

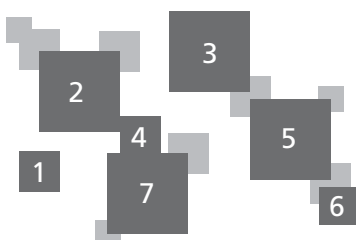
Silvia Rummel

## Eine bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung von Technologie- konzepten in der Technologieentwicklung





Icons © flaticon.com



1: Appzgear; 2: Simplelcon und Freepik; 3,4,5,6: Freepik; 7: Simplelcon

# SCHRIFTENREIHE ZU ARBEITSWISSENSCHAFT UND TECHNOLOGIEMANAGEMENT

## **Herausgeber**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Dieter Spath

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

Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT  
der Universität Stuttgart, Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Stuttgart

## **Band 16**

### **Silvia Rummel**

Eine bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung  
von Technologiekonzepten in der Technologieentwicklung

## *Impressum*

### *Kontaktadresse:*

*Institut für Arbeitswissenschaft  
und Technologiemanagement IAT  
der Universität Stuttgart und  
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft  
und Organisation IAO  
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart  
Telefon +49 711 970-01, Fax -2299  
[www.iat.uni-stuttgart.de](http://www.iat.uni-stuttgart.de)  
[www.iao.fraunhofer.de](http://www.iao.fraunhofer.de)*

*Schriftenreihe zu Arbeitswissenschaft  
und Technologiemanagement*

### *Herausgeber:*

*Univ. Prof. Dr.-Ing. E.h. Dr. h. c. Dieter Spath  
Univ. Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. e.h. mult.  
Dr. h.c. mult. Hans-Jörg Bullinger*

*Institut für Arbeitswissenschaft  
und Technologiemanagement IAT  
der Universität Stuttgart und  
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft  
und Organisation IAO*

### *Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:*

*Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet  
diese Publikation in der Deutschen National-  
bibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind  
im Internet über [www.dnb.de](http://www.dnb.de) abrufbar.*

*ISSN 2195-3414*

*ISBN 978-3-8396-0810-4*

*D 93*

*Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2014*

### *Druck und Weiterverarbeitung:*

*IRB Mediendienstleistungen  
Fraunhofer-Informationszentrum  
Raum und Bau IRB, Stuttgart*

*Für den Druck des Buches wurde chlor-  
und säurefreies Papier verwendet.*

*© by FRAUNHOFER VERLAG, 2014*

*Fraunhofer-Informationszentrum  
Raum und Bau IRB  
Postfach 800469, 70504 Stuttgart  
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart  
Telefon +49 711 970-2500, Fax -2508  
E-Mail [verlag@fraunhofer.de](mailto:verlag@fraunhofer.de)  
<http://verlag.fraunhofer.de>*

*Alle Rechte vorbehalten*

*Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile ur-  
heberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über  
die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hin-  
ausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Ver-  
lages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere  
für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfil-  
mungen sowie die Speicherung in elektronischen  
Systemen. Die Wiedergabe von Warenbezeichnun-  
gen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt  
nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen  
im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-  
Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und des-  
halb von jedermann benutzt werden dürften. Soweit  
in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze,  
Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug  
genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann  
der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständig-  
keit oder Aktualität übernehmen.*

## Geleitwort

Grundlage der Arbeiten am Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT der Universität Stuttgart und am kooperierenden Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO ist die Überzeugung, dass unternehmerischer Erfolg in Zeiten globalen Wettbewerbs vor allem bedeutet, neue technologische Potenziale nutzbringend einzusetzen. Deren erfolgreicher Einsatz wird vor allem durch die Fähigkeit bestimmt, kunden- und mitarbeiterorientiert Technologien schneller als die Mitbewerber zu entwickeln und anzuwenden. Dabei müssen gleichzeitig innovative und anthropozentrische Konzepte der Arbeitsorganisation zum Einsatz kommen. Die systematische Gestaltung wird also erst durch die Bündelung von Management- und Technologiekompetenz ermöglicht. Dabei wird durch eine ganzheitliche Betrachtung der Forschungs- und Entwicklungsthemen gewährleistet, dass wirtschaftlicher Erfolg, Mitarbeiterinteressen und gesellschaftliche Auswirkungen immer gleichwertig berücksichtigt werden.

Die im Rahmen der Forschungsarbeiten an den Instituten entstandenen Dissertationen werden in der »Schriftenreihe zu Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement« veröffentlicht. Die Schriftenreihe ersetzt die Reihe »IPA-IAO Forschung und Praxis«, herausgegeben von H. J. Warnecke, H.-J. Bullinger, E. Westkämper und D. Spath. In dieser Reihe sind in den vergangenen Jahren über 500 Dissertationen erschienen. Die Herausgeber wünschen den Autoren, dass ihre Dissertationen aus den Bereichen Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement in der breiten Fachwelt als wichtige und maßgebliche Beiträge wahrgenommen werden und so den Wissensstand auf ein neues Niveau heben.



Dieter Spath



Hans-Jörg Bullinger

## **Vorwort**

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner wissenschaftlichen Tätigkeit im Bereich Innovation & Technology Management der Festo AG & Co. KG, am Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT der Universität Stuttgart sowie am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Dieter Spath, bis Oktober 2013 Leiter des Instituts für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT und des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Stuttgart, danke ich für die Annahme dieser Arbeit und die wissenschaftliche Betreuung.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Bernd Bertsche, Leiter des Instituts für Maschinenelemente (IMA) der Universität Stuttgart, danke ich für die Übernahme des Mitberichts.

Mein Dank gilt ebenfalls Herrn Prof. Dr.-Ing. Joachim Warschat, Institutsdirektor des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, für die konstruktiven Dialoge und die Durchsicht dieser Arbeit. Weiterhin möchte ich Jens Leyh und Dr. Antonino Ardilio vom Fraunhofer IAO danken für die Ermunterungen, wertvollen Diskussionen und das Gegenlesen dieser Arbeit.

Herrn Dr. Reiningger, Dr. Steltner und Dr. Maier der Festo AG & Co. KG danke ich für die vertrauensvolle Zusammenarbeit und konstruktive Unterstützung während der Arbeit aus Unternehmenssicht. Ebenso richte ich meinen Dank an die Kollegen der Abteilung Innovation & Technology Management, allen voran Dr.-Ing. Axel Gomeringer für seine außerordentlich gute Betreuung, konstruktiven Diskussionen als auch mehrfache Durchsicht der Arbeit. Weiterhin möchte ich mich bei den Studenten Sebastian Wörner, Agnes Mühlbauer, Kurt Paulwitz und Christoph Sellien für die engagierte Mitarbeit und Unterstützung in den vergangenen Jahren bedanken.

Meinen Freunden bin ich von ganzem Herzen für die ebenso aufmunternden wie helfenden Gespräche und ihre Rücksicht während der Entstehung dieser Arbeit verbunden. Insbesondere danke ich Frau Dr. Dominika Storr, Anett Neumann und Tobias Roth für ihr stets offenes Ohr und ihre Ratschläge in dieser Zeit. Auch meinen Eltern und Schwiegereltern schulde ich Dank – ohne ihre Unterstützung und ihren Zuspruch wäre die Arbeit nicht zustande gekommen.

Ganz herzlich danke ich schließlich meinem Mann für die Geduld und Aufmunterung, die er immer wieder aufgebracht oder mir geschenkt hat und das, obwohl er viele Stunden lang gewartet und auf so viele gemeinsame Wochenenden verzichtet hat. Dafür sei ihm diese Arbeit gewidmet.

Ostfildern, im Juli 2014

Silvia Rummel



# **Eine bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten in der Technologieentwicklung**

Von der Fakultät 7 Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik  
der Universität Stuttgart  
zur Erlangung der Würde einer Doktor-Ingenieurin (Dr.-Ing.)  
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von  
Dipl.-Ing. Silvia Rummel  
aus Albstadt-Ebingen

Hauptberichter:  
Mitberichter:

Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath  
Prof. Dr.-Ing. Bernd Bertsche

Tag der mündlichen Prüfung:

30.06.2014

Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart  
2014

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>8</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>12</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>14</b>
<b>Formelverzeichnis</b> .....	<b>16</b>
<b>Abkürzungen</b> .....	<b>17</b>
<b>Formelzeichen</b> .....	<b>18</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>21</b>
1.1 Einführung .....	21
1.2 Problemstellungen .....	22
<b>2 Zielsetzung und Aufbau</b> .....	<b>23</b>
2.1 Zielsetzung .....	23
2.2 Aufbau und Kapitel .....	24
<b>3 Grundlagen und Definition der Tauglichkeitsprüfung</b> .....	<b>26</b>
3.1 Grundlagen .....	26
3.1.1 Zentrale Begriffe .....	26
3.1.2 Klassifizierung und Systematisierung von Technologien .....	27
3.1.3 Leistungsfähigkeit und Reifegrade von Technologien .....	28
3.1.4 Anstöße, Kombinationen und Wirkungen technologischer Entwicklungen .....	30
3.2 Das Management von Technologien .....	32
3.2.1 Aufgabenbereiche im Technologiemanagement .....	34
3.2.2 Entscheidungssituationen im Technologiemanagement .....	35
3.3 Technologieentwicklung in Unternehmen .....	37
3.3.1 Ziele und Aufgaben der Technologieentwicklung .....	37
3.3.2 Technologieentwicklung als Unternehmensprozess .....	38
3.4 Tauglichkeitsbewertung in der Technologieentwicklung .....	40
3.4.1 Bewertungsvoraussetzungen .....	41
3.4.2 Bewertungsablauf .....	43
3.4.3 Definition des Begriffs Tauglichkeitsprüfung .....	45
<b>4 Stand des Wissens zur Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung</b> .....	<b>46</b>
4.1 Tauglichkeitsbezogene Technologieentwicklungsprozesse .....	46
4.1.1 Vergleich der Technologieentwicklungsprozesse .....	46
4.1.2 Defizite der Technologieentwicklungsprozesse .....	49
4.2 Tauglichkeitsbezogene Bewertungsmethoden .....	50
4.2.1 Vergleich der Bewertungsmethoden .....	50

