis eines kreativen Lösungsfindungsprozesses wider.

Übertragen auf die vorliegende Aufgabenstellung bedeutet dies, dass sich den Teilfunktionen aus dem Funktionsmodell entsprechend Elementgruppen zuordnen lassen. Die einzelnen Elementgruppen sind mit mehreren möglichen Technologieelementen hinterlegt, die zur Aufstellung eines morphologischen Kastens dienen. Die Auswahl der hinterlegten Elementgruppen beschränkt sich in Abhängigkeit von den zu realisierenden Teilfunktionen.

Am Beispiel des Fensterhebers bedeutet dies, dass die zuvor aufgestellten Teilfunktionen durch entsprechende Technologieelemente der Elementgruppen aus dem Technologiebaukasten zu erfüllen sind. In Abb. 4-9 ist der zugehörige morphologische Kasten zur Ermittlung von möglichen Alternativen der zur Verfügung stehenden Technologieelemente dargestellt. So kann beispielsweise die wichtige Teilfunktion ‚Fenster verfahren‘ der Elementgruppe ‚Antriebselemente‘ zugeordnet werden, in der sich u. a. die relevanten Technologieelemente ‚Schrittmotor‘ und ‚Gleichstrommotor‘ befinden. Beide Technologieelemente stellen sinnvolle Alternativen zur Funktionsrealisierung dar. Auf diese Weise lassen sich mit Hilfe der Morphologie mehrere sinnvolle Alternativen finden.

In einem nächsten Schritt sollen die Teilfunktionen und jede gefundene Alternative mit ihrem Haupteinfluss (Beziehung) in die Beziehungsmatrix eines House of Technology eingetragen werden. Anschließend können in der Beziehungsmatrix weitere Abhängigkeiten zwischen Teilfunktionen und identifizierten

Technologieelementen zum Ausdruck gebracht werden. Auf diese Weise lässt sich die Vernetzung von Funktionen und Technologieelementen in einer entsprechenden Matrix dokumentieren (vgl. Abb. 4-10).

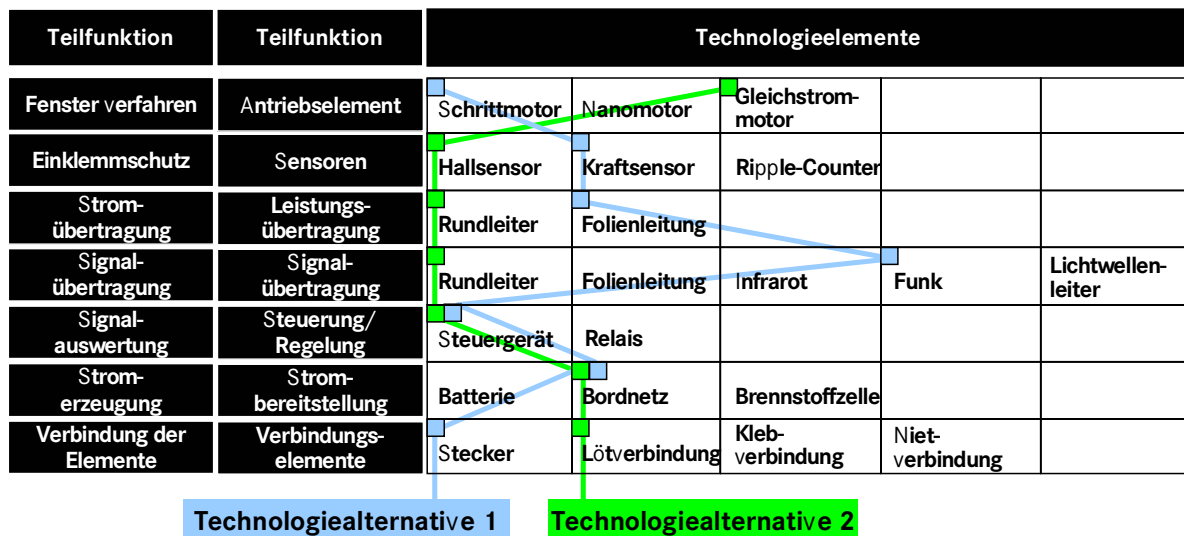


Abb. 4-9: Ermittlung von Alternativen notwendiger Technologieelemente am Beispiel Fensterheber

Funktion 'Fensterheber'		Technologieelemente	Gewichtung	Gleichstrommotor	Hallsensor	Rundleiter	Folienleitung	ECU	Bordnetz	Stecker	Taster
Bereitstellung elektrischer Leistung	Strombedarf		○						●		
	Stromübertragung				●					○	△
Überprüfung von Randbedingungen	Signalübertragung				△	●					
	Signalauswertung			○				●			○
Verbindung der Elemente					△	△				●	
Bewegung des Fensters				●							
Bedienung des Fensterhebers											●
Personenschutz vor Verletzungen					●			○			

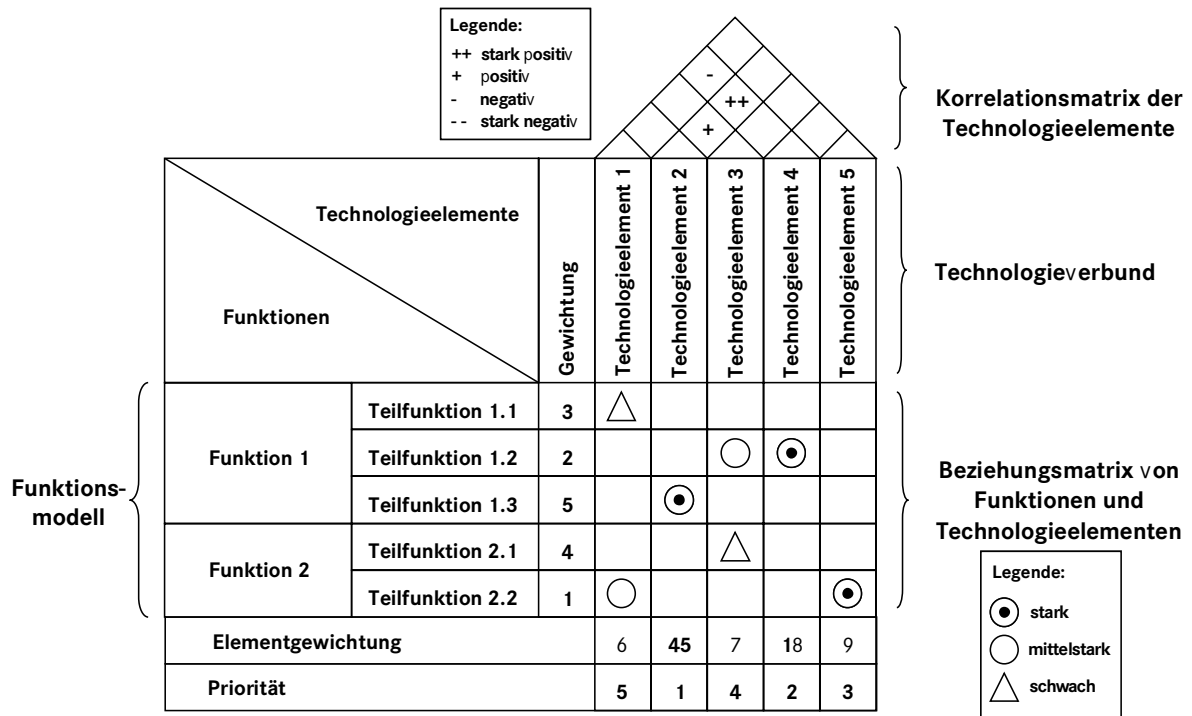
Abb. 4-10: Funktions-Technologieelemente-Matrix am Beispiel Fensterheber

Aus den Technologieelementen sollen Alternativen von EE-Technologiemo­dellen gebildet werden. Dazu steht eine Auswahl von Technologieelementen in einem Technologiebaukasten bereit, die nach sinnvollen Elementgruppen sortiert sind. Die Elementgruppen, z. B. Antriebselemente, kennzeichnen eine Grob­klassifizierung der Technologieelemente nach ihren Hauptaufgaben. Dementsprechend stellen die zugeordneten Technologieelemente, bei der Gruppe ‚Antriebselemente‘ u. a. Schrittmotor und Gleichstrommotor, eine Feinklassifizierung dar.

#### 4.3.3 *House of Technology* (HOT) als Vernetzungssystematik

Die ausgewählten Technologieelemente werden, wie bereits dargestellt, durch eine Matrix miteinander zu einem so genannten funktional-gekoppelten Technologieverbund vernetzt, um deren funktionalen Abhängigkeiten sowie ihren Interdependenzen Rechnung zu tragen. Dies wird durch ein House of Technology (vgl. Abb. 4-11) gewährleistet [Bul03a].

Das House of Technology bildet dabei die höchste Aggregationsebene der Bewertungsmethode für alternative Technologieverbände und bietet eine ideale Möglichkeit die vielen wahrscheinlichkeitsbasierten Einzelaussagen von Kriterien zu aggregieren, die in einem entsprechenden Kriterienbaum zu den zu definierenden, finalen Zielgrößen Kosten, Qualität, Flexibilität und Technologischer Reifegrad (TRG) gemäß der Anforderungsbeschreibung (vgl. Kapitel 2.6) zusammengefasst sind.



**Abb. 4-11: Prinzip des House of Technology (vgl. [Bul03a])**

Im HOT werden über Gewichtungsfaktoren der Anteil jedes Technologeelementes am Technologieverbund und ihrer Korrelation untereinander Rechnung getragen und gehen in das finale Bewertungsergebnis für den gesamten Technologieverbund ein.

Abb. 4-12 zeigt den Zusammenhang zwischen den verwendeten Symbolen in der Korrelationsmatrix, ihre Bedeutung und den zugeordneten Korrelationsfaktoren. So wird beispielsweise für eine stark positive Auswirkung zweier Technologeelemente das Symbol „++“ eingesetzt und der zugehörige Korrelationsfaktor 1,2 determiniert. Das Zustandekommen dieser Werte wird anhand eines Beispiels mit einem Gleichstrommotor mit integriertem Hallsensor und separatem Hallsensor verfolgt.

<b>Legende:</b>		
++	stark positiv	1,2
+	positiv	1,1
-	negativ	0,9
--	stark negativ	0,8

**Abb. 4-12: Zuordnung von Korrelationswerten**

Die Beziehungen aus dem Dach des HOT werden in die Zeilen bzw. Spalten der Matrix eingetragen. Für neutrale Korrelationen, die kein eigenes Symbol in der Korrelationsmatrix besitzen, ergibt sich in der Logik der Wert 1. Da sich die einzelnen Technologieelemente nicht selber beeinflussen, werden derartige Korrelationen ausgeblendet, wie in Abb. 4-13 durch die grau hinterlegten Felder dargestellt. Schließlich findet eine Normierung der Zeilensumme statt, die den Korrelationsfaktoren der einzelnen Technologieelemente entspricht. Sie entstehen durch Division der Zeilensummen durch die Anzahl der Zeilenwerte in der Matrix (vgl. Abb. 4-13). Sind die Werte größer 1, so zeigt dies, dass es sich um eine positive Korrelation handelt; umgekehrt ergibt sich eine negative Korrelation, wenn die Werte kleiner 1 sind.

Abb. 4-13 zeigt die Ermittlung von Korrelationsfaktoren für die einzelnen Technologieelemente.

	Technologieelement 1	Technologieelement 2	Technologieelement 3	Technologieelement 4	Summe	Summe normiert
Technologieelement 1	1	1	1,2	1	3,2	1,067
Technologieelement 2	1	1	1,1	1	3,1	1,033
Technologieelement 3	1,2	1,1	1	1	3,3	1,100
Technologieelement 4	1	1	1	1	3,0	1,000

**Abb. 4-13: Ermittlung von Korrelationsfaktoren für einzelne Technologieelemente**

In Abb. 4-14 sind die ermittelten Korrelationsfaktoren aus der Korrelationsmatrix im HOF dargestellt.

Darüber hinaus wurde die Elementgewichtung ebenfalls im HOF eingetragen und fließt bei der weiteren Betrachtung mit ein. Die Elementgewichtung entsteht in der von Funktionen und Technologieelementen aufgespannten Relationsmatrix des

HOT. Sie wird unter Verwendung von Symbolen zum Ausdruck gebracht. Hierbei wird zwischen einer starken, mittelstarken und einer schwachen Beeinflussung unterschieden und entsprechend beispielsweise mit neun, drei und einem Punkt bewertet. Das Verhalten der Technologieelemente wird mit einer Gewichtung, welche der Wichtigkeit der Technologieelemente entspricht, multipliziert. Anschließend werden die Felder einer Spalte addiert und die Summe in der Zeile Elementgewichtung notiert.

Korrelationsfaktoren		<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>++</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>+</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>									++					+						Korrelationskoeffizient				
	++																									
		+																								
		1,07	1,03	1,1	1	1,05																				
Technologieelemente		Gewichtung	Technologieelement 1	Technologieelement 2	Technologieelement 3	Technologieelement 4																				
			Funktionen																							
Funktion 1	Teilfunktion 1.1	3			○																					
	Teilfunktion 1.2	2				△																				
	Teilfunktion 1.3	5	△																							
Funktion 2	Teilfunktion 2.1	4		○																						
	Teilfunktion 2.2	1	○		△	●																				
Elementgewichtung		8	12	10	11																					
Verbundgewichtung		8,54	12,4	11	11																					
Ranking		4	1	2	2																					

**Abb. 4-14: House of Technology mit Verbundgewichtung**

Die Verbundgewichtungsfaktoren ergeben sich aus den Korrelationsfaktoren multipliziert mit der Elementgewichtung aus dem HOT. Sie stellen sich im HOT in der Verbundgewichtung dar. Der Verbundgewichtungsfaktor, in den die Korrelationsfaktoren einfließen, ist nur um einen geringeren Wert höher als die



Elementgewichtung. Dies spiegelt eine geringe Auswirkung der Korrelationsmatrix im gewählten Zahlenbeispiel wider.

Zudem soll gezeigt werden, wie aus den Bewertungsergebnissen einzelner Technologieelemente ein Ergebnis für den gesamten Technologieverbund berechnet wird. Hierzu wird der Korrelationskoeffizient als Maß für die Korrelation des Technologieverbundes als arithmetisches Mittel der Korrelationsfaktoren berechnet.

## 5 Methode zur Technologiebewertung

### 5.1 Vorgehensweise der Bewertung

In diesem Kapitel wird der Ablauf der Bewertungsmethode in ihren Grundzügen vorgestellt (Abb. 5-1). Eine detaillierte Schilderung einzelner Schritte folgt in den nächsten Kapiteln.

- 1) Der Ablauf beginnt mit der Erstellung des House of Technology (HOT) (vgl. Kapitel 4.3.3). Anschließend wird aus der Technologieverbundebene ein einzelnes Technologieelement ausgewählt.
- 2) Für das ausgewählte Technologieelement existieren Kriterienbäume zu den finalen Zielgrößen Kosten, Qualität, Flexibilität und TRG. Zu jeder dieser finalen Zielgrößen soll eine Bewertungsaussage ermöglicht werden. Dazu werden die einzelnen Kriterienbäume der Reihe nach näher betrachtet.
- 3) Ein Kriterienbaum setzt sich aus unterschiedlichen Einzelkriterien zusammen. Als nächster Schritt wird ein Einzelkriterium ausgewählt.
- 4) Da die Ausprägung des Einzelkriteriums mit Unsicherheit verbunden ist (siehe Kapitel 2.7.3), wird die passende Wahrscheinlichkeitsverteilung ermittelt (siehe Kapitel 5.3). Diese Wahrscheinlichkeitsverteilung bringt zum Ausdruck, mit welcher Wahrscheinlichkeit das Einzelkriterium einen bestimmten Wert annimmt, bzw. sich in einem Intervall befindet.
- 5) Die Ausprägung eines Einzelkriteriums gibt direkt wenig Aufschluss darüber, wie gut oder schlecht das Kriterium erfüllt ist. Deshalb soll jeder möglichen Ausprägung eine Bewertungsgröße zugeordnet werden. Diese Zuordnung erfolgt mit Hilfe einer Transformationsfunktion, die für das Einzelkriterium zu bestimmen ist (siehe Kapitel 5.4.1).
- 6) Die verschiedenen Einzelkriterien eines Kriterienbaums sind für das Bewertungsergebnis einer finalen Zielgröße von unterschiedlicher Relevanz. Deshalb wird im nächsten Schritt, die Gewichtung des Einzelkriteriums ermittelt.
- 7) Die Ablaufschritte 3 bis 6 werden wiederholt, bis für jedes Einzelkriterium einer finalen Zielgröße die entsprechende Wahrscheinlichkeitsverteilung, eine

geeignete Transformationsfunktion und der Gewichtungsfaktor vorliegen. Diese Daten werden anschließend mit Hilfe der Monte Carlo Simulation (siehe Kapitel 5.4.2) aggregiert und somit eine Bewertungsaussage zu einer finalen Zielgröße eines Technologieelements ermöglicht.

- 8) Nachdem das Bewertungsergebnis einer finalen Zielgröße vorliegt, werden die Schritte 3 bis 7 für die übrigen finalen Zielgrößen eines Technologieelements wiederholt und die Ergebnisse zusammengefasst.
- 9) Die oben genannten Schritte wiederholen sich, bis für jedes Technologieelement eines Technologieverbundes die Bewertungsergebnisse der finalen Zielgrößen ermittelt sind. Anschließend wird mit Hilfe der Korrelationsmatrizen des HOT das Bewertungsergebnis des gesamten Technologieverbundes berechnet (siehe Kapitel 5.4.3).
- 10) Das Bewertungsergebnis liegt in Form von Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die finalen Zielgrößen eines Technologieverbundes vor.
- 11) Mit dem Bewertungsergebnis lassen sich alternative Technologieverbünde vergleichen und mit den Quantilen der Verteilungen die Chancen und Risiken eines Technologieverbundes verdeutlichen.

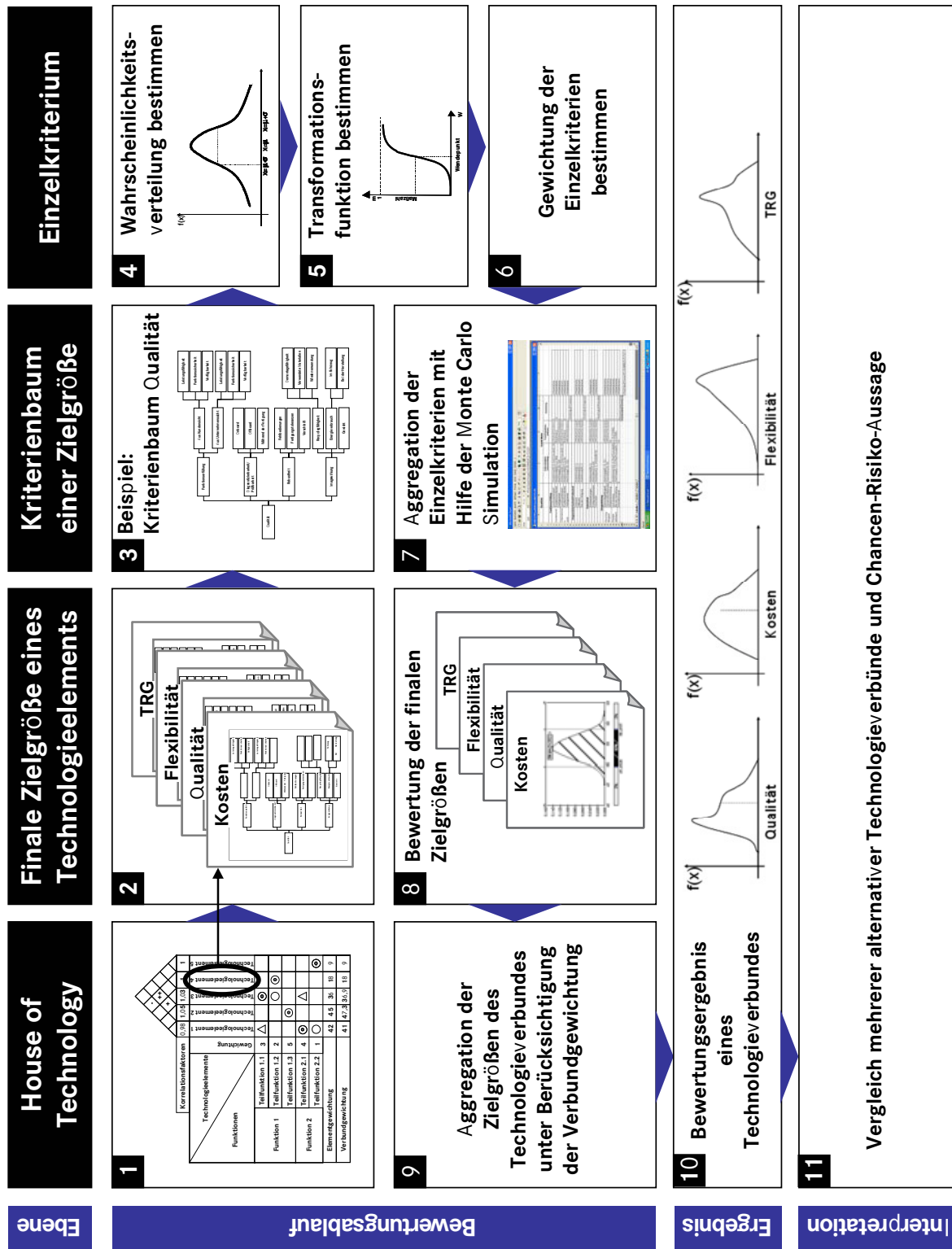
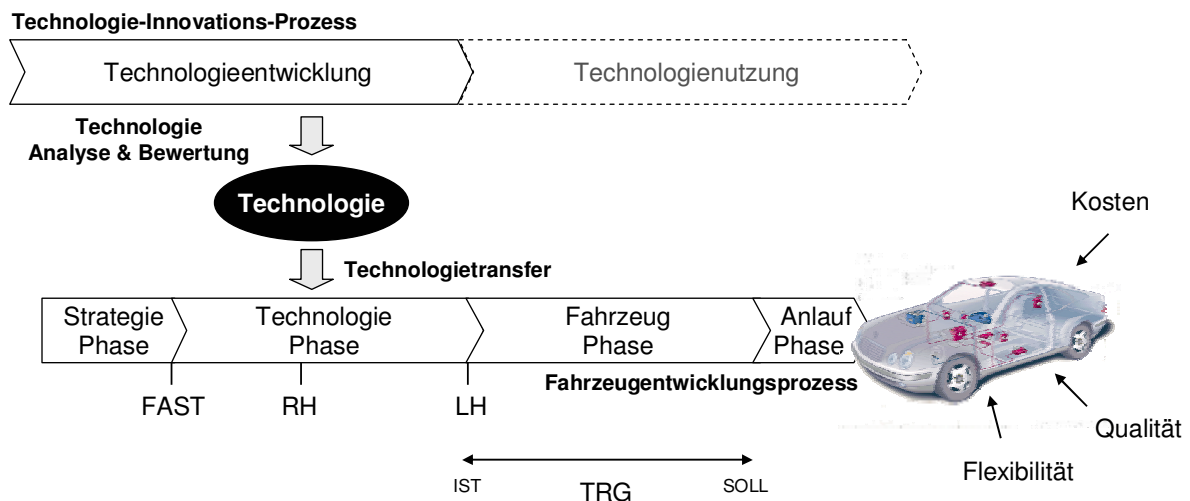


Abb. 5-1: Übersicht zum Bewertungsablauf

## 5.2 Definition von Bewertungskriterien und Zuordnung von Beschreibungsmerkmalen

Ziel ist es, eine Aussage darüber zu erhalten, welche der zu bewertenden Technologiealternativen das höchste Potenzial für den Einsatz in einem Produkt bietet. Hier wurden bereits die Kriterien Kosten, Qualität und Flexibilität identifiziert. Zusätzlich zu den genannten Kriterien ist die Einführung des Technologischen Reifegrades (TRG) als Maß für das Risiko in der Fahrzeugphase des Entwicklungsprozesses sinnvoll.



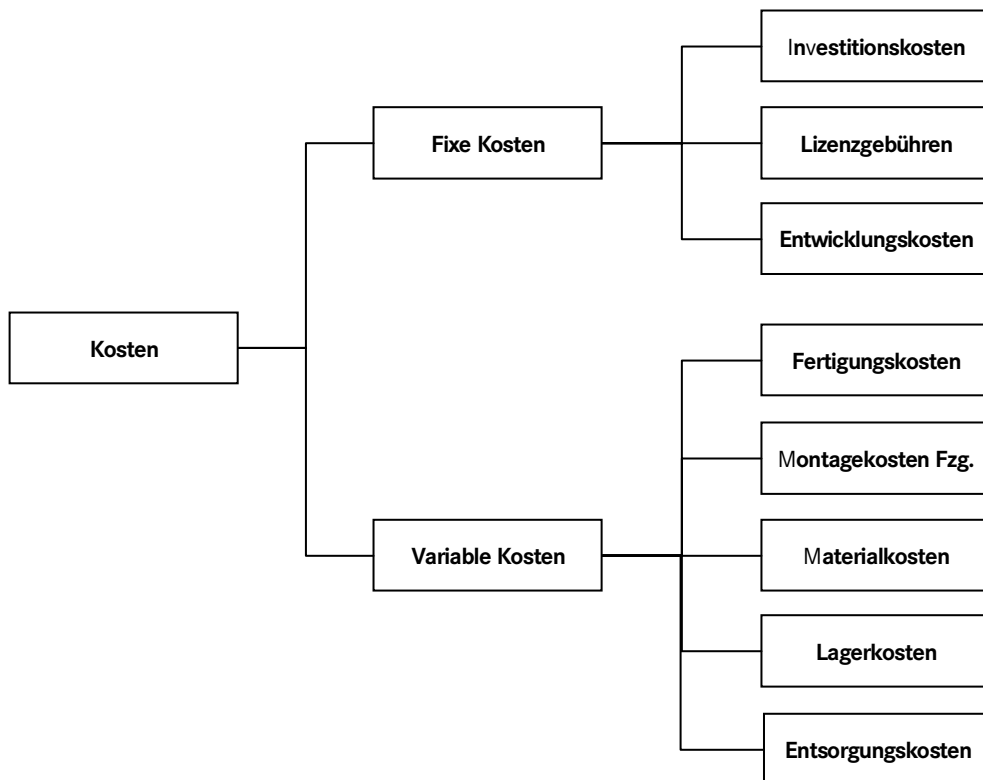
**Abb. 5-2: Darstellung der finalen Bewertungsgrößen im Fahrzeugentwicklungsprozess**

Wie bereits bei der Erläuterung des Technologielebenszyklusmodells dargestellt wurde, unterliegen Technologien einer Weiterentwicklung. So können Technologien, wie in Abb. 5-2 dargestellt, ausgehend von einem bestimmten Technologischen Reifegrad  $TRG_{IST}$  zu Beginn der Fahrzeugphase bis zu einem gewünschten Technologischen Reifegrad  $TRG_{SOLL}$  am Ende der Fahrzeugphase weiterentwickelt werden. Daher wird als vierte finale Bewertungsgröße der Technologische Reifegrad in das Bewertungsschema aufgenommen.

Eine genaue Darstellung der finalen Bewertungsgrößen und eine Definition der Zielkriterien ist den folgenden Abschnitten zu entnehmen.

### 5.2.1 Kosten

Aus den Überlegungen der Voruntersuchung (vgl. Kapitel 2.7.2) wird der Bewertungsbaum des Bewertungskriteriums Kosten (Abb. 5-3) zunächst in fixe und variable Kosten unterschieden und nachfolgend definiert.



**Abb. 5-3: Bewertungsbaum des Bewertungskriteriums Kosten**

Bei den fixen Kosten wurden als relevante Ziel-Kriterien Investitionskosten, Lizenzgebühren und Entwicklungskosten identifiziert. Als relevante variable Kosten wurden Fertigungs- und Materialkosten für die Technologie, Montagekosten für die Montage der Technologie ins Fahrzeug, sowie Lagerungs- und Entsorgungskosten eingestuft (vgl. [Wes04]). Eine genaue Definition der Zielkriterien ist der Abb. 5-4 zu entnehmen.

<b>Kosten</b>
<p>Fixe Kosten</p> <p>I. Investitionskosten Unter dem Ziel-Kriterium Investitionskosten sind die geschätzten Investitionen zu berücksichtigen, die bei einer etwaigen Entscheidung für die Technologiealternative anfallen und nicht den Entwicklungskosten zugerechnet werden, zu betrachten. Dazu zählen beispielsweise Kosten für benötigte zusätzliche Produktionsanlagen aufgrund des Technologieeinsatzes.</p> <p>II. Lizenzgebühren Für das Ziel-Kriterium Lizenzgebühren sind hier die geschätzten Lizenzgebühren, die für die Nutzung der entsprechenden Technologiealternative anfallen, zu Grunde zu legen.</p> <p>III. Entwicklungskosten Für das Ziel-Kriterium Entwicklungskosten sind die geschätzten Kosten, die ausgehend von dem Zeitpunkt der Bewertung für die genannten Arbeiten bis zu einem serienreifen Zustand der Technologie anfallen.</p>
<p>Variable Kosten</p> <p>I. Fertigungseinzelkosten Für das Ziel-Kriterium Fertigungseinzelkosten sind alle Kosten zu berücksichtigen, die bei der Fertigung entstehen, nicht als Materialeinzelkosten gelten und direkt der Technologiealternative zugeordnet werden können.</p> <p>II. Materialeinzelkosten Bei Ziel-Kriterium Materialeinzelkosten wird beurteilt, wie hoch die Kosten für die Materialien, die zur Fertigung der Technologiealternative benötigt werden, sind.</p> <p>III. Montagekosten Fahrzeug Unter dem Zielkriterium Montagekosten Fahrzeug sind die geschätzten Fertigungseinzelkosten zu verstehen, die bei einer Montage der Technologiealternative im Fahrzeug direkt zugeordnet werden können.</p> <p>IV. Lagerkosten Hierunter fallen Kosten, die für spezielle kostenintensive Lagerverhältnisse oder funktionserhaltende Maßnahmen für die Technologie erforderlich sind.</p> <p>V. Entsorgungskosten Bezogen auf den Life Cycle müssen spezielle Kosten des Recyclings einbezogen werden.</p>

**Abb. 5-4: Definition der Kriterien des Bewertungsbaums Kosten**

5.2.2 Qualität

Der Bewertungsbaum des finalen Bewertungskriteriums Qualität leitet sich aus Kapitel 2.7.2 ab und wird gemäß Abb. 5-5 definiert. Die zugehörige Definition der Ziel-Kriterien für diesen Bewertungsbaum findet sich in der Abb. 5-6.

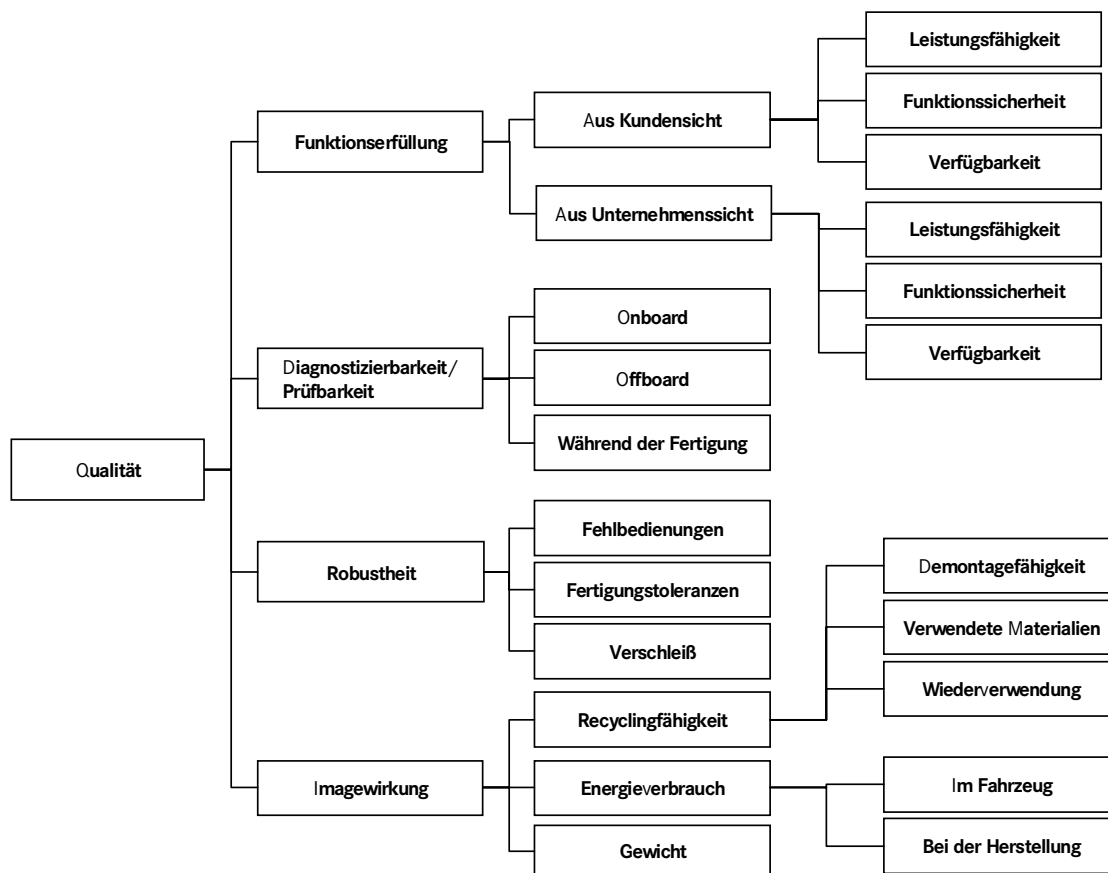


Abb. 5-5: Zielbaum des Bewertungskriteriums Qualität

Qualität
<p>Funktionserfüllung</p> <p style="padding-left: 40px;">I. Aus Kundensicht</p> <p style="padding-left: 80px;">Leistungsfähigkeit</p> <p style="padding-left: 80px;">Mit der Leistungsfähigkeit aus Kundensicht wird gemessen, inwieweit die Technologiealternative bei von Kunden direkt wahrnehmbaren Funktionen die aus Kundensicht geforderte Leistungsfähigkeit erfüllt.</p> <p style="padding-left: 80px;">Verfügbarkeit</p> <p style="padding-left: 80px;">Eine optimale Verfügbarkeit aus Kundensicht ist dann gegeben, wenn die</p>



einzusetzende Technologiealternative so ausgelegt ist, dass die von ihr zu erfüllende Funktion zu jedem vom Kunden gewünschten Zeitpunkt zum Gebrauch bereit steht.