4.2.2	Defizite der Bewertungsmethoden.....	56
4.3	Integrierte Verfahren zur Tauglichkeitsbewertung.....	57
4.3.1	Eingrenzung aus der Gesamtheit von Ansätzen .....	57
4.3.2	Vergleich von Technologiebewertungsansätzen .....	59
4.3.3	Defizite von Technologiebewertungsansätzen .....	62
4.4	Tauglichkeitsbezogene Reifegradmodelle.....	64
4.4.1	Grundlagen tauglichkeitsbezogener Reifegradmodelle .....	65
4.4.2	Vergleich der Reifegradmodelle .....	67
4.4.3	Defizite der Reifegradmodelle .....	71
4.5	Zusammenfassung der Defizite zum Stand des Wissens .....	74
<b>5</b>	<b>Konzeption der Vorgehensweise .....</b>	<b>77</b>
5.1	Definition eines Systemmodells für Technologiekonzepte .....	78
5.2	Bestandteile der Vorgehensweise .....	80
5.2.1	Reifegradkennwerte und Perspektiven der Tauglichkeitsprüfung .....	80
5.2.2	Werkzeug für die Tauglichkeitsprüfung .....	81
5.2.3	Kombinierte Tauglichkeitsprüfung .....	82
5.3	Strukturierung der Vorgehensweise .....	83
5.4	Charakterisierung und Gruppierung der Vorgehensweise .....	85
<b>6</b>	<b>Anforderungen an die bewertungsbasierte Vorgehensweise .....</b>	<b>86</b>
6.1	Anforderungen an die Kategorisierung und Initiierung der Tauglichkeitsprüfung .....	86
6.2	Anforderungen an die Tauglichkeitsprüfung sowie Kontrolle von Technologiekonzepten .....	86
6.3	Anforderungen an die Analyse sowie Verwertung von Tauglichkeitsprüfungsergebnissen .....	87
6.4	Anforderungen an die Betrachtung von Technologien in der Tauglichkeitsprüfung .....	88
6.5	Allgemeine Anforderungen an das bewertungsbasierte Vorgehen zur Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung .....	88
<b>7</b>	<b>Entwicklung der Vorgehensweise .....</b>	<b>89</b>
7.1	Phase 1: Zielbestimmung des Vorhabens.....	90
7.1.1	Schritt 1.1: Kategorisierung des Technologiekonzepts.....	91
7.1.2	Schritt 1.2: Definition der spezifischen Ziele.....	92
7.2	Phase 2: Entwicklung des Zielvorhabens.....	94
7.3	Phase 3: Bewertung des Zielvorhabens.....	96
7.3.1	Schritt 3.1: Bewertung des Projektfortschritts.....	96
7.3.2	Schritt 3.2: Bewertung des Objektfortschritts.....	97
7.3.2.1	Teilschritt 3.2.1: Technologieperspektive .....	100
7.3.2.2	Teilschritt 3.2.2: Kundenperspektive.....	111

7.3.2.3 Teilschritt 3.2.3: Fertigungsperspektive .....	119
7.3.2.4 Teilschritt 3.2.4: Wirtschaftlichkeitsperspektive .....	128
7.3.3 Schritt 3.3: Reifegradermittlung .....	136
7.4 Phase 4: Ableitung von Maßnahmen .....	138
7.4.1 Schritt 4.1: Perspektivenanalyse .....	138
7.4.2 Schritt 4.2: Maßnahmenableitung .....	139
7.5 Zusammenfassung der bewertungsbasierten Vorgehensweise .....	141
<b>8 Anwendung der bewertungsbasierten Vorgehensweise .....</b>	<b>143</b>
8.1 Ausgangssituation .....	143
8.2 Beschreibung der Anwendung .....	143
8.2.1 Umsetzung der Phase 1: Zielbestimmung des Konzepts .....	144
8.2.2 Umsetzung der Phase 2: Entwicklung .....	146
8.2.3 Umsetzung der Phase 3: Bewertung des Konzepts .....	146
8.2.3.1 Bewertung Projektfortschritt .....	146
8.2.3.2 Bewertung Objektfortschritt .....	146
8.2.4 Umsetzung der Phase 4: Ableitung von Maßnahmen .....	152
8.3 Zusammenfassung der Anwendung der Vorgehensweise .....	154
<b>9 Evaluation und Diskussion .....</b>	<b>155</b>
9.1 Evaluation .....	155
9.2 Diskussion .....	159
<b>10 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>161</b>
10.1 Zusammenfassung .....	161
10.2 Ausblick .....	163
<b>11 Abstract .....</b>	<b>165</b>
<b>12 Anhang .....</b>	<b>167</b>
12.1 Hype Cycle nach Gartner .....	167
12.2 Technologie-Bewertungskriterien .....	169
12.3 Technologiecontrolling .....	170
12.4 Technologieentwicklungsprozesse .....	173
12.5 Reifegradmodelle .....	174
12.6 Entwicklung der Vorgehensweise .....	175
12.7 Bestimmung von Soll-Zielen für die Tauglichkeitsprüfung .....	177
12.8 Bewertung Projektfortschritt .....	178
12.9 Technikbezogene Tauglichkeitsprüfung .....	179
12.10 Technologiesteckbrief .....	180
12.11 Herleitung der Formel für den technischen Reifegrad .....	181
12.12 Kundenbezogene Tauglichkeitsprüfung .....	184

12.13 Lead-User-Methode und Werkzeuge .....	185
12.14 Vorlage Lead-User Befragung .....	187
12.15 Präferenzmatrix für Lead-User-Anforderungen .....	189
12.16 fertigungsbezogene Tauglichkeitsprüfung .....	190
12.17 Kriterien zur Bewertung der Fertigungsperspektive .....	191
12.18 qualitativer Bewertungsansatz.....	194
12.19 Wirtschaftlichkeitsbezogene Tauglichkeitsprüfung .....	197
12.20 Zusammenfassende Formelsammlung .....	198
12.21 Handlungsoptionen bei Substitutionsentwicklungen .....	202
12.22 Handlungsoptionen bei Neuentwicklungen .....	204
12.23 Ableitung von Maßnahmen.....	206
12.24 Ergänzende Berechnungen Mikrowellensensorkonzept .....	207
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>210</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Inhaltliche Strukturierung der Arbeit.....	25
Abb. 2: Technologielebenszyklus und Leistungsgrenzen. ....	29
Abb. 3: Eingrenzung des Technologiemanagements für die vorliegende Arbeit.....	33
Abb. 4: Aufgabenbereiche und Bewertungsfragestellungen im Technologiemanagement....	35
Abb. 5: Entscheidungssituationen im Technologiemanagement.....	36
Abb. 6: Technologieentwicklung als Unternehmensprozess.....	39
Abb. 7: Möglichkeiten zur entwicklungsbezogenen Technologiebewertung .....	41
Abb. 8: Technologiebewertung in Abhängigkeit von Informationsgehalt und methodischer Ausrichtung.....	43
Abb. 9: Bewertungsprozess zur Klärung vordefinierter Entwicklungsziele.....	44
Abb. 10: Das House of Technology.....	51
Abb. 11: Regelkreis zur Leistungssteigerung von Systemen .....	66
Abb. 12: Portfolio zur Kategorisierung und Einteilung unterschiedlicher Reifegradmodelle ..	67
Abb. 13: Systemmodell zur Detaillierung von Technologiekonzepten in der Technologieentwicklung .....	79
Abb. 14: Scorecard zur Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten inklusive zugehöriger Perspektiven.....	81
Abb. 15: Scorecard und HoT als Elemente zur Tauglichkeitsprüfung.....	82
Abb. 16: Konzept der bewertungsbasierten Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung.....	84
Abb. 17: bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung .....	89
Abb. 18: iterativer Stage-Gate Prozess zur Durchführung von Technologieentwicklungsprojekten.....	95
Abb. 19: Die Technologie-Scorecard (TSC) zur Bewertung des Objektfortschritts.....	98
Abb. 20: Vorgehen in der Technologieperspektive .....	101
Abb. 21: Differenzierung von Technologiegruppen und Technologieelementen im Technologiekonzept .....	102
Abb. 22: Wirkdiagramm, beispielhaft dargestellt an einem Technologiekonzept für hochfrequente Anwendungen.....	103
Abb. 23: Das House of Technology zur Bedeutungsermittlung von Technologieelementen .....	104
Abb. 24: gegenwärtige Leistungsfähigkeit von Technologiegruppen .....	106
Abb. 25: Leistungsfähigkeits-Bedeutungs-Portfolio für die Bewertung von Technologieelementen .....	109
Abb. 26: Vorgehen in der Kundenperspektive.....	112
Abb. 27: Prinzip zur Bewertung von Lead-User-Anforderungen und Erfüllungsgraden .....	116
Abb. 28: Vorgehen in der Fertigungsperspektive .....	119
Abb. 29: Template zur Aufnahme von Technologiegruppen und Einzelteilen.....	120

Abb. 30: Prinzip zur Bewertung der Montagefähigkeit pro Technologiegruppe .....	124
Abb. 31: Prinzip zur Bewertung der Prüffähigkeit pro Technologiegruppe.....	125
Abb. 32: Vorgehen in der Wirtschaftlichkeitsperspektive .....	129
Abb. 33: Prinzip zur Ermittlung von Herstellkosten aus Marktsicht .....	130
Abb. 34: Technologie-Scorecard eines Technologiekonzepts .....	138
Abb. 35: Säulendiagrammanalyse eines Technologiekonzepts .....	139
Abb. 36: Reifegrad-Aufwands-Portfolio .....	140
Abb. 37: 3D-Modell der Mikrowellensensor-Einheit .....	144
Abb. 38: House of Technology der Mikrowellensensor-Einheit.....	147
Abb. 39: Bewertung von Lead-User-Anforderungen und Erfüllungsgraden der Mikrowellensensor-Einheit (Auszug) .....	148
Abb. 40: Fertigungs-Technologieketten zur Herstellung einer Koppelsonde .....	149
Abb. 41: Fertigungsbezogene Bewertung der Mikrowellensensor-Einheit.....	150
Abb. 42: Marktbezogene Herstellkostendarstellung der Mikrowellensensor-Einheit.....	151
Abb. 43: zusammenfassende Reifegradermittlung zum Mikrowellensensor-Konzept .....	152
Abb. 44: Abweichungsanalyse – Mikrowellensensor-Konzept .....	152
Abb. 45: Reifegrad-Aufwands-Portfolio zum Mikrowellensensor-Konzept .....	153
Abb. 46: beispielhafter Hype Cycle-Verlauf.....	167
Abb. 47: Zusammenhang von Technologiemanagementaufgaben und Technologiecontrolling (eigene Darstellung) .....	170
Abb. 48: Technologiesteckbrief zur Beschreibung eingesetzter Technologien.....	180
Abb. 49: exponentialbasierter Reifegradverlauf (graphische Lösung) .....	182
Abb. 50: methodisches Vorgehen zur Lead-User Identifikation und Einbindung .....	185
Abb. 51: methodisches Vorgehen der T-PLUC-Methode .....	186
Abb. 52: Bestimmung des Bedeutungsgrads von Anforderungen mittels Präferenzmatrix .	189
Abb. 53: paarweiser Vergleich von Funktionen der Mikrowellensensoreinheit .....	207
Abb. 54: Bewertung von Leistungsparametern .....	207
Abb. 55: Bewertung von Lead-User-Anforderungen und Erfüllungsgraden der Mikrowellensensoreinheit (vollständig).....	208
Abb. 56: Bewertung der Montagefähigkeit .....	209
Abb. 57: Bewertung der Prüffähigkeit.....	209
Abb. 58: Funktionskostenberechnung der Mikrowellensensoreinheit .....	209

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Vergleich von Technologieentwicklungsprozessen.....	48
Tab. 2: Zusammenfassung von Defiziten und Anforderungen von Technologieentwicklungsprozessen.....	50
Tab. 3: Vergleich tauglichkeitsbezogener Bewertungsmethoden zur Entscheidungsfindung .....	55
Tab. 4: Zusammenfassung von Defiziten und Anforderungen von Ansätzen zur Entscheidungsfindung .....	57
Tab. 5: Vergleich von Technologiebewertungsansätzen für die Technologieentwicklung .....	58
Tab. 6: Vergleich von Technologiebewertungsansätzen für die Technologieentwicklung .....	61
Tab. 7: Zusammenfassung von Defiziten und Anforderungen integrativer Bewertungsansätze.....	64
Tab. 8: Vergleich von Ansätzen zur Reifegradbetrachtung von Technologieentwicklungen .....	71
Tab. 9: Zusammenfassung von Defiziten und Anforderungen entwicklungsbezogener Reifegradmodelle .....	73
Tab. 10: Zusammenfassung von Zielen der Arbeit und Defiziten aus dem Stand des Wissens .....	75
Tab. 11: Charakterisierung der bewertungsbasierten Vorgehensweise.....	85
Tab. 12: Kategorisierung von Technologiekonzepten in der Technologieentwicklung.....	92
Tab. 13: tauglichkeitsbezogene Zieldimensionen (TZ) für Technologiekonzepte in der Technologieentwicklung .....	93
Tab. 14: Berechnungsmodell für die Technologieperspektive .....	108
Tab. 15: Berechnungsmodell Lead-User-Anforderungen.....	117
Tab. 16: Nutzwertanalyse zur Ermittlung der Fertigungsfähigkeit.....	122
Tab. 17: Berechnungsmodell für die Fertigungsperspektive .....	126
Tab. 18: Berechnungsmodell zur wirtschaftlichkeitsbezogenen Kostenschätzung .....	131
Tab. 19: Berechnungsmodell zum perspektivenbezogenen Reifegrad .....	136
Tab. 20: Ausprägung der Dimensionen im Reifegrad-Aufwand-Portfolio.....	140
Tab. 21: methodenbasierte Übersicht der bewertungsbasierten Vorgehensweise .....	142
Tab. 22: tauglichkeitsbezogene Zieldimensionen der „Mikrowellensensor-Einheit“ .....	145
Tab. 23: technologiebezogener Reifegrad der Mikrowellensensor-Einheit .....	147
Tab. 24: kundenbezogener Reifegrad der Mikrowellensensor-Einheit.....	149
Tab. 25: fertigungsbezogener Reifegrad der Mikrowellensensor-Einheit.....	150
Tab. 26: wirtschaftlichkeitsbezogener Reifegrad der Mikrowellensensor-Einheit .....	151
Tab. 27: Evaluation der bewertungsbasierten Vorgehensweise im Anwendungsfall .....	158
Tab. 28: Auswahl an Bewertungsklassen und -kriterien zur Technologiebewertung .....	169
Tab. 29: Vergleich von Technologiecontrollingansätzen .....	171
Tab. 30: Auswahl an weiteren Technologieentwicklungsansätzen und -prozessen .....	173

Tab. 31: Überblick unterschiedlicher Reifegradmodelle, geordnet nach Objektbezug.....	174
Tab. 32: Zielfindungstemplate .....	175
Tab. 33: weitere Erläuterungen zu den tauglichkeitsbezogenen Zieldimensionen $TZ_2$ , $TZ_3$ und $TZ_4$ .....	177
Tab. 34: beispielhafte Kriterienliste zur Bewertung des Projektfortschritts eines Technologieentwicklungsprojekts.....	178
Tab. 35: Zusammenstellung von Methodenbausteinen zur Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung, .....	179
Tab. 36: Rechenbeispiele für die Näherungsformel des technischen Reifegrads.....	183
Tab. 37: Sammlung von Methoden und Ansätzen zur kunden- und marktbezogenen Tauglichkeitsprüfung .....	184
Tab. 38: Sammlung von Methoden und Ansätzen zur fertigungsbezogenen Tauglichkeitsprüfung .....	190
Tab. 39: beispielhafte Leitlinie zur Bewertung von Fertigungsverfahren für Einzelteile .....	191
Tab. 40: beispielhafte Leitlinie zur Bewertung der Montagefähigkeit pro Technologiegruppe.....	192
Tab. 41: beispielhafte Leitlinie zur Bewertung der Prüffähigkeit pro Technologiegruppe ....	193
Tab. 42: Wirtschaftlichkeit – qualitative Bewertung von Technologiegruppen, anhand Bewertungsformular .....	194
Tab. 43: Sammlung von Methodenbausteinen zur wirtschaftlichkeitsbezogenen Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung.....	197
Tab. 44: Berechnungsgrundlagen Technologieperspektive .....	198
Tab. 45: Berechnungsgrundlagen Kundenperspektive .....	199
Tab. 46: Berechnungsgrundlagen Fertigungsperspektive.....	199
Tab. 47: Berechnungsgrundlagen Wirtschaftlichkeitsperspektive.....	200
Tab. 48: Berechnungsgrundlagen Reifegradermittlung pro Perspektive und Technologiegruppe .....	201
Tab. 49: prinzipielle Handlungsoptionen bei Substitutionsentwicklungen .....	202
Tab. 50: prinzipielle Handlungsoptionen bei Neuentwicklungen .....	204
Tab. 51: Portfolio-Empfehlungen für Technologiegruppen.....	206

## Formelverzeichnis

Formel 1: Kapitalwertberechnung .....	54
Formel 2: Formel zur Berechnung von Reifegradurteilen nach Blau et al.....	69
Formel 3: Formel zur Berechnung von Entwicklungsreifegraden für Produkte .....	69
Formel 4: Ermittlung der Bedeutung eines Technologieelements.....	105
Formel 5: Ermittlung der Bedeutung einer Technologiegruppe.....	105
Formel 6: Ermittlung gegenwärtiger Leistungsfähigkeit eines Technologieelements.....	107
Formel 7: Ermittlung gegenwärtiger Leistungsfähigkeit einer Technologiegruppe.....	107
Formel 8: Reifegrad eines Technologieelements aus technischer Sicht.....	109
Formel 9: Reifegrad einer Technologiegruppe aus technischer Sicht.....	110
Formel 10: Reifegrad eines Technologieelements aus Kundensicht .....	118
Formel 11: Reifegrad einer Technologiegruppe aus Kundensicht .....	118
Formel 12: Fertigungsfähigkeit pro Technologieelement .....	123
Formel 13: Fertigungsfähigkeit pro Technologiegruppe .....	123
Formel 14: Berechnung der Montagefähigkeit pro Technologieelement.....	124
Formel 15: Berechnung der Montagefähigkeit pro Technologiegruppe .....	124
Formel 16: Berechnung der Prüffähigkeit pro Technologieelement .....	125
Formel 17: Berechnung der Prüffähigkeit pro Technologiegruppe.....	126
Formel 18: Reifegrad einer Technologiegruppe aus fertigungsbezogener Sichtweise .....	127
Formel 19: Berechnung des Herstellkostenwerts einer Technologiegruppe .....	132
Formel 20: Berechnung der unternehmensbezogenen Kosten pro Technologiegruppe.....	133
Formel 21: Berechnung des Kapitalwerts für ein Technologiekonzept .....	133
Formel 22: Kostenvergleichswert für eine Technologiegruppe .....	134
Formel 23: Reifegrad einer Technologiegruppe aus wirtschaftlicher Sichtweise .....	135
Formel 24: Gesamtreifegrad einer Technologiegruppe.....	137