#### Funktionssicherheit

Unter Funktionssicherheit wird in diesem Kontext verstanden, dass von der Technologiealternative bei der Funktionserfüllung keine Gefahr ausgeht und keine katastrophalen Folgen resultieren können [Mon99].

#### II. Aus Unternehmenssicht

##### Leistungsfähigkeit

An dieser Stelle ist zu bewerten, inwieweit die Technologiealternative die unternehmensinternen Forderungen an die Leistungsfähigkeit zur Funktionserfüllung erfüllt.

##### Verfügbarkeit

Mit dem Ziel-Kriterium Verfügbarkeit aus Unternehmenssicht wird gemessen, inwiefern die Technologiealternative die Forderung nach Verfügbarkeit zur Erfüllung von nicht direkt vom Kunden wahrnehmbaren Funktionen erfüllt.

##### Funktionssicherheit

Zu bewerten ist hier, inwieweit die Technologiealternative die unternehmensinternen Anforderungen an die Funktionssicherheit erfüllt.

#### Diagnostizierbarkeit/Prüfbarkeit

##### I. Onboard

Onboard-Diagnostizierbarkeit wurde als Kriterium gewählt, um im Rahmen einer Ausfallerkennung auf die genaue Lokalisierung des Fehlers mit im Fahrzeug vorhandene Mittel (onboard) zu schließen.

##### II. Offboard

Analog dem Onboard-Kriterium wurde die Offboard-Diagnostizierbarkeit als Kriterium gewählt, um im Rahmen einer Ausfallerkennung auf die genaue Lokalisierung des Fehlers mit nicht im Fahrzeug vorhandene Mittel (offboard) zu schließen.

##### III. Während der Fertigung

Dieses Kriterium bringt zum Ausdruck, wie aufwendig eine Prüfung der einzusetzenden Technologiealternative während der Fertigung ist, um eine entsprechende Qualität gewährleisten zu können.

#### Robustheit

##### I. Fehlbedienungen

Robustheit gegenüber Fehlbedienung beschreibt, wie sich eine nicht sachgemäße Bedienung der Technologiealternative auf deren Funktionserfüllung auswirkt.

##### II. Fertigungstoleranzen

Gewisse Fertigungstoleranzen sind bei der Herstellung von E/E-Komponenten nicht auszuschließen und können einen erheblichen Einfluss auf die Funktionserfüllung haben.

III. Verschleiß  
 EE-Technologien müssen ihre Funktion während ihrem Gebrauch im Fahrzeug über einige Jahre erfüllen.

#### Imagewirkung

##### I. Recyclingfähigkeit Demontagefähigkeit

Die Demontagefähigkeit ist eine Grundvoraussetzung für Recyclingaktivitäten, wodurch bewertet werden muss, inwieweit und wie einfach eine zerstörungsfreie Demontage möglich ist.

##### Verwendete Materialien

Mit dem Ziel-Kriterium verwendete Materialien wird bewertet, inwiefern die für die einzusetzende Technologiealternative verwendeten Materialien als neue Rohstoffpotenziale für die Herstellung gleicher oder gleichwertiger Produkte dienen können [Brü96].

##### Wiederverwendung

Das Ziel-Kriterium Wiederverwendung berücksichtigt, inwieweit die Technologie am Ende des Produktlebenszyklus einer weiteren Verwendung zugeführt werden kann.

##### II. Energieverbrauch Im Fahrzeug

Der Einsatz von EE-Technologien bei der Entwicklung innovativer Kfz-Systeme beeinflusst den Energieverbrauch im Fahrzeug und damit auch den Kraftstoffverbrauch. Der mittlere Leistungsbedarf bei Oberklassenfahrzeugen liegt heute mit steigender Tendenz bei etwa 1,1kW und der dadurch verursachte Kraftstoffverbrauch bei 1,7L/100km [Sch01].

##### Bei der Herstellung

Neben dem Energieverbrauch im Fahrzeug ist weiterhin zu berücksichtigen, wie hoch der Energieeinsatz bei der Herstellung ist.

##### Gewicht

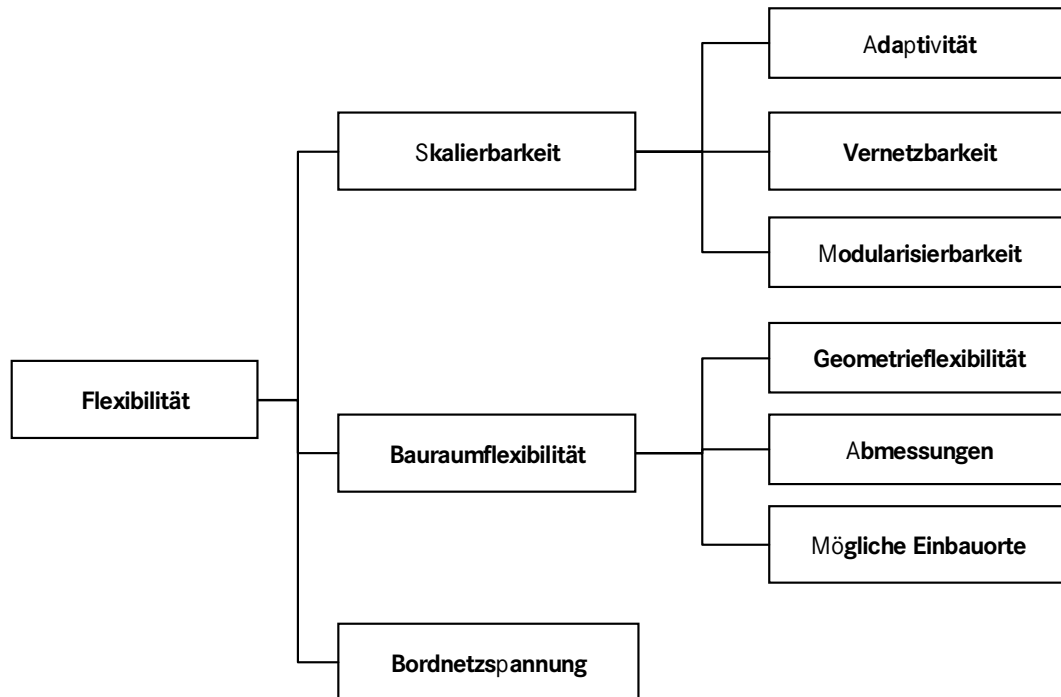
Das Ziel der Fahrzeughersteller ist es seit Jahren, das Fahrzeuggewicht zu reduzieren und somit auch den Kraftstoffverbrauch zu senken.

**Abb. 5-6: Definition der Kriterien des Bewertungsbaums Qualität**

#### 5.2.3 Flexibilität

Bereits in Kapitel 2.7.2 wurde verdeutlicht, dass Flexibilität eine entscheidende Rolle bei der Auswahl von Technologiealternativen spielt. Zu den Unterkriterien der

Flexibilität zählen daher Skalierbarkeit, Bauraumflexibilität und Bordnetzspannung. Der entsprechend definierte Bewertungsbaum ist in Abb. 5-7 dargestellt.



**Abb. 5-7: Zielbaum des Bewertungskriteriums Flexibilität**

Die Skalierbarkeit wird durch die Ziel-Kriterien Modularisierbarkeit und Standardisierbarkeit, Adaptivität und Vernetzbarkeit erfasst. Bauraumflexibilität wird mit den Ziel-Kriterien Geometrieflexibilität und Abmessungen bestimmt und als weitere Ziel-Kriterien für Flexibilität werden mögliche Einbauorte und Bordnetzspannungen berücksichtigt. Eine genaue Definition der Ziel-Kriterien ist der Abb. 5-8 zu entnehmen.

<b>Flexibilität</b>
<p><b>Skalierbarkeit</b></p> <p>I. Modularisierbarkeit und Standardisierbarkeit Zu bewerten ist, wie gut modularisierbar die Technologiealternative ist und wie gut eine baureihenübergreifende Standardisierung möglich ist.</p> <p>II. Vernetzbarkeit Die Vernetzbarkeit bewertet, wie gut ein funktionales Zusammenspiel der</p>

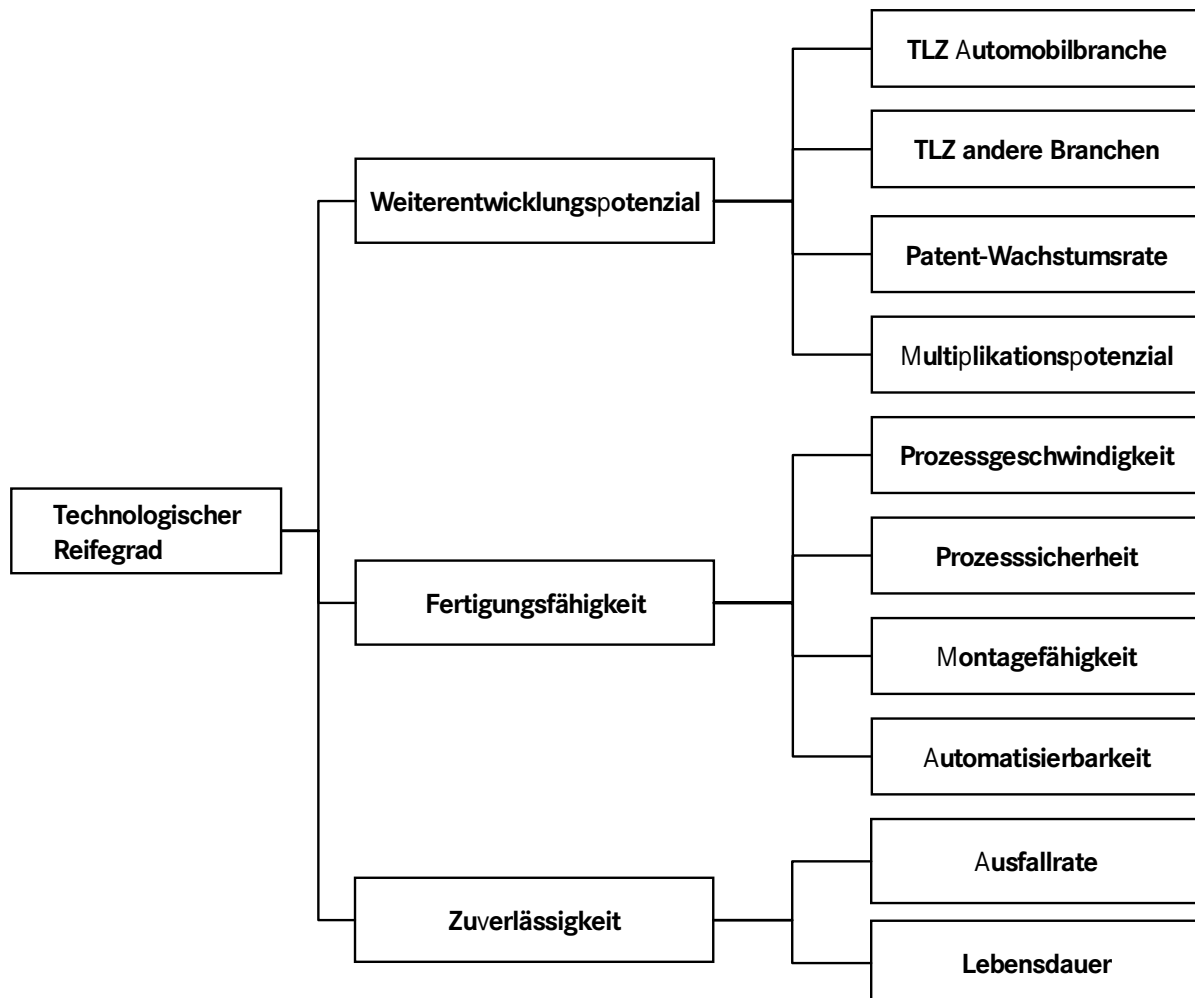
<p>Technologie mit anderen einzusetzenden Technologien möglich ist.</p> <p>III. Adaptivität Durch die Adaptivität, d.h. die Anpassbarkeit an eine andere Systemumgebung, ist zu bewerten, wie gut sich die Technologie sowohl innerhalb einer Baureihe (z. B. verschiedene Ausstattungsmerkmale) als auch baureihenübergreifend an sich ändernde Systemumgebungen anpassen kann.</p>
<p>Bauraumflexibilität</p> <p>I. Geometrieflexibilität Dieses Kriterium stellt dar, ob die Technologie in verschiedenen Formen gefertigt werden kann und nach der Fertigung noch in ihrer Form veränderbar ist, um sich verschiedenen Bauraumformen in Abhängigkeit vom Ein-/Anbauort anzupassen.</p> <p>II. Abmessungen Bei dem Kriterium Abmessungen werden die absoluten Abmessungen der Technologiealternativen verglichen, um zu prüfen, ob für mögliche Einsatzfälle bestimmte Forderungen bezüglich Höhe, Breite, Länge etc. gestellt werden und sich somit eine oder mehrere dieser Dimensionen als besonders wichtig herausstellen.</p> <p>III. Mögliche Einbauorte Die Bewertung dieses Kriteriums ist wichtig, um die prinzipielle Einsatzmöglichkeit der Technologie für verschiedene Einbauorte hinsichtlich ihrer Umgebungsbedingungen festzustellen.</p>
<p>Bordnetzspannung</p> <p>Die mögliche Bordnetzspannung ist zu bewerten, um die Eignung der Technologie für alle für das Unternehmen in Frage kommenden Bordnetzspannungen (z. B. 14V/42V Bordnetz) festzustellen.</p>

**Abb. 5-8: Definition der Kriterien des Bewertungsbaums Flexibilität**

#### 5.2.4 Technologischer Reifegrad

Mit den bisher beschriebenen finalen Bewertungskriterien wird beurteilt, inwiefern die einzusetzende Technologiealternative ein Verbesserungspotenzial bezüglich Qualität, Flexibilität und Kosten gegenüber alternativ anwendbaren neuen oder bereits eingesetzten reifen Technologien besitzt. Mit Hilfe des finalen Bewertungskriteriums Technologischer Reifegrad wird hingegen ausgedrückt, inwieweit ein Risiko bezüglich der Erreichung einer Serienreife der Technologiealternative besteht und ob die Technologie auch in Zukunft eine

geeignete Lösung darstellen kann. Das finale Bewertungskriterium Technologischer Reifegrad setzt sich, wie in Abb. 5-9 dargestellt, aus den Unterkriterien Weiterentwicklungspotenzial, Fertigungsfähigkeit und Zuverlässigkeit zusammen.



**Abb. 5-9: Bewertungsbaum des Bewertungskriteriums Technologischer Reifegrad**

Das Unterkriterium Entwicklungsstand wird aus den Ziel-Kriterien Stellung im Technologielebenszyklus Automobilbranche, Stellung im Technologielebenszyklus andere Branchen, Anzahl Patente und Multiplikationspotenzial ermittelt. Hier wird einerseits der momentane Entwicklungsstand eingeordnet und andererseits ein Potenzial bezüglich der Verbesserung des Entwicklungsstands abgeschätzt. Das Unterkriterium Fertigungsfähigkeit wird mit den Ziel-Kriterien Prozessgeschwindigkeit, Prozesssicherheit, Montagefähigkeit und Automatisierbarkeit bewertet und gibt Aufschluss darüber, wie geeignet die

Technologiealternative bezüglich der Fertigung für einen Serieneinsatz erscheint. Zur Bestimmung der Prozesssicherheit sind Kennzahlen der Prozessbeherrschtheit, Prozessfähigkeit und Qualitätsfähigkeit als quantitative Größen heranzuziehen [Sch04b]. Das Unterkriterium Zuverlässigkeit setzt sich aus den Ziel-Kriterien Ausfallrate und Lebensdauer zusammen. Eine genaue Definition der Ziel-Kriterien für das finale Bewertungskriterium Technologischer Reifegrad ist der folgender Abb. 5-10 zu entnehmen.

<b>Technologischer Reifegrad</b>
<p>Entwicklungsstand</p> <p>I. TLZ Automobilindustrie Die Stellung einer Technologie im Technologielebenszyklus der Automobilindustrie gibt Auskunft darüber, ob der Technologie in Bezug auf das Einsatzgebiet Automobil ein gutes Weiterentwicklungspotenzial zugeschrieben und somit eine Zukunftsträchtigkeit für diesen Anwendungsfall erwartet werden kann [Pel99].</p> <p>II. TLZ andere Branchen Der Anteil der Automobilelektronik ist im Vergleich zum gesamten Elektronikmarkt sehr gering, was sich dadurch widerspiegelt, dass in der Automobilbranche häufig Technologien aus anderen Branchen übernommen werden (z.B. Unterhaltungselektronik, Mobiltelefon etc.). Durch die bereits beschriebenen speziellen Umgebungsanforderungen für den Einsatz von Elektronikkomponenten in Automobilen ist daher positiv zu beurteilen, wenn die einzusetzende Technologie in einer oder mehreren anderen Branchen bereits in ihrem Technologielebenszyklus fortgeschritten ist und entsprechendes Know-how verfügbar ist.</p> <p>III. Patent-Wachstumsrate Der Einsatz von Patentinformationen als Indikator kann in bestimmten technologischen Sachgebieten wertvolle Hinweise auf die zu erwartende Innovationsdynamik in diesen Bereichen liefern.</p> <p>IV. Multiplikationspotenzial Einer Technologie ist bei Vorhandensein eines entsprechenden Multiplikationspotenzials auch bei einer im Technologielebenszyklus fortgeschrittenen Stellung ein Weiterentwicklungspotenzial zuzuschreiben [Pel99], woraus neue Technologien entwickelt werden können.</p>
<p>Fertigungsfähigkeit</p> <p>I. Prozessgeschwindigkeit Mit dem Kriterium Prozessgeschwindigkeit wird bewertet, wie lange die Fertigung der zu bewertenden Technologiealternative dauert. Ziel ist ein möglichst geringer Zeitaufwand für das Fertigen von Bauelementen der Technologie.</p>

<p>II. Prozesssicherheit Die Prozesssicherheit trifft eine Aussage über die Ausschussquote beim Fertigen der zu bewertenden Technologie. Insbesondere bei neuen Technologien, bei denen eventuell neue Fertigungsverfahren eingesetzt werden, spielt die Prozesssicherheit eine wichtige Rolle.</p> <p>III. Montagefähigkeit Die Montagefähigkeit beschreibt, wie einfach die Einzelteile der jeweiligen Technologieelemente zusammengesetzt werden können.</p> <p>IV. Automatisierbarkeit Automatisierbarkeit beschreibt, wie hoch der Automatisierungsgrad sowohl einzelner Maschinen als auch die automatische Verknüpfung der Maschinen innerhalb des Produktionssystems ist.</p>
<p>Zuverlässigkeit</p> <p>I. Ausfallrate Mit dem Kriterium Ausfallrate wird bewertet, wie hoch die geschätzte Ausfallrate der Technologie bei einem festzulegenden Lastkollektiv zum Zeitpunkt der Bewertung ist. Hierzu ist weiterhin ein geeigneter Beobachtungszeitraum festzulegen, für den diese Ausfallrate bestimmt wird.</p> <p>II. Lebensdauer Bei dem Ziel-Kriterium Lebensdauer ist zu bewerten, wie hoch die Lebensdauer der Technologie bei einem festzulegenden Lastkollektiv ist.</p>

**Abb. 5-10: Definition der Kriterien des Bewertungsbaums Technologischer Reifegrad**

### 5.3 Chancen- und Risikobewertung der Einzelkriterien durch Wahrscheinlichkeitsaussagen

Wie bereits erwähnt, ist für jedes Einzelkriterium die dazu gehörige Wahrscheinlichkeitsverteilung zu ermitteln. In Abb. 5-11 wird das in dieser Arbeit entwickelte Verfahren aufgezeigt.

Zunächst wird der Ablauf geschildert für den Fall, dass empirische Daten für das Einzelkriterium des Technologieelements vorhanden sind:

Die empirischen Daten werden strukturiert und die Häufigkeitsverteilungen grafisch veranschaulicht. Die Ausprägungen können diskret oder stetig sein. Diskret bedeutet in diesem Kontext, dass nur abzählbar viele Werte angenommen werden können, wie beispielsweise die Anzahl ausgefallener Bauelemente eines Technologieverbundes. Als stetig wird hier eine Ausprägung bezeichnet, die jeden

beliebigen Wert eines Intervalls annehmen kann. Dies ist zum Beispiel bei den Abmessungen eines Bauelements der Fall. Im diskreten Fall kann jedem Wert eine Wahrscheinlichkeit zugewiesen werden. Ein einzelner Wert besitzt im stetigen Fall die Wahrscheinlichkeit 0, weil der Wert beliebig verfeinert werden kann, indem z.B. immer mehr Dezimalstellen eines Messwertes betrachtet werden. Bei stetigen Werten existiert deshalb nur die Wahrscheinlichkeit eines Intervalls und nicht die eines einzelnen Wertes. Handelt es sich bei den Ausprägungen um diskrete Werte, kann bei hinreichend großer Datenmenge die Wahrscheinlichkeit  $p$  eines Werts  $x$  ermittelt werden, indem die Anzahl der Fälle, in denen der Wert  $x$  eingetreten ist, dividiert wird durch die Anzahl aller Fälle. Die so ermittelten Wahrscheinlichkeiten der diskreten Ausprägungen können direkt ins Teilergebnis übernommen werden.

Sind die Ausprägungen stetig, wird die grafische Darstellung der Häufigkeitsverteilung mit den typischen Verläufen von Wahrscheinlichkeitsverteilungen verglichen, die u.a. in der Literatur von Bronstein [Bro00] zu finden sind. Die Wahrscheinlichkeitsfunktion, die dem Verlauf der Häufigkeitsverteilung am ehesten entspricht, wird ausgewählt und die dazugehörige Formel für die weiteren Schritte verwendet. Da die Parameter der ausgewählten Verteilung unbekannt sind, werden diese im nächsten Schritt ermittelt. Dazu werden Verfahren der Regressionsrechnung, wie die Methode der kleinsten Quadrate und die Maximum-Likelihood-Methode angewendet. Die so ermittelte Funktion mit den entsprechenden Parametern stellt ein Teilergebnis des Bewertungsablaufs dar.

Im folgenden Verlauf wird der Fall geschildert, dass keine empirischen Daten bei der Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsverteilung vorliegen:

Zunächst werden die Wahrscheinlichkeiten, bei diskreten Ausprägungen für einzelne Werte und bei stetigen Ausprägungen für Intervalle, durch Expertenbefragung geschätzt. Die so ermittelten Wahrscheinlichkeiten werden in tabellarischer Form aufgezeichnet. In manchen Fällen kann dem Einzelkriterium aufgrund seiner Zusammensetzung oder seines Charakters eine passende Wahrscheinlichkeitsverteilung direkt zugewiesen werden. Werden die Ausprägungen eines Einzelkriteriums von vielen kleinen Einflüssen bestimmt, von denen keiner eine dominierende Auswirkung hat, handelt es sich bei der zu ermittelnden Funktion meist um eine Normalverteilung. Wird mit dem Einzelkriterium eine Zuverlässigkeits- oder eine Lebensdaueraussage als Größe eines Verschleißprozesses getroffen, eignen sich meistens Exponential- bzw. eine Sonderform der Exponential- die so



genannte Weibullverteilung. Wenn sich die zu bestimmende Wahrscheinlichkeitsverteilung direkt zuordnen lässt, kann mit der Berechnung der Parameter, wie oben genannt, fortgefahren werden. Ansonsten werden die geschätzten Daten grafisch veranschaulicht und durch Vergleich mit den typischen Verläufen (s.o.) eine geeignete Verteilung ausgewählt. Für die ausgewählte Verteilung sind abschließend die unbekannt Parameter zu ermitteln (s.o.), damit als Teilergebnis des Bewertungsablaufs die geschätzte Wahrscheinlichkeitsverteilung mit den charakterisierenden Parametern vorliegt.

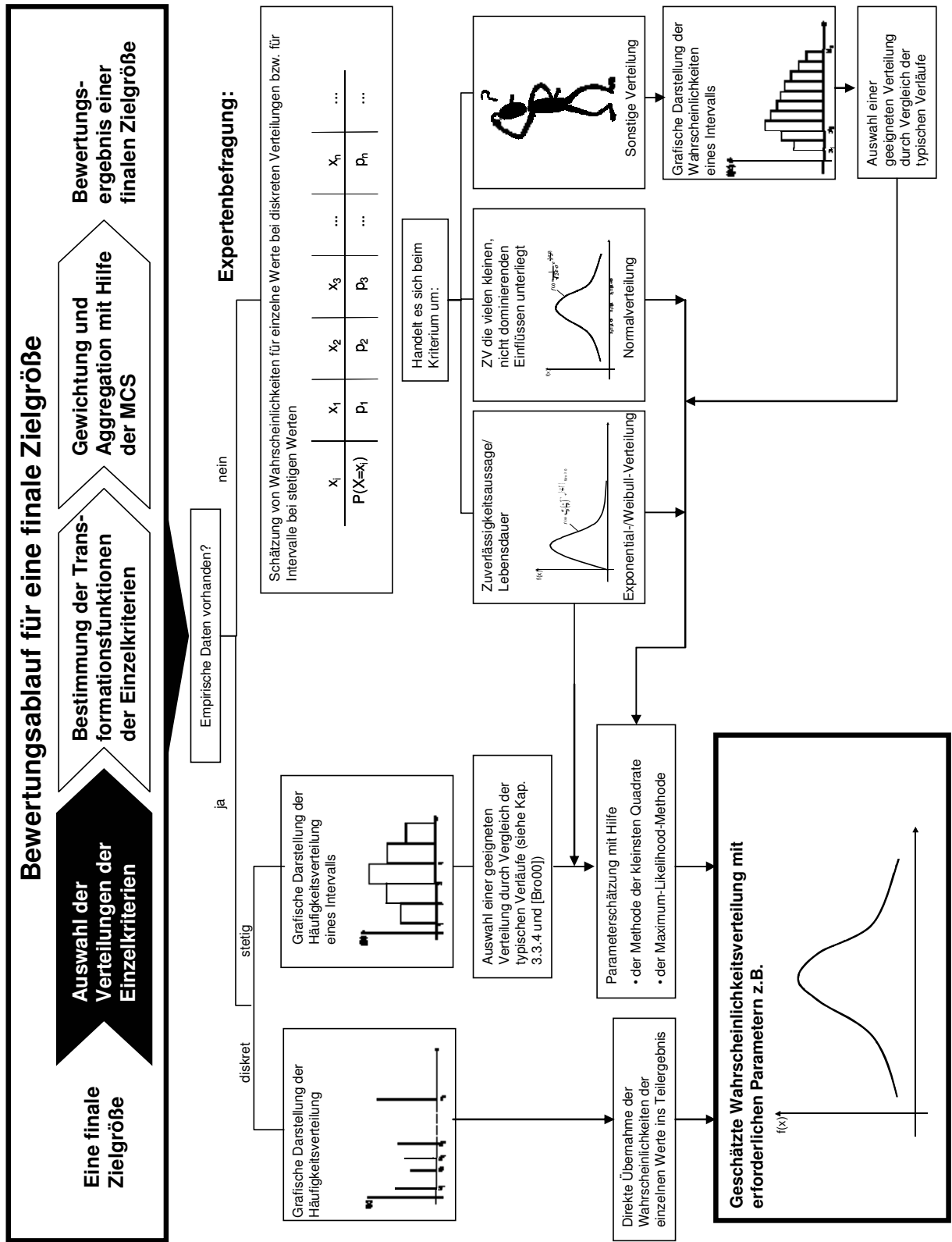


Abb. 5-11: Auswahl einer geeigneten Wahrscheinlichkeitsverteilung

## 5.4 Aggregationssystematik

### 5.4.1 Normierung durch Transformationsfunktionen

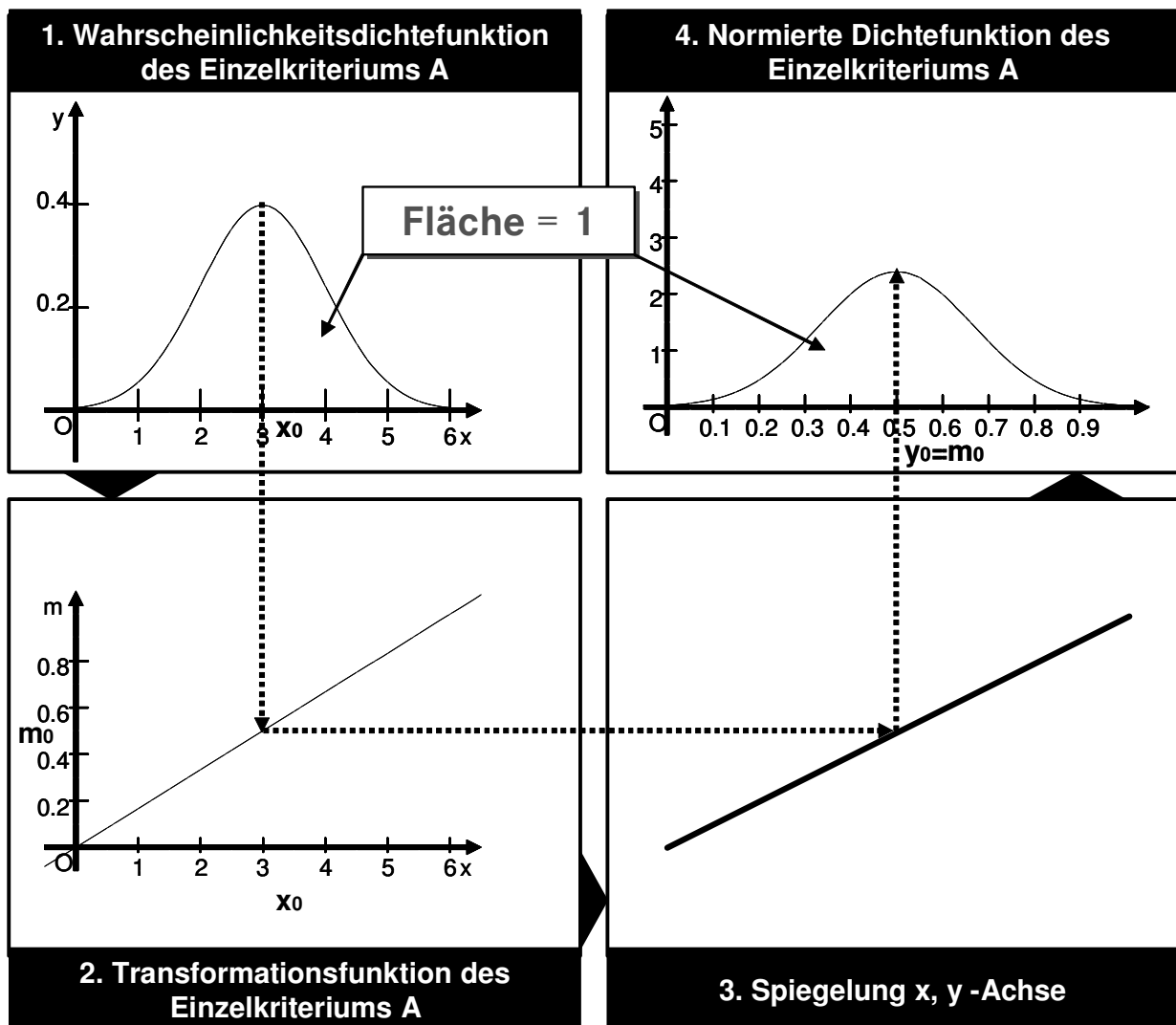
#### 5.4.1.1 Definition von Transformationsfunktionen

Nachdem ein vollständiger Kriterienkatalog vorliegt und Schätzungen über die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Ausprägungen der einzelnen Kriterien ermittelt sind, erfordert die Bewertung von Technologien die Darstellung der Relation zwischen der Merkmalsausprägung und der Bewertung eines Kriteriums. Diese Relation drückt aus, in welchem Fall eine Merkmalsausprägung als gut oder schlecht angesehen wird. Die Umsetzung erfolgt mit Hilfe von so genannten Transformationsfunktionen (vgl. [Gel99]). Mit einer Transformationsfunktion wird einem bestimmten Wert  $x$  eines Kriteriums auf der Abszisse eines kartesischen Koordinatensystems einer normierten Maßzahl  $m$  auf der Ordinate zugeordnet (Abb. 5-12).

Handelt es sich bei dem Wert  $x$  nicht wie in unserem Fall um einen unsicheren Wert, für den eine geschätzte Wahrscheinlichkeitsverteilung existiert, sondern um den sicheren Istzustand eines Wertes, wird in der Literatur von Wertfunktionen bzw. Zielwertfunktionen gesprochen [Bre97].