## Abkürzungen

A	Alternative
A	Anforderungsklasse
Abk.	Abkürzung
AZ <sub>1</sub>	strategiebezogene Ziele
AZ <sub>2</sub>	inhaltsbezogene Ziele
AZ <sub>3</sub>	projektbezogene Ziele
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
CMMI	Capability Maturity Model Integration
DCF	Discounted Cash Flow (engl.)
Charakt.	charakterisierende
d.h.	das heist
EFQM	European Foundation for Quality Management
ff./f.	(fort)folgende
F&E	Forschung und Entwicklung
FF	Fertigungsfähigkeit
gew.	gewichtete
ggf.	gegebenenfalls
HK	Herstellkosten
HoT	House of Technology
i.S.	im Sinne
i.S.v.	im Sinne von
IRL	Integration Readiness Level
Kap.	Kapitel
NPV	Net Present Value
o.ä.	oder ähnlichem
OPM 3	Organizational Project Management Maturity Model
p.	page (engl. Begriff)
S.	Seite
Tab.	Tabelle
techn.	technische
TRL	Technology Readiness Level
TSC	Technologie-Scorecard
u.a.	unter anderem
vgl.	Vergleiche
z.B.	zum Beispiel

## Formelzeichen

$F_\beta$	Funktion
$TE_\alpha$	Technologieelement
$BE_{TE_\alpha}$	Bedeutung eines Technologieelements
$TG_\varepsilon$	Technologiegruppe
$k$	Technologieelement-Korrelation
$BG_{TG_\varepsilon}$	Bedeutung einer Technologiegruppe
$g_{F_\beta}$	Gewichtung der Funktion $F_\beta$
$b_{F_\beta, TE_\alpha}$	Beziehung zwischen einer Funktion $F_\beta$ und eines Technologieelements $TE_\alpha$
$s_\varepsilon$	Technologieelementanzahl pro Technologiegruppe
$LP_\mu$	Leistungsparameter des Technologiekonzepts
$l_{LP_\mu, TE_\alpha}$	Leistungsfähigkeitsfaktor eines $LP_\mu$ in Bezug auf ein $TE_\alpha$
$LE_{TE_\alpha}$	Leistungsfähigkeit eines Technologieelements $TE_\alpha$
$LG_{TG_\varepsilon}$	Leistungsfähigkeit einer Technologiegruppe $TG_\varepsilon$
$A_\mu$	Ausprägung eines Leistungsparameters $LP_\mu$
$q_{LP_\mu}$	Gewichtung eines Leistungsparameters $LP_\mu$
$RGT_{TE_\alpha}$	Reifegrad eines Technologieelements $TE_\alpha$ aus technischer Sichtweise
$RGT_{TG_\varepsilon}$	Reifegrad einer Technologiegruppe $TG_\varepsilon$ aus technischer Sichtweise
$AN_\theta$	Lead-User-Anforderung
$h_{AN_\theta}$	Bedeutung einer Lead-User-Anforderung $AN_\theta$
$e_{F_\beta, AN_\theta}$	gegenwärtiger Erfüllungsgrad einer Lead-User-Anforderung durch ein $TE_\alpha$
$a_{F_\beta, \vartheta}$	Anzahl der Technologieelemente pro Funktion
$E_{AN_\theta}$	Gegenwärtiger Erfüllungsgrad einer Lead-User-Anforderung
$E_{TE_\alpha, F_\beta}$	Gegenwärtiger Erfüllungsgrad von $AN_\theta$ durch ein Technologieelement $TE_\alpha$
$I_{AN_\theta}$	Idealer Erfüllungsgrad einer Lead-User-Anforderung $AN_\theta$
$I_{TE_\alpha, F_\beta}$	Idealer Erfüllungsgrad einer $AN_\theta$ durch ein Technologieelement $TE_\alpha$
$z_\alpha$	Anzahl funktionsbezogener Technologieelemente im HoT 2. Ordnung
$RGK_{TE_\alpha}$	Reifegrad eines Technologieelements $TE_\alpha$ aus kundenbezogener Sichtweise
$RGK_{TG_\varepsilon}$	Reifegrad einer Technologiegruppe $TG_\varepsilon$ aus kundenbezogener Sichtweise
$FF_{TE_\alpha}$	gegenwärtige Fertigungsfähigkeit eines Technologieelements
$e_\alpha$	Anzahl an Einzelteilen in einem Technologieelement
$FF_{E_\pi}$	gegenwärtige Fertigungsfähigkeit eines Einzelteils
$FF_{TG_\varepsilon}$	gegenwärtige Fertigungsfähigkeit einer Technologiegruppe
$n_{max}$	maximale Ausprägung der Fertigungsfähigkeit

$MF_{TE\alpha}$	gegenwärtige Montagefähigkeit eines Technologieelements
$m_{TE\alpha, MK\omega}$	Montagefähigkeitsfaktor pro Montagefähigkeitskriterium
$m_{TE\alpha, MK\omega, max}$	maximaler Montagefähigkeitsfaktor pro Montagefähigkeitskriterium
$MF_{TG_\varepsilon}$	gegenwärtige Montagefähigkeit einer Technologiegruppe
$PF_{TE\alpha}$	gegenwärtige Prüffähigkeit eines Technologieelements
$p_{TE\alpha, PK\omega}$	Prüffähigkeitsfaktor pro Prüffähigkeitskriterium
$p_{TE\alpha, PK\omega, max}$	maximaler Prüffähigkeitsfaktor pro Prüffähigkeitskriterium
$PF_{TG_\varepsilon}$	gegenwärtige Prüffähigkeit einer Technologiegruppe
$RGF_{TG_\varepsilon}$	Reifegrad einer Technologiegruppe $TG_\varepsilon$ aus fertigungsbezogener Sichtweise
$E_\pi$	Einzelteil im Technologiekonzept
$TK$	Technologiekonzept
$HKM_{TK}$	Herstellkosten des Marktes für das Technologiekonzept
$c_{F\beta, TE\alpha}$	Kostengewichtungsfaktor
$G_{TE\alpha}$	Kostengewichtung eines Technologieelements
$G'_{TE\alpha}$	normierte Kostengewichtung eines Technologieelements
$HKM_{TE\alpha}$	Marktbezogene Herstellkosten eines Technologieelements
$HKM_{TG_\varepsilon}$	Marktbezogene Herstellkosten einer Technologiegruppe
$HKU_{TG_\varepsilon}$	unternehmensbezogener Herstellkostenwert einer Technologiegruppe
$FE_{TG_\varepsilon}$	Fertigungseinzelkosten einer Technologiegruppe
$FA_{TG_\varepsilon}$	Fertigungsgemeinkosten einer Technologiegruppe
$ME_{TG_\varepsilon}$	Materialeinzelkosten einer Technologiegruppe
$MG_{TG_\varepsilon}$	Materialgemeinkosten einer Technologiegruppe
$HKU'_{TG_\varepsilon}$	korrigierter unternehmensbezogener Herstellkostenwert einer $TG_\varepsilon$
$MK_{TG_\varepsilon}$	Montagekosten einer Technologiegruppe
$K_{TK}$	Kapitalwert des Technologiekonzepts
$I_{TK}$	Investitionen für das Technologiekonzept
$e_i$	erwartete kumulierte Einzahlungen pro Periode t
$a_i$	erwartete kumulierte Auszahlungen pro Periode t
$i$	Kalkulationszinssatz
$z$	Betrachtungszeitraum
$f$	Wirtschaftlichkeitsfaktor des Technologiekonzepts
$r_{TG_\varepsilon}$	Kostenvergleichswert pro Technologiegruppe
$RGW_{TG_\varepsilon}$	Reifegrad einer Technologiegruppe $TG_\varepsilon$ aus wirtschaftlicher Sichtweise
$RG_{TG_\varepsilon}$	Reifegrad einer Technologiegruppe (insgesamt)
$TZ_{1-4}$	Tauglichkeitsbezogene Ziele

$p$	Anzahl an Technologiegruppen im Technologiekonzept
$RGT_{TK}$	Reifegrad des Technologiekonzepts $TK$ aus technischer Sichtweise
$RGK_{TK}$	Reifegrad des Technologiekonzepts $TK$ aus kundenbezogener Sichtweise
$RGF_{TK}$	Reifegrad des Technologiekonzepts $TK$ aus fertigungsbezogener Sichtweise
$RGW_{TK}$	Reifegrad des Technologiekonzepts $TK$ aus wirtschaftlicher Sichtweise
$v$	Anzahl der berechneten Perspektiven
$z_{RGT}$	optionaler Projektindikator für die Technologieperspektive
$z_{RGK}$	optionaler Projektindikator für die Kundenperspektive
$z_{RGF}$	optionaler Projektindikator für die Fertigungsperspektive
$z_{RGW}$	optionaler Projektindikator für die Wirtschaftlichkeitsperspektive
%	Prozent

# 1 Einleitung

## 1.1 Einführung

*„Die Naturwissenschaft braucht der Mensch zum Erkennen,  
den Glauben zum Handeln“<sup>1</sup>*

Wirtschaftsunternehmen in Deutschland sehen sich heute vielfältigen Herausforderungen ausgesetzt: Schnell wechselnde Marktanforderungen, ständig steigender Kostendruck und Forderungen nach innovativen Lösungen für qualitativ hochwertige Produkte. Des Weiteren erhöhen ständig wechselnde Wettbewerbsbedingungen und eine zunehmende Globalisierung der Weltmärkte diese Herausforderungen noch zusätzlich.

Um im internationalen Wettbewerb als technologieorientiertes Unternehmen bestehen zu können, ist es notwendig technisches Wissen und unternehmenseigene Ressourcen für die Entwicklung neuer Produkte optimal einzusetzen (vgl. Spath und Warschat 2008 S. 10). Eine Differenzierung oder gar ein Wettbewerbsvorsprung können bis dato nur erreicht werden, wenn es Unternehmen gelingt, frühzeitig auf die Entwicklung erfolgsversprechender Produkt- oder Fertigungstechnologien zu setzen und dadurch technologische Innovationen mit vielversprechenden Funktionalitäten auf neuen Märkten zu platzieren (vgl. Ganz und Warschat 2012 S. 58). Ausschlaggebend sind dabei vor allem Informationen über den Zustand von technologischen Entwicklungen und deren Zukunftschancen (Spath und Warschat 2008, S. VII).