Als Bezugsgröße, aufgrund der die Maßzahl  $m$  vergeben wird, bieten sich prinzipiell zwei Möglichkeiten an. Zum einen kann die Bewertung am Anwendungsfall orientiert sein. Somit erhält die technologisch beste Alternative eines Kriteriums die maximale Bewertungszahl. Zum anderen kann die Bewertung aufgrund dem derzeit bekannten technologisch Möglichem erfolgen. Die hier konzipierte Methode verwendet die zweite Möglichkeit, da mit ihr nicht nur ein Vergleich von Alternativen sondern auch eine absolute Bewertung von Technologien möglich sein soll und Entwicklungspotentiale zum Ausdruck gelangen sollen.

Die den Werten zugeordneten Maßzahlbereiche können entweder als Wertskala im beliebig gewählten Zahlenraum, also  $[\lt 1, \gt 1]$ , oder aber im Intervall  $[0, 1]$  festgelegt werden. In allen Fällen, in denen mehrere Kriteriengruppen oder –untergruppen getrennt bewertet werden und/oder wenn die Kriterien gewichtet werden, ist für die Maßzahlen ein normiertes Intervall zu bevorzugen [Bre97]. Deshalb wird das normierte Intervall  $[0, 1]$  in dieser Methode Verwendung finden.

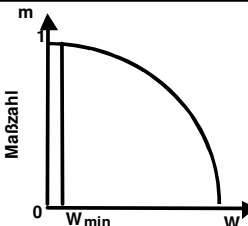
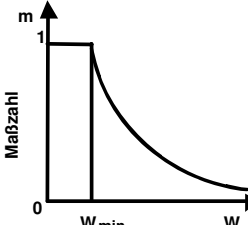
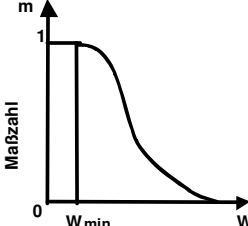
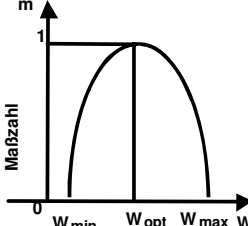
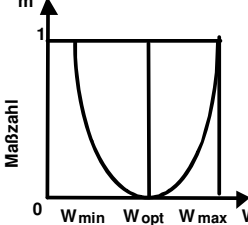
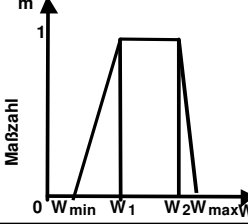


**Abb. 5-12: Prinzip der Transformation**

#### 5.4.1.2 Grundformen von Transformationsfunktionen

In Abb. 5-13 erfolgt die grafische Veranschaulichung der relevanten Transformationsfunktionen im Rahmen dieser Technologiebewertungsmethode. Die in der Tabelle genannten Anwendungsbeispiele sind mögliche Kriterien, für die sich die jeweiligen Transformationsfunktionen unter Umständen eignen.

Bezeichnung	Formeln	Abbildung	Anwendungsbeispiele
Grundform der linearen Wachstumsfunktion	$m = a W + c$		Leistungsfähigkeit
Grundform der linearen Straffungsfunktion	$m = - a W + c$		Gewicht
Nichtlineare Wachstumsfunktion mit degressivem Verlauf	$m = a W^b$ mit $b < 1$		Prozessgeschwindigkeit
Grundform der nichtlinearen quadratischen Wachstumsfunktion	$m = \left( \frac{w - w_{\min}}{W_{\max} - w_{\min}} \right)^2$		Lebensdauer
Grundform der steigenden Sättigungsfunktion mit degressivem Verlauf	$m = 1 - e^{-\left(\frac{w - w_{\min}}{a}\right)}$		Anzahl Patente
Grundform der steigenden S-Funktion	$m = \frac{1}{1 + e^{-a(w - w_{\min})}}$		Verfügbarkeit

Bezeichnung	Formeln	Abbildung	Anwendungsbeispiele
Grundform der nichtlinearen quadratischen Straffungsfunktion	$m = \left(1 - \frac{W - W_{\min}}{W_{\max} - W_{\min}}\right)^2$		Fertigungstoleranzen
Grundform der fallenden Sättigungsfunktion mit degrssivem Verlauf	$m = e^{-\frac{W - W_{\min}}{a}}$		Ausfallrate
Grundform der fallenden S-Funktion	$m = e^{-a(W - W_{\min})^3}$		Verschleiß
Grundform der beliebigen nichtlinearen Maximumfunktion	$m = 1 - \left(\frac{W - a}{b}\right)^2$		Schalterkraft
Grundform der beliebigen nichtlinearen Minimumfunktion	$m = \left(\frac{W - a}{b}\right)^2$		Resonanzfrequenz
Problemangepaßte Transformationsfunktion	z.B. $m = aW + c$ für $W_{\min} \leq W < W_1$ $m = 1$ für $W_1 \leq W < W_2$ $m = -bW + d$ für $W_2 \leq W < W_{\max}$		Abmessungen

**Abb. 5-13: Grundformen von Transformationsfunktionen**

Eine allgemein gültige Aussage, welche Transformationsfunktion für welches Kriterium verwendet werden sollte, ist nicht möglich, da dies vom spezifischen Anwendungsfall und der verfolgten Zielsetzung abhängt.

Anhand der beiden unterschiedlichen EE-Technologien, eine Elektromotor-Technologie (z. B. Gleichstrommotor mit Bürsten) und eine Funk-Technologie (z. B. Bluetooth), die im Fahrzeug zum Einsatz kommen, wird dies beispielhaft verdeutlicht. Da die Funk-Technologie Bluetooth berührungslos arbeitet, hat diese ein völlig anderes Verschleißverhalten als der Gleichstrommotor mit seinen Bürsten. So besteht für diese beiden EE-Technologien hinsichtlich des Kriteriums ‚Verschleiß‘ ebenfalls eine unterschiedliche Interpretation über den Kurvenverlauf einer Gut-Schlecht-Aussage und damit der Transformationsfunktion. Dies bedeutet, dass keine pauschale Zuordnung einer Grundform der Transformationsfunktion sinnvoll ist. Vielmehr ist eine Entscheidungshilfe notwendig, um die richtige Grundform zu ermitteln (vgl. Kapitel 5.4.1.4).

Wichtig ist jedoch, dass bei einem Alternativenvergleich gleiche Maßstäbe zugrunde gelegt werden.

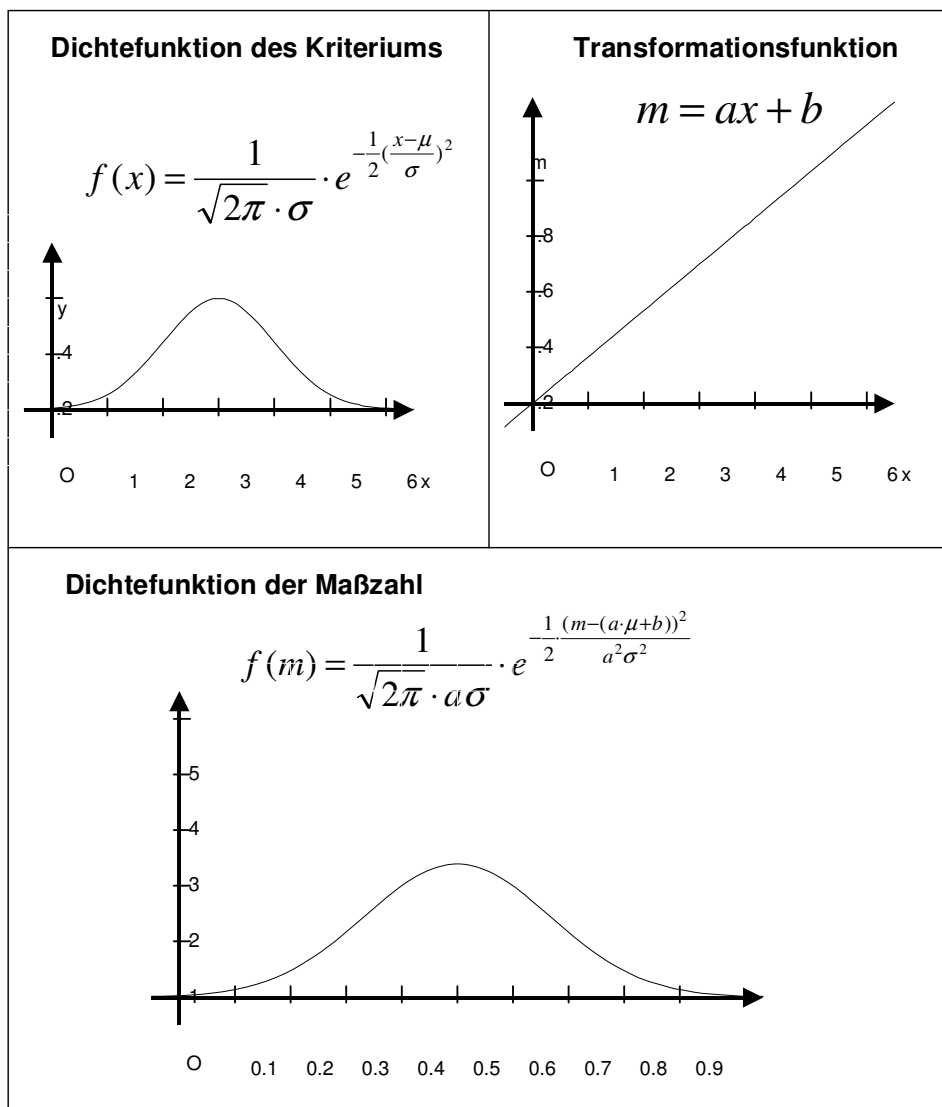
#### *5.4.1.3 Wahrscheinlichkeitsverteilung der Maßzahl*

Die Ausprägung  $x$  eines einzelnen Kriteriums liegt nicht als ein fester Wert, sondern in Form einer Wahrscheinlichkeitsverteilung vor. Für den Entscheidungsträger ist die Darstellung hilfreich, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Maßzahl  $m$ , also die der Kriterienausprägung zugeordnete Bewertungsgröße, erreicht wird. Abb. 5-14 zeigt am Beispiel eines normalverteilten Kriteriums und einer linearen Transformationsfunktion  $f(x) = m = ax + b$  wie die entsprechende Wahrscheinlichkeitsfunktion der Maßzahl  $m$  verläuft.

Im oberen linken Feld der Abbildung ist eine Gaußsche Normalverteilung mit dem Mittelwert  $\mu = 3$  und der Standardabweichung  $\sigma = 0,5$  dargestellt. Die Fläche der Kurve im Intervall  $[x_1; x_2]$  entspricht der Wahrscheinlichkeit, dass die Werte  $x$  eines Kriteriums in diesem Intervall liegen. Das obere rechte Feld der Abbildung zeigt eine Transformationsfunktion, die jedem möglichen Funktionswert im Intervall  $[x_1; x_2]$  eine Maß- bzw. Bewertungszahl  $m$  zuordnet. Als Beispiel für diese Transformationsfunktion ist die Grundform der linearen Wachstumsfunktion, die der Gleichung  $m = ax + b$  folgt mit den Parametern  $a = 1/6$  und  $b=0$ , abgebildet. Im Kontext dieser Arbeit ist von Interesse, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, dass  $m$  zwischen  $m_1$  und  $m_2$  liegt. Bei normalverteilten Zufallsvariablen gilt [Pap01]:

Für  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$  ist die linear transformierte Variable  $Y = ax + b$  wieder normalverteilt mit

$$Y \sim N(a\mu + b, a^2\sigma^2)$$



**Abb. 5-14: Wahrscheinlichkeitsverteilung einer Maßzahl**

Die normalverteilte Zufallsvariable aus dem oben genannten Beispiel mit  $\sigma = 0,5$  und  $\mu = 3$ , welche die Dichtefunktion

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \frac{1}{2}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-3}{\frac{1}{2}}\right)^2}$$



besitzt, geht nach der linearen Transformation mit  $Y = x/6$  in eine normalverteilte Zufallsvariable mit  $\sigma = \frac{1}{12}$  und  $\mu = \frac{1}{2}$  über. Die dazugehörige Dichtefunktion lautet

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{2}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x - 3 \cdot \frac{1}{6}}{\frac{1}{6} \cdot \frac{1}{2}} \right)^2}$$

und ist im unteren Feld der Abb. 5-14 veranschaulicht.

Im allgemeinen Fall gilt für die Dichtefunktion einer normalverteilten Zufallsvariablen bei der linearen Transformation:

$$f(m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot a\sigma} \cdot e^{-\frac{1}{2} \frac{(m - (a\mu + b))^2}{a^2\sigma^2}}$$

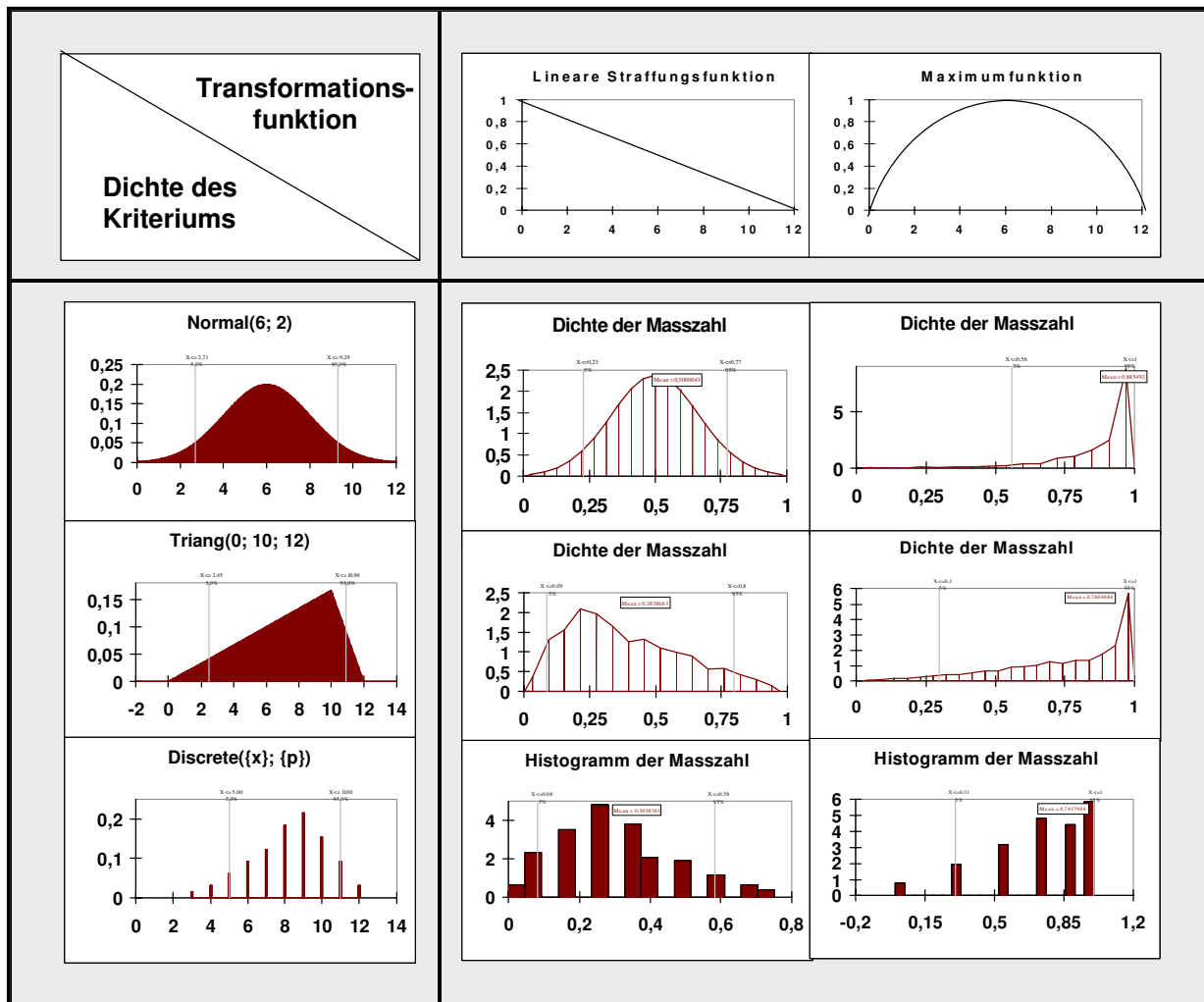
Wenn nichtlineare Transformationsfunktionen  $g(x)$  bei normalverteilten Zufallsvariablen zur Anwendung gelangen, muss gelten:

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2} dx = \int_{g(x_1)}^{g(x_2)} h(m) \cdot dm = \int_{m_1}^{m_2} h(m) \cdot dm$$

und

$$\int_{-\infty}^{\infty} h(m) \cdot dm = 1$$

Das Integral einer normalverteilten Zufallsvariable ist elementar nicht lösbar, sondern erfordert den Einsatz spezieller Näherungsmethoden, wie zum Beispiel die numerische Integration [Pap01]. Um verschiedene Wahrscheinlichkeitsverteilungen einer Maßzahl nach der Transformation zu veranschaulichen, ist in Abb. 5-15 eine Übersicht verschiedener Kombinationen von Wahrscheinlichkeitsverteilungen und Transformationsfunktionen, die mit Hilfe der Monte Carlo Simulation generiert wurden, dargestellt.



**Abb. 5-15: Wahrscheinlichkeitsverteilungen von Maßzahlen**

#### 5.4.1.4 Auswahl einer geeigneten Transformationsfunktion

Nachdem im vorigen Kapitel gezeigt wurde, wie für ein Einzelkriterium die dazugehörige Wahrscheinlichkeitsverteilung ermittelt wird, soll im folgenden Abschnitt der Ablauf zur Bestimmung einer geeigneten Transformationsfunktion verdeutlicht werden. Zuvor wurde bereits erläutert, dass die Transformationsfunktion dazu dient, den einzelnen Werten, die eine Ausprägung eines Einzelkriteriums annehmen kann, eine Maßzahl zuzuordnen, die Aufschluss darüber gibt, wie gut oder schlecht diese Ausprägung zu bewerten ist. Der Ablauf zur Ermittlung einer geeigneten Transformationsfunktion ist in Abb. 5-16 graphisch veranschaulicht.

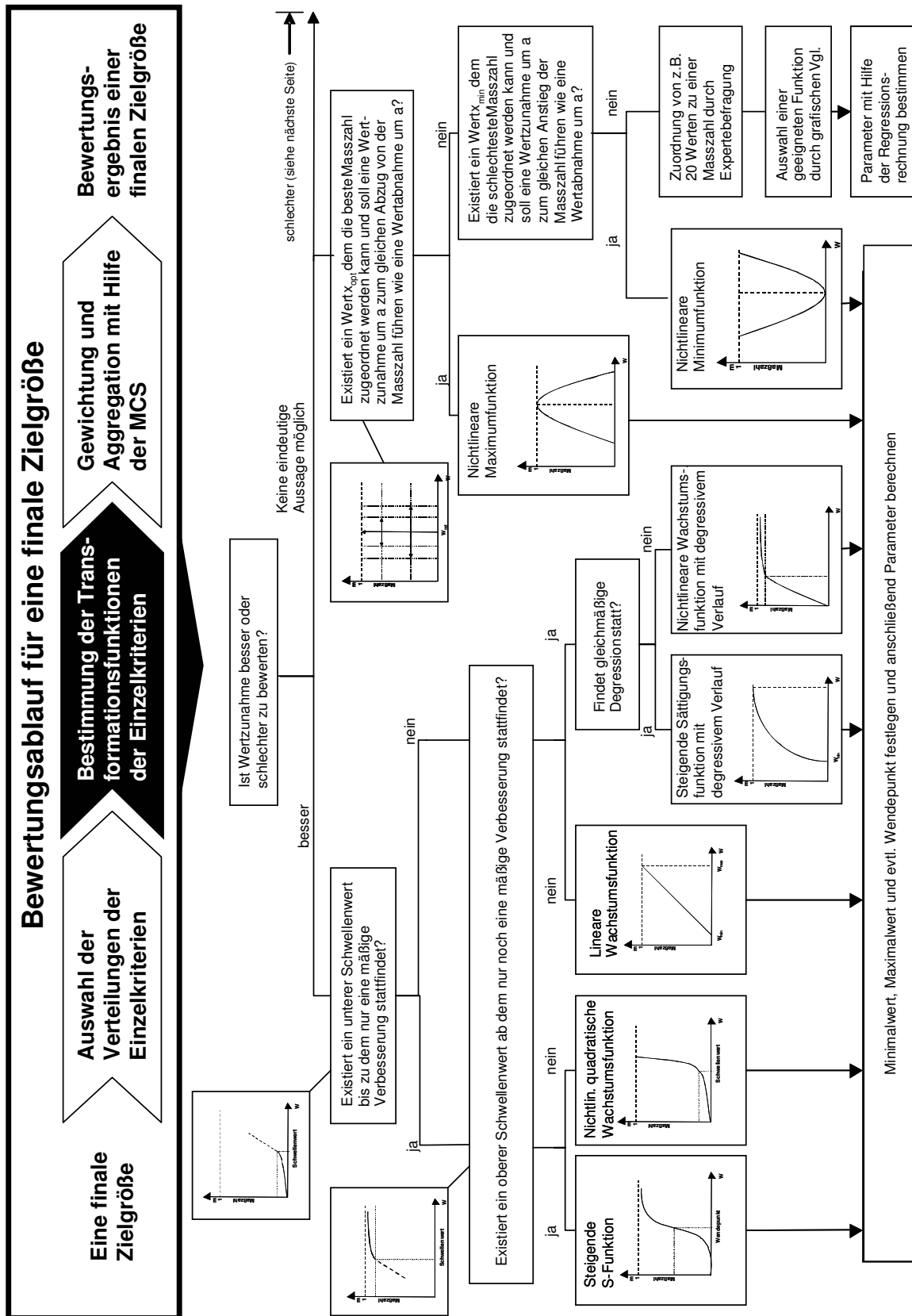


Abb. 5-16: Auswahl einer geeigneten Transformationsfunktion (Teil 1)

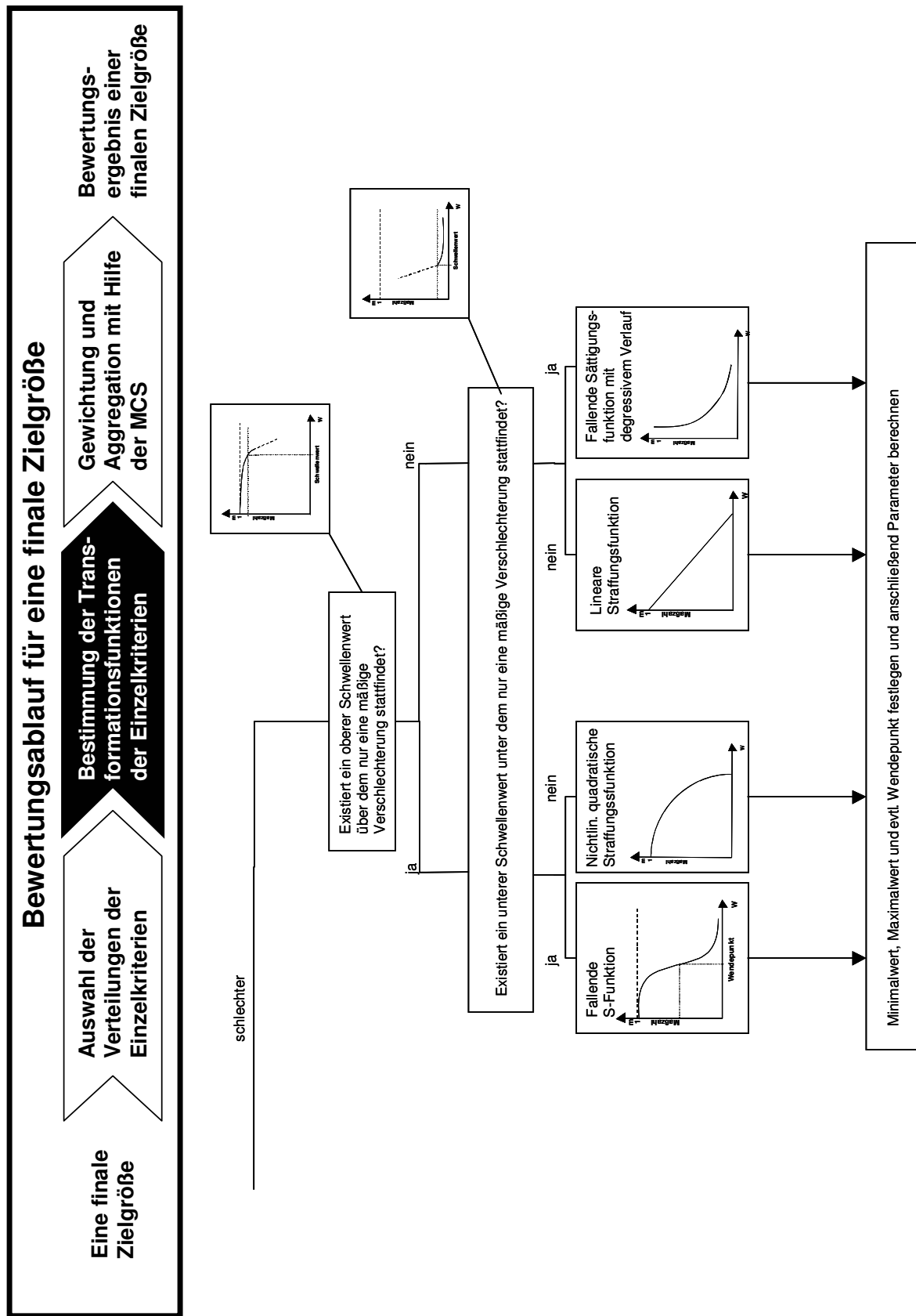


Abb. 5-17: Auswahl einer geeigneten Transformationsfunktion (Teil 2)

Dieser Ablauf kann für die meisten Einzelkriterien angewendet werden und deckt alle Standardfälle ab. Auf Sonderfälle wird im Weiteren gesondert eingegangen. Beim Vorgehen wird erst die jeweilige Grundform der gesuchten Transformationsfunktion und anschließend werden deren Funktionsparameter bestimmt.

### **Bestimmung der Grundform der Transformationsfunktion**

Zunächst ist die Frage zu klären, ob eine Wertzunahme grundsätzlich als besser oder schlechter eingestuft werden soll. Zuerst wird hier der weitere Ablauf beschrieben für den Fall, dass eine Wertzunahme grundsätzlich als besser zu bewerten ist. Die Abläufe für die anderen beiden Möglichkeiten, dass einerseits keine eindeutige Aussage möglich ist und andererseits größere Werte schlechter zu bewerten sind als kleinere, folgen anschließend.

*Wertzunahme = positive Bewertungsaussage:*

Bei positiver Bewertung der Wertzunahme wird zunächst nach Existenz eines so genannten Schwellenwerts gesucht. Dies ist der Fall, wenn bis zu einem bestimmten Wert nur eine schlechte Bewertung erfolgen soll und erst ab diesem Wert eine wirkliche Verbesserung stattfindet. Da bei den unteren Werten aber trotzdem differenziert werden soll, wie schlecht ein Wert einzustufen ist, hat die Kurve in diesem Bereich eine geringe Steigung und nicht den Wert 0. Als Beispiel für die Existenz eines solchen unteren Schwellenwerts kann die Lebensdauer genannt werden. Eine Lebensdauer eines Technologieelements von 5 Jahren sollte besser bewertet werden als eine Lebensdauer von 3 Jahren. Beide Werte sind aber unbefriedigend. Erst ab einer Lebensdauer von 10 Jahren findet eine nennenswerte Verbesserung des Kriteriums statt. Anschließend wird die Existenz eines oberen Schwellenwerts abgefragt, ab dem keine wesentliche Verbesserung mehr stattfindet. Als Beispiel kann die Motorleistung eines Fensterhebers gesehen werden, die ab einem Wert von 100 Watt bei normalen Bedingungen völlig ausreichend ist. Trotzdem sollten 120 Watt in Bezug auf die Leistungsfähigkeit etwas besser eingestuft werden, da bei zugefrorenen oder besonders schweren Scheiben ein solcher Motor seine Funktion besser erfüllt.

Weitere mögliche Kombinationen sind in Abb. 5-16 dargestellt.

*Wertzunahme = keine eindeutige Bewertungsaussage:*

Im Folgenden ist der Ablauf zur Bestimmung der Transformationsfunktion geschildert, wenn keine eindeutige Aussage möglich ist, ob eine Wertzunahme besser oder schlechter bewertet werden soll. Dies ist z. B. der Fall, wenn bis zu einem gewissen Wert eine Verbesserung und danach eine Verschlechterung stattfinden, oder wenn allgemein einer Bewertungszahl mehr als ein Ausprägungswert zugeordnet werden kann.

Zunächst wird die Existenz eines Werts überprüft, dem die beste Maßzahl zugeordnet werden kann. Weiter soll überprüft werden, ob die Funktion durch diesen Wert einen symmetrischen Verlauf hat. Eine Zunahme des Wertes mit der besten Bewertung um den Wert  $a$  führt also zum gleichen Bewertungsergebnis wie eine Wertabnahme um den Wert  $a$ . Ist dies der Fall, kann in der Regel eine lineare Maximumfunktion als Transformationsfunktion angesetzt werden. Als Beispiel kann die Größe eines Schalters zur Bedienung von Komfortelektronik genannt werden, für den eine optimale Größe festgelegt werden kann und eine positive oder negative Abweichung von dieser Größe zum gleichen Abzug der maximalen Bewertungszahl führen soll.

Existiert analog zu oben ein unterer Wert, der als Schnittpunkt der Symmetrieachse bezeichnet werden kann, eignet sich meist eine nichtlineare Minimumfunktion.

Für die Berechnung der unbekannt Parameter werden zum einen die Werte festgelegt, für die die Wertungszahl 0 sein soll und zum anderen für die die beste Wertungszahl vergeben werden soll. Mit Hilfe der Formeln aus Kapitel 5.4.1.2 lassen sich die benötigten Parameter berechnen.

*Wertzunahme = negative Bewertungsaussage:*

Zunächst wird überprüft, ob ein oberer Schwellenwert existiert, über dem nur eine mäßige Verschlechterung stattfindet. Dies kann beispielsweise bei der Ausfallrate des Technologieelementes der Fall sein, die bis zu einem bestimmten Wert als unkritisch angesehen werden kann und anschließend eine stark zunehmende Verschlechterung folgen soll. Im Weiteren wird die Existenz eines unteren Schwellenwertes abgefragt, ab dem nur noch eine mäßige Abnahme der Wertungszahl abläuft. Als Beispiel kann wieder die Ausfallrate genannt werden, die ab einem bestimmten Wert als inakzeptabel anzusehen ist. Dennoch soll nach

diesem Schwellenwert differenziert werden und nicht jeder Ausfallrate die Maßzahl 0 zugeordnet werden. Weitere Kombinationsmöglichkeiten befinden sich in Abb. 5-16.

#### *Unsymmetrie und Sonderfälle:*

Falls kein symmetrischer Verlauf angenommen werden kann oder wenn die mit der hier vorgestellten Ablaufmethode, die nur für Standardfälle und nicht für Sonderfälle konzipiert wurde, die ermittelte Transformationsfunktion nicht die gewünschte Abbildungsqualität liefert, eignet sich das nachfolgend geschilderte Vorgehen.

Durch Expertenbefragung werden 20 mögliche Werte einer Maßzahl zugeordnet. Anschließend wird durch graphische Darstellung und Vergleich mit den Grundformen verschiedener Funktionen, die zum Beispiel in der Literatur von Bronstein [Bro00] zu finden sind, eine Funktion mit ähnlichem Verlauf ausgewählt. Die unbekannt Parameter lassen sich, mit der Methode der kleinsten Quadrate berechnen.

#### **Berechnung der Funktionsparameter**

Nachdem die Grundform der Transformationsfunktion bekannt ist, sind im nächsten Schritt die unbekannt Parameter der Funktion zu berechnen. Dazu ist der Minimalwert, der Maximalwert und eventuell der Wendepunkt zu bestimmen. Der Minimalwert und der Maximalwert können aus der ermittelten Wahrscheinlichkeitsverteilung des Einzelkriteriums bestimmt werden. Der Minimalwert ist der kleinste Wert und der Maximalwert der größte Wert, dem bei diskreten Ausprägungen eine Wahrscheinlichkeit zugewiesen wurde. Bei stetigen Ausprägungen kann als Minimalwert der Wert festgelegt werden, der mit einer Wahrscheinlichkeit von 99% nicht unterschritten wird. Analog gilt für den Maximalwert, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 99% kein größerer Wert eintritt. Der Wendepunkt, der z. B. für die Parameterermittlung der fallenden S-Funktion benötigt wird, ist der Punkt an dem von einer ansteigenden zu einer sinkenden ersten Ableitung gewechselt wird. Also der Punkt, von dem eine Wertzunahme nicht mehr immer zu einer noch größeren, sondern zu einer immer kleiner werdenden Verbesserung führt. Der Wert ist durch das Bilden des arithmetischen Mittels aus dem unteren und oberen Schwellenwert zu ermitteln. Nachdem die benötigten Werte bestimmt sind, können die Parameter, wie in Kapitel 5.4.1.2 beschrieben, berechnet werden, damit als Teilergebnis eine Transformationsfunktion mit den charakterisierenden Parametern vorliegt.

#### 5.4.2 Aggregation der Einzelkriterien mittels Monte Carlo Simulation

In diesem Kapitel werden die gefundenen Teilergebnisse aus den vorherigen Kapiteln zum Bewertungsergebnis einer finalen Zielgröße eines Technologieelements verknüpft. Dazu sind die für jedes Einzelkriterium ermittelten Wahrscheinlichkeitsverteilungen und Transformationsfunktionen zu aggregieren.

Da die unterschiedliche Relevanz der verschiedenen Einzelkriterien für das Ergebnis berücksichtigt werden soll, sind vor der Aggregation noch die entsprechenden Gewichtungsfaktoren zu bestimmen. Die Gewichtungsfaktoren sind mit dem paarweisen Vergleich durch eine Expertenbefragung zu bestimmen.