Der Wettbewerb um Marktanteile beginnt für Unternehmen in Deutschland somit nicht erst mit der Einführung neuer Produkte. Bereits in einem viel früheren Stadium der Technologieentwicklung gilt es herauszufinden, welche Produkt- oder Fertigungstechnologien langfristige Erfolgspotenziale sichern und durch gesteigerte Funktionalitäten eine Wettbewerbsdifferenzierung ermöglichen. Um bei der Einführung neuer Technologien einen größtmöglichen Nutzen und Zeitvorsprung zu erzielen, gilt es zunächst Veränderungen am Markt zu deuten und umfassende Kenntnisse über zukunftsgerichtete Bedürfnisse zu erarbeiten (vgl. Kippels 2012). Im Anschluss ist das gewonnene Wissen schnellstmöglich mit den Chancen aufkommender Technologien abzugleichen und effizient umzusetzen (vgl. Kippels 2012). Gerade technologieorientierte Unternehmen sehen sich dabei der Herausforderung gegenübergestellt, die Einsatzfähigkeit und Marktreife von Technologieentwicklungen für ihre nachgelagerte Produktentwicklung bestmöglich abzuschätzen. Im Idealfall sogar durch die Nutzung methodischer Ansätze oder gar spezifischer Bewertungsinstrumente für die Bestimmung der Einsatzfähigkeit.

Schon während der Frühphase der Produktentstehung, in welcher die Einsatzfähigkeit von technologischen Entwicklungen nur begrenzt bestimmbar ist, muss bereits der Bedarf an Instrumenten und methodischen Ansätzen geklärt werden, damit eine Entscheidungsfindung für oder gegen den Einsatz von Technologien auf breiter Basis möglich ist (Warschat 2011, S. 63; Spath und Leyh 2011, S. 32). Diese Bedarfe führen in der Unternehmenspraxis aber gegenwärtig häufig noch zu Problemstellungen und Unwägbarkeiten.

---

<sup>1</sup> Max Planck, deutscher Physiker und Nobelpreisträger (1858-1947)

## 1.2 Problemstellungen

Dem notwendigen Dialog zwischen Entscheidern und Entwicklungsteams fehlt gegenwärtig bezüglich der Einsatzfähigkeit von Technologien häufig noch die „gemeinsame Sprache“ (vgl. La Croix 2008, S. 8). Entscheider wie auch Projektbeteiligte verwenden im Projektverlauf unbeabsichtigt eigene Definitionen oder Richtwerte zur Reifegradbeurteilung. Dadurch entstehen Missverständnisse und Fehler, die sich in Leistungsabweichungen, Kostenüberschreitungen oder gar Terminverzögerungen niederschlagen können und als Folge den erwarteten technologischen Fortschritt und Zeitvorsprung verfehlen (vgl. La Croix 2008, S. 8; Eldred 1997). Die Wahrnehmung des Reifegrads von Entwicklungen gerät dadurch zu einer personenabhängigen Beurteilung und kann bisweilen nicht objektiv dargestellt werden.

Die wissenschaftliche Diskussion kennt verschiedene Ansätze für Technologieentwicklungsprozesse (Stage-Gate-Prozesse), die bei einer genaueren Betrachtung Mängel aufzeigen. Konkret finden sich derzeit, neben diesen bestehenden Technologieentwicklungsprozessen, keine Instrumente, die in direktem Zusammenhang zur Technologieentwicklung sowohl eine systematische Ermittlung der Einsatzfähigkeit von Technologien gewährleisten als auch gleichzeitig strategische Ziele einer vorausgegangenen Technologieplanung überprüfen. Der Anspruch an ein ganzheitliches Instrument für die Entwicklung und Verwertung von Technologien nach dem strategischen Entscheid wird dadurch gegenwärtig nur unzureichend abgedeckt. Insbesondere fehlen standardisierte Entscheidungshilfen zur Ermittlung der Einsatzfähigkeit und Reife von Technologien, vgl. (La Croix 2008, S. 8). Offen ist beispielsweise auch, wie Unternehmen einzelne Bewertungsmethoden oder gar Reifegradmodelle zur Entscheidungsfindung optimal einsetzen sollten. Mit Blick auf zentrale Wissenschaftsbereiche wie der prozessbasierten Technologiebewertung als auch der Reifegradmodell-Betrachtung zeigen sich diesbezüglich Unzulänglichkeiten. So fallen bei der Betrachtung von Methoden und Verfahren der Technologiebewertung signifikante Defizite hinsichtlich Bewertungsvielfalt und Bewertungszeitpunkt als auch ein Fehlen repräsentativer Kennzahlen zur Evaluation von Technologieentwicklungen auf. Nicht zuletzt zeigt eine kritische Betrachtung von Reifegradmodellen Mängel im Bewertungsumfang wie auch den praktischen Einsatzmöglichkeiten in der Technologieentwicklung auf.

Zusammenfassend bleibt zur Problemstellung festzuhalten, dass die vorhandenen wissenschaftlichen Instrumente oft nur Einzelaspekte der Entscheidungsfindung abdecken. Sie erzeugen Unsicherheiten, ohne die Anforderungen der Unternehmenspraxis exakt zu berücksichtigen. Technologieorientierte Unternehmen sind jedoch vor dem Hintergrund vielfältiger Herausforderungen, wie stark verändernder Märkte und wechselnder Wettbewerbsbedingungen, auf standardisierte Werkzeuge angewiesen, die sie bei der Bewertung von Technologien in der Technologieentwicklung unterstützen und Entscheidern die notwendigen und eindeutigen Informationen zur Entscheidungsfindung liefern.

## 2 Zielsetzung und Aufbau

### 2.1 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist es, eine bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung zu entwickeln, welche über die reine Projektfortschrittsbetrachtung hinaus quantifizierbare Aussagen zur Einsatzfähigkeit und Reife von Technologiekonzepten liefert und prinzipielle Handlungsmaßnahmen für die Weiterentwicklung ableitet. Die Tauglichkeitsprüfung ist dabei auf Technologiekonzepte von Produkttechnologien ausgerichtet. Fertigungstechnologien werden insofern betrachtet, als dass sie für die Eignung zur Fertigbarkeit von Produkttechnologien überprüft werden. Eine detailliertere Betrachtung ist jedoch nicht Bestandteil der vorliegenden Arbeit.

Zur Erreichung dieses Ziels lassen sich fünf wesentliche Teilziele formulieren:

1. Die bewertungsbasierte Vorgehensweise soll es ermöglichen, Technologiekonzepte anhand von strategischen als auch entwicklungsbezogenen Zielen zu kategorisieren und darauf aufbauend eine Tauglichkeitsprüfung zu initiieren. Hierbei sollen Neu- und Substitutionsentwicklungen von Produkttechnologien auf deren Tauglichkeit hin überprüft werden können. Dabei soll die Tauglichkeitsprüfung bedarfsbezogen im Verlauf eines Technologie-Entwicklungsprozesses initiiert und wiederholt eingesetzt werden können.
2. Die bewertungsbasierte Vorgehensweise soll es technologieorientierten Unternehmen gestatten eine Steuerung und Kontrolle von Entwicklungszielen in der Technologieentwicklung durchzuführen. Um Technologiekonzepte ganzheitlich auf deren Einsatzfähigkeit hin zu überprüfen, soll eine mehrperspektivische Tauglichkeitsprüfung durchgeführt werden. Dies soll durch eine gezielte Kombination und Integration von Bewertungsmethoden ausgeführt werden. Gleichzeitig soll in der zu entwickelnden Vorgehensweise eine Prüfung von Technologiekonzepten bei vollständigem und unvollständigem Informationsgehalt ermöglicht werden, wobei der Schwerpunkt der Vorgehensweise auf der Bestimmung von Tauglichkeitskennwerten liegt.
3. Um auf Entwicklungsveränderungen reagieren zu können, soll die bewertungsbasierte Vorgehensweise Tauglichkeitsprüfungsergebnisse aufgreifen und unter Berücksichtigung unternehmerischer Ressourcen Handlungsmaßnahmen ableiten. Die abzuleitenden Maßnahmen sollen klare sowie verständliche Aktivitäten zur Weiterentwicklung oder zum Abbruch von Entwicklungsaktivitäten liefern.
4. Die bewertungsbasierte Vorgehensweise soll insbesondere eine Bewertung aller eingesetzten Produkttechnologien eines Technologiekonzepts gewährleisten. Dabei sollen die jeweiligen Technologien in ihren technisch-funktionalen Zusammenhängen dargestellt und auf Komponentenebene auf deren Tauglichkeit überprüft werden.
5. Schließlich soll die bewertungsbasierte Vorgehensweise als durchgängiges Bewertungsinstrument für die Technologieentwicklung dienen, indem neben reinen Evaluationsphasen auch eine Zieldefinitions- sowie Maßnahmenableitungsphase bereitgestellt werden. Die bewertungsbasierte Vorgehensweise soll durch ihre Steuerungs- und Kontrollaufgaben in der Technologieentwicklung genutzt werden, um Entscheider bei der Entscheidungsfindung zu unterstützen. Hierfür soll die Vorgehensweise auf die operative Technologieentwicklung beschränkt werden. Angrenzende Aufgabenbereiche des Technologiemanagements, wie die Technologieplanung, sollen insofern berücksichtigt werden, als dass Technologieplanungsziele für die Technologieentwicklung aufgegriffen werden.

Die bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten soll an einem Technologieentwicklungsprojekt zur integrierten Wegmessung und Positionsbestimmung von Antriebselementen der Unternehmenspraxis erprobt werden.