Dabei gilt folgende Vorschrift:

Den jeweiligen Einzelkriterien eines Bewertungsbaums wird entsprechend dem Ergebnis bzw. der Rangfolge des paarweisen Vergleichs ein Gewichtungsfaktor zwischen 1-10 zugeordnet, wobei 1 für Kriterien, die wenig Relevanz auf das Ergebnis haben sollen, und 10 für sehr bedeutende Kriterien zu vergeben ist.

Nachdem alle erforderlichen Daten zur Bestimmung eines Bewertungsergebnisses einer finalen Zielgröße eines Technologieelements vorliegen, kann mit der Aggregation der Daten begonnen werden, die nach folgendem Prinzip abläuft:

- Für ein Einzelkriterium wird eine Zufallszahl generiert, die der dazugehörigen Wahrscheinlichkeitsverteilung entspricht. Das heißt, dass die Zufallszahl mit größter Wahrscheinlichkeit die Zahl sein wird, an der die Kurve ihr Maximum aufweist. Dieser Vorgang wird als so genannte Monte Carlo Simulation bezeichnet. Die Vorteile dieses Simulationsverfahrens bei nicht explizit programmierbaren mathematischen Funktionen mit Hinblick auf Wahrscheinlichkeitsverteilungen wurden bereits in Kapitel 2.7.5 erläutert.
- Der Wert der Zufallszahl wird in die für das Einzelkriterium gefundene Transformationsfunktion eingesetzt.
- Das Ergebnis wird mit dem Gewichtungsfaktor multipliziert.
- Die oben genannten Schritte werden für alle Einzelkriterien eines Bewertungsbaums durchlaufen.



- Die einzelnen so bestimmten Werte einer finalen Zielgröße werden addiert.
- Der gesamte Ablauf wird in großem Umfang, z. B. 10000-mal, wiederholt und die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Werte tabellarisch und graphisch veranschaulicht.

Die aus der Zufallszahl berechneten Werte lassen sich, wie oben bereits angesprochen, in Form von Häufigkeitsverteilungen aufzeigen. Bei ausreichend großem Versuchsumfang, d. h. bei entsprechend großer Anzahl der Wiederholungen des gesamten Ablaufs, kann aus der aufgetretenen Häufigkeit des Wertes bzw. des Intervalls, die Wahrscheinlichkeit näherungsweise abgeleitet werden. Aus den einzelnen Wahrscheinlichkeiten lässt sich somit die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Bewertungszahl bilden, die das Bewertungsergebnis einer finalen Zielgröße eines Technologieelements ist.

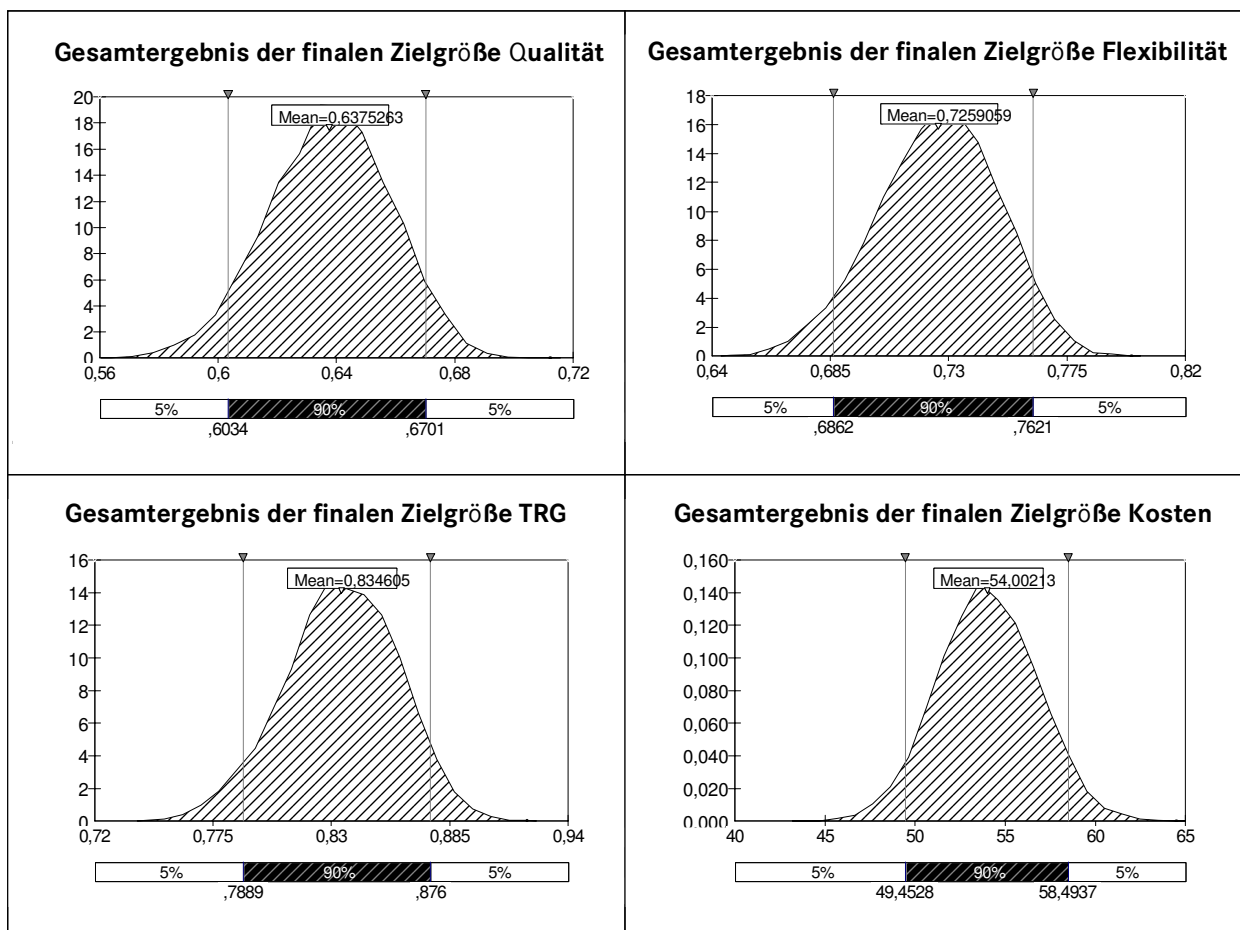
Bei der Rechnung und Aggregation mit Verteilungsfunktionen beschreibt [Kok98] einen wichtigen Effekt. Der sog. Verdichtungseffekt führt dazu, dass die Unschärfe der Ergebnisse bei der Addition von Verteilungsdichten kleiner ist als die Unschärfe der Eingangsgrößen. Grund hierfür ist, dass sich der relative Fehler im Ergebnis reduziert.

Aufgrund der großen Datenmenge ist für den oben genannten Vorgang eine EDV-Unterstützung notwendig. Hierzu steht ein Programm namens @Risk [Pal02] zur Verfügung, das die Methode in der Praxis unterstützen kann und daher Verwendung findet. Dieses Programm führt eine auf Microsoft Excel-Tabellen basierende Monte Carlo Simulation durch und stellt die Ergebnisse in Form von Tabellen und Graphiken dar.

#### 5.4.3 Darstellung eines Gesamtbewertungsergebnisses

Aufgrund der großen Anzahl von Simulationsläufen zur Erreichung einer hohen Genauigkeit im Simulationsergebnis kann die Wahrscheinlichkeitsverteilung der finalen Zielgrößen aus den ersten Simulationsergebnissen der einzelnen Technologieelemente abgeleitet werden. Das Gesamtergebnis wird berechnet, indem die Wahrscheinlichkeitsverteilungen in einer neuen Monte Carlo Simulation,

die für jede finale Zielgröße durchgeführt wird, als Eingangsvariablen verwendet werden. Die damit erzeugten Zufallszahlen, deren Auftrittshäufigkeit von der ermittelten Wahrscheinlichkeitsverteilung der Bewertungszahlen bestimmt sind, werden mit den bestimmten Elementgewichtungsfaktoren multipliziert und die daraus resultierenden Ergebnisse addiert. Das Gesamtergebnis einer finalen Zielgröße des Technologieverbundes wird ermittelt, indem der Wert, der sich aus der oben genannten Multiplikation ergibt, durch die Summe der Gewichtungsfaktoren geteilt wird. Das Gesamtergebnis eines ausgewählten und bewerteten Technologieverbundes ist in Abb. 5-18 graphisch veranschaulicht. Die Zielgrößen Qualität, Flexibilität und Technologischer Reifegrad (TRG) werden in einem geschlossenen, normierten Intervall [0; 1] dargestellt. Hingegen wird die Zielgröße Kosten als absoluter monetärer Wert erfasst.



**Abb. 5-18: Gesamtergebnis einer Bewertung**

## 5.5 Chancen-Risiko-Aussage des Gesamtbewertungsergebnisses

Das mit der konzipierten Methode erhaltene Gesamtergebnis liegt in Form von Wahrscheinlichkeitsverteilungen vor. Für die finalen Zielgrößen Qualität, Flexibilität und TRG kann damit die Wahrscheinlichkeit ausgedrückt werden, dass sich die Bewertungszahl in einem festgelegten Intervall befindet. Die Bewertungszahl kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Der Wert 1 signalisiert dabei, dass das bestmögliche Bewertungsergebnis erreicht wurde und der Wert 0 steht für das schlechteste Bewertungsergebnis. Für die Zielgröße Kosten wird das Ergebnis nicht als Verteilung einer Bewertungszahl, sondern in absoluter Form berechnet, d. h. in monetären Einheiten für einen realisierten Technologieverbund. Eine Transformation bei den Kosten würde zu einer unterschiedlich starken Bewertung einzelner Kriterien im Vergleich zu anderen Kriterien im Kriterienbaum Kosten führen und somit das Ergebnis verfälschen. Das Risiko eines Technologieverbundes lässt sich mit den erhaltenen Ergebnissen in Form eines Value-at-Risk (VaR) aufzeigen, wie er bereits in anderen Bereichen angewendet wird. Dazu wird die Bewertungszahl bzw. die Menge an Geldeinheiten aus der Wahrscheinlichkeitsverteilung ermittelt, die mit einer Wahrscheinlichkeit von beispielsweise 95 Prozent nicht unterschritten wird. Analog kann die Chance eines Technologieverbundes verdeutlicht werden, indem die Wahrscheinlichkeit eines Intervalls, das über dem Erwartungswert der Verteilung liegt, bestimmt wird.

Das Gesamtergebnis ermöglicht einen einfachen Vergleich alternativer Technologieverbände, die sich zur Realisierung des Funktionsmodells eignen. Trotzdem sollte auch eine Analyse der Einzelkriterien erfolgen, um sicher zu stellen, dass gewisse Mindestanforderungen erfüllt werden. Die Nichteinhaltung einer dieser Mindestanforderungen, wie beispielsweise eine inakzeptable Lebensdauer eines Technologieelements, sollte zum sofortigen Ausschluss einer Alternative führen.

## 6 Validierung der Methode

Zu Beginn dieses Kapitels wird zur besseren Einordnung des Praxisbeispiels im Unternehmenskontext das industrielle Umfeld der DaimlerChrysler AG vorgestellt. Im Weiteren werden die wichtigen Bausteine der Technologiealternativen beschrieben sowie anschließend eine Validierung der Gesamtmethode durchgeführt. Die Validierung wird anhand eines vereinfachten Fensterhebermodells dargestellt. Daran wird der Gesamtablauf exemplarisch durchgeführt.

Abschließend werden die erhaltenen Ergebnisse interpretiert und die Übertragbarkeit der Methodik auf andere Anwendungsfälle diskutiert.

### 6.1 Beschreibung des industriellen Umfelds

Die erstellte Methode ist als ein Instrument zur frühzeitigen Absicherung der Einführung von neuen Technologien und somit zur Minimierung von Risiken im Kontext des Technologiemanagements für Fahrzeugprojekte erstellt worden.

Die Technologiebewertung beinhaltet sowohl quantitative als auch qualitative Aspekte und beschäftigt sich insbesondere mit der Bewertung von Folgewirkungen und der Diskussion möglicher Alternativen. Als Aufgaben einer entsprechenden Folgenabschätzung sind die Erforschung und Bewertung des Einsatzes neuer Technologien zu sehen.

Im Fahrzeugkontext wird im Folgenden die Funktion „Fenster öffnen und schließen“ als anschauliches Beispiel zur Validierung der vorgestellten Methode herangezogen werden.

#### 6.1.1 Wichtige Bausteine eines Fensterhebermoduls

Bevor die eigentliche Anwendung des Bewertungsschemas beispielhaft durchgeführt wird, ist zunächst erforderlich, die zu bewertenden Technologien zu beschreiben. Im Folgenden werden die Bausteine eines Fensterhebermoduls näher betrachtet.

Abb. 6-1 zeigt die Seitentür mit einem Türmodul einer Mercedes E-Klasse BR 211.



**Abb. 6-1: Türmodul mit integriertem Fensterheber einer Mercedes E-Klasse BR211**

Abb. 6-2 zeigt die einzelnen Bauteile eines Fensterhebermoduls in vereinfachter Darstellung, die nachfolgend für die Validierung herangezogen werden.

Ein Fensterhebermodul besteht aus einem Gleichstrommotor, der über das Steuergerät angesteuert wird und den doppelt geführten Seilfensterheber antreibt. Der Gleichstrommotor erzeugt ein Drehmoment von 12 Nm und kann auf die Fensterscheibe eine Kraft von bis zu 1650 N übertragen. Somit wird ein einfaches Befestigen sowie ein problemloses Hoch- und Runterfahren der Scheibe gewährleistet. Der Motor wird mit Hilfe des Steuergerätes angesteuert, welches wiederum über einen CAN-Bus mit anderen Steuergeräten verbunden ist. Die Bedienung für Hoch- bzw. Tieflauf der Seitenfenster erfolgt über die Tasten, die in die Seitentür integriert sind - die sog. Bedienelemente. Beim Schließen einer Scheibe wird immer geprüft, ob ein Hindernis die Scheibenbewegung hemmt. In einem solchen Fall wird der Schließvorgang unterbrochen und die Scheibe vollständig geöffnet (Einklemmschutz).



Abb. 6-2: Technologiemodule eines Fensterhebers

Der Hallsensor soll zur Realisierung des Einklemmschutzes dienen. Er ist an der Ankerwelle des Elektromotors angeordnet und erfasst berührungslos die Drehzahl des Motorankers. Hierzu wird durch Messung des Magnetfeldes (Hall-Effekt) indirekt auf die Drehzahl geschlossen. Die Anordnung zweier Hallsensoren im 90° Winkel und die damit um 90° phasenverschobenen Sensorsignale ermöglichen eine Drehrichtungserkennung. Eine Positionserkennung des Fensters wird durch Inkrementierung oder Dekrementierung eines Positionszählers anhand der zuvor durchgeführten Drehrichtungserkennung festgestellt. Wird während des Schließens des Fensters ein unzulässig hoher Drehzahlabfall am Motoranker erkannt (z. B. durch einen Einklemmzustand), wird die Drehrichtung des Motors umgekehrt, um das Fenster wieder zu öffnen.

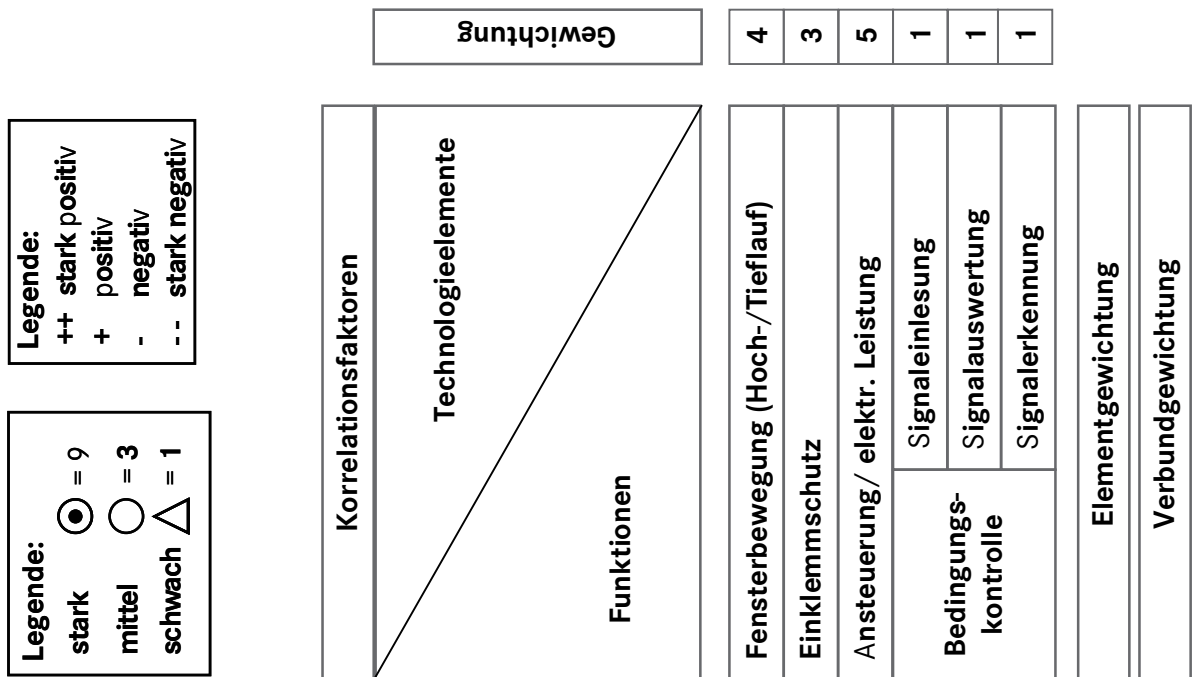
Alternativ bietet sich hier ein Ripplecounter an. Ein Ripplecounter ist ein zusätzlicher Softwarealgorithmus im Steuergerät. Er wurde von zahlreichen renommierten Firmen patentiert und stellt eine innovative Lösung für den Einklemmschutz dar. Dieser Algorithmus misst die Stromwelligkeit, die beim Kommutierungsvorgang eines Gleichstrommotors entsteht. Entstehen Unregelmäßigkeiten im sinusförmigen Signal bzw. der auftretenden Welligkeit (Ripple) des Motorstroms, so ändert sich die Laufrichtung des Motors und die Scheibe senkt sich. Durch dieses so genannte Reversieren ist der Einklemmschutz gewährleistet.

Daher wird dies in der weiteren Betrachtung als Technologiealternative herangezogen.

### 6.1.2 Erstellung des House of Technology (HOT)

Im Folgenden werden die in Kapitel 6.1.1 beschriebenen Technologieelemente als technologische Alternativen validiert. Hierzu werden für zwei alternative Technologieverbände als erster Schritt das HOT erstellt (Abb. 6-3). Die Alternativen unterscheiden sich dadurch, dass zur Realisierung des Einklemmschutzes in der Technologiealternative 2 der Hallsensor durch einen Ripplecounter ersetzt wird.

Das Funktionsmodell besteht aus den für einen Fensterheber zur Funktionserfüllung benötigten Funktionen. Die Funktionen sind die Fensterbewegung, der Einklemmschutz, Ansteuerung des elektrischen Antriebs und die Bedingungskontrollen für die Signale.



### Technologiealternative 1

	+	+	+	+	-	+			
	++	+	+						
<b>Gleichstrommotor</b>		$\odot$	$\bigcirc$	$\bigcirc$	$\bigcirc$	$\odot$	$\bigcirc$	$\bigcirc$	$\bigcirc$
<b>Hallsensor</b>		$\odot$					$\odot$	$\odot$	$\odot$
<b>Steuergerät</b>					$\bigcirc$				$\bigcirc$
<b>Schalter/Taster</b>				$\odot$					$\triangle$
<b>Stecker</b>									$\bigcirc$
<b>Subbus/Vernetzung</b>									$\odot$
	<b>51</b>	<b>30</b>	<b>36</b>	<b>58</b>	<b>1</b>	<b>24</b>			
	<b>54,131,238,260,30,9824,5</b>								


### Technologiealternative 2

	+	+	+	+	-	+			
	++	+							
<b>Gleichstrommotor</b>		$\odot$	$\bigcirc$	$\bigcirc$	$\bigcirc$	$\odot$	$\bigcirc$	$\bigcirc$	$\bigcirc$
<b>Sg mit Ripplecounter</b>		$\odot$					$\odot$	$\odot$	$\odot$
<b>Schalter/Taster</b>					$\bigcirc$				$\bigcirc$
<b>Stecker</b>									$\bigcirc$
<b>Subbus/Vernetzung</b>									$\odot$
	<b>51</b>	<b>54</b>	<b>58</b>	<b>1</b>	<b>24</b>				
	<b>53,656,760,90,9824,6</b>								

Abb. 6-3: House of Technology des Praxisbeispiels



Zunächst wurden die erforderlichen Funktionen und Teilfunktionen identifiziert und mittels paarweisen Vergleichs (Abb. 6-4) gewichtet. Der wichtigsten Funktion „Ansteuerung des elektrischen Antriebs“ wurde der Gewichtungsfaktor 5 zugeordnet, da ohne diese Funktion keine Fensterscheibe in Bewegung gesetzt würde. Weniger wichtigen Funktionen, wie z. B. der Bedingungskontrolle, wurde der Gewichtungsfaktor 1 zugeordnet.

 wichtiger als 0 nein 1 neutral 2 ja		Fensterbewegung / Hoch-Tieflauf	Einklemmschutz	Ansteuerung / el. Leistung	Signaleinlesung	Signalauswertung	Signalerkennung	Summe	Gewichtungsfaktoren
		Fensterbewegung / Hoch-Tieflauf		2	0	2	2	2	8
Einklemmschutz	0		0	2	2	2	6	3	
Ansteuerung / el. Leistung	2	2		2	2	2	10	5	
Bedingungs-kontrolle	Signaleinlesung	0	0	0		1	2	1	
	Signalauswertung	0	0	0	1		2	1	
	Signalerkennung	0	0	0	1	1	2	1	

**Abb. 6-4: Paarweiser Vergleich für das Funktionsmodell**

In der Korrelationsmatrix sind gemäß Kapitel 4.3.3 die gegenseitigen Technologieeinflüsse dargestellt. Als sich sehr stark gegenseitig beeinflussende Technologien sind der Gleichstrommotor und das Steuergerät zu sehen, da der Gleichstrommotor nur über eine Ansteuerung des Steuergerätes funktioniert. Das Steuergerät sammelt sozusagen die Befehle und leitet sie weiter. Eine direkt positive Auswirkung aufeinander haben sowohl der Gleichstrommotor mit dem Hallsensor, wie auch das Steuergerät mit dem Hallsensor und dem Schalter bzw. Taster.

Der Stecker und das Steuergerät beeinflussen sich gegenseitig negativ, da Probleme bei der Harmonisierung auftreten. Der Stecker ist nicht direkt integriert, sondern übernimmt sozusagen eine Mittlerfunktion. Der Stecker wird benötigt, um die elektrische Verbindung zwischen Steuergerät und Motor herzustellen bzw. um so einen Übergang zu erleichtern. Allerdings birgt dies das Risiko einer weiteren Schnittstellenproblematik in sich. Deshalb wird in diesem Fall eine leicht negative Beeinflussung angenommen.

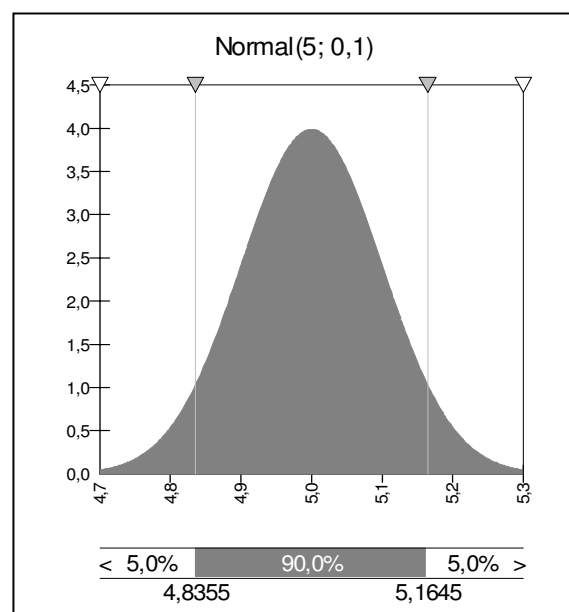
### 6.1.3 Auswahl einer Wahrscheinlichkeitsverteilung

Die in Kapitel 6.1.1 aufgeführten Elemente werden mit den Kriterienbäumen für die finalen Zielgrößen (vgl. Kapitel 5.2) verknüpft.

Als Beispiel soll hier das Kriterium *Onboard* der finalen Zielgröße betrachtet werden. Darunter ist zu verstehen, wie groß die Fehlererkennung mit Mitteln aus dem Fahrzeug ist. Aus dem Wertebereich der Bewertungstabelle wurden von Experten für das Beispiel „>95%“ ausgewählt, was einer sehr hohen bzw. sehr guten Fehlererkennung entspricht und daher den Wert 5 der diskreten Skala zugeordnet bekommt.

Anhand von Expertenbefragungen aus den Bereichen Entwicklung und Qualitätsmanagement konnten mit Hilfe der erstellten Bewertungstabellen konkrete Angaben zu den Werten getroffen werden. Mit deren Hilfe konnte der Wert mit großer Wahrscheinlichkeit bestimmt werden.

Für die Parameterberechnung wird aufgrund der großen Komplexität das Programm @Risk (vgl. Kapitel 5.4.2) zur Hilfe genommen. Die Daten aus der zuvor erstellten Tabelle können direkt in das Programm eingegeben werden. Als Teilergebnis wird die in Abb. 6-5 gezeigte Normalverteilung mit dem Erwartungswert  $\mu=5$  und der Varianz  $\sigma=0,1$  als Wahrscheinlichkeitsverteilung berechnet.



**Abb. 6-5:** Wahrscheinlichkeitsverteilung des Einzelkriteriums Onboard

#### 6.1.4 Auswahl einer Transformationsfunktion

Als nächster Schritt sind für alle Einzelkriterien geeignete Transformationsfunktionen zu finden. Die Grundformen und Auswahl möglicher Transformationsfunktionen wurde zuvor in Kapitel 5.4.1.2 dargestellt. Zur einfachen Auswahl einer geeigneten Transformationsfunktion kann das entsprechende Ablaufdiagramm aus Abb. 5-16 herangezogen werden.

Für das oben gewählte Beispielkriterium Onboard wird als Transformationsfunktion eine steigende S-Funktion hinterlegt. Diese steigende S-Funktion ist in diesem Fall deshalb als besonders geeignet zu betrachten, da eine zu geringe Fehlererkennung in jedem Fall sehr negativ ist, andererseits ab einem bestimmten Wert keine Verbesserung mehr erreicht wird und sich die Kurve somit asymptotisch an den Wert 1 annähert.

Die Formel für die steigende S-Funktion des Kriteriums Onboard ist wie folgt dargestellt:

$$m = 1 - e^{\left(-\frac{1}{5}(5-0,9)\right)^3}$$

Die Wahrscheinlichkeitsverteilungen und Transformationsfunktionen der übrigen Einzelkriterien der Technologieelemente sind in Form von Datentabellen im Anhang (siehe Kapitel 11.2) zu entnehmen.

In den Abb. 11-1 bis Abb. 11-3 sind die Bewertungstabellen für die finalen Zielgrößen Qualität, Flexibilität und Technologischer Reifegrad sowie deren zugehörigen Transformationsfunktionen dargestellt.

Die Einzelkriterien des Kriterienbaums Kosten sind durch eine lineare Straffungsfunktion zu hinterlegen, da ein Kostenanstieg immer als negativ zu bewerten ist. Das Interesse der Entscheidungsträger gilt den gesamten Kosten eines Technologieverbundes. Eine Transformation würde evtl. dazu führen, dass die Kosten einzelner Kriterien das Ergebnis mehr beeinflussen als andere.

Bei den Kosten entfallen sowohl die Lizenzgebühren wie auch die Lagerkosten, da es sich um eine Just-in-time-Lieferung handelt. Ebenfalls entfallen die Entsorgungskosten. Diese werden derzeit noch nicht explizit ausgewiesen. Die Montagekosten Fahrzeug sind schon in den anderen Kosten mit ausgewiesen, so dass auch hier eine separate Betrachtungsweise außer Acht bleibt.

Die Hallsensoren werden zweimal berechnet, da sie auch zweimal im Fensterhebermodul vorhanden sind. Analog dazu fließen die Stecker viermal ein.

Im nächsten Schritt werden die ausgewählten Wahrscheinlichkeitsverteilungen und Transformationsfunktionen zur Bewertungsaussage einer finalen Zielgröße eines Technologieelements mit Hilfe der Monte Carlo Simulation (MCS) aggregiert.

Mit Hilfe einer Expertenbefragung wurden die Gewichtungsfaktoren der Einzelkriterien von 1 (unwichtig) bis 10 (wichtig) festgelegt. Anschließend werden die ermittelten Funktionen und Gewichtungsfaktoren miteinander verknüpft.

In Abb. 6-6 ist ein Ausschnitt des Gleichstrommotors für das Zielkriterium Qualität dargestellt. In einer Tabellenzeile stehen die Art der Transformationsfunktion, die Einheit, die Art der Wahrscheinlichkeitsverteilung, die Gewichtung, die das Kriterium annimmt, der durch Expertengespräche festgelegte Wert, sowie anschließend der transformierte Wert, der ein Maß für die Stärke der Ausprägung liefert und das Produkt, welches sich durch Multiplikation der Gewichtung und des transformierten Wertes ergibt. Die hellgrau unterlegten Flächen sind als Ausgabezellen definiert, in der die Ergebnisse der einzelnen Simulationsläufe aufgezeichnet werden, die aus der Summe der übergeordneten Felder entstehen. Das Zwischenergebnis für das finale Zielkriterium Qualität ergibt sich als Summe der Simulationslauf-Ergebnisse und ist dunkelgrau hinterlegt.

Die Simulation wurde mit Hilfe des Programms @risk und 5000 Simulationsläufen durchgeführt, wodurch einerseits eine ausreichend hohe Genauigkeit und andererseits eine schnelle Datenverarbeitung gewährleistet ist. Insgesamt werden mehrere solcher Simulationen durchgeführt.

									Gleichstrommotor	
Qualität	Funktionserfüllung	Kundensicht	Transformationsfunktion	Einheit	W-keit	Gewichtung	Wert	Transf.	Produkt	
			Leistungsfähigkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	8	3	0,9981637	7,9853096
Funktionssicherheit	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	10	2	0,6666667	6,6666667			
Verfügbarkeit	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	6	2	0,66712892	4,0027735			
Unternehmenssicht	Leistungsfähigkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	7	3	0,9981637	6,9871459		
	Funktionssicherheit	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	9	2	0,6666667	6		
	Verfügbarkeit	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	2	0,66712892	4,6699024		
									<b>0,7725914</b>	
Diagnostizierbarkeit / Prüfbarkeit	Onboard	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	3	0,71634597	5,0144218		
	Offboard	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	3	0,71634597	5,0144218		
	Bei der Fertigung	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	5	3	0,87754357	4,3877179		
									<b>0,7587664</b>	
Robustheit	Fehlbedienungen	Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	8	1	0,90483742	7,2386993		
	Fertigungstoleranzen	Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	7	3	0,12245643	0,857195		
	Verschleiß	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Weibull	9	2,981435	0,9938118	8,9443062		
									<b>0,7100084</b>	
Imagewirkung	Recyclingfähigkeit	Demontagefähigkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	2	5	1	2	
		Verwendete Materialien	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	3	0,71634597	2,8653839	
		Wiederverwendung	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	3	5	0,91456505	2,7436951	
	Energieverbrauch	Im Fahrzeug	Lineare Straffungsfkt.	diskret	Normal	5	2	0,33333333	1,6666667	
		Bei der Herstellung	Lineare Straffungsfkt.	diskret	Normal	3	2	0,33333333	1	
	Innovationsgrad	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	4	3	0,6	2,4		
									<b>0,6036069</b>	
									<b>0,7247235</b>	

**Abb. 6-6: Auszug aus dem finalen Zielkriterium Qualität für den Gleichstrommotor**

6.1.5 Berechnung des Gesamtergebnisses im HOT

Die Gesamtergebnisberechnung mit dem House of Technology wird mit Hilfe einer nochmaligen Monte Carlo Simulation durchgeführt.

In Kapitel 6.1.2 ist bereits beschrieben, wie die Korrelationen einfließen. Durch Multiplikation der Elementgewichtung mit den Korrelationsfaktoren wird die Verbundgewichtung errechnet.

Das Gesamtergebnis einer finalen Zielgröße des Technologieverbundes wird berechnet, indem die Wahrscheinlichkeitsverteilungen in einer erneuten Monte Carlo Simulation, die für jede finale Zielgröße durchgeführt wird, als Eingangsvariablen verwendet werden. Die damit erzeugten Zufallszahlen, deren Auftrittshäufigkeiten von der ermittelten Wahrscheinlichkeitsverteilung der Bewertungszahlen bestimmt sind, werden mit den in Kap. 6.1.2 bestimmten Faktoren der Elementgewichtung multipliziert und die daraus resultierenden Ergebnisse aufaddiert.

In Abb. 6-7 und Abb. 6-8 sind die aggregierten Gesamtergebnisse der finalen Zielgrößen der beiden Technologiealternativen dargestellt. In der ersten Spalte stehen die übertragenen Zwischenergebnisse aus der Monte Carlo Simulation, in der zweiten ist das Produkt der Verbundgewichtung aus dem HOT aufgetragen. Die grau unterlegte Fläche zeigt das aggregierte Gesamtergebnis für die finalen Zielgrößen.