## 2.2 Aufbau und Kapitel

Der Aufbau und die Kapitelunterteilung für die Arbeit werden in Abb. 1 gezeigt. In Kap. 3 werden zunächst relevante Begriffe des Technologiemanagements hergeleitet und deren Bedeutung für die vorliegende Arbeit herausgestellt. Hierfür werden vornehmlich die Aufgabenfelder der Technologieentwicklung betrachtet und die Problemstellung im Themenfeld konkretisiert. Anschließend wird die Technologiebewertung im Anwendungszusammenhang der Technologieentwicklung analysiert. Es werden zunächst wesentliche Grundlagen der Technologiebewertung aufgezeigt und deren Unterschiede in Bezug zur Bewertungsaufgabe verdeutlicht sowie die Tauglichkeitsprüfung in ihrer ersten Form definiert.

Kap. 4 untersucht im weiteren Verlauf aus der Literatur identifizierte tauglichkeitsbezogene Bewertungsmethoden und integrierte Bewertungsverfahren auf deren Einsatzfähigkeit in der Technologieentwicklung hin. Ausgewählte Methoden und Ansätze werden hierfür detailliert betrachtet und Defizite herausgearbeitet. Ebenso werden tauglichkeitsbezogene Reifegradmodelle einer kritischen Prüfung unterzogen. Zuvor werden jedoch wesentliche Grundlagen für Reifegradmodelle eingeführt als auch eine Gegenüberstellung mit den Aufgabenfeldern und Schnittmengen zu einer Technologieentwicklung vorgenommen.

Kap. 5 befasst sich mit der Konzeption der bewertungsbasierten Vorgehensweise. Hierfür wird zunächst ein Systemmodell für Technologiekonzepte zur Überprüfung der Tauglichkeit definiert. Anschließend werden die Bestandteile der bewertungsbasierten Vorgehensweise vorgestellt, welche sowohl die Einführung von Reifegradkennwerten und Bewertungsperspektiven als auch die Festlegung geeigneter Werkzeuge zur Tauglichkeitsprüfung umfassen. Zum Abschluss des Kapitels wird zur besseren Übersicht eine Strukturierung der Vorgehensweise vorgenommen.

In Kap. 6 werden die Anforderungen an die bewertungsbasierte Vorgehensweise erläutert, welche aus den identifizierten Defiziten bestehender tauglichkeitsbezogener Bewertungsmethoden, integrierten Bewertungsverfahren und Reifegradmodellen aus dem vorhergehenden Kap. 4 abgeleitet sind.

Kap. 7 wendet sich der Entwicklung der bewertungsbasierten Vorgehensweise zu, wobei diese anhand der vier Phasen Zielbestimmung, Entwicklung, Bewertung sowie Ableitung von Maßnahmen erläutert und in ihren einzelnen Teilschritten detailliert wird.

Die Einsatzfähigkeit der bewertungsbasierten Vorgehensweise wird in Kap. 8 überprüft und anhand eines Praxisfalls dargestellt.

In Kap. 9 folgen die Evaluation und Diskussion der entwickelten Vorgehensweise. Eine abschließende Zusammenfassung der bewertungsbasierten Vorgehensweise sowie ein Ausblick werden in Kap. 10 gegeben.

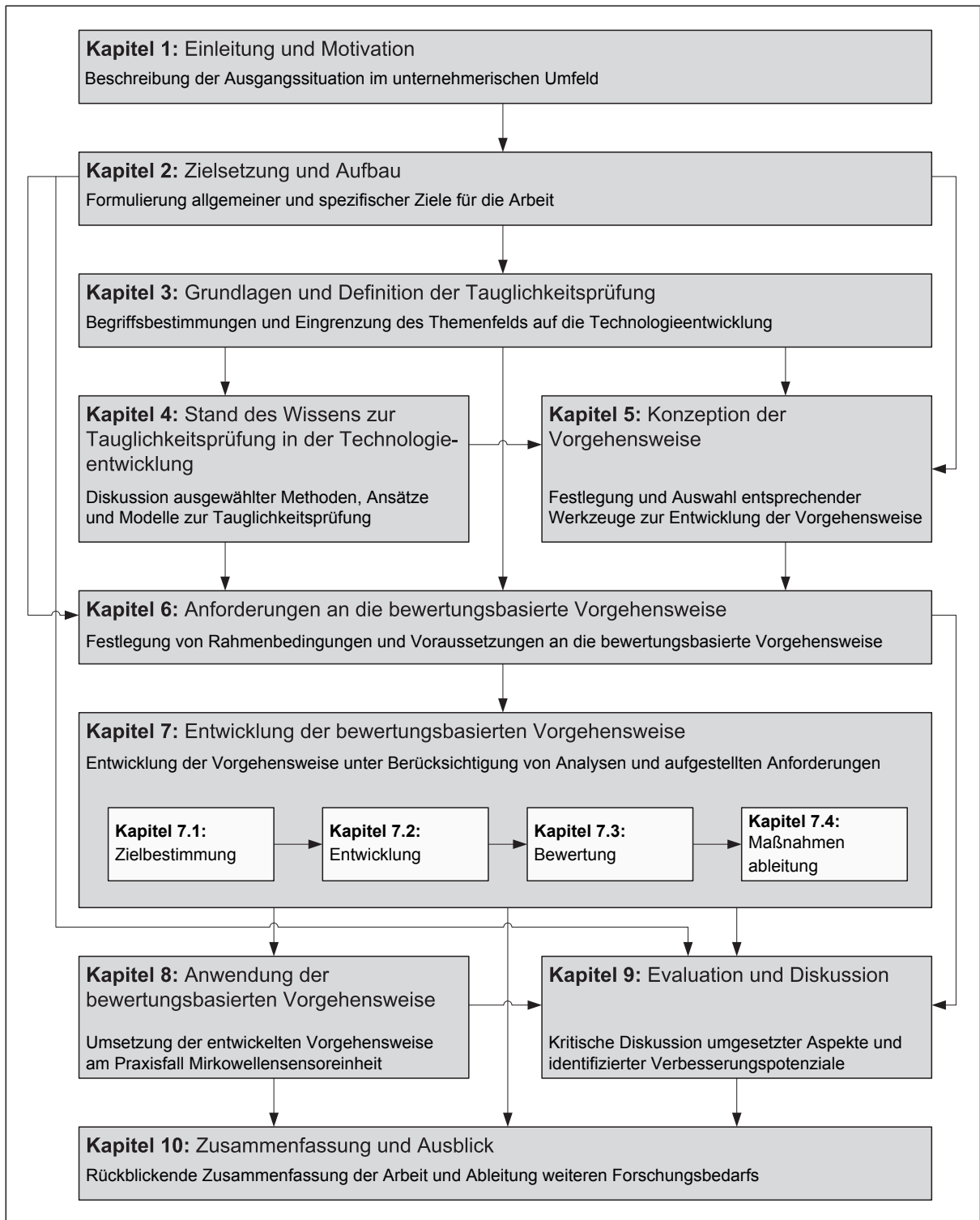


Abb. 1: Inhaltliche Strukturierung der Arbeit

### 3 Grundlagen und Definition der Tauglichkeitsprüfung

Nach einer vorhergehenden Zieldefinition und Darstellung des Aufbaus der Arbeit werden im vorliegenden Kap. 3 die wichtigsten Grundlagen erläutert und thematische Abgrenzungen im Themenfeld des Technologiemanagements vorgenommen. Darauf aufbauend werden die Technologieentwicklung als auch Technologiebewertung als Teilaspekt des Technologiemanagements vorgestellt und die Problemstellung der Arbeit abgeleitet.

#### 3.1 Grundlagen

Um die Begriffe „Technologieentwicklung“ und „Tauglichkeitsprüfung“ in ihrem Anwendungszusammenhang einführen zu können, werden zunächst Begriffe wie „Technologie“ und „Technik“ bis hin zum Technologiemanagement definiert und entsprechend ihrer Aufgabengebiete spezifiziert.

##### 3.1.1 Zentrale Begriffe

Der Begriff **Technologie**<sup>2</sup> ist nach BULLINGER als „das Wissen um naturwissenschaftlich-technische Zusammenhänge zur Lösung technischer Problemstellungen“ zu verstehen (Bullinger 1994, S. 34, 49). Im Besonderen werden Technologien genutzt, um anwendungsbezogenes Wissen, Fähigkeiten sowie Erfahrungen auf physische Objekte zu übertragen und hierdurch eine Ausgangsbasis in Form von Ziel-Mittel-Beziehungen zur Entwicklung von Produkten zu schaffen (Bullinger 1994, S. 32; Pfeiffer 1991, S. 35; Gassmann und Kobe 2006; Schuh 2011, S. 34). Durch die existenten Ziel-Mittel-Beziehungen weisen Technologien materielle als auch immaterielle Eigenschaften auf (vgl. Stephan 2003, S. 136f).

In Abgrenzung zum Begriff „Technologie“ ist nach SCHUH das resultierende Ergebnis eines Technologieeinsatzes als **Technik** zu verstehen (vgl. Schuh 2011, S. 34). Die Technik wird in diesem Zusammenhang als „reale Anwendung eines von der Technologie zur Verfügung gestellten Problemlösungswissens verstanden“ (vgl. Specht 2002a, S. 328; Bürgel 1996, S. 13). Im Vergleich zur Technologie erzeugt die Technik in Unternehmen materielle Ergebnisse hinsichtlich konkreter Produkte oder Verfahren (vgl. Specht 2002b, S. 13; Tschirky 1998, S. 227; Gerpott 1999, S.18).

Eine klare Trennung der Begriffe „Technologie“ und „Technik“ - wie im vorigen Abschnitt dargestellt - findet im allgemeinen Sprachgebrauch eher selten statt. Die Technologie ist zu meist eng mit dem Begriff Technik verbunden. Übergänge zwischen dem Einsatz von Technologien und Techniken sind dadurch oftmals fließend (vgl. Gerpott 1999, S. 19; Specht 2002a, S. 331). Für die vorliegende Arbeit ist dagegen der Begriff Technologie in seiner Definition und Abgrenzung zur Technik von Bedeutung und für die folgenden Kapitel von Gültigkeit. Die Technik wird in dieser Arbeit als nachgelagerte Realisierungsform der Technologie betrachtet. Bewertungen und Überprüfungen von Techniken im Rahmen eines Innovationsmanagements sind somit nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Dies schließt auch die Technikbewertung vgl. bspw. (Rapp 1999) ein; sie ist also auch nicht Gegenstand der Arbeit.