Technologieelemente Zielgrößen	Gleichstrommotor		Halsensor		Steuergerät		Schalter / Taster		Stecker		Subbus		Gesamtergebnis Technologiealternative 1
	Ergebnisse aus MCS	Produkt	Ergebnisse aus MCS	Produkt	Ergebnisse aus MCS	Produkt	Ergebnisse aus MCS	Produkt	Ergebnisse aus MCS	Produkt	Ergebnisse aus MCS	Produkt	
Gesamtgewichtung aus HOT	54,06		49,92		38,16		60,32		0,98		24,48		
Ergebnis Qualität	0,7247235	39,17855	0,809122	40,39137	0,8719048	33,27189	0,8446937	50,95192	0,8249064	0,808408	0,8519009	20,85453	0,850719
Ergebnis Flexibilität	0,5468041	29,56023	0,5797193	28,93959	0,433329	16,53583	0,3168041	19,10963	0,4047474	0,396652	0,4900666	11,99683	0,48871
Ergebnis Kosten	6,01	-	0,8	-	22,42	-	14,61	-	1,3	-	0,71	-	50,55
Ergebnis TRG	0,4885527	26,41116	0,6008692	29,99539	0,3567162	13,61229	0,4184077	25,23835	0,7080097	0,693849	0,5131741	12,5625	0,497769

Abb. 6-7: Aggregation für Technologiealternative 1

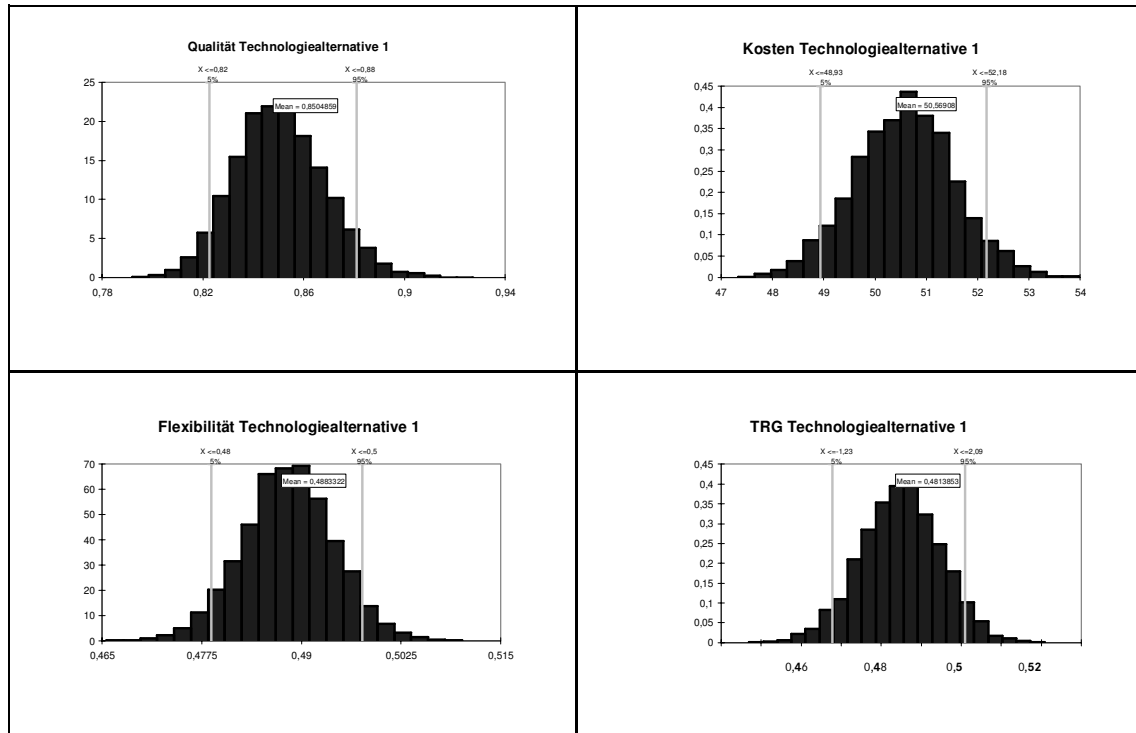
Technologieelemente Zielgrößen	Steuergerät mit Ripplecounter		Gleichstrommotor		Schalter / Taster		Stecker		Subbus		Gesamtergebnis Technologiealternative 2
	Ergebnisse aus MCS	Produkt	Ergebnisse aus MCS	Produkt	Ergebnisse aus MCS	Produkt	Ergebnisse aus MCS	Produkt	Ergebnisse aus MCS	Produkt	
Gesamtgewichtung aus HOT	56,7		53,55		60,9		0,975		24,6		
Ergebnis Qualität	0,8043021	45,603931	0,7247235	38,808942	0,8446937	51,441846	0,8249064	0,8042837	0,8519009	20,956762	0,8383817
Ergebnis Flexibilität	0,7196	40,801319	0,5468041	29,281362	0,3168041	19,293372	0,4047474	0,3946287	0,4900666	12,055637	0,5416294
Ergebnis Kosten	22,51	-	6,01	-	14,61	-	1,3	-	0,71	-	49,04
Ergebnis TRG	0,4728204	26,808919	0,4885527	26,161999	0,4184077	25,481031	0,7080097	0,6903094	0,5131741	12,624083	0,4881188

Abb. 6-8: Aggregation für Technologiealternative 2

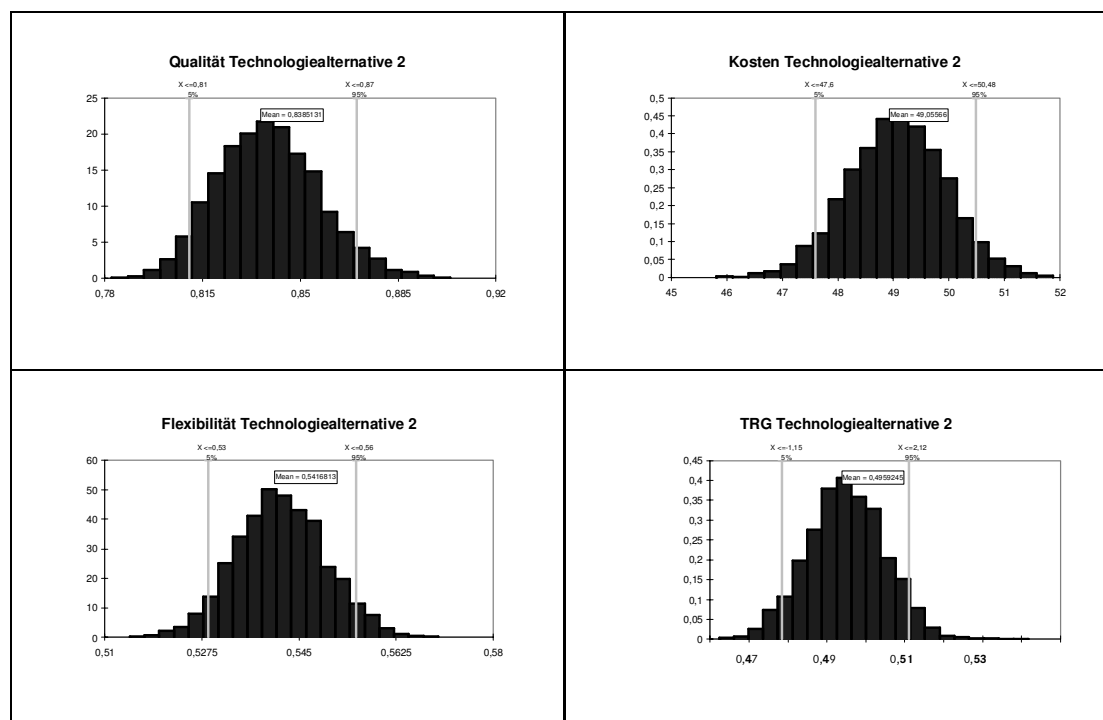
### 6.2 Darstellung und Interpretation der Ergebnisse des Methodeneinsatzes

Die Gesamtergebnisse der Technologieverbünde in Form der finalen Zielgrößen Qualität, Flexibilität, Kosten und TRG sind in Abb. 6-9 und Abb. 6-10 graphisch

jeweils für Technologiealternative 1 und 2 veranschaulicht. Die Ergebnisse der jeweiligen Monte Carlo Simulationen befinden sich im Anhang (Kapitel 11.4).



**Abb. 6-9: Gesamtergebnis für Technologiealternative 1**

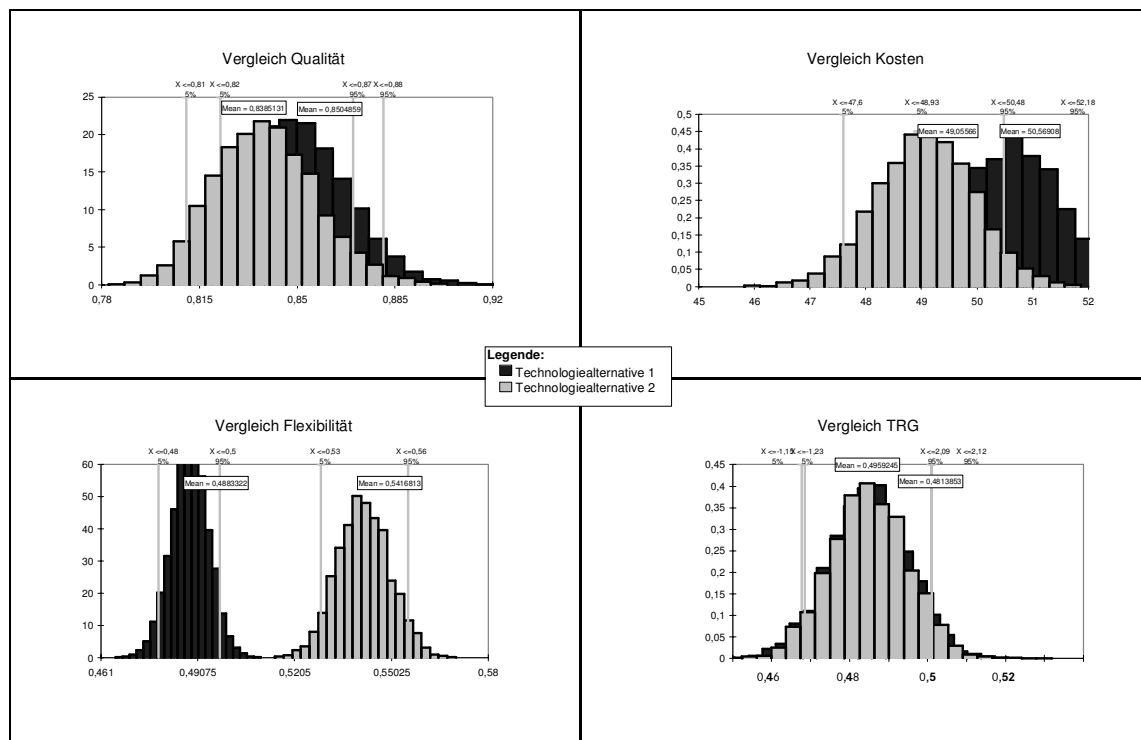


**Abb. 6-10: Gesamtergebnis für Technologiealternative 2**

Die Bewertungszahl liegt im Intervall zwischen 0 und 1. Der Wert 1 signalisiert dabei, dass das bestmögliche Ergebnis erreicht wurde und der Wert 0 steht für das schlechteste Bewertungsergebnis. Die Kosten sind absolut in der monetären Einheit EUR dargestellt.

Zum Vergleich der beiden bewerteten Technologiealternativen wurden die Ergebnisse in einer weiteren Graphik in Abb. 6-11 dargestellt. Die dunkelgrauen Kurven zeigen die Werte für die Technologiealternative 1 auf. Analog dazu wird die hellgraue Kurve betrachtet, die die Werte für die Technologiealternative 2 aufzeigen.





**Abb. 6-11: Vergleich von Technologiealternative 1 und 2**

Abb. 6-12 zeigt einen direkten Vergleich der beiden Technologieverbünde mit den entsprechenden Werten und einer anschließenden Priorität, welche Technologiealternative sich als besser erweist.

Finale Zielgrößen	Mittelwert der Technologiealternative 1	Mittelwert der Technologiealternative 2	Priorität
Qualität	0,8504859	0,8385131	TA 1
Flexibilität	0,4883322	0,5416813	TA 2
Kosten	50,56908	49,05566	TA 2
TRG	0,4813853	0,4959245	TA 2

**Abb. 6-12: Auswertung des Alternativenvergleichs**

Bei den finalen Zielgrößen Qualität, Flexibilität und TRG werden Werte im Bereich des Intervalls zwischen 0 und 1 erreicht. In diesem Fall wird eine Wertezunahme als besser eingestuft.

Bei der Zielgröße Kosten ist der Effekt diametral – geringere Kosten werden als „besser“ bewertet.

Hinsichtlich der Kosten ist zu erkennen, dass Technologiealternative 2 deutlich günstiger ist. Wenn hierbei die hohe Stückzahl von Fahrzeugen zugrunde gelegt wird und diese Technologiealternative konsistent für alle Fahrzeugbaureihen eingesetzt wird, ergibt sich im Fall der Mercedes Car Group mit über 1 Millionen gebauten Fahrzeugen pro Jahr ein sehr großes Kosteneinsparungspotential.

Bei den finalen Zielgrößen Qualität ist die Technologiealternative 1 mit einem Wert von 0,8504859 besser als Technologiealternative 2 mit einem Wert von 0,8385131. Der höhere Qualitätswert von Technologiealternative 1 hat mehrere Ursachen. Zum einen aufgrund der unterschiedlichen Anzahl an Technologieelementen der zwei alternativen Technologieverbände und infolgedessen durch unterschiedliche Gewichtungsfaktoren sowohl bei der Elementgewichtung als auch bei den Korrelationsfaktoren. Dieser Effekt verschiebt den Einfluss der einzelnen Technologieelemente hinsichtlich ihrer Wichtigkeit im Gesamtergebnis des jeweiligen Technologieverbundes. Zum anderen werden einzelne Qualitätskriterien der differierenden Technologieelemente im Verbund unterschiedlich bewertet, z. B. hinsichtlich der Diagnostizierbarkeit Onboard und Offboard. Der bessere Qualitätswert von Technologiealternative 1 bedeutet letztlich, dass eine höhere Qualität im Serienprodukt zu erwarten ist. Nicht zu verwechseln mit der finalen Zielgröße Technologischer Reifegrad (TRG), bei der die technologische Reife bis zum Ende der Serienentwicklung betrachtet wird. Im vorliegenden Fallbeispiel lässt sich anhand von Abb. 6-11 erkennen, dass der Unterschied der beiden Alternativen bzgl. der finalen Zielgröße Technologischer Reifegrad marginal ist.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass bei den finalen Zielgrößen Kosten, Flexibilität und TRG Technologiealternative 2 jeweils besser bewertet ist als Technologiealternative 1. Aufgrund des Bewertungsergebnisses wird in der Mercedes Car Group zunächst an einer Verbesserung der Qualität für Technologiealternative 2 gearbeitet, bevor diese in zukünftigen Fahrzeugbaureihen eingesetzt wird.

### 6.3 Übertragbarkeit der Methode

In den vorangegangenen Kapiteln wurde eine Methode zur Modellierung und Bewertung von EE-Technologiekonzepten vorgestellt und anhand des Fallbeispiels Fensterhebermodul validiert.

Das Bewertungsmodell ist dabei weitgehend anwendungsneutral aufgebaut und lässt sich problem- und projektspezifisch ausgestalten. Eine Übertragung der Methode auf andere Anwendungsbeispiele aus den Bereichen Elektronik und Mechatronik wird dadurch ermöglicht.

Die Logik der bereitgestellten Bewertungsmethode mit Betrachtung der vier finalen Zielkriterien Qualität, Flexibilität, Kosten und Technologischer Reifegrad ist selbstverständlich auch auf andere Technologiefelder übertragbar. Die verwendeten Kriterien sind so definiert, dass sie sich für ein breites Einsatzspektrum eignen. Bei anderen Technologien müssen die Kriterienbäume inklusive der zugeordneten Bewertungstabellen überprüft und ggf. angepasst werden.

Neben den Anwendungsmöglichkeiten für EE-Technologien in der Fahrzeugindustrie lässt sich die hier konzipierte Methode auch auf andere Branchen übertragen. Beispiele hierfür sind die Bahntechnik, der Maschinen- und Anlagenbau, die Fertigungs- sowie die Luft- und Raumfahrtindustrie (z.B. Entwicklung von Verkehrsflugzeugen oder Satelliten).

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Heutige Industrieunternehmen stehen den Herausforderungen eines harten Wettbewerbs auf globalen Märkten hinsichtlich wachsender Kundenanforderungen nach kostengünstigen und qualitativ hochwertigen Produkten gegenüber.

Die Realisierung von Kundenforderungen nach neuen und verbesserten Funktionen erfordert häufig den Einsatz neuer Technologien bzw. das Überdenken von bisher eingesetzten Technologien.

Neue Technologien bzw. Innovationen bringen sowohl Chancen als auch Risiken z. B. hinsichtlich Ihrer Funktionalität und Zuverlässigkeit mit sich. Damit die sich ergebenden Chancen und Risiken entsprechend abgeschätzt werden können und nur die Technologien in ein Produkt umgesetzt werden, die einerseits dem Unternehmen und andererseits dem Kunden Vorteile bieten, ist eine Bewertung von möglichen Technologiealternativen im Vorfeld einer Produktrealisierung unbedingt erforderlich.

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine neuartige Methode konzipiert, die eine systematische Unterstützung von Entscheidungsträgern bei der Auswahl einzusetzender Technologien für eine ergebnisorientierte Produktentwicklung ermöglicht.

Ausgangsbasis einer erfolgreichen Produktvermarktung ist die bestmögliche Realisierung von Produktfunktionalitäten durch das Zusammenwirken mehrerer Technologien. Über das *House of Technology* (HOT) werden die Beziehungen zwischen einzelnen Funktionen und Subfunktionen zu einzelnen Technologieelementen des Technologieverbundes abgebildet und entsprechend gewichtet. Dabei wird den gegenseitigen Einflüssen einzelner Technologieelemente untereinander ebenfalls Rechnung getragen. Auf diese Weise lassen sich für ein und dasselbe Funktionsmodell verschiedene, alternative Technologieverbünde mit teilweise unterschiedlichen Technologieelementen finden.

Die einzelnen Technologieelemente der alternativen Technologieverbände werden hinsichtlich finaler Zielgrößen Kosten, Qualität, Flexibilität und Technologischer Reifegrad (TRG) bewertet, die sich aus Einzelkriterien in jeweils einem Kriterienbaum zusammensetzen. Aufgrund der Unsicherheit in Bezug auf die zukünftige Gestaltung einzelner Einflussgrößen werden für die Ausprägungswerte der Einzelkriterien Wahrscheinlichkeitsverteilungen verwendet. Mit Hilfe von so genannten Transformationsfunktionen werden die Verteilungen normiert, so dass sowohl quantitative als auch qualitative Beschreibungsmerkmale gewählt werden können. Die Aggregation der Bewertungszahlen zu den finalen Zielgrößen auf Ebene der Technologieelemente sowie anschließend unter Berücksichtigung der Zusammenhänge im *House of Technology* auf Ebene des jeweiligen Technologieverbandes erfolgt durch die Monte Carlo Simulation.

Durch Darstellung der finalen Zielgrößen von allen alternativen Technologieverbänden in einem Diagramm und Auswertung der Berechnungsergebnisse steht eine systematisierte Entscheidungsvorlage im Bereich der Technologiebewertung für eine ergebnisorientierte Produktentwicklung zur Verfügung.

Abschließend wurde die Validierung der vorliegenden Methode anhand des Fallbeispiels eines Fensterhebers im Automobilbau erfolgreich durchgeführt. Prinzipiell lässt sich der beschriebene Ansatz auf andere Branchen, Produkte und Technologien übertragen.

Vor dem Hintergrund eines ansteigenden Bedarfs an Verfahren und Werkzeugen für eine systematische Planungsunterstützung in den frühen Entwicklungsphasen ergibt sich die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Weiterentwicklung des in dieser Arbeit vorgestellten Ansatzes zum methodischen Technologiemanagement. Ergänzend sind folgende methodische Maßnahmen sinnvoll:

- *Verfeinerung der Kriterienbäume und Beschreibungsmerkmale der finalen Zielgrößen*

Zur weiteren Präzisierung einer Bewertungsaussage lassen sich die Einzelkriterien der finalen Zielgrößen und die Beschreibungsmerkmale der Kriterien hinsichtlich weiterer wichtiger Unternehmenssichten erweitern. So können beispielsweise Aspekte des Vertriebs und Marketings im Sinne einer Stärkung der Kundenorientierung bereits frühzeitig in die Produktentwicklung einfließen.

- *Integration weiterer Technologiefelder zur Erweiterung des Einsatzgebietes*

Für die Anwendung der Methode über die Grenzen von Elektrik/Elektronik-Technologien hinaus, sollten weitere Technologiefelder wie z. B. mechanische oder mechatronische Technologien in die Gesamtmethode integriert werden. Dadurch lassen sich die Einsatzgebiete hinsichtlich aller relevanten technologischen Aspekte erweitern.

- *Toolgestützte Technologiebewertung zur Entscheidungsunterstützung (Vergleich mit mehreren Technologiealternativen), Automatisierte Auswertung, Datenerhebung etc.*

Im Hinblick auf eine hohe Durchführungseffizienz bei der Anwendung der konzipierten Methode wird eine datentechnische Umsetzung in einem Tool vorgeschlagen. Neben der automatisierten Auswertung als Anwenderunterstützung bietet eine toolgestützte Bewertung zahlreiche, weitere Vorteile wie beispielsweise eine Anbindung an Datenbanken zur Datenerhebung, die vollständige Dokumentation und Verwaltung von Eingangsdaten und berechneten Ergebnissen für mehrere Funktionsmodelle und darauf abgebildete Technologiealternativen. Darauf aufbauend wird ein Vergleich der Ergebnisse mehrerer Technologiealternativen vereinfacht.

Zur Unterstützung einer verteilten Produktentwicklung kann auf Basis der Technologien XML und JAVA ein hypertextbasiertes Anwendungssystem mit integrierter Datenbank entwickelt und in die bestehende Systemlandschaft angebunden werden. Somit sind die Daten für ein global aufgestelltes und verteilt

arbeitendes Unternehmen jederzeit und überall verfügbar und können in aufgeteilten Modulen bearbeitet werden.

- *Planungssystematik für einen Technologietransfer*

Im Rahmen der zunehmenden Wettbewerbssituation von Unternehmen gewinnt ein systematischer Technologietransfer bei der Technologieumsetzung weiter an Bedeutung. Nachdem eine Technologie als tauglich für den Serieneinsatz angesehen wird, ist die erfolgreiche Realisierung der Technologieanwendung bei der Serienentwicklung durch ein systematisches Technologietransfermanagement zu gewährleisten.

Durch konsequente Verfolgung der skizzierten Weiterentwicklungen lassen sich die Einsatzgebiete der Methode nahezu beliebig erweitern. Schließlich ergeben sich dadurch Perspektiven für die Wiederverwendung durch entsprechende Modularisierung und deren Vernetzung sowie Ganzheitlichkeit der Technologiebewertung. Gleichzeitig lässt sich die Prognose der wahrscheinlichkeitsbasierten Bewertung hinsichtlich Chancen und Risiken für den Produkterfolg präzisieren.

## 8 Summary / Abstract

Organizations have to deal with ever shorter innovation cycles and stronger global competition. The assurance of the product development in the context of concurrent engineering plays a deciding role in the correct selection of technologies, in order to bring innovative yet safe, reliable products on to the market. In early phases usually only imperfect information is present for new technologies in particular, whereby inevitable uncertainties in decision making arise regarding the correct technology selection. The subsequent presented method is based on a probabilistic approach and is able to process indistinct quantifiable input data, whereby both objective and subjective probabilities can be handled. Due to the effect of aggregation with the addition of density functions the haziness of the results becomes smaller than the haziness of the inputs. As a result more precise decision making implementation can be formed with the technology selection, using suitable prospect-risk-statements regarding alternative technology composites to finally realize the best technology solution.

The difficult situation of global competition, especially in the automotive industry, is becoming increasingly intensified. The automobile manufacturers are demanding the implementation of constant new innovations in the vehicles, in order to increase, respectively to maintain, the desirability of their products. Already at present a large part of the innovations for the auto-mobile is appropriated from Electric/Electronic and Mechatronic areas. After appraisals from experts 90 percent of the automobile innovations will be generated in the future in this area. The progress in the areas Microelectronic and Mechatronic enables the customer with every new vehicle generation to be offered not only familiar functions in an improved form, but what is more totally new functions. The value percentage of the Electric/Electronic- and Mechatronic systems for the entire vehicle amounts to 35 percent, in a completely equipped S-Class Model from Mercedes-Benz. It is generally assumed that in the future the Electric/Electronic and Mechatronic importance will increase even further. This development will offer the automobile industry a new challenge. On the one hand to arrange among one another the rise of the electronic quota in the vehicle and



the increasing networking of several electronic components advanced requirements on the reliability. On the other hand the shortened innovation cycles necessitate a faster, more cost efficient and flexible realization of the vehicle functions.

The functions completion is often conceivable with different technology alternatives respectively with varied composites of technology elements. Therefore it applies that from this quantity of possible technologies one is selected, that will be technically and economically successful in its implementation and application within the vehicle. Therefore a comprehensive analysis and evaluation of the technology is necessary. So far no standardized method of evaluation exists, that displays in one form the prospects and risks of action alternatives which facilitates a direct comparison.

At this point in time the choice of technology in the vehicle development process and how the future implementation of the product will be arranged is not definitely known. One possibility, which supports this circumstance, is the use of probability distributions in place of absolute values for specifications of the single criteria, which make up the evaluation result.

### **Evaluation process of the House of Technology (HOT) method**

Eleven main steps show, how to calculate the evaluation result on the basis of probability distributions, which express the prospects and risks of a technology composite.

Firstly (1) a technology element (TE) from the House of Technology (HOT) is chosen. In the HOT several vehicle functions and –subfunctions of several TE were assigned to those that can be realized, and the mutual correlation of the TE were recorded among themselves. For the chosen technology element the single criteria are ascertained, from which a final target is deduced (2). Quality, flexibility, cost and technological maturity degree (TMD) qualify as final targets. The single criteria of a so called criteria tree (3), suitable probability distributions (4), corresponding transformation functions (5) and weighting factors of the single criteria (6) are determined. The single criteria of a final target are aggregated with the help of the Monte Carlo Simulation (MCS) (7).

From all of the evaluations of the final targets (8), the final targets of the technology composite are calculated taking into consideration the correlation matrices from the HOT (9). The evaluation result presents itself in the form of probability distributions of the final targets (10), with which the alternative technology composites are compared and where a prospect-risk-statement is made possible (11). Several steps of the evaluation method are explained below shortly.

### **Choice of suitable probability distributions for the criteria description**

As already mentioned above, for every single criteria a suitable probability distribution is ascertained, from the already determined probabilities of the future characteristics of the criteria. Thereby, there can be variations between TE for the empirical data available from the past and such TE, that have no experience in implementation in similar application cases and it therefore has no empirical data available. In the first case an approximated solution can be determined by using the regressions calculation. In the second case, the possible probabilities specification values are assigned by expert inquiries and an appropriate function is ascertained under the observation of the application fields of the different types of probability distributions and the regression calculation.

### **Application of transformation functions for the evaluation of descriptive probability distributions**

The specifications of the single criteria are ascertained after the appraisals of the probability distributions, the evaluation calls for a description of the relation between the feature characteristic and the evaluation statement of the criteria. This relation demonstrates, in which case a feature characteristic is considered as good or bad. The realization occurs with the help of so-called transformation functions. With a transformation function a specific value  $x$  of the criteria from the axis of abscissa of the cartesian coordinate system a standardized measured value  $m$  on the ordinate is assigned.

In principle two possibilities lend themselves to the ascertainment of the scale basis, in order to acquire the measured value. Firstly the evaluation can be orientated on the application, so that the best technological alternative of the criteria obtains the

maximum evaluation number. Secondly the evaluation can take place due to the technological possibilities known at present. Here the second possibility is applied, as it should not only arrive at a comparison of alternatives, but also an absolute evaluation of technologies and the development potential should be expressed.

The values assigned to measured value areas can be established either as value scales in any chosen number range, that is [ $< 1, >1$ ], or within the interval  $[0, 1]$ . In all cases, in which more criteria groups or –subgroups are assessed separately and/or if the criteria are assessed, for the measured values a standardized interval is preferred. Therefore the here described procedure is based on the standardized interval  $[0, 1]$ .

Dependent on the single criteria different functions for the transformation functions can be appropriate. For the identification of a compatible function a suitable function type is chosen, which for example reflects the existence of threshold values, from or to where a reasonable improvement occurs. Through the determination of the minimum values, maximum values and possibly the reversal point of the function the unknown parameter can be calculated.

### **Aggregation of probability-distributed evaluation criteria**

Before the linkage of every single criterion (SC) acquired probability distributions and transformation functions for the evaluation result of a final target of a technology element, firstly the weighting factors of the SC are to be defined. The varying relevance of the different single criteria for the result should be considered. In addition to be suited to different methods, most are based on expert inquiries. The aggregation of the data takes place by means of the Monte Carlo Simulation, a method which has already proved its success in other Risk Management fields, such as financial accounting for the calculation of the Value-at-Risk (VaR). In this simulation a random number is generated for every single criterion, which is in accordance with the appropriate probability distribution. That means that the random number with greater probability will be the number on the curve to possess the maximum. This random number is used for the single criteria's located transformation function and the result is multiplied with the weighting factor. The resulting values of a final target are added and the total process is repeated on a large scale, for

example 10000 times. The results can be illustrated as frequency distributions of the individual values in table and graphic form, from which in a large number of simulation runs the corresponding probability distributions of a final target of a TE is derived. The overall result of a technology composite is calculated from the probability distributions of each TE, by using the correlation matrices of the HOT.

### **Interpretation of probability statements**

The obtained overall result with the presented method is available in the form of probability distributions. The final targets *Quality*, *Flexibility* and *Technological Maturity Degree* can be expressed therewith as probabilities, that the evaluation number is located in a defined interval. The evaluation number can assume a value between 0 and 1. The value 1 thereby signals, that the best possible evaluation result was reached and the value 0 stands for the worst evaluation result.

The overall result enables a simple comparison of alternative technology composites, which are suited for the realization of functionality. Nevertheless an analysis of the single criteria should also take place, in order to make sure that certain minimum requirements are fulfilled. The non compliance of one of these minimum requirements, for example an unacceptable life cycle of technology element, should lead to the immediate preclusion of an alternative.

### **Conclusion**

The described method enables an absolute evaluation of technologies and the comparison of alternative technology composites, which are suited to the conversion of a vehicle function. This was confirmed in the case study by comparison of different power window technologies.

The quality of the evaluation result is dependent on the selection of suitable probability functions and transformation functions. The high effort, that is conducted for data collection, counts itself long-term for decisions in which an extensive, technology development suitable for series production is necessary. Reasons therefore are undesired consequences, such as potentially high, bad investment, which can result from an erroneous technology selection.

The application of the method as a working example of a power window has proved, that it makes a reliable statement for decision relevant targets in the technology selection. Therefore it should be prospectively used for all relevant technology decisions in the future.

## 9 Literaturverzeichnis

- [Alt07] L. Alting, C. Clausen, U. Jorgensen, Y. Yoshinaka: New Perspectives on Design and Innovation, In: F.-L. Krause [Hrsg.]: The Future of Product Development, Proceedings of the 17th CIRP Design Conference, Berliner Kreis, Springer-Verlag, 2007
- [Bam04] G. Bamberg: Betriebswirtschaftliche Entscheidungstheorie, 12. Aufl., Vahlen, München, 2004
- [Bar05] Heiko Barske [Hrsg.]: Innovationsmanagement – Produkte, Prozesse, Dienstleistungen, Symposion Publishing: Düsseldorf, 2005
- [Bau99] Peter Baumann, Dirk Meißner: Technologietransfer und Unternehmensgründung, In: Helmut Sabisch: Management technologieorientierter Unternehmensgründungen, Dresdner Wirtschaftswissenschaftliche Beiträge – Reihe Betriebswirtschaftslehre, Schäffer-Poeschel-Verlag: Stuttgart, 1999
- [Bea00] Bea, F.X.; Dichtl, E.; Schweitzer, M.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre – Band 1 – Grundfragen. 8. neubearb. Und erw. Aufl. Stuttgart; Lucius und Lucius, 2000.
- [Bec03] B. Beck, C. Bracklo et al.: Backbone Architektur – vom zentralen Gateway zur systemintegrierenden Kommunikationsplattform. In: VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hrsg.): Elektronik im Kraftfahrzeug. Düsseldorf, 2003
- [Beh99] Bolke Behrens: Die Spielregeln der Zukunft – Delphi und das Volk, In: Wirtschaftswoche, Nr. 50, 9.12.1999, S.114f
- [Bin96] V. Binder, J. Kantowsky: Technologiepotentiale – Neuausrichtung der Gestaltungsfelder des strategischen Technologie-managements, Deutscher Universitäts-Verlag: Wiesbaden, 1996

- [Bir00] A. Biran: MATLAB für Ingenieure – systematische und praktische Einführung, Addison-Wesley Verlag: Bonn, Paris, 2000
- [Ble94] A. Blessing, I. Dudeck, W. Mauermann: Neue Technologien für künftige Integrationskonzepte in der Kfz-Elektronik, In: VDI Berichte Nr. 1152, 1994, S. 405-429
- [Blu98] Boris Blumberg: Management von Technologiekooperationen, Deutscher Universitäts-Verlag Wiesbaden: Gabler, Dissertation Universität Utrecht, 1998
- [BMBF06] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Forschung und Innovation in Deutschland 2006, 2006
- [BMWi99] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Mut zu Innovationen: Technologiepolitik – Wege zu Wachstum und Beschäftigung, 1999
- [Bol97] M. Boll: Einsatz von Fuzzy-Control zur Regelung verfahrenstechnischer Prozesse, Dissertation Universität Paderborn, FIT-Verlag für Innovation und Technologietransfer: Paderborn, 1997
- [Bos03a] Bosch, K.: Elementare Einführung in die Wahrscheinlichkeitsrechnung. 8. korrigierte Aufl. Braunschweig: Vieweg, 2003.
- [Bos03b] Bosch, K.: Statistik für Nichtstatistiker. 4. vollst. überarbeitete Aufl. München; Wien: Oldenburg, 2003.
- [Bos93] H. Bosch: Entscheidungen unter Unschärfe – eine entscheidungstheoretische Analyse der Fuzzy-Set-Theorie, Josef Eul Verlag: Gladbach, 1993
- [Bra02] F. Brandenburg: Methodik zur Planung technologischer Produktinnovationen. Dissertation Technische Hochschule Aachen. Shaker-Verlag: Aachen, 2002
- [Bre97] A. Breiing, R. Knosala: Bewerten technischer Systeme - Theoretische und methodische Grundlagen bewertungstechnischer Entscheidungshilfen. Springer-Verlag: Berlin, 1997

- [Bre97] Breiing, A.; Knosala, R.: Bewerten technischer Systeme - Theoretische und methodische Grundlagen bewertungstechnischer Entscheidungshilfen. Berlin; Heidelberg; New York; Wien; Barcelona; Budapest; Paris; Singapur; Tokio: Springer, 1997.
- [Bro00] Bronstein, I. N.; Semendjajew, K. A.; Musiol, G.; Mühlig, H.: Taschenbuch der Mathematik. 5. überarb. und erw. Aufl. Thun; Frankfurt am Main, 2000.
- [Bro99] Klaus Brockhoff: Forschung und Entwicklung – Planung und Kontrolle, Oldenbourg Verlag: München, 1999
- [Brü96] R. Brüning: Systematische Entwicklung eines Entscheidungsmodells zur Beurteilung der Recyclingeignung elektrischer und elektronische Produkte. In: R. Jansen (Hrsg.): Schriftenreihe Transport- und Verpackungslogistik, Band 28. Frankfurt/Main, Dissertation, Universität Dortmund, 1996
- [Bul02a] H.-J. Bullinger, M. Richter, M. Kröll et al.: Prospective Innovation Assurance of Automotive Electronics by Result-oriented Technology Management. In: R. Goncalves, R. Roy, A. Steiger-Garcao (Hrsg.): Advances in Concurrent Engineering. A. A. BALKEMA PUBLISHERS, 2002.
- [Bul02b] H.-J. Bullinger, G. Schlick: Wissenspool Innovation, Frankfurter Allgemeine Zeitung: Frankfurt am Main, 2002
- [Bul03a] H.-J. Bullinger, M. Richter, M. Kröll et al.: An approach to handling risk aspects by means of technology assessment. In: Concurrent Engineering, Proceedings of the 10<sup>th</sup> ISPE International Conference on Concurrent Engineering, Madeira (Portugal), Lisse: Swets & Zeitlinger, 2003.
- [Bul03b] H.-J. Bullinger, E. Kiss-Preußinger, D. Spath (Hrsg.): Automobilentwicklung in Deutschland – wie sicher in die Zukunft?, Studie, Fraunhofer Informationszentrum: Stuttgart, 2003



- [Bul03c] H.-J. Bullinger, H.-J. Warnecke, E. Westkämper (Hrsg.): Neue Organisationsformen im Unternehmen. 2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer-Verlag: Berlin, 2003
- [Bul04] H.-J. Bullinger, M. Richter, M. Kröll et al.: Probability-based Prospect & Risk Evaluation Of Technology Alternatives: Theory And Application, Proceedings of the 11<sup>th</sup> ISPE International Conference on Concurrent Engineering, Beijing (China), Lisse: Swets & Zeitlinger, 2004.
- [Bul94] H.-J. Bullinger: Einführung in das Technologiemanagement – Modelle, Methoden, Praxisbeispiele, Teubner-Verlag Stuttgart, 1994
- [Bul97] H.-J. Bullinger, D. Fischer, K. Wißler: Rapid Product Development – Schneller von der Idee zum innovativen Produkt, In: Industriemanagement, 13 (1997), S. 52-54
- [Bul98] H.-J. Bullinger: Wachstum durch Dienstleistungen – Chancen für innovative Unternehmen, In: Werkstattstechnik, Heft 7/8 88 (1998), S. 305
- [Bul99a] H.-J. Bullinger, M. Braun, St. Zinser: Unternehmenserfolg durch mitarbeiterorientiertes Wissensmanagement, In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jahrg. 94 (1999), S. 97-99
- [Bul99b] H.-J. Bullinger, Ch. Tölg: Lernende Unternehmen und neue Technologien, In: Industriemanagement, 15 (1999), S. 9-14
- [Bul99c] H.-J. Bullinger: Technologiemanagement, In: W. Eversheim, G. Schuh: Betriebshütte, Teil 1, 7. Auflage, S. 4-26ff, Springer Verlag: Berlin, Heidelberg, 1999
- [Bur02] Burger, A.; Buchhart, A.: Risiko-Controlling. München u.a: Oldenburg, 2002.
- [Bur96] B. Burgstahler: Synchronisation von Produkt- und Produktionsentwicklung mit Hilfe eines Technologiekalenders, Essen: Vulkan, Dissertation Universität Braunschweig, 1996.

- [Cer98] C. Cerezuela, A. Cauvin, X. Bocher, J.-P. Kieffer: A Decision Support System for a Concurrent Design of Cable Harnesses, Conceptual Approach and Implementation, In: Concurrent Engineering: Research and Application, Heft 6 (1/1998), S. 43-52
- [Che92] S.-J. Chen, Ch.-L. Hwang, F. P. Hwang: Fuzzy Sets – A convenient fiction for modeling vagueness and possibility, IEEE Transactions on fuzzy systems, Vol. 2, No. 1 (February), 1992
- [Cle92] Lutz Cleemann, Stephan Peiffer: Identifikation und Bewertung von Ansätzen zukünftiger Technologien – Ein integriertes Konzept zur systematischen Analyse, In: Technologiefrüh-aufklärung, VDI-Technologiezentrum, Schäffer-Poeschel Verlag: Stuttgart, 1992
- [Cor04] H. Corsten: Produktionswirtschaft – Einführung in das industrielle Produktionsmanagement, 10. Auflage. München, Wien, 2004
- [DCX00a] DaimlerChrysler: Qualitätsberichte Elektrik/Elektronik, 2000
- [DCX00b] DaimlerChrysler: Headline DaimlerChrysler vom 23.11.2000
- [DCX04] <http://intra.daimlerchrysler.com/intra?http://intra.rt.daimlerchrysler.com/>, Stand 11.08.2004
- [DIN00] DIN 72300 (Entwurf 07/2000): Elektrische und elektronische Kraftfahrzeugausrüstung – Umgebungsbedingungen. Berlin, 2000
- [DIN95] DIN EN ISO 8402 (08/1995): Qualität – Begriffe. Berlin, 1995
- [Egg97] Olaf Eggers: Funktionen und Management der Forschung in Unternehmen, Deutscher Universitäts-Verlag: Dissertation Universität Kiel, 1997
- [Ehr03] K. Ehrlenspiel: Integrierte Produktentwicklung: Methoden für Prozessorganisation, Produkterstellung und Konstruktion, Carl Hanser Verlag: 2. Auflage München, Wien, 2003
- [Eis03] F. Eisenführ, M. Weber: Rationales Entscheiden, 2. verbesserte Auflage. Springer-Verlag: 4. Auflage Berlin, 2003

- [Eve98] Walter Eversheim, Jörg Schernikau, Ralf Niemeyer: Mechatronik – Konsequenzen einer Technologieintegration, In: VDI-Z, 140 (1998) Nr. 11/12, S. 24- 26
- [Eve02] W. Eversheim: Organisation in der Produktionstechnik, Band 2 Konstruktion, Springer Verlag: 4. bearbeitete und korrigierte Auflage Düsseldorf, 2002
- [Ewa89] A. Ewald: Organisation des strategischen Technologie-Managements – Stufenkonzept zur Implementierung einer integrierten Technologie- und Marktplanung, Erich Schmidt Verlag: Dissertation Technische Hochschule Darmstadt, 1989
- [Fis01] Thomas Fischer, Birgit Priemer: Feuer unterm Dach, In: auto, motor, sport, 12/2001, S. 86-93
- [Fos86] R. N. Foster: Innovation, In: The Attacker's Advantage, Summit Books: New York, 1986
- [Fra00] Paul Frauenfelder: Strategisches Management von Technologie und Innovation: Tools und Principles, Verlag Industrielle Organisation: Zürich, 2000
- [Fre01] Frey, H. C.; Niesen, G.: Monte Carlo Simulation – Quantitative Risikoanalyse für die Versicherungsindustrie. München: Gerling, 2001.
- [Fre93] S. French: Decision Theory – an introduction to the mathematics of rationality, Ellis Horwood Limited: Chichester, 1993
- [Gab00] Gabler Wirtschaftslexikon, 15. Auflage. Wiesbaden, 2000
- [Gac97] Gackstatter, S.: Entscheidungsunterstützung zur FuE-Programmplanung. Wiesbaden: Gabler, 1997.
- [Gau96] J. Gausemeier: Szenario-Management: Planen und Führen mit Szenarien, München: Hanser Verlag, 1996
- [Gau97] Hermann Gaus: Die Zukunft der Automobil-Elektrik/-Elektronik, In: Fortschritte in der Automobil-Elektronik, Stuttgart, 1997

- [Gau06] J. Gausemeier. Vorausschau und Technologieplanung. 2. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz-Nixdorf-Institut, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Bd. 198, 2006
- [Gel99] J. Geldermann: Entwicklung eines multikriteriellen Entscheidungssystems zur integrierten Technikbewertung. Dissertation Universität Karlsruhe. VDI-Verlag: Düsseldorf, 1999
- [Ger99] T. J. Gerpott: Strategisches Technologie- und Innovationsmanagement: Eine konzentrierte Einführung. Stuttgart, 1999
- [Ges99] H. Geschka, T. Lenk: Von der strategischen Orientierung zum FuE-Programm. In: M. G. Möhrle (Hrsg.): Der richtige Projekt-Mix: erfolgreiches Innovations- und FuE-Management. Berlin, Heidelberg, New York, 1999
- [Gie01] H. Gienke; r. Kämpf (Hrsg.): Praxishandbuch Produktion: innovatives Produktionsmanagement: Organisation, Konzepte, Controlling, Verlag dt. Wirtschaftsdienst: Köln, 2001
- [Göt01] U. Götze, K. Henselmann, B. Mikus (Hrsg.): Risikomanagement. Physica Verlag: Heidelberg, 2001
- [Hah00] Ch. Hahner: Bewertung von Innovationsideen mit Hilfe von Lebenszyklusaufwand. Dissertation Universität Stuttgart, 2000
- [Har01] N. Hartmann: Automation des Tests eingebetteter Systeme am Beispiel der Kraftfahrzeugelektronik. Dissertation Universität Karlsruhe, 2001
- [Har98] D. Harel, M. Politi: Modeling Reactive Systems With Statecharts: The Statemate Approach, McGraw-Hill Verlag: New York, 1998
- [Hau98] W. Hauke: Fuzzy-Modelle in der Unternehmensplanung, Physica-Verlag: Heidelberg, 1998
- [Hei97] Andreas Heider: Technikfolgenbewertung des Elektro-PKW bei geschlossener Betrachtung von Verkehr und Energieversorgung, Verlag der Augustinus Buchhandlung: Dissertation RWTH Aachen, 1997

- [Het01] G. Hettich: The E/E Architecture: An Introduction to the Subject and a Look at the Challenges of the Future, DaimlerChrysler: interne Veröffentlichung, Juni 2001
- [Hie96] Steffen Hieronymus, Claus Tintelnot, Dorothea v. Wichert-Nick: Technologiebewertung für Unternehmen, In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden, 45 (1996) Heft 4, S. 26-31
- [Hof01] P. E. H. Hofmann, T. Thurner: Neue Elektrik/Elektronik-Architekturansätze. In: VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hrsg.): Elektronik im Kraftfahrzeug. Düsseldorf, 2001
- [Höl02] Hölscher, R.; Elfgen, R.: Herausforderung Risikomanagement - Identifikation, Bewertung und Steuerung industrieller Risiken. Wiesbaden: Gabler, 2002.
- [Hor94] M. Horneber: Innovatives Entsorgungsmanagement – Methoden und Instrumente zur Vermeidung und Verminderung von Umweltbelastungsproblemen, Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg, 1994
- [Hwa95] Ch.-L. Hwang, K. P. Yoon: Multiple Attribute Decision Making – An introduction, Sage, Thousand Oaks, 1995
- [Jop99] Klaus Jopp: Muskeln für Roboter, In: Wirtschaftswoche, Nr. 50, 9.12.1999, S.137
- [Jov01] D. Jovic: Risk Management bei Banken – aktuelle Herausforderungen. Universität Zürich, URL: [http://www.isb.unizh.ch/studium/courses01-02/pdf/324\\_risk\\_management\\_banken\\_jovic.pdf](http://www.isb.unizh.ch/studium/courses01-02/pdf/324_risk_management_banken_jovic.pdf), aufgerufen am 30.11.2002, 2001
- [Keg91] Kegel, H.-P.: Risikoanalyse von Investitionen – Ein Modell für die Praxis. Darmstadt: S. Toeche-Mittler, 1991.
- [Klu99] Jürgen Kluge: Wachstum und Innovation in Deutschland, In: Fortschritt und Innovation der Automobilelektronik, Tagung Stuttgart, 1999

- [Kno00] R. Knorr, M. Bienert, S. Bolz: Übersicht und Perspektiven des 14/42V Bordnetzes – Komponenten, Architektur und Möglichkeiten. In: VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hrsg.): Elektronik im Kraftfahrzeug. Düsseldorf, 2000
- [Koc94] Koch, I.: Kostenrechnung unter Unsicherheit – Theoretische Fundierung und Instrumentarium zur Einbeziehung unsicherer Erwartungen in die Kostenrechnung. Stuttgart: Schaefer-Poeschel, 1994.
- [Kok98] Kokes, M.; Neff, Th.: Richtige Entscheidung auf Basis unscharfer Anforderungen und unvollkommener Information – ein Widerspruch?, Interner Technischer Bericht, FT2/K-98-001, Daimler-Benz AG, 1998
- [Kos97] Knut Koschatzky: Technologieunternehmen im Innovationsprozeß – Management, Finanzierung und regionale Netzwerke, Physica-Verlag: Heidelberg, 1997
- [Kra84] Hans-Ulrich Krause: Gewinnung, Verarbeitung und Aufbereitung von Informationen für die Geschäftsfeldplanung auf der Grundlage der morphologischen Methode und der Relevanzbaum-Methode, Verlag der Ferberschen Univ.-Buchhandlung: Dissertation Universität Giessen, 1984
- [Kre99] Wolfgang Kreft: Informations- und Kommunikationssysteme/-module im VW-Konzern, In: Fortschritt und Innovation der Automobilelektronik, Tagung Stuttgart, 1999
- [Krö01] Markus Kröll, Patrick Nohe et al.: Erfolgsgeheimnis Transparenz, In: Automobil-Entwicklung, 03/2001, S. 46ff
- [Kuh00] Lothar Kuhn: Platte Pfoten, In: Wirtschaftswoche, Nr. 51 (14.12.2000), S. 118f
- [Lau03] H. Laux: Entscheidungstheorie, 5. verbesserte Auflage. Springer Verlag: Heidelberg, 2003
- [Len93] E. Lenk: Zur Problematik der technischen Bewertung. Dissertation TU München, 1993

- [Len94] E. Lenk: Zur Problematik der technischen Bewertung, Reihe Konstruktionstechnik München, Band 13, Hanser Verlag: Dissertation Technische Universität München, 1994
- [Lin94] D. V. Lindley: Comment on „ The Efficacy of Fuzzy Representations of Uncertainty“, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 2, Nr. 1, (February), 1994
- [Löf96] F. Löffler: Entwicklungsbegleitende Risikobehandlung neuer Technologien. 1. Auflage, Wissenschaftsverlag Aachen: Habilitation Technische Hochschule Aachen, 1996
- [Lud95] Bjørn Ludwig: Methoden zur Modellbildung in der Technikbewertung, Papierflieger, CUTEC-Institut, Technische Universität Clausthal-Zellerfeld, 1995
- [Mat91] K. Mattern: Wirkungsvolles Innovationscontrolling – Was High-Tech-Unternehmen bei der Planung, Steuerung und Kontrolle des Innovationsprozesses beachten sollten. In: Booz, Allen & Hamilton (Hrsg.): Integriertes Technologie- und Innovationsmanagement: Konzepte zur Stärkung der Wettbewerbskraft von High-Tech-Unternehmen. Berlin, 1991
- [Mic87] Kay Michel: Technologie im strategischen Management – ein Portfolio-Ansatz zur integrierten Technologie- und Marktplanung, Erich Schmidt Verlag: Berlin, 1987
- [Mon99] S. Montenegro: Sichere und fehlertolerante Steuerungen – Entwicklung sicherheitsrelevanter Systeme. München, 1999
- [Nip99] M. Nippa: Risikoverhalten von Managern bei strategischen Unternehmensentscheidungen – Eine erste Annäherung.  
[http://www.wiwi.tu-freiberg.de/up/download/ap\\_33\\_1999.pdf](http://www.wiwi.tu-freiberg.de/up/download/ap_33_1999.pdf),  
1999
- [Noh99] Patrick Nohe: Methode zur ergebnisorientierten Gestaltung von Entwicklungsprozessen, Springer Verlag: Dissertation Universität Stuttgart, 1999

- [Ott01] N. Ott: Unsicherheit, Unschärfe und rationales Entscheiden – die Anwendung von Fuzzy-Methoden in der Entscheidungstheorie. Physica Verlag: Heidelberg, 2001
- [Pal02] Palisade Corporation: @Risk – Risk Analysis and Simulation, Add-In For Microsoft Excel, Version 4.5, 2002
- [Pap01] Papula, L.: Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler Band 3. 4. Auflage Braunschweig; Wiesbaden: Vieweg, 2001.
- [Pas82] Herbert Paschen: Konzepte zur Bewertung von Technologien, In: Erwin Münch, Ortwin Renn, Thomas Roser: Technik auf dem Prüfstand – Methoden und Maßstäbe der Technologiebewertung, Verlag W. Girardet: Essen, 1982
- [Pat02] Patentgesetz und Gebrauchsmustergesetz. Verlag Neue Wirtschafts-Briefe: Herne, Berlin, 2002
- [Pei91] S. Peiffer: Technologie-Frühaufklärung. Dissertation Universität Duisburg, 1991
- [Pei92] Stephan Peiffer: Technologie-Frühaufklärung – Identifikation und Bewertung zukünftiger Technologien in der strategischen Unternehmensplanung, Duisburger Betriebswirtschaftliche Schriften Band 3, S+W Steuer- und Wirtschaftsverlag Hamburg, Dissertation Universität Duisburg, 1992
- [Pel99] Walther Pelzer: Methodik zur Identifizierung und Nutzung strategischer Technologiepotentiale, Shaker-Verlag Aachen: Dissertation RWTH Aachen, 1999
- [Pel99] W. Pelzer: Methodik zur Identifizierung und Nutzung strategischer Technologiepotentiale. Dissertation RWTH Aachen, 1999
- [Pfe01] T. Pfeifer: Praxishandbuch Qualitätsmanagement. Hanser Verlag: München, 2001
- [Pfe83] W. Pfeiffer: Strategisch-orientiertes Forschungs- und Technologiemanagement, In: H. Blohm, G. Dahnert: Forschungs- und Entwicklungsmanagement, 1983



- [Pfo81] H.-Ch. Pfohl, G. E. Braun: Entscheidungstheorie – normative und deskriptive Grundlagen des Entscheidens. Verlag Moderne Industrie: Landsberg am Lech, 1981
- [Pic02] E. Picoult: Quantifying the risks of trading. In: M. A. Dempster: Risk Management: Value at risk and beyond. Cambridge University Press: Cambridge, 2002
- [Por02] M. E. Porter: Wettbewerbsstrategie: Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten (competitive strategy), 10. Auflage. Frankfurt/Main, New York, 2002
- [Por86] E. M. Porter: Wettbewerbsvorteile – Spitzenleistungen erreichen und behaupten, Campus Verlag: Frankfurt/Main, 1986
- [Pro01] Proper-Team: Erläuterungen zu STATEMATE – Langfassung, URL: <http://propernet.daimlerchrysler.com/tools/>, aufgerufen am 17.10.2001, 2001
- [Rau91] Thomas Rautenberg: Möglichkeiten einer arbeitnehmerorientierten Konzeption zur Technologiefolgenabschätzung (Technology Assessment), Verlag Peter Lang: Dissertation Universität Speyer, 1991
- [Röh97] Christoph Röhrle: Ein entscheidungsuntersützendes System zur Bewertung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten, Josef Eul Verlag, Dissertation Universität-Gesamthochschule Essen, 1997
- [Rom94] H. Rommelfanger: Fuzzy Decision Support-Systeme – Entscheiden bei Unschärfe, 2. Aufl., Springer Verlag: Heidelberg, 1994
- [Run99] Runzheimer, B.: Operation Research – Lineare Planungsrechnung, Netzplantechnik, Simulation und Warteschlangentheorie. 7. Aufl. Wiesbaden: Gabler, 1999.
- [Sac04] Sachs, L.: Angewandte Statistik – Anwendung statistischer Methoden. 11. überarb. und akt. Aufl. Berlin; Heidelberg; New York: Springer, 2004.

- [Sch01] R. Schöttle, G. Threin: Elektrisches Energiebordnetz: Gegenwart und Zukunft. In: VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hrsg.): Elektronik im Kraftfahrzeug. Düsseldorf, 2001
- [Sch04a] A. Schloske: Kundenorientierte Produktplanung mit QFD. In: R.D. Schraft, E. Westkämper, W. Sihn: Methodische Produktentwicklung mit QFD: Gezielt Kundenanforderungen herausarbeiten und Wettbewerbsfähigkeit erhöhen. Fraunhofer IPA Seminar F102, Stuttgart, 2004
- [Sch04b] A. Schloske: Verfahren und Systeme zur Erhöhung der Prozessstabilität. In: Produktspezifische Oberflächentechnik: Funktionalität, Qualität, Kosten. Berichtsband über das 26. Ulmer Gespräch am 13. und 14. Mai 2004 in Neu-Ulm. Leuze: Saalgau, 2004
- [Sch04c] A. Schloske: System-Requirements – an alles gedacht? In: E. Westkämper, R.D. Schraft: Erhöhung der Zuverlässigkeit in mechatronischen Systemen: Neue Konzepte – Erfolg versprechende Lösungsansätze. Fraunhofer-IPA Seminar F110, Stuttgart, 2004
- [Sch67] H. Schneeweiß: Entscheidungskriterien bei Risiko. Springer Verlag: Heidelberg, 1967
- [Sch97] Guido Schlegelmilch: Management strategischer Innovationsfelder – Prozeßbasierte Integration markt- und technologieorientierter Instrumente, Deutscher Universitäts-Verlag: Dissertation TU Darmstadt, 1997
- [Sch99] Willibert Schleuter: Fortschritte in der Qualitätssicherung der Elektrik/Elektronik, In: Fortschritt und Innovation der Automobilelektronik, Tagung Stuttgart, 1999
- [Sei99] R. Seising: Fuzzy Theorie und Stochastik – Modelle und Anwendungen in der Diskussion, Vieweg Verlag: Braunschweig, Wiesbaden, 1999

- [Ser92] Hans-Gerd Servatius, Stephan Peiffer: Ganzheitliche und Evolutionäre Technologiebewertung, In: Technologiefrüh-aufklärung, VDI-Technologiezentrum, Schäffer-Poeschel Verlag: Stuttgart, 1992
- [Sia97] Siadat: The challenges of technology, In: Chemtech, Band 27, Heft 1, S. 8-13, 1997
- [Spa04] D. Spath (Hrsg.): Forschungs- und Technologiemanagement: Potentiale nutzen – Zukunft gestalten. Hanser Verlag: München, 2004
- [Spe96] G. Specht, C. Beckmann: F&E-Management. Stuttgart, 1996
- [Spe99] D. Specht, St. Behrens, R. Kirchhof: Komplexität beim strategischen Technologiemanagement. In: ZWF Jahrg. 94 (1999) 12. Carl Hanser Verlag: München, Wien, 1999. S. 720-724
- [Spu93] G. Spur, K. Mertins, R. Jochem: Integrierte Unternehmensmodellierung. Beuth Verlag: Berlin, Zürich, Wien, 1993
- [Spu98] G. Spur: Technologie und Management – zum Selbstverständnis der Technikwissenschaft, Hanser Verlag: München, Wien, 1998
- [Ste01] P. Steiner, F. Schmidt: Anforderungen und Architektur zukünftiger Karosserielektroniksysteme, In: VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hrsg.): Elektronik im Kraftfahrzeug. Düsseldorf, 2001
- [The77] E. Theessen: Die Methodik der Bewertung industrieller Forschungs- und Entwicklungsprojekte. Dissertation Technische Universität Berlin, 1977
- [Tsc98] H. Tschirky: Konzept und Aufgaben des Technologie-Managements, In: H. Tschirky, St. Koruna: Technologie-Management – Idee und Praxis, Verlag Industrielle Organisation: Zürich, 1998

- [Tur72] Bruce Edward Turner: Die Risiko-Analyse als Entscheidungshilfe bei der betrieblichen Anwendung klassischer preistheoretischer Modelle, Lang Verlag: Dissertation Universität Mainz, 1972
- [Vah99] D. Vahs, R. Burmester: Innovationsmanagement – von der Produktidee bis zur erfolgreichen Vermarktung. Stuttgart, 1999
- [VDI00] VDI-Richtlinie 3780: Technikbewertung – Begriffe und Grundlagen, Beuth-Verlag Berlin, Düsseldorf, 2000
- [VDI06] VDI-Übersichtstudie: Aktuelle Technologieprognosen im internationalen Vergleich. Düsseldorf, 2006
- [VDI87] VDI Richtlinie 2235: Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren. Düsseldorf, 1987
- [Vos97] D. Vose: Quantitative Risk Analysis: A Guide to Monte Carlo Simulation Modelling. John Wiley & Sons: Chichester, 1997
- [Wal03] R. Walker: Informationssystem für das Technologiemanagement. Shaker-Verlag: Dissertation Technische Hochschule Aachen, 2003
- [War98] G. Warnecke, C. Rauch, H. Puhl: Technische Innovation im Spannungsfeld von Systemkomplexität und Gestaltungskompetenz. In: F. L. Krause, E. Uhlmann (Hrsg.): Innovative Produktionstechnik. Carl Hanser Verlag: München, Wien, 1998
- [Wat87] S. R. Watson, D. M. Buede: Decision Synthesis: the principles and practice of decision analysis. Cambridge University Press: Cambridge, 1987
- [Web99] Jürgen Weber, Utz Schäffer, Dirk Hoffmann, Titus Kehrmann: Technology Assessment – eine Managementperspektive: Bestandsaufnahme – Analyse – Handlungsempfehlungen, Verlag Gabler: Wiesbaden, 1999
- [Wen73] Fritz Wendel: Die Absatzprognose als Kombination von Trendextrapolation und sequentialanalytischer Marktumfrage – eine Entscheidungshilfe im betrieblichen Planungssystem, Dissertation Universität Bern, 1973

- [Wes02] E. Westkämper, R.D. Schraft, W. Sihn: Zukunftssicherung und Risikooptimierung in der Produktentwicklung, Fraunhofer IPA-Tagung F81, Stuttgart, 2002
- [Wes04] E. Westkämper, H.-J. Warnecke: Einführung in die Fertigungstechnik, 6. neubearbeitete und ergänzte Aufl., Teubner Verlag: Wiesbaden, 2004
- [Wes05a] E. Westkämper: Auf dem Weg zur intelligenten Produktion. In: wt Werkstattstechnik online 95, Nr. 3, S. 80, 2005
- [Wes05b] E. Westkämper: Operatives Management Wandlungsfähiger Unternehmen. In: S. Foschiani: Strategisches Wertschöpfungsmanagement in dynamischer Umwelt. Lang: Frankfurt am Main, 2005
- [Whi88] Blake L. White: The technology assessment process: a strategic framework for managing technical innovation, USA, 1988
- [Wil99] Beate Elsa Wilhelm: Systemversagen im Innovationsprozess – Zur Reorganisation des Wissens- und Technologietransfers, Deutscher Universitäts-Verlag: Dissertation Universität Zürich, 1999
- [Wor96] Barbara Worch: Die Anwendung der Kosten-Nutzen-Analyse im Umweltbereich, DDD, Dr. und Verl.: Dissertation Universität Bremen, 1996
- [Zah92] Erich Zahn, Frank Braun: Identifikation und Bewertung zukünftiger Technikrends – Erkenntnisstand im Rahmen der strategischen Unternehmensführung, In: Technologiefrüh-aufklärung, VDI-Technologiezentrum, Schäffer-Poeschel Verlag: Stuttgart, 1992
- [Zan73] Christof Zangemeister: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen, Wittemann: München, 1973
- [Zan76] Ch. Zangemeister: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik: Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. Dissertation Universität Berlin, 1976

- [Zim91] H. J. Zimmermann: Multi-Criteria Analyse. Springer Verlag: Heidelberg, 1991
- [Zin00] Stephan Zinser: Eine Vorgehensweise zur szenariobasierten Frühnavigation im strategischen Technologiemanagement, Jost-Jetter Verlag: Dissertation Universität Stuttgart, 2000
- [Zin93] K. Zink, A. Ritter, M. Thul: Kleingruppenunterstützte Prozeßinnovationen. Bonn, 1993
- [Zwi66] F. Zwicky: Entdecken, Erfinden und Forschen im morphologischen Weltbild, Droemersch Verlagsanstalt: München, Zürich, 1966

## 10 Abkürzungs- und Abbildungsverzeichnis

### 10.1 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ASI	American Supplier Institute
BR	Baureihe
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
CAN	Controller Area Network
EE	Elektrik/Elektronik
F&E	Forschung und Entwicklung
FAST	Fahrzeugsteckbrief
HOT	House of Technology
HW	Hardware
Kap.	Kapitel
Kfz	Kraftfahrzeug
LH	Lastenheft
MCS	Monte Carlo Simulation
PKW	Personenkraftwagen
QFD	Quality Function Deployment
RH	Rahmenheft
SW	Software
TLZ	Technologielebenszyklus
TRG	Technologischer Reifegrad
TRG <sub>IST</sub>	Tatsächlicher Technologischer Reifegrad zu Beginn der Fahrzeugphase
TRG <sub>SOLL</sub>	Definierter Technologischer Reifegrad am Ende der Fahrzeugphase
u. a.	unter anderem
USA	United States of America
VaR	Value at Risk

VDA	Verband der Automobilindustrie e. V.
VDI	Verein deutscher Ingenieure e. V.
Vgl.	Vergleiche
z. B.	zum Beispiel



## 10.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1:	Gesamtwirtschaftliche F&E-Intensität [BMBF06].....	12
Abb. 1-2:	Problemschwerpunkte Gesamtfahrzeug .....	15
Abb. 1-3:	Zusammenhang von Technologie- und Produktentwicklung .....	17
Abb. 1-4:	Erweiterter Technologielebenszyklus .....	20
Abb. 1-5:	Aufbau der Arbeit .....	21
Abb. 2-1:	Vernetzung der Technologie-, Technik- und Produktentstehung, nach [Ewa89].....	25
Abb. 2-2:	Inventions- und Innovationsprozess .....	26
Abb. 2-3:	Gruppierung von Technologiebegriffen [Spu98].....	26
Abb. 2-4:	Unterscheidungsmerkmale und Ausprägungen; nach [Pei92], [Spu98] .....	27
Abb. 2-5:	Phasen der Technologieentwicklung.....	28
Abb. 2-6:	Orientierungsmöglichkeiten von Technologiefeldern [Spu98].....	29
Abb. 2-7:	Systematisierung von Technologiefeldern, nach [Spu98].....	30
Abb. 2-8:	Differenzierung von Technologien, nach [Spu98].....	33
Abb. 2-9:	Aspekte zur Technologiebeschreibung .....	33
Abb. 2-10:	Vorteile einer Technologieführerschaft, nach [Bul99c], [Por86] .....	35
Abb. 2-11:	Methoden der Technikbewertung [VDI00] .....	39
Abb. 2-12:	Überblick über relevante Ansätze zur Technologiebewertung.....	51
Abb. 2-13:	Informationszustand zur Klassifizierung von Entscheidungen.....	60
Abb. 2-14:	Risikobewertung mittels [Bre97].....	61
Abb. 2-15:	Transformation .....	63
Abb. 3-1:	Vorgehensmodell zur Technologiebewertung .....	69
Abb. 3-2:	Beschreibung der Prozessschritte zur Technologiebewertung.....	70
Abb. 4-1:	Zuordnung von Funktionen und Technologien [Spe99].....	73
Abb. 4-2:	Prinzip eines hierarchischen Funktionsmodells.....	74
Abb. 4-3:	Bewertungsprinzip funktional-gekoppelter Technologieverbünde.....	75
Abb. 4-4:	Vergleich von Technologiealternativen.....	77
Abb. 4-5:	STATEMATE-Systemansichten mit Beispielen .....	79
Abb. 4-6:	Funktionsbeschreibung einer Fensterheber-Funktion nach STATEMATE .....	80
Abb. 4-7:	Beispiel eines Statecharts in Stateflow [Pro01] .....	81
Abb. 4-8:	Funktionsmodell am Beispiel Fensterheber .....	82
Abb. 4-9:	Ermittlung von Alternativen notwendiger Technologieelemente am Beispiel Fensterheber .....	84
Abb. 4-10:	Funktions-Technologieelemente-Matrix am Beispiel Fensterheber .....	84
Abb. 4-11:	Prinzip des House of Technology (vgl. [Bul03a]).....	86
Abb. 4-12:	Zuordnung von Korrelationswerten .....	86
Abb. 4-13:	Ermittlung von Korrelationsfaktoren für einzelne Technologieelemente .....	87
Abb. 4-14:	House of Technology mit Verbundgewichtung .....	88
Abb. 5-1:	Übersicht zum Bewertungsablauf.....	92