---

<sup>2</sup> Der Begriff Technologie wird in der Literatur unterschiedlich interpretiert. So definieren bspw. SPECHT et al. Technologie in einer allgemeinen Form, als „wissenschaftliche Erkenntnis über Ziel-Mittelbeziehungen, welche sich auf praktische Probleme anwenden lassen“ (Specht 2002a, S. 330). ROPOHL definiert Technologie „als die Wissenschaft von der Technik [...], indem Technologie die Menge wissenschaftlich systematisierter Aussagen über jenen Wirklichkeitsbereich“ darstellt (Ropohl 2009 S. 31f). Weitere Definitionen finden sich bspw. bei: (Zahn 1995, S. 3-32; Bürgel 1996, S. 13; Sommerlatte und Deschamps 1986; Servatius 1985, S. 35; Zörgiebel 1983, S. 11). Außerdem geben EWALD (Ewald 1989) und QIAN (Qian 2002) in ihren Arbeiten eine Übersicht zu den unterschiedlichen Auffassungen des Terminus Technologie. Unter Berücksichtigung der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit wurde aus der Literatur die Definition von BULLINGER gewählt.

### 3.1.2 Klassifizierung und Systematisierung von Technologien

Nach einer grundsätzlichen Einordnung der beiden Begriffe „Technologie“ und „Technik“ ist für die vorliegende Arbeit ein vertieftes Verständnis für Technologiearten und deren Einsatz im Unternehmensumfeld notwendig. Technologien können unter Berücksichtigung der Begriffsdefinition aus Kap. 3.1.1 zunächst in Form von Produkt-, Fertigungs- oder Materialtechnologien in Unternehmen zur Problemlösung beitragen (vgl. Tschirky 1998, S. 236; Zahn 1995, S.6). An erster Stelle sind zunächst die Produkttechnologien zu nennen, welche durch die Erzeugung gewünschter Funktionen zur Realisierung von Produktfunktionen dienen. Diese Technologieform kennzeichnet das einem Produkt unmittelbar zugrunde liegende Wirkprinzip und bestimmt neben Produkteigenschaften unter anderem auch den Kundennutzen, (vgl. Hofbauer und Nikolaus 2009, S. 46). Vergleichbares gilt für Fertigungstechnologien und deren Einsatzzweck. Sie bieten technische Lösungen für fertigungstechnische Problemstellungen und werden zur Erzeugung von Produkten herangezogen (vgl. Strebel 2007 S. 49; Tschirky 1998 S. 228). Eine direkte Verwertung dieser Technologieform in Produkten liegt hier jedoch nicht vor, vielmehr ist hier von einer mittelbaren Nutzung zu sprechen. Materialtechnologien fließen durch ihr formgebendes oder oberflächenbezogenes Lösungspotential ebenfalls nur indirekt in Produkte ein. Aufgrund vorherrschender Wettbewerbsdynamiken sind Unternehmen bestrebt, insbesondere Produkt- als auch Fertigungstechnologien aufgrund ihrer Abhängigkeiten voneinander in gleicher Weise voranzutreiben (vgl. Tschirky 1998, S. 236). Für die vorliegende Arbeit sind im Speziellen Produkttechnologien für die Entwicklung von Produkten von wesentlicher Bedeutung. Ihren Entwicklungsverlauf und Wertbeitrag zur Problemlösung gilt es in der Technologieentwicklung abzubilden (vgl. Kap. 3.3).

Für den Einsatz von Technologien in Unternehmen ist neben dem Problemlösungspotential ebenfalls deren branchenbezogene Anwendungsbreite von Bedeutung. Spezifische Technologien weisen in diesem Zusammenhang ein eng begrenztes Anwendungsfeld auf. Ihr Problemlösungsbezug und ihre Lösungsmöglichkeiten sind auf wenige, vor allem spezifische Anwendungen eingegrenzt. Querschnittstechnologien dagegen sind aufgrund ihres breiten Anwendungsspektrums, wie beispielsweise die Mikroelektronik, in verschiedenen wertschöpfenden Bereichen von Unternehmen einsetzbar (vgl. Zahn 1995, S. 7; Tschirky 1998, S. 235). Neben der Anwendungsbreite sind beim direkten Vergleich von Technologien auch auftretende Interdependenzen für einen unternehmerischen Einsatz bzw. dem daraus resultierenden Technologieentscheid wichtig. So verschaffen Konkurrenztechnologien im unternehmerischen Kontext die Möglichkeit, gleiche oder ähnliche Funktionen zu realisieren und eine technische Alternative zur Problemlösung bereitzustellen (vgl. Bullinger 1994, S. 97). Existieren unter technisch-ökonomischen Gesichtspunkten alternative Problemlösungen zum Bestehenden, wird von Substitutionstechnologien gesprochen. Bei einer Erweiterung und Verbesserung technischer Problemlösungen durch einen Technologieeinsatz im Unternehmen ist von „Komplementärtechnologien“ die Rede (vgl. Bullinger 1994, S. 97).

Zusätzlich führen ein stetiger Wandel und schnell wechselnde Ansprüche von Märkten dazu, dass Technologien signifikanten Veränderungen ausgesetzt sind. Häufig verursachen die von Märkten ausgehenden Dynamiken sogar die Verdrängung vorherrschender Technologien durch neue oder verbesserte Technologien. Ähnlich wie Produkte sind demzufolge auch Technologien einem systematisierbaren Verlauf, d.h. sogenannten Lebenszyklen unterworfen (vgl. Bullinger 1994, S. 113; Wallentowitz 2009, S. 93). Im Technologielebenszyklus-Modell nach A.D. Little lassen sich derartige Verläufe von der Entstehung über die Verbreitung bis hin zur Verdrängung vorherrschender Technologien erfassen (vgl. Stummer et al. 2010, S. 32; Specht 2002b, S. 66-68). Unter Berücksichtigung ihres Lebenszyklus und ihrer

Wettbewerbsrelevanz können Technologien<sup>3</sup> demnach idealtypisch unterteilt werden in (Bullinger 1994, S. 96; Hofbauer und Nikolaus 2009, S.47):

- **neue Technologien**, die aufgrund technisch-ökonomischer Problemstellungen nur eine unsichere wettbewerbsstrategische Relevanz bieten.
- **Schrittmachertechnologien**, deren technische Leistungsfähigkeit wegen ihres frühen Entwicklungsstadiums derzeit zwar noch unsicher, aber aufgrund von Weiterentwicklungsmöglichkeiten mit zeitnaher Marktreife zu rechnen ist.
- **Schlüsseltechnologien**, die wegen ihrer Wachstumsphase und zunehmenden Etablierung in Branchen erhebliche Potenziale zur Wettbewerbsdifferenzierung und Einstiegsmöglichkeiten in Märkte bieten.
- **Basistechnologien**, die ihre Wachstumsphase bereits überschritten haben und Unternehmen keine Differenzierungsmöglichkeiten zum Wettbewerb mehr versprechen.
- **verdrängte Technologien**, die letztlich durch neue oder verbesserte Technologien substituiert werden.

Die Zeitspanne eines solchen Entwicklungsverlaufes von der Entstehung einer Technologie bis zu ihrer Verdrängung übersteigt meist jene von Produktlebenszyklen, in denen die betreffende Technologie Einsatz findet (vgl. Tschirky 1998, S. 238; Stummer et al. 2010, S. 44). Bei abnehmender oder fehlender Wettbewerbsrelevanz können Technologien sogar frühzeitig verdrängt bzw. durch vergleichbare Technologien substituiert werden. Dabei ist in Unternehmen keineswegs von einem schnellen Wechsel oder Übergang von Technologien auszugehen. Solch eine Weiterentwicklung und Ablösung kann sich über mehrere Jahre oder gar Jahrzehnte vollziehen und kann Unternehmen zwischenzeitlich als Mittel zur Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit dienen.

### 3.1.3 Leistungsfähigkeit und Reifegrade von Technologien

Wie die Darstellungen aus Kap. 3.1.2 zeigen, kommt es im unternehmerischen Umfeld immer wieder zur Verdrängung oder Ablösung von Basistechnologien durch leistungsfähigere und verbesserte Technologien. Die Leistungsfähigkeit von Technologien nimmt dabei eine zentrale Rolle bei der Entscheidungsfindung ein. Zur Verdeutlichung zeigt Abb. 2 beispielhaft den Verlauf zweier Technologien in Abhängigkeit von Leistungsfähigkeit und investierten Aufwänden als S-Kurvenkonzept<sup>4</sup> auf (vgl. Specht 2002b, S. 70). Die kumulierten Entwicklungsaufwände für eine Technologie führen zunächst in der Anwendung und Nutzung zum Anstieg der Leistungsfähigkeit, bis asymptotisch eine physikalische Leistungsgrenze erreicht ist und es zum Ersatz durch eine andere Technologie (Substitutionstechnologie) kommt (vgl. Strebel 2007, S. 45). Der Ersatz durch die Substitutionstechnologie kann dabei zunächst auf einem niedrigeren Leistungsfähigkeitsniveau, wie die Vorgängertechnologie erfolgen. Die weiteren Technologieentwicklungsaufwände führen dann über einen bestimmten Zeitraum hinweg zur Leistungsfähigkeitssteigerung sowie Reifung der Substitutionstechnologie und übersteigen im Entwicklungsverlauf somit jene der Vorgängertechnologie.