Abb. 5-2:	Darstellung der finalen Bewertungsgrößen im Fahrzeugentwicklungsprozess .....	93
Abb. 5-3:	Bewertungsbaum des Bewertungskriteriums Kosten .....	94
Abb. 5-4:	Definition der Kriterien des Bewertungsbaums Kosten .....	95
Abb. 5-5:	Zielbaum des Bewertungskriteriums Qualität .....	96
Abb. 5-6:	Definition der Kriterien des Bewertungsbaums Qualität .....	98
Abb. 5-7:	Zielbaum des Bewertungskriteriums Flexibilität.....	99
Abb. 5-8:	Definition der Kriterien des Bewertungsbaums Flexibilität.....	100
Abb. 5-9:	Bewertungsbaum des Bewertungskriteriums Technologischer Reifegrad.....	101
Abb. 5-10:	Definition der Kriterien des Bewertungsbaums Technologischer Reifegrad.....	103
Abb. 5-11:	Auswahl einer geeigneten Wahrscheinlichkeitsverteilung .....	106
Abb. 5-12:	Prinzip der Transformation .....	108
Abb. 5-13:	Grundformen von Transformationsfunktionen .....	110
Abb. 5-14:	Wahrscheinlichkeitsverteilung einer Maßzahl.....	112
Abb. 5-15:	Wahrscheinlichkeitsverteilungen von Maßzahlen.....	114
Abb. 5-16:	Auswahl einer geeigneten Transformationsfunktion (Teil 1).....	115
Abb. 5-17:	Auswahl einer geeigneten Transformationsfunktion (Teil 2).....	116
Abb. 5-18:	Gesamtergebnis einer Bewertung .....	122
Abb. 6-1:	Türmodul mit integriertem Fensterheber einer Mercedes E-Klasse BR211 .....	125
Abb. 6-2:	Technologiemodule eines Fensterhebers .....	126
Abb. 6-3:	House of Technology des Praxisbeispiels.....	128
Abb. 6-4:	Paarweiser Vergleich für das Funktionsmodell.....	129
Abb. 6-5:	Wahrscheinlichkeitsverteilung des Einzelkriteriums Onboard .....	130
Abb. 6-6:	Auszug aus dem finalen Zielkriterium Qualität für den Gleichstrommotor .....	133
Abb. 6-7:	Aggregation für Technologiealternative 1 .....	134
Abb. 6-8:	Aggregation für Technologiealternative 2.....	134
Abb. 6-9:	Gesamtergebnis für Technologiealternative 1 .....	135
Abb. 6-10:	Gesamtergebnis für Technologiealternative 2.....	136
Abb. 6-11:	Vergleich von Technologiealternative 1 und 2.....	137
Abb. 6-12:	Auswertung des Alternativenvergleichs.....	137
Abb. 11-1:	Bewertungstabelle für die Zielgröße Qualität.....	177
Abb. 11-2:	Bewertungstabelle für die Zielgröße Flexibilität .....	178
Abb. 11-3:	Bewertungstabelle für die Zielgröße Technologischer Reifegrad (TRG).....	179
Abb. 11-4:	Daten für Gleichstrommotor .....	180
Abb. 11-5:	Daten für Hallsensor.....	181
Abb. 11-6:	Daten für Steuergerät.....	182
Abb. 11-7:	Daten für Schalter / Taster .....	183
Abb. 11-8:	Daten für Stecker .....	184
Abb. 11-9:	Daten für Subbus .....	185
Abb. 11-10:	Daten für Steuergerät mit Ripplecounter .....	186
Abb. 11-11:	Simulationsergebnis für Zielgröße Qualität .....	187
Abb. 11-12:	Simulationsergebnis für Zielgröße Flexibilität.....	188

---

Abb. 11-13:	Simulationsergebnis für Zielgröße Kosten.....	189
Abb. 11-14:	Simulationsergebnis für Zielgröße TRG .....	190

## 11 Anhang

### 11.1 Weitere Transformationsfunktionen

#### Lineare Straffungsfunktion

Die Grundform der linearen Straffungsfunktion (Abb. 5-13) folgt der Gleichung

$$m = -aW + c$$

mit der Steigung

$$a = \frac{m_{\max} - m_{\min}}{W_{\max} - W_{\min}}$$

und der Verschiebung auf der Ordinate

$$c = aW_{\min} + m_{\min} \quad .$$

Die lineare Straffungsfunktion kommt dann zur Anwendung, wenn ein niedriger Wert gut und ein hoher Wert schlecht zu bewerten ist und die Verteilung der Werte als linear angenommen werden kann.

#### Grundform der steigenden Sättigungsfunktion mit degressivem Verlauf

Die Grundform der steigenden Sättigungsfunktion mit degressivem Verlauf (Abb. 5-13) folgt der Gleichung

$$m = 1 - e^{-\left(\frac{W - W_{\min}}{a}\right)}$$

mit

$$a = \frac{W_{\max}}{m'} \quad m' \leq m_{\max}$$

Die steigende Sättigungsfunktion mit degressivem Verlauf ist gut geeignet, wenn ein oberer Grenzwert existiert oder eine asymptotische Annäherung an einen oberen Grenzwert erfolgen soll und eine Wertzunahme im oberen Bereich von anderer Bedeutung ist, als im mittleren und/oder im unteren Bereich.

$W_{\min}$  gibt die mögliche Verschiebung des Koordinatenursprungs auf der Abszisse an und der Maßstabsfaktor  $a$  führt zu einer Berücksichtigung des Wertebereichs.

### Grundform der steigenden S-Funktion

Die Grundform der steigenden S-Funktion (Abb. 5-13) folgt der Gleichung

$$m = 1 - e^{(-a(w - w_{\min}))^3}$$

mit

$$a = \frac{1}{w' - w_{\min}} \sqrt[3]{\ln(1 - m')} \quad \text{und dem Wendepunkt } m'.$$

Die steigende S-Funktion mit degressivem Verlauf kommt dann zur Anwendung, wenn eine Wertzunahme im oberen Bereich und unteren Bereich von anderer Bedeutung ist, als im mittleren Bereich. Im oberen und unteren Bereich soll also ein mäßigerer Punktzuwachs erfolgen, als im mittleren Bereich.

$W_{\min}$  gibt die mögliche Verschiebung des Koordinatenursprungs auf der Abszisse an und der Maßstabsfaktor  $a$  führt zu einer Berücksichtigung des Wertebereichs.

### Grundform der nichtlinearen quadratischen Straffungsfunktion

Die Grundform der nichtlinearen quadratischen Straffungsfunktion (Abb. 5-13) folgt der Gleichung

$$m = \left( 1 - \frac{w - w_{\min}}{w_{\max} - w_{\min}} \right)^2$$

Die nichtlineare quadratische Straffungsfunktion ist gut geeignet, wenn eine Abnahme der Maßzahlen im unteren Wertebereich geringer sein soll, als im oberen Wertebereich.

### Grundform der fallenden Sättigungsfunktion mit degressivem Verlauf

Die Grundform der fallenden Sättigungsfunktion mit degressivem Verlauf (Abb. 5-13) folgt der Gleichung

$$m = e^{-\left(\frac{w-w_{\min}}{a}\right)}$$

Die fallende Sättigungsfunktion mit degressivem Verlauf kommt dann zur Anwendung, wenn eine Wertabnahme im oberen Bereich eine andere Bedeutung hat, als im mittleren und/oder unteren Bereich.

$w_{\min}$  gibt die mögliche Verschiebung des Koordinatenursprungs auf der Abszisse an und der Maßstabsfaktor  $a$  führt zu einer Berücksichtigung des Wertebereichs.

### Grundform der fallenden S-Funktion

Die Grundform der fallenden S-Funktion (Abb. 5-13) folgt der Gleichung

$$m = e^{(-a(w-w_{\min}))^3}$$

mit  $a = \frac{1}{w' - w_{\min}} \sqrt[3]{\ln(1 - m')}$  und dem Wendepunkt  $m'$ .

Der Anwendungsbereich der fallenden S-Funktion ist, wenn eine Wertzunahme im oberen Bereich und unteren Bereich von anderer Bedeutung ist, als im mittleren Bereich. Im oberen und unteren Bereich soll also ein mäßigerer Punkteabfall erfolgen, als im mittleren Bereich.

Die mögliche Verschiebung des Koordinatenursprungs auf der Abszisse wird durch  $w_{\min}$  angegeben und der Maßstabsfaktor  $a$  führt zu einer Berücksichtigung des Wertebereichs.

### Grundform der beliebigen nichtlinearen Maximumfunktion

Die Grundform der beliebigen nichtlinearen Maximumfunktion, die auch nichtlineare Wechselfunktion genannt wird (Abb. 5-13) folgt der Gleichung

$$m = 1 - \left( \frac{w - a}{b} \right)^2$$

mit der Lage des Maximums bei

$$a = \frac{w_{\min} + w_{\max}}{2}$$

und dem Faktor

$$b = \frac{w_{\max} - w_{\min}}{2}$$

der die halbe Spannweite der Kurve auf der Abszisse bestimmt.

Die beliebige nichtlineare Maximumfunktion ist gut geeignet, wenn eine Wertzunahme bis zu einem optimalen Wert erfolgen soll und anschließend eine Wertabnahme folgt.

### Grundform der beliebigen nichtlinearen Minimumfunktion

Die Grundform der beliebigen nichtlinearen Minimumfunktion (Abb. 5-13), folgt der Gleichung

$$m = \left( \frac{w - a}{b} \right)^2$$

mit der Lage des Minimums bei

$$a = \frac{w_{\min} + w_{\max}}{2}$$

und dem Faktor

$$b = \frac{w_{\max} - w_{\min}}{2}$$

der die halbe Spannweite der Kurve auf der Abszisse bestimmt.

Die beliebige nichtlineare Minimumfunktion kommt dann zur Anwendung, wenn eine Wertabnahme bis zu einem minimalen Wert erfolgen soll und anschließend eine Wertzunahme folgt.



### 11.2 Bewertungstabellen der finalen Zielgrößen
















Qualität	Funktionserfüllung aus Kunden- u. Unternehmenssicht	<b>Leistungsfähigkeit</b> Je größer Leistungsfähigkeit desto besser große Leistungsfähigkeit 3 gut normale Leistungsfähigkeit 2 normal geringe Leistungsfähigkeit 1 schlecht 	steigende Sättigungsfkt.	
		<b>Funktionssicherheit</b> Inwieweit werden Anforderungen erfüllt große Anforderungserfüllung 3 gut normale Anforderungserfüllung 2 normal geringe Anforderungserfüllung 1 schlecht 	lineare Wachstumsfkt.	
		<b>Verfügbarkeit</b> Funktion ist zu jedem gewünschten Zeitpunkt verfügbar große Verfügbarkeit 3 gut normale Verfügbarkeit 2 normal kleine Verfügbarkeit 1 schlecht 	steigende S-Fkt.	
		<b>Onboard</b> Fehlererkennung mit Mitteln aus Fahrzeug >95% 5 sehr gut 70-95% 4 gut 50-70% 3 mittel 30-50% 2 schlecht <30% 1 sehr schlecht 	steigende S-Fkt.	
			<b>Offboard</b> Fehlererkennung mit nicht im Fahrzeug vorhandenen Mitteln >95% 5 sehr gut 70-95% 4 gut 50-70% 3 mittel 30-50% 2 schlecht <30% 1 sehr schlecht 	steigende S-Fkt.
				<b>Bei der Fertigung</b> Aufwendigkeit der Prüfung während der Fertigung >70% 3 gut 50-70% 2 mittel <50% 1 schlecht 
	Diagnost. / Prüfbarkeit	<b>Robustheit</b>	<b>Fehlbedienungen</b> Einfluss einer Fehlbedienung auf Funktionserfüllung geringer Einfluss 1 gut normaler Einfluss 2 mittel grosser Einfluss 3 schlecht 	fallende S-Fkt.
			<b>Fertigungstoleranzen</b> Einfluss von Fertigungstoleranzen auf Funktionserfüllung wenige µm 1 gut normale µm 2 mittel große µm 3 schlecht 	fallende S-Fkt.
		<b>Verschleiß</b> Robustheit gegenüber Schwankungen große Robustheit 3 gut normale Robustheit 2 mittel kleine Robustheit 1 schlecht 	lineare Wachstumsfkt.	
		Recyclingfähigkeit	<b>Demontagefähigkeit</b> Je einfacher eine zerstörungsfreie Demontage desto besser >95% 5 sehr gut 70-95% 4 gut 50-70% 3 mittel 30-50% 2 schlecht <30% 1 sehr schlecht 	steigende Sättigungsfkt.
	<b>Verwendete Materialien</b> Verwendete Materialien können für Herstellung gleicher Produkte dienen >95% 5 sehr gut 70-95% 4 gut 50-70% 3 mittel 30-50% 2 schlecht <30% 1 sehr schlecht 		steigende S-Fkt.	
	<b>Wiederverwendung</b> Inwieweit Technologie einer weiteren Verwendung zugeführt werden kann >95% 5 sehr gut 70-95% 4 gut 50-70% 3 mittel 30-50% 2 schlecht <30% 1 sehr schlecht 		steigende S-Fkt.	
	Energieverbrauch		<b>Im Fahrzeug</b> Je geringer der Leistungsbedarf desto besser < 0,6 l/100km 1 gut 0,6-0,8 l/100km 2 mittel > 0,8 l/100km 3 schlecht 	lineare Straffungsfkt.
			<b>Bei der Herstellung</b> Je geringer der Energieverbrauch desto besser kleiner Energieverbrauch / kW 1 gut normaler Energieverbrauch / kW 2 mittel großer Energieverbrauch / kW 3 schlecht 	lineare Straffungsfkt.
		<b>Innovationsgrad</b> Je höher der Innovationsgrad desto besser >95% 5 sehr gut 70-95% 4 gut 50-70% 3 mittel 30-50% 2 schlecht <30% 1 sehr schlecht 	lineare Wachstumsfkt.	
	Imagewirkung			

Abb. 11-1: Bewertungstabelle für die Zielgröße Qualität








Flexibilität	Skalierbarkeit	<b>Adaptivität</b>	Je besser Anpassung ohne weitere Maßnahmen erfolgt desto besser				
			einfache Anpassung	3	gut	 lineare Wachstumsfkt.	
			normale Anpassung	2	normal		
			schwierige Anpassung	1	schlecht		
			<b>Vernetzbarkeit</b>	Funktionales Zusammenspiel mit anderen Technologien			
				gutes Zusammenspiel	3	gut	 steigende S-Fkt.
			normales Zusammenspiel	2	normal		
			schlechtes Zusammenspiel	1	schlecht		
		Bauraumflexibilität	<b>Modularisierbarkeit</b>	Je besser Zerlegung einer Gesamtaufgabe in Teilaufgaben			
				> 15 Teile	5	sehr gut	 lineare Wachstumsfkt.
				12-15 Teile	4	gut	
				9-12 Teile	3	mittel	
				5-9 Teile	2	schlecht	
			< 5 Teile	1	sehr schlecht		
			<b>Geometrieflexibilität</b>	Ob Technologie in verschiedenen Formen gefertigt werden kann			
			mehrere Anwendungsmöglichkeit	5	sehr gut	 lineare Wachstumsfkt.	
			sehr flexibel	4	gut		
			flexibel	3	mittel		
			fest	2	schlecht		
			starr	1	sehr schlecht		
		<b>Abmessungen</b>	Je geringer die Abmessungen desto besser				
			< 2 mm	1	sehr gut	 fallende S-Fkt.	
			2-4 mm	2	gut		
			5-7 mm	3	mittel		
			8-10 mm	4	schlecht		
			> 10 mm	5	sehr schlecht		
		<b>Mögliche Einbauorte</b>	Technologie sollte in möglichst viele Einbauorte passen				
			Motorraum, Anbauten	11	sehr gut	 steigende S-Fkt.	
			Sonderbereich Radnabe	10	...		
			Motorraum, Getriebe	9	...		
			Fahrzeug Aussenbau	8	...		
			Sonderbereich Dach	7	...		
			Türhohlräume (Wärmequellen aus	6	...		
			Fahrzeug Innenraum	5	...		
			Motorraum, gemäßigte Zone	4	...		
			Kofferraum	3	...		
			Karosserie-o. Türhohlräume (isoli	2	...		
			Fahrzeug Innenraum (ohne Sonne	1	sehr schlecht		
		<b>Bordnetzspannung</b>	Technologie sollte für versch. Spannungen geeignet sein				
			> +/- 7 V	4	sehr gut	 steigende S-Fkt.	
			+/- 5-7 V	3	gut		
			+/- 2-5 V	2	schlecht		
			< +/- 2 V	1	sehr schlecht		

Abb. 11-2: Bewertungstabelle für die Zielgröße Flexibilität

TRG							
Entwicklungsstand	TLZ Automobilbranche	Technologie sollte am Anfang ihres Lebenszyklus stehen					
		2-3 Monate	1	sehr gut		fallende S-Fkt.	
		4-6 Monate	2	gut			
		7-12 Monate	3	schlecht			
	>12 Monate	4	sehr schlecht				
	TLZ andere Branche	Je fortgeschrittener desto besser					
		>12 Monate	4	sehr gut		Steigende S-Fkt.	
		7-12 Monate	3	gut			
		4-6 Monate	2	schlecht			
	2-3 Monate	1	sehr schlecht				
	Anzahl Patente	Einsatz von Patentinformationen als Indikator der Innovationsdynamik					
		>250	5	sehr gut		Wachstumsfkt.	
200-250		4	gut				
100-200		3	mittel				
50-100	2	schlecht					
Multiplikationspotenzial	Positiv ist große Übertragbarkeit des physikalischen Wirkungsprinzips						
	sehr große Ü	4	sehr gut		lineare Wachstumsfkt.		
	große Ü	3	gut				
	kleine Ü	2	schlecht				
sehr kleine Ü	1	sehr schlecht					
Fertigungsfähigkeit	Prozessgeschwindigkeit	Outputrate (Teile/Min)					
		> 100 (Teile/Min)	3	gut		steigende Sättigungsfkt.	
		50-100 (Teile/Min)	2	normal			
		< 50 (Teile/Min)	1	schlecht			
	Je geringer die Ausschussquote beim Fertigen desto besser /cp-Wert						
	Prozesssicherheit (Prozessfähigkeit)	cp-Wert>1,33	1	gut		fallende Sättigungsfkt.	
		cp-Wert 1-1,33	2	mittel			
		cp-Wert<1	3	schlecht			
		Einfachheit der Zusammensetzung der Einzelteile					
	Montagefähigkeit	Steckverbindung	1	sehr gut		fallende Sättigungsfkt.	
		Schraubverbindung	2	gut			
		Lötverbindung	3	schlecht			
Schweißverbindung		4	sehr schlecht				
Automatisierbarkeit	Je höher Automatisierbarkeit desto besser						
	hoher Automatisierungsgrad	3	gut		steigende Sättigungsfkt.		
	normaler Automatisierungsgrad	2	mittel				
	kleiner Automatisierungsgrad	1	schlecht				
Ausfallrate	Je kleiner ppm-Wert desto besser						
	< 1500 ppm	1	gut		fallende Sättigungsfkt.		
	1500-2000 ppm	2	mittel				
	> 2000 ppm	3	schlecht				
Lebensdauer	Je größer Lebensdauer desto besser						
	> 20 Jahre	5	sehr gut		steigende Sättigungsfkt.		
	15-20 Jahre	4	gut				
	10-15 Jahre	3	mittel				
	5-10 Jahre	2	schlecht				
	< 5 Jahre	1	sehr schlecht				

Abb. 11-3: Bewertungstabelle für die Zielgröße Technologischer Reifegrad (TRG)

11.3 Datentabellen für Technologieelemente des Fensterhebers

				Transformationsfunktion	Einheit	W-keit	Gewichtung	Wert	Transf.	Produkt
Qualität	Funktionserfüllung	Kundensicht	Leistungsfähigkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	8	3	0,9981637	7,9953096
			Funktionssicherheit	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	10	2	0,66666667	6,66666667
			Verfügbarkeit	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	6	2	0,66712892	4,0027735
		Unternehmenssicht	Leistungsfähigkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	7	3	0,9981637	6,9871459
			Funktionssicherheit	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	9	2	0,66666667	6
			Verfügbarkeit	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	2	0,66712892	4,6699024
	<b>0,7725914</b>									
	Diagnostizierbarkeit / Prüfbarkeit	Onboard		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	3	0,71634597	5,0144218
		Offboard		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	3	0,71634597	5,0144218
		Bei der Fertigung		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	5	3	0,87754357	4,3877179
	<b>0,7987664</b>									
	Robustheit	Fehlbedienungen		Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	8	1	0,90403742	7,2366993
		Fertigungstoleranzen		Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	7	3	0,12245643	0,857195
		Verschleiß		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Weibull	9	2,981435	0,9938118	8,9443062
	<b>0,7100084</b>									
Imagewirkung	Recyclingfähigkeit	Demontagefähigkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	2	5	1	2	
		Verwendete Materialien	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	3	0,71634597	2,8653039	
		Wiederverwendung	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	3	5	0,91456505	2,7436951	
	Energieverbrauch	Im Fahrzeug	Lineare Straffungsfkt.	diskret	Normal	5	2	0,33333333	1,6666667	
		Bei der Herstellung	Lineare Straffungsfkt.	diskret	Normal	3	2	0,33333333	1	
	Innovationsgrad		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	4	3	0,6	2,4	
<b>0,6036069</b>										
<b>0,7247235</b>										
Flexibilität	Skalierbarkeit	Adaptivität	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	8	3	1	8	
		Vernetzbarkeit	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	3	0,87754357	6,142005	
		Modularisierbarkeit	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	8	1	0,2	1,6	
	<b>0,6844698</b>									
	Bauraumflexibilität	Geometrieflexibilität	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	6	2	0,4	2,4	
		Abmessungen	Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	7	5	0,08543495	0,5980447	
	<b>0,2306188</b>									
	Mögliche Einbauorte		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	5	0,67312643	4,711885	
<b>0,6731264</b>										
Bordnetzspannung		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	2	0,56176501	2,24706		
<b>0,561765</b>										
<b>0,5468041</b>										
Kosten	Fixe Kosten	Investitionskosten	Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0,12	
		Lizenzgebühren	Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0	
		Entwicklungskosten	Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0,78	
	Variable Kosten	Fertigungskosten	Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0,61	
		Materialkosten	Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				4,5	
		Montagekosten FzG	Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0	
		Lagerkosten	Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0	
		Entsorgungskosten	Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0	
<b>6,01</b>										
Technologischer Reifegrad	Entwicklungsstand	TLZ Automobilbranche	Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	6	4	0,09778344	0,5867002	
		TLZ andere Branchen	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	4	0,90221656	3,6088662	
		Anzahl Patente	Wachstumspkt.	diskret	Normal	3	2	0,3732132	1,1196396	
		Multiplikationspotenzial	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	4	4	1	4	
	<b>0,5479533</b>									
	Fertigungsfähigkeit	Prozessgeschwindigkeit	Lineare Wachstumsfunktion	Teile/min	Normal	7	5	0,05	0,35	
		Prozesssicherheit	Fallende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	8	2	0,03680317	0,2960653	
		Montagefähigkeit	Fallende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	6	2	0,04227734	0,073664	
		Automatisierbarkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	6	3	0,9981637	5,9889822	
	<b>0,2484338</b>									
Zuverlässigkeit	Ausfallrate	Fallende Sättigungsfkt.	ppm	Weibull	10	1500	0,60653066	6,0653066		
	Lebensdauer	Steigende Sättigungsfkt.	Jahre	Weibull	10	15	0,917915	9,17915		
<b>0,7622228</b>										
<b>0,488527</b>										

Abb. 11-4: Daten für Gleichstrommotor

				Transformationsfunktion	Einheit	W-keit	Gewichtung	Wert	Transf.	Produkt	
Qualität	Funktionserfüllung	Kundensicht	Leistungsfähigkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	8	3	0,9981637	7,9853096	
			Funktionssicherheit	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	10	3	1	10	
			Verfügbarkeit	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	6	2	0,66712092	4,0027735	
		Unternehmenssicht	Leistungsfähigkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	7	3	0,9981637	6,9871459	
			Funktionssicherheit	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	9	3	1	9	
			Verfügbarkeit	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	2	0,66712092	4,6699024	
	<b>0,9073432</b>										
	Diagnostizierbarkeit / Prüfbarkeit	Onboard		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	5	0,91456505	6,4019553	
		Offboard		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	5	0,91456505	6,4019553	
		Bei der Fertigung		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	5	3	0,87754357	4,2677179	
	<b>0,9048226</b>										
	Robustheit	Fehlbedienungen		Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	8	1	0,90403742	7,2369993	
		Fertigungstoleranzen		Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	7	2	0,33207100	2,3300976	
		Verschleiß		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Weibull	9	2,981435	0,9938118	6,9443062	
		<b>0,7713793</b>									
Imagewirkung	Recyclingfähigkeit	Demontagefähigkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	2	1	0,39346934	0,7669382		
		Verwendete Materialien	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	3	0,71634597	2,8653039		
		Wiederverwendung	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	3	5	0,91456505	2,7436951		
	Energieverbrauch	Im Fahrzeug		Lineare Sättigungsfkt.	diskret	Normal	5	2	0,33333333	1,6666667	
		Bei der Herstellung		Lineare Straffungsfkt.	diskret	Normal	3	2	0,33333333	1	
	Innovationsgrad			Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	4	3	0,6	2,4	
<b>0,5450421</b>											
<b>0,809122</b>											
Flexibilität	Skalierbarkeit	Adaptivität		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	8	3	1	8	
		Vernetzbarkeit		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	2	0,66712092	4,6699024	
		Modularisierbarkeit		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	8	1	0,2	1,6	
	<b>0,6204305</b>										
	Bauraumflexibilität	Geometrieflexibilität		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	6	2	0,4	2,4	
		Abmessungen		Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	7	2	0,51685133	3,6179593	
	<b>0,4629199</b>										
	Mögliche Einbaute			Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	5	0,67312643	4,711895	
	<b>0,6731264</b>										
	Bordnetzspannung			Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	2	0,56176501	2,24706	
<b>0,561765</b>											
<b>0,5797193</b>											
Kosten	Fixe Kosten	Investitionskosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0,1	
		Lizenzgebühren		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal					0
	Variable Kosten	Entwicklungskosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal					0,1
		Fertigungskosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal					0,05
		Materialkosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal					0,55
		Montagekosten Fzg		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal					0
		Lagerkosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal					0
		Entsorgungskosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal					0
<b>0,6</b>											
Technologischer Reifegrad	Entwicklungsstand	TLZ Automobilbranche		Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	6	4	0,09778344	0,5867007	
		TLZ andere Branchen		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	4	0,90271656	3,6089962	
		Anzahl Patente		Wachstumsfkt.	diskret	Normal	3	2	0,3732132	1,1196396	
		Multiplikationspotenzial		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	4	4	1	4	
	<b>0,5479533</b>										
	Fertigungsfähigkeit	Prozessgeschwindigkeit		Lineare Wachstumsfunktion	Teile/min	Normal	7	100	1	7	
		Prozesssicherheit		Fallende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	8	2	0,03600317	0,2960653	
		Montagefähigkeit		Fallende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	6	3	0,00022407	0,0013492	
		Automatisierbarkeit		Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	6	2	0,96311683	5,778701	
	<b>0,4842635</b>										
Zuverlässigkeit	Ausfallrate		Fallende Sättigungsfkt.	ppm	Weibull	10	1500	0,60653066	6,0653066		
	Lebensdauer		Steigende Sättigungsfkt.	Jahre	Weibull	10	20	1	10		
<b>0,8032653</b>											
<b>0,6008692</b>											

Abb. 11-5: Daten für Hallsensor

				Transformationsfunktion	Einheit	Wkeit	Gewichtung	Wert	Transf.	Produkt
<b>Qualität</b>	Funktionserfüllung	Kundensicht	Leistungsfähigkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	8	3	<b>0,9981637</b>	7,9853096
			Funktionsicherheit	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	10	3	<b>1</b>	10
		Unternehmenssicht	Verfügbarkeit	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	6	3	<b>0,87754357</b>	5,2652614
			Leistungsfähigkeit	Steigende Sättigungsfkt	diskret	Normal	7	3	<b>0,9981637</b>	6,9871459
			Funktionsicherheit	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	9	3	<b>1</b>	9
			Verfügbarkeit	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	3	<b>0,87754357</b>	6,142805
	<b>0,965543</b>									
	Diagnostizierbarkeit / Prüfbarkeit	Onboard		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	4	<b>0,84432737</b>	5,9102916
		Offboard		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	4	<b>0,84432737</b>	5,9102916
		Bei der Fertigung		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	5	3	<b>0,87754357</b>	4,3877179
	<b>0,8530685</b>									
	Robustheit	Fehlbedienungen		Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	8	1	<b>0,90483742</b>	7,2386993
		Fertigungstoleranzen		Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	7	1	<b>0,90483742</b>	6,3338619
		Verschleiß		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Weibull	9	2,981435	<b>0,9938118</b>	8,9443062
	<b>0,9382028</b>									
	Imagewirkung	Recyclingfähigkeit	Demontagefähigkeit	Steigende Sättigungsfkt	diskret	Normal	2	5	<b>1</b>	2
			Verwendete Materialien	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	3	<b>0,71634297</b>	2,8653839
			Wiederverwendung	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	3	5	<b>0,91456595</b>	2,7436951
		Energieverbrauch	Im Fahrzeug	Lineare Straffungsfkt.	diskret	Normal	5	2	<b>0,33333333</b>	1,6666667
			Bei der Herstellung	Lineare Straffungsfkt.	diskret	Normal	3	2	<b>0,33333333</b>	1
Innovationsgrad			Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	4	3	<b>0,6</b>	2,4	
<b>0,6036069</b>										
<b>0,8719848</b>										
<b>Flexibilität</b>	Skalierbarkeit	Adaptivität		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	8	1	<b>0,33333333</b>	2,6666667
		Vernetzbarkeit		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	3	<b>0,87754357</b>	6,142805
		Modularisierbarkeit		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	8	1	<b>0,2</b>	1,6
	<b>0,4525857</b>									
	Bauraumflexibilität	Geometrieflexibilität		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	6	2	<b>0,4</b>	2,4
		Abmessungen		Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	7	5	<b>0,08543495</b>	0,5980447
	<b>0,2306188</b>									
	Mögliche Einbauorte			Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	5	<b>0,67312643</b>	4,711885
	<b>0,6731264</b>									
	Bordnetzspannung			Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	2	<b>0,56176591</b>	2,24706
<b>0,561765</b>										
<b>0,433329</b>										
<b>Kosten</b>	Fixe Kosten	Investitionskosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal		480,103		0,07
		Lizenzgebühren		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0
		Entwicklungskosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal		1.431,617		0,22
	Variable Kosten	Fertigungskosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal		2,3		2,3
		Materialkosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal		19,83		19,83
		Montagekosten F.zg		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0
		Lagerkosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0
		Entsorgungskosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0
<b>22,42</b>										
<b>Technologischer Reifegrad</b>	Entwicklungsstand	TLZ Automobilbranche		Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	6	4	<b>0,09778344</b>	0,5867007
		TLZ andere Branchen		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	4	<b>0,90221656</b>	3,6088662
		Anzahl Patente		Wachstumsfkt.	diskret	Normal	3	1	<b>0,2</b>	0,6
		Multiplikationspotenzial		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	4	4	<b>1</b>	4
	<b>0,5173863</b>									
	Fertigungsfähigkeit	Prozessgeschwindigkeit		Lineare Wachstumsfunktion	Teile/min	Normal	7	10	<b>0,1</b>	0,7
		Prozesssicherheit		Fallende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	8	2	<b>0,03688317</b>	0,2950653
		Montagefähigkeit		Fallende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	6	2	<b>0,01227734</b>	0,073664
		Automatisierbarkeit		Steigende Sättigungsfkt	diskret	Normal	6	1	<b>0,25918178</b>	1,5550907
	<b>0,0971785</b>									
Zuverlässigkeit	Ausfallrate		Fallende Sättigungsfkt.	ppm	Weibull	10	2000	<b>0,22313016</b>	2,2313016	
	Lebensdauer		Steigende Sättigungsfkt.	Jahre	Weibull	10	15	<b>0,517915</b>	9,17915	
<b>0,5705226</b>										
<b>0,3567162</b>										

Abb. 11-6: Daten für Steuergerät

				Transformationsfunktion	Einheit	W-keit	Gewichtung	Wert	Transf.	Produkt
<b>Qualität</b>	Funktionserfüllung	Kundensicht	Leistungsfähigkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	8	3	<b>0,9901637</b>	7,9953086
			Funktionsicherheit	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	10	3	<b>1</b>	10
			Verfügbarkeit	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	6	3	<b>0,87754357</b>	5,2652614
		Unternehmenssicht	Leistungsfähigkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	7	3	<b>0,9901637</b>	6,9871459
			Funktionsicherheit	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	9	3	<b>1</b>	9
			Verfügbarkeit	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	3	<b>0,87754357</b>	6,142805
	<b>0,965543</b>									
	Diagnostizierbarkeit / Prüfbarkeit	Onboard		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	5	<b>0,91456505</b>	6,4019553
		Offboard		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	5	<b>0,91456505</b>	6,4019553
		Bei der Fertigung		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	5	3	<b>0,87754357</b>	4,3877179
	<b>0,9048226</b>									
	Robustheit	Fehlbedienungen		Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	8	1	<b>0,90483742</b>	7,2386993
		Fertigungstoleranzen		Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	7	2	<b>0,33287100</b>	2,3300976
		Verschleiß		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Weibull	9	2,901436	<b>0,9908110</b>	8,9443062
	<b>0,7713793</b>									
	Imagewerking	Recyclingfähigkeit	Demontagefähigkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	2	5	<b>1</b>	2
			Verwendete Materialien	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	3	<b>0,71634597</b>	2,8653839
			Wiederverwendung	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	3	5	<b>0,91456505</b>	2,7436951
		Energieverbrauch	Im Fahrzeug	Lineare Straffungsfkt.	diskret	Normal	5	2	<b>0,33333333</b>	1,6866667
			Bei der Herstellung	Lineare Straffungsfkt.	diskret	Normal	3	2	<b>0,33333333</b>	1
Innovationsgrad			Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	4	3	<b>0,6</b>	2,4	
<b>0,6036069</b>										
<b>0,8446837</b>										
<b>Flexibilität</b>	Skalierbarkeit	Adaptivität	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	8	1	<b>0,33333333</b>	2,6666667	
		Vernetzbarkeit	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	1	<b>0,09516258</b>	0,6661381	
		Modularisierbarkeit	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	8	1	<b>0,2</b>	1,6	
	<b>0,2144698</b>									
	Bauraumflexibilität	Geometrieflexibilität	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	6	2	<b>0,4</b>	2,4	
		Abmessungen	Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	7	5	<b>0,09543495</b>	0,5980447	
	<b>0,2306188</b>									
	Mögliche Einbauorte		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	5	<b>0,67312643</b>	4,711895	
	<b>0,6731264</b>									
	Bordnetzspannung		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	2	<b>0,56176501</b>	2,24706	
<b>0,561765</b>										
<b>0,3168841</b>										
<b>Kosten</b>	Fixe Kosten	Investitionskosten	Lineare Straffungsfkt.	€	Normal			724.000	0,11	
		Lizenzgebühren	Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0	
		Entwicklungskosten	Lineare Straffungsfkt.	€	Normal			2.625.000	0,4	
	Variable Kosten	Fertigungskosten	Lineare Straffungsfkt.	€	Normal			2,90	2,90	
		Materialkosten	Lineare Straffungsfkt.	€	Normal			11,12	11,12	
		Montagekosten Fzg	Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0	
		Lagerkosten	Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0	
		Entsorgungskosten	Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0	
<b>14,61</b>										
<b>Technologischer Reifegrad</b>	Entwicklungsstand	TLZ Automobilbranche	Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	6	4	<b>0,09778344</b>	0,5967007	
		TLZ andere Branchen	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	4	<b>0,90221656</b>	3,6088662	
		Anzahl Patente	Wachstumsfkt.	diskret	Normal	3	1	<b>0,2</b>	0,6	
		Multiplikationspotenzial	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	4	4	<b>1</b>	4	
	<b>0,5173863</b>									
	Fertigungsfähigkeit	Prozessgeschwindigkeit	Lineare Wachstumsfunktion	Teile/min	Normal	7	10	<b>0,1</b>	0,7	
		Prozesssicherheit	Fallende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	8	2	<b>0,03688317</b>	0,2990653	
		Montagefähigkeit	Fallende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	6	1	<b>0,67032005</b>	4,0219203	
		Automatisierbarkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	6	1	<b>0,25918178</b>	1,5560907	
	<b>0,2434102</b>									
Zuverlässigkeit	Ausfallrate		Fallende Sättigungsfkt.	ppm	Weibull	10	2000	<b>0,22313016</b>	2,2313016	
	Lebensdauer		Steigende Sättigungsfkt.	Jahre	Weibull	10	15	<b>0,317915</b>	3,17915	
<b>0,5705226</b>										
<b>0,4184077</b>										

Abb. 11-7: Daten für Schalter / Taster

				Transformationsfunktion	Einheit	W-keit	Gewichtung	Wert	Transf.	Produkt	
<b>Qualität</b>	Funktionserfüllung	Kundensicht	Leistungsfähigkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	8	3	<b>0,9981637</b>	7,9853096	
			Funktionssicherheit	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	10	3	<b>1</b>	10	
			Verfügbarkeit	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	6	3	<b>0,87754357</b>	5,2652614	
		Unternehmenssicht	Leistungsfähigkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	7	3	<b>0,9981637</b>	6,9871459	
			Funktionssicherheit	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	9	3	<b>1</b>	9	
			Verfügbarkeit	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	3	<b>0,87754357</b>	6,142805	
	<b>0,965543</b>										
	Diagnostizierbarkeit / Prüfbarkeit	Onboard		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	4	<b>0,84432737</b>	5,9102916	
		Offboard		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	4	<b>0,84432737</b>	5,9102916	
		Bei der Fertigung		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	5	3	<b>0,87754357</b>	4,3677179	
	<b>0,8530689</b>										
	Robustheit	Fehlbedienungen			Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	8	1	<b>0,90403747</b>	7,2369993
		Fertigungstoleranzen			Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	7	2	<b>0,33207100</b>	2,3300976
		Verschleiß			Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Weibull	9	2,981435	<b>0,9938118</b>	8,9443062
	<b>0,7713793</b>										
	Imagewirkung	Recyclingfähigkeit	Demontagefähigkeit		Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	2	1	<b>0,39346934</b>	0,7669387
			Verwendete Materialien		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	3	<b>0,71634597</b>	2,0653839
			Wiederverwendung		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	3	5	<b>0,91456505</b>	2,7436951
		Energieverbrauch	Im Fahrzeug		Lineare Straffungsfkt.	diskret	Normal	5	2	<b>0,33333333</b>	1,6666667
			Bei der Herstellung		Lineare Straffungsfkt.	diskret	Normal	3	2	<b>0,33333333</b>	1
Innovationsgrad				Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	4	3	<b>0,6</b>	2,4	
<b>0,5490421</b>											
<b>0,8249064</b>											
<b>Flexibilität</b>	Skalierbarkeit	Adaptivität		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	8	3	<b>1</b>	8	
		Vernetzbarkeit		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	1	<b>0,09516250</b>	0,6661381	
		Modularisierbarkeit		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	8	1	<b>0,2</b>	1,6	
	<b>0,4463538</b>										
	Bauraumflexibilität	Geometrieflexibilität		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	6	1	<b>0,2</b>	1,2	
		Abmessungen		Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	7	5	<b>0,08543495</b>	0,5980447	
	<b>0,1383111</b>										
	Mögliche Einbauorte			Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	5	<b>0,67312643</b>	4,711885	
	<b>0,6731264</b>										
	Bordnetzspannung			Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	2	<b>0,56176501</b>	2,24706	
<b>0,561765</b>											
<b>0,4047474</b>											
<b>Kosten</b>	Fixe Kosten	Investitionskosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0,08	
		Lizenzgebühren		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0	
		Entwicklungskosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0,15	
	Variable Kosten	Fertigungskosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0,12	
		Materialkosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0,96	
		Montagekosten F'zg		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0	
		Lagerkosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0	
		Entsorgungskosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0	
<b>1,3</b>											
<b>Technologischer Reifegrad</b>	Entwicklungsstand	TLZ Automobilbranche		Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	6	4	<b>0,09778344</b>	0,5967007	
		TLZ andere Branchen		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	4	<b>0,90221656</b>	3,6088662	
		Anzahl Patente		Wachstumsfkt.	diskret	Normal	3	2	<b>0,3732132</b>	1,1196396	
		Multiplikationspotenzial		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	4	4	<b>1</b>	4	
	<b>0,5479533</b>										
	Fertigungsfähigkeit	Prozessgeschwindigkeit		Lineare Wachstumsfunktion	Teile/min	Normal	7	100	<b>1</b>	7	
		Prozesssicherheit		Fallende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	8	2	<b>0,03600317</b>	0,2950653	
		Montagefähigkeit		Fallende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	6	1	<b>0,67032005</b>	4,0219203	
		Automatisierbarkeit		Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	6	3	<b>0,9981637</b>	5,9898822	
	<b>0,6409618</b>										
Zuverlässigkeit	Ausfallrate		Fallende Sättigungsfkt.	ppm	Weibull	10	100	<b>0,95422942</b>	9,5122942		
	Lebensdauer		Steigende Sättigungsfkt.	Jahre	Weibull	10	15	<b>0,917915</b>	9,17915		
<b>0,9345722</b>											
<b>0,7080097</b>											

Abb. 11-8: Daten für Stecker



				Transformationsfunktion	Einheit	W.kelt	Gewichtung	Wert	Transf.	Produkt	
				Subbus / Vernetzungskomponente							
<b>Qualität</b>	Funktionserfüllung	Kundensicht	Leistungsfähigkeit	Steigende Sättigungsfkt	diskret	Normal	8	3	<b>0,9981637</b>	7,9853036	
			Funktionssicherheit	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	10	3	<b>1</b>	10	
			Verfügbarkeit	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	6	3	<b>0,87754357</b>	5,2652614	
		Unternehmenssicht	Leistungsfähigkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	7	3	<b>0,9981637</b>	6,9871459	
			Funktionssicherheit	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	9	3	<b>1</b>	9	
			Verfügbarkeit	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	3	<b>0,87754357</b>	6,142805	
	<b>0,965543</b>										
	Diagnostizierbarkeit / Prüfbarkeit	Onboard		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	5	<b>0,91456505</b>	6,4019553	
		Offboard		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	5	<b>0,91456505</b>	6,4019553	
		Bei der Fertigung		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	5	3	<b>0,87754357</b>	4,3877179	
	<b>0,9048226</b>										
	Robustheit	Fehlbedienungen			Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	8	1	<b>0,90403747</b>	7,2366993
		Fertigungstoleranzen			Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	7	2	<b>0,33207108</b>	2,3300976
		Verschleiß			Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Weibull	9	2,981435	<b>0,9938118</b>	8,9443062
	<b>0,7713293</b>										
	Imagewirkung	Recyclingfähigkeit	Demontagefähigkeit		Steigende Sättigungsfkt	diskret	Normal	2	5	<b>1</b>	2
			Verwendete Materialien		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	3	<b>0,71634597</b>	2,8653839
			Wiederverwendung		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	3	5	<b>0,91456505</b>	2,7439951
		Energieverbrauch	Im Fahrzeug		Lineare Straffungsfkt.	diskret	Normal	5	2	<b>0,33333333</b>	1,6666667
			Bei der Herstellung		Lineare Straffungsfkt.	diskret	Normal	3	2	<b>0,33333333</b>	1
Innovationsgrad				Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	4	4	<b>0,8</b>	3,2	
<b>0,6417022</b>											
<b>0,8519009</b>											
<b>Flexibilität</b>	Skalierbarkeit	Adaptivität		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	8	2	<b>0,66666667</b>	5,3333333	
		Vernetzbarkeit		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	3	<b>0,87754357</b>	6,142805	
		Modularisierbarkeit		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	8	1	<b>0,2</b>	1,6	
	<b>0,5685278</b>										
	Bauraumflexibilität	Geometrieflexibilität		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	6	2	<b>0,4</b>	2,4	
		Abmessungen		Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	7	5	<b>0,08543495</b>	0,5980447	
	<b>0,2306188</b>										
	Mögliche Einbauorte			Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	5	<b>0,67312643</b>	4,711885	
	<b>0,6731264</b>										
	Bordnetzspannung			Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	2	<b>0,56176501</b>	2,24705	
<b>0,561765</b>											
<b>0,4900666</b>											
<b>Kosten</b>	Fixe Kosten	Investitionskosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0,03	
		Lizenzgebühren		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0	
		Entwicklungskosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0,15	
	Variable Kosten	Fertigungskosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0,10	
		Materialkosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0,35	
		Montagekosten Fzg		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0	
		Lagerkosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0	
		Entsorgungskosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0	
<b>0,71</b>											
<b>Technologischer Reifegrad</b>	Entwicklungsstand	TLZ Automobilbranche		Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	6	4	<b>0,09778344</b>	0,5867007	
		TLZ andere Branchen		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	4	<b>0,90221656</b>	3,6088662	
		Anzahl Patente		Wachstumsfkt.	diskret	Normal	3	3	<b>0,53757508</b>	1,6127252	
		Multiplikationspotenzial		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	4	4	<b>1</b>	4	
	<b>0,5769584</b>										
	Fertigungsfähigkeit	Prozessgeschwindigkeit		Lineare Wachstumsfunktion	Teile/min	Normal	7	-	-	-	
		Prozesssicherheit		Fallende Sättigungsfkt	diskret	Normal	8	-	-	-	
		Montagefähigkeit		Fallende Sättigungsfkt	diskret	Normal	6	-	-	-	
		Automatisierbarkeit		Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	6	-	-	-	
	<b>-</b>										
Zuverlässigkeit	Ausfallrate		Fallende Sättigungsfkt	ppm	Weibull	10	-	-	-		
	Lebensdauer		Steigende Sättigungsfkt	Jahre	Weibull	10	15	<b>0,917915</b>	9,17915		
<b>0,917915</b>											
<b>0,5131741</b>											

Abb. 11-9: Daten für Subbus

				Transformationsfunktion	Einheit	W-keit	Gewichtung	Wert	Transf.	Produkt	
Steuergerät mit Ripplecounter											
<b>Qualität</b>	Funktionserfüllung	Kundensicht	Leistungsfähigkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	8	3	0,9981637	7,9953096	
			Funktionssicherheit	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	10	3	1	10	
			Verfügbarkeit	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	6	3	0,87754357	5,2652614	
		Unternehmenssicht	Leistungsfähigkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	7	3	0,9981637	6,9871459	
			Funktionssicherheit	Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	9	3	1	9	
			Verfügbarkeit	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	2	0,66712892	4,6699024	
											<b>0,9342047</b>
	Diagnostizierbarkeit / Prüfbarkeit	Onboard		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	5	0,91456505	6,4019553	
		Offboard		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	5	0,91456505	6,4019553	
		Bei der Fertigung		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	5	3	0,87754357	4,3677179	
											<b>0,9048226</b>
	Robustheit	Fehlbedierungen			Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	8	1	0,90403747	7,2306993
		Fertigungstoleranzen			Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	7	3	0,12245643	0,8571195
		Verschleiß			Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Weibull	9	2,272454	0,75748462	6,8173616
											<b>0,6213857</b>
	Imagewirkung	Recyclingfähigkeit	Demontagefähigkeit	Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	2	5	1	2	
			Verwendete Materialien	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	3	0,71634597	2,0653839	
			Wiederverwendung	Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	3	4	0,84432737	2,5329821	
		Energieverbrauch	Im Fahrzeug	Lineare Straffungsfkt.	diskret	Normal	5	2	0,33333333	1,6666667	
			Bei der Herstellung	Lineare Straffungsfkt.	diskret	Normal	3	2	0,33333333	1	
Innovationsgrad			Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	4	4	0,8	3,2		
										<b>0,6316602</b>	
										<b>0,0043021</b>	
<b>Flexibilität</b>	Skalierbarkeit	Adaptivität		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	8	3	1	8	
		Vernetzbarkeit		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	2	0,66712092	4,6699024	
		Modularisierbarkeit		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	8	1	0,2	1,6	
											<b>0,6204305</b>
	Bauraumflexibilität	Geometrieflexibilität		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	6	5	1	6	
		Abmessungen		Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	7	1	0,94176453	6,5923517	
											<b>0,9606424</b>
	Mögliche Einbauorte		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	7	5	0,67312643	4,711885		
											<b>0,6731264</b>
	Bordnetzspannung		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	2	0,56176501	2,24706		
										<b>0,561765</b>	
										<b>0,7196</b>	
<b>Kosten</b>	Fixe Kosten	Investitionskosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0,09	
		Lizenzgebühren		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0	
		Entwicklungskosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0,29	
	Variable Kosten	Fertigungskosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				2,3	
		Materialkosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				19,83	
		Montagekosten F'zg		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0	
		Lagerkosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0	
		Entsorgungskosten		Lineare Straffungsfkt.	€	Normal				0	
										<b>22,51</b>	
<b>Technologischer Reifegrad</b>	Entwicklungsstand	TLZ Automobilbranche		Fallende S-Fkt.	diskret	Normal	6	4	0,09778344	0,5957007	
		TLZ andere Branchen		Steigende S-Fkt.	diskret	Normal	4	4	0,90221656	3,6088662	
		Anzahl Patente		Wachstumsfkt.	diskret	Normal	3	2	0,3732132	1,1196396	
		Multiplikationspotenzial		Lineare Wachstumsfunktion	diskret	Normal	4	3	0,75	3	
											<b>0,4891298</b>
	Fertigungsfähigkeit	Prozessgeschwindigkeit		Lineare Wachstumsfunktion	Teile/min	Normal	7	-	-	-	
		Prozesssicherheit		Fallende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	8	-	-	-	
		Montagefähigkeit		Fallende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	6	-	-	-	
		Automatisierbarkeit		Steigende Sättigungsfkt.	diskret	Normal	6	-	-	-	
											<b>-</b>
Zuverlässigkeit	Ausfallrate		Fallende Sättigungsfkt.	ppm	Weibull	10	-	-	-		
	Lebensdauer		Steigende Sättigungsfkt.	Jahre	Weibull	10	15	0,917915	9,17915		
										<b>0,917915</b>	
										<b>0,4720204</b>	

Abb. 11-10: Daten für Steuergerät mit Ripplecounter

11.4 Ergebnisse der Monte Carlo Simulation

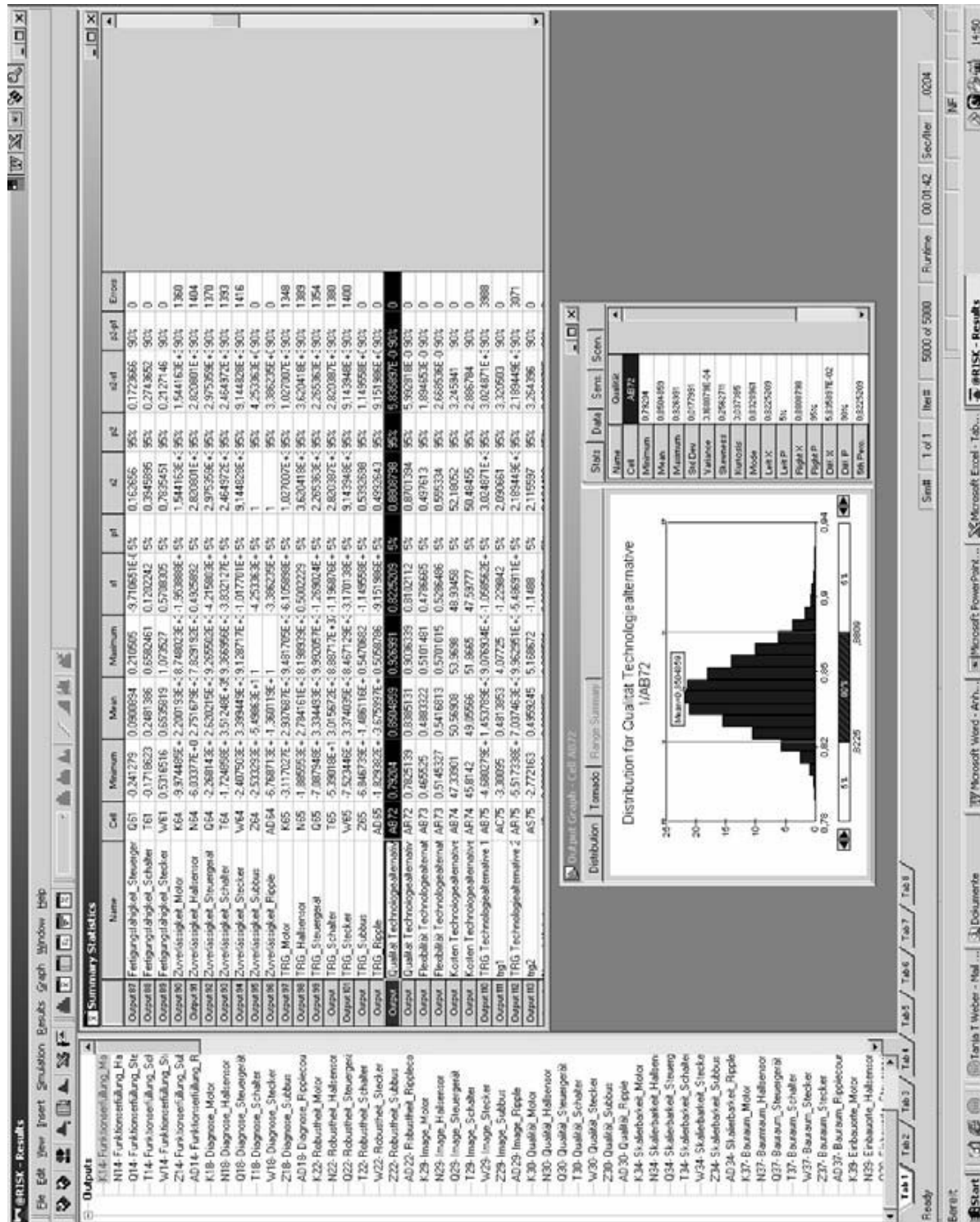


Abb. 11-11: Simulationsergebnis für Zielgröße Qualität

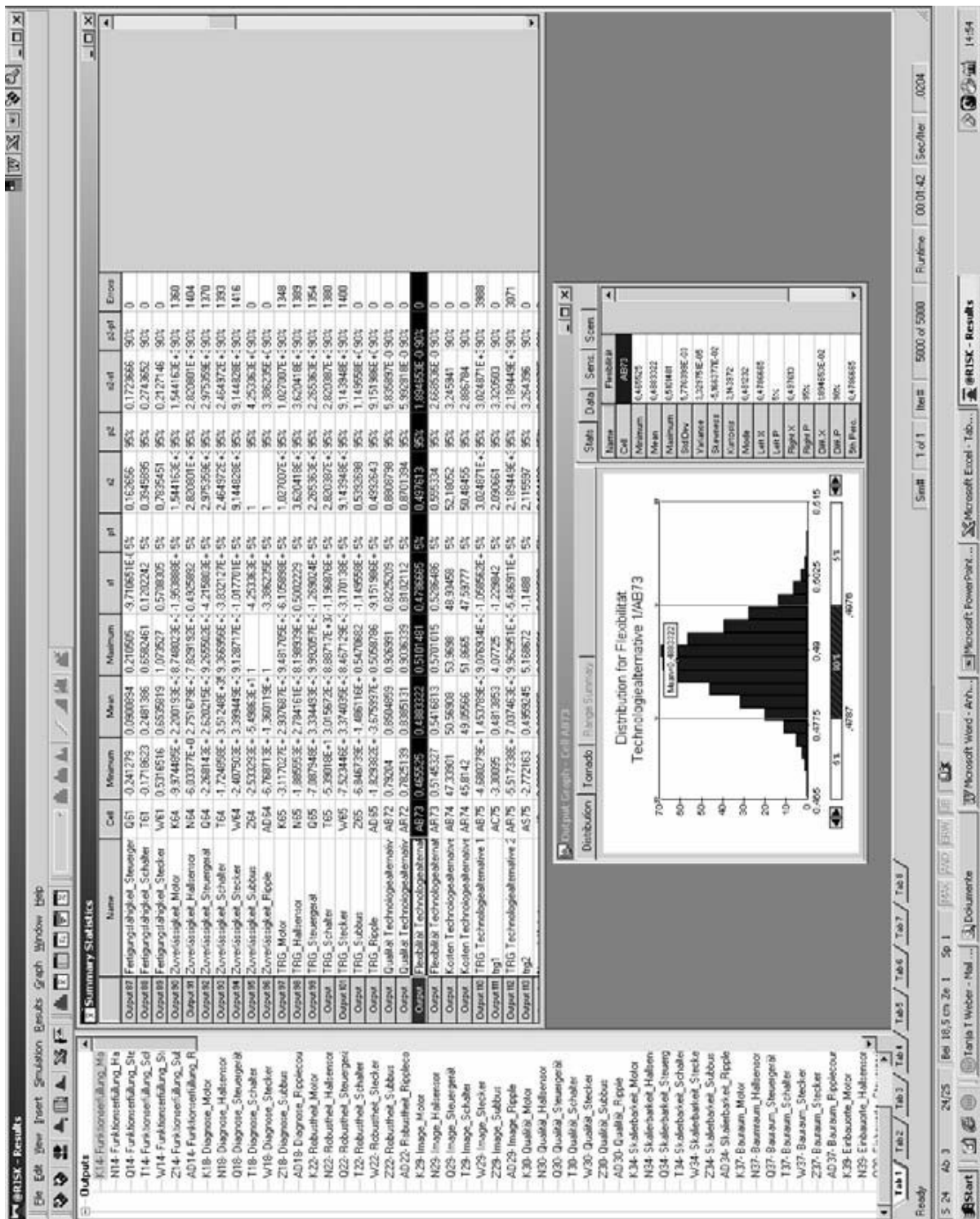


Abb. 11-12: Simulationsergebnis für Zielgröße Flexibilität

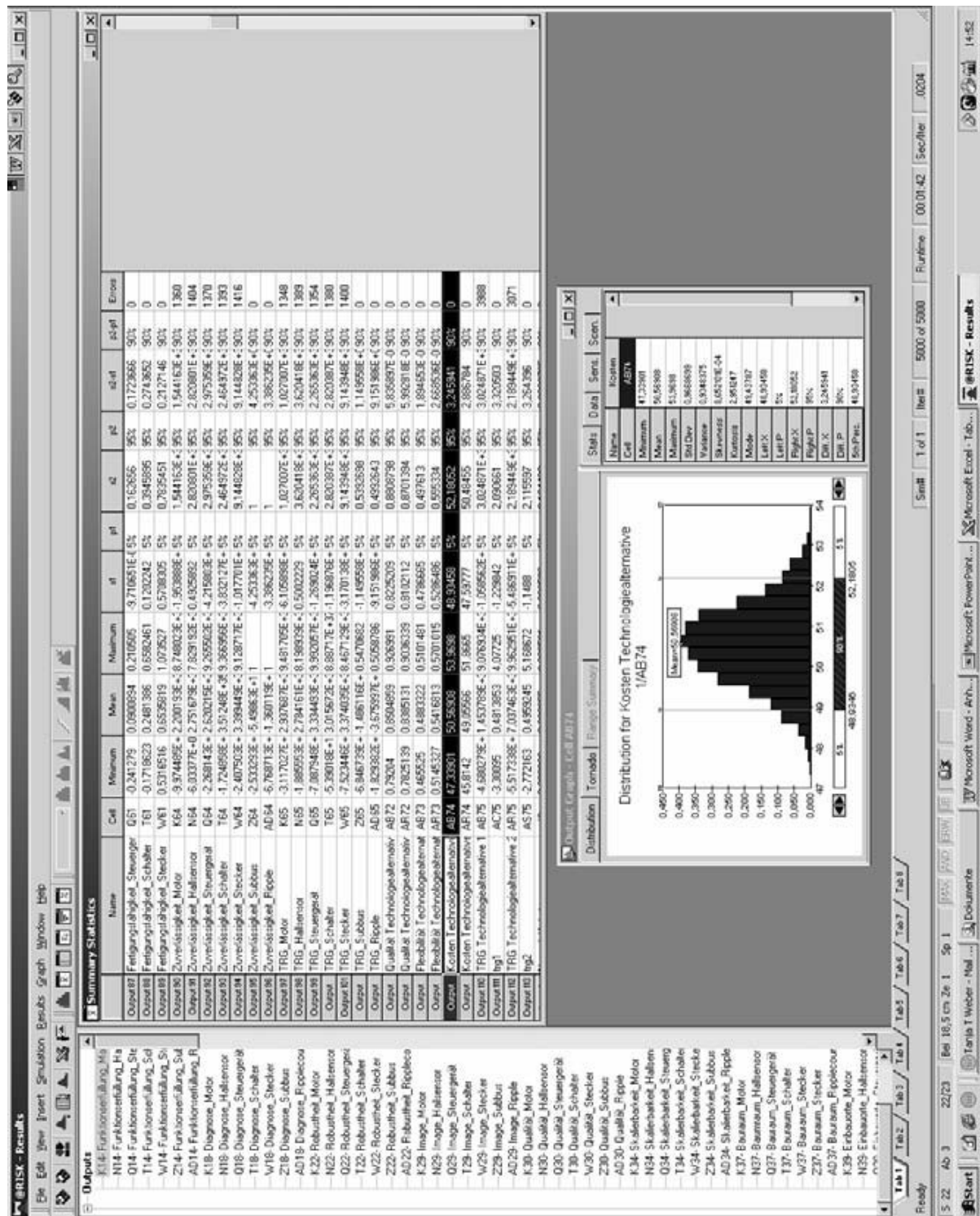


Abb. 11-13: Simulationsergebnis für Zielgröße Kosten

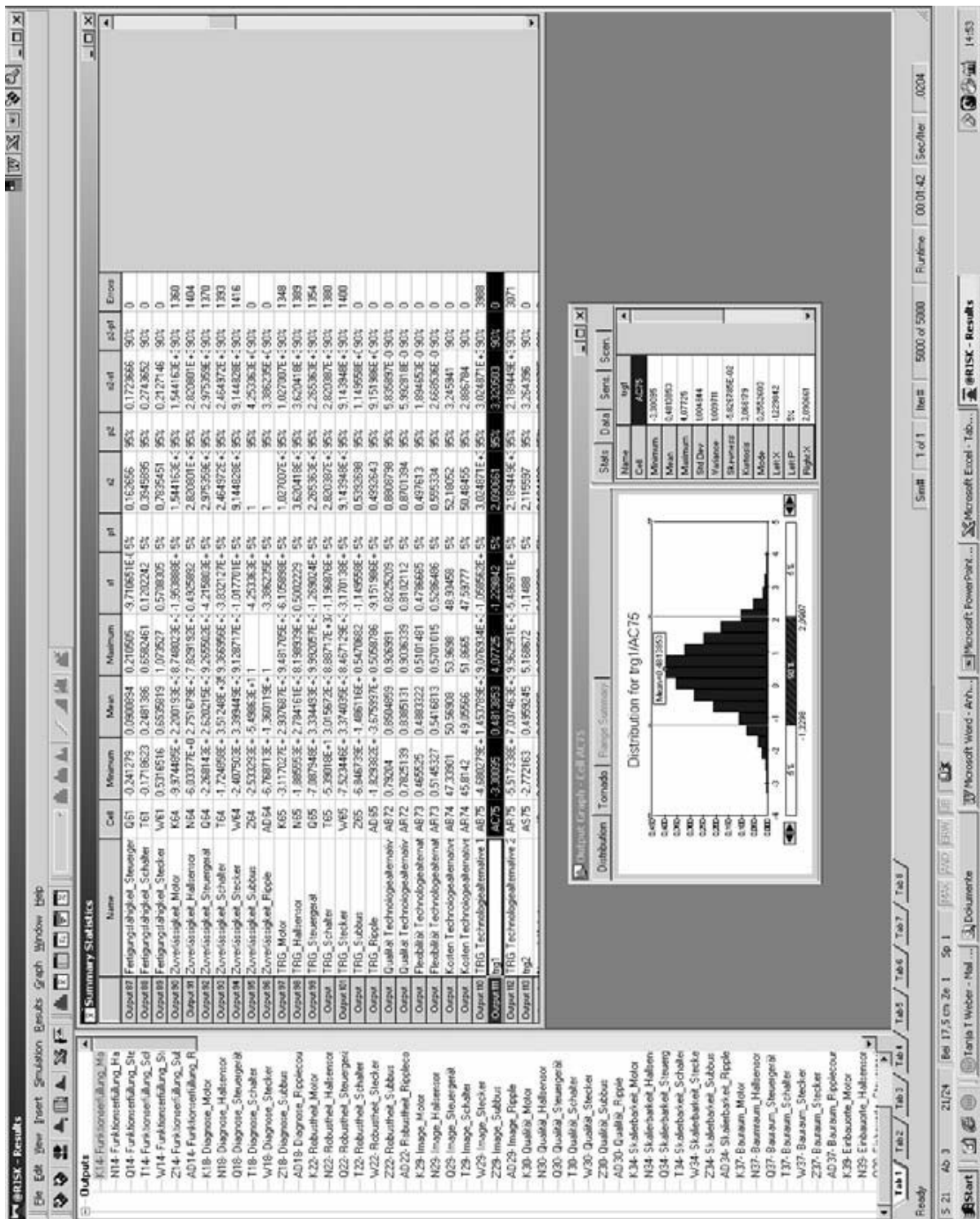


Abb. 11-14: Simulationsergebnis für Zielgröße TRG

# Lebenslauf

## Persönliches

Markus Kröll  
geboren in Leverkusen  
am 25.06.1973  
ledig

## Schulbildung

1979 – 1983 Grundschule St. Konrad, Berg. Gladbach  
1983 – 1992 Nicolaus-Cusanus-Gymnasium, Berg. Gladb.  
1992 Abitur

## Studium

1993 – 1999 Studium des Maschinenbaus, Richtung  
Fertigungstechnik an der RWTH Aachen  
1999 Diplom-Ingenieur

## Berufstätigkeit

1993 – 1995 Diverse Praktika in unterschiedlichen  
Industriebetrieben  
1997 – 1998 Wissenschaftliche Hilfskraft am Fraunhofer-  
Institut für Produktionstechnologie (IPT),  
Aachen  
1999 – 2002 Doktorand der DaimlerChrysler AG und des  
Instituts für Arbeitswissenschaft und  
Technologiemanagement (IAT), Stuttgart  
2002 – 2005 Mitarbeiter der DaimlerChrysler AG,  
Forschung Diagnose und Prävention  
seit 2005 Mitarbeiter der Daimler AG,  
Global Service and Parts