---

<sup>3</sup> Detaillierte Erläuterungen zur lebenszyklusbezogenen Technologieunterscheidung finden sich darüber hinaus bei: (Tschirky 1998, S. 232-238; Gerpott 1999, S. 27; Wallentowitz 2009, S. 92f; Zahn 1995; Spur 1998, S. 86f; Gerybadze 2004, S. 130; Bullinger 1994, S. 96-97; Hammer 1996, Strebel 2007, Servatius 1985, S. 134; Sommerlatte und Deschamps 1986, S. 39-80).

<sup>4</sup> Die Literatur bietet neben dem dargestellten S-Kurvenkonzept nach McKinsey weitere Konzepte zur Technologielebenszyklusbetrachtung auf (vgl. Bullinger 1994, S.108-117; Höft 1992, S.74-87). So werden neben dem Ausbreitungsgrad von Technologien (Technologielebenszyklusmodell nach Ford und Ryan 1983, S. 22-305) und der Anwendungs- bzw. Einsatzhäufigkeit einer Technologie (Technologie-Technik-Lebenszyklusmodell Höft 1992, S. 82) über die zeitliche Entwicklung hinweg auch die Akzeptanzmessung neuer Technologien aus Anwendersicht durch das Hype-Cycle Modell nach Gartner (vgl. Linden und Fenn 2003, S.7-11 und Anhang 12.1) betrachtet.

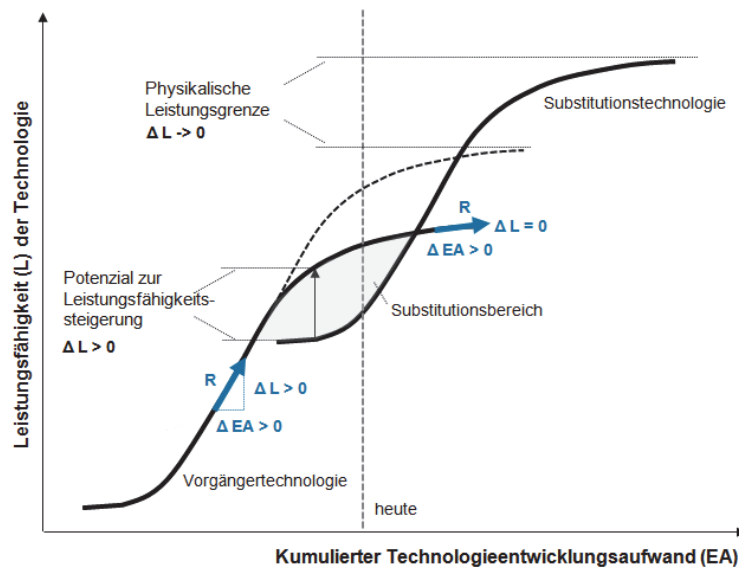


Abb. 2: Technologielebenszyklus und Leistungsgrenzen beispielhaft dargestellt nach (Krubasik 1982) sowie in Anlehnung (Specht 2002b, S. 70; Stummer et al. 2010, S. 34; Bullinger 1994, S. 125).

Das S-Kurvenkonzept geht im Kern demzufolge der Frage nach, wann Investitionen in Technologieentwicklungen bei spezifischen Anwendungen noch zu technischen Leistungssteigerungen führen oder ein Wechsel zu neuen Technologien notwendig wird. Der S-förmige Verlauf zeigt das Verhältnis zwischen den Entwicklungsaufwänden und den technischen Leistungssteigerungen, die durch die getätigten Investitionen erzielbar sind auf (vgl. Specht 2002b, S. 70). Der Reifegrad einer Technologie kann an dieser Stelle in einer ersten Form als Zunahme technischer Leistungsfähigkeit unter Berücksichtigung einzubringender Investitionen über einen festgelegten Zeitraum und für spezifische Anwendungen hinweg definiert werden<sup>5</sup>. Eine vollständige Technologiereife ist nach Abb. 2 erreicht, wenn Entwicklungsaufwände nur noch marginale bzw. keine Steigerungen der technischen Leistungsfähigkeit mehr ermöglichen und ein konstantes Reifegradniveau erreicht wurde. Die Technologie stößt an ihre Grenzen und es kommt zur Ablösung im Anwendungsfeld (vgl. Strebel 2007, S. 45).

Lebenszyklusmodelle, wie das S-Kurvenkonzept bieten Unternehmen eine Gelegenheit, die durch Unsicherheit geprägten und vom Umfeld beeinflussten Entwicklungsmöglichkeiten von Technologien zu beobachten und ggf. durch eine Substitutionsentscheidung in neue Technologien zu investieren (vgl. Adner 2004, S. 27; Heubach 2008, S. 34; Höcherl 1999, S. 8). Trotz der zukunftsgerichteten Abschätzungen des technologischen Weiterentwicklungspotentials ist die Einsatzfähigkeit solcher Modelle in der praktischen Anwendung jedoch zu meist begrenzt. So führen auf der einen Seite bspw. fehlende Leistungskenngrößen und eine adäquate Abbildung von Technologielebenszyklen zu begrenzender Gültigkeit. Auf der anderen Seite schlägt sich das Fehlen marktstrategischer und bedarfsbezogener Kriterien in einer einseitigen Betrachtungsweise nieder (vgl. Specht 2002b, S. 72; Adner 2004; Bullinger 1994, S. 128). Darüber hinaus verursacht die Festsetzung des richtigen Zeitpunkts für einen Technologiewechsel Entscheidungsproblematiken wie dies Abb. 2 durch einen Substitutionsbereich zwischen den beiden Technologien verdeutlicht (vgl. Tschirky 1998, S. 239; Strebel 2007, S. 45). Unternehmerische Entscheidungen können folglich nicht ausschließlich aus Lebenszyklusverläufen und deren Abschätzungen für Weiterentwicklungspotenziale abgelei-

<sup>5</sup> Eine lebenszyklusbezogene Definition zur Technologiereife findet sich beispielsweise bei SOMMERLATTE (Sommerlatte und Deschamps 1986). Hier wird der Reifegrad als Phasenverlauf im Technologielebenszyklus gesehen. Mit zunehmender Reife steigen Bekanntheits- sowie Verbreitungsgrad wohingegen Differenzierungs- sowie Wettbewerbspotentiale abnehmen und im Bereich von Basistechnologien bei erreichter Reife letztlich Substitution droht (vgl. Achatz 2012, S. 364).

tet werden. Vielmehr sollen solche Modelle als Sensibilisierungshilfe im Entscheidungsfindungsprozess genutzt und durch weiterführende Bewertungsinstrumente unterstützt werden (vgl. Stummer et al. 2010, S. 35; Gerpott 1999, S. 119). Für diese Arbeit sind die Steigerung der Leistungsfähigkeit für spezifische Anwendungen, der Einsatz von Entwicklungsaufwänden und auch ein sich daraus ergebender Reifegrad von zentraler Bedeutung. Diese Größen gilt es im Rahmen der Arbeit sowohl zu quantifizieren als auch zur Entscheidungsfindung nutzbar zu machen.

### **3.1.4 Anstöße, Kombinationen und Wirkungen technologischer Entwicklungen**

Auslöser und Impulsgeber für technologische Entwicklungen können in Unternehmen aus unterschiedlichen Richtungen erfolgen. Für die vorliegende Arbeit sind zwei wesentliche Stoßrichtungen - Market-Pull und Technologie-Push – zu unterscheiden (vgl. Vahs und Burmester 2005, S. 80).

Von einem Market-Pull ist die Rede, wenn Entwicklungsaktivitäten in Unternehmen durch latente Kundenbedürfnisse induziert und an deren Anforderungen ausgerichtet sind (vgl. Specht 2002b, S. 32; Voigt 2008, S. 375; Tintelnot et al. 1999, S. 5). Der wesentliche Impuls zur Entwicklung wird in diesem Fall vom Markt ausgelöst und durch gezielte Kombinationen bestehender Funktionen in Form von Produkten oder Technologien realisiert, um latente Kundenprobleme auf eine neuartige, innovative Art zu lösen (vgl. Vahs und Burmester 2005, S. 80; Herstatt 2000, S. 3). Als Hilfsmittel zur Lösungsgenerierung können methodische Ansätze wie bspw. das Quality Function Deployment<sup>6</sup> dienen (vgl. Schmeisser und Solte 2010a, S. 31). In der Regel führt ein Market-Pull-Anstoß zu Produkt- oder Verbesserungsinnovationen mit einem eher kurzfristigem Zeithorizont (vgl. Strebel 2007, S. 41).

Einen weitaus höheren Innovationsgrad können hingegen technologiegetriebene Aktivitäten erreichen, wenn der Anstoß zur Entwicklung aus Unternehmen heraus erfolgt (vgl. Schmeisser und Solte 2010b, S. 30). Dem bedarfsinduzierten Anstoß zur Entwicklung steht somit der autonom induzierte Technologie-Push gegenüber. Unter letzterem ist eine Entwicklung neuer Technologien bzw. eine neue Kombination bestehender Technologien für innovative Produkte und Problemlösungen zu verstehen (vgl. Specht 2002b, S. 32; Herstatt 2000, S. 3), was für die vorliegende Arbeit von wesentlicher Relevanz ist. Mit solchen Technologiekombinationen können sowohl in Forschungs- und Vorentwicklungsabteilungen, aber auch durch unternehmensübergreifende Kooperationen neue Produkte entstehen (vgl. Herstatt 2000, S. 3). Aufgrund ihres radikalen Innovationscharakters liegt das Risiko für Fehlschläge beim technisch induzierten Anstoß jedoch bedeutend höher als beim bedarfsinduzierten Anstoß (vgl. Strebel 2007, S. 41), was zu intensiven und kontinuierlichen Überprüfungen von Entwicklungsaktivitäten und Kundeninteraktionen in der Technologieentwicklung führt (vgl. Achatz 2012, S. 347).

Gerade beim technologiegetriebenen Entwicklungsanstoß stellt sich für Unternehmen außerdem die Frage, wie Technologien miteinander zu kombinieren sind um neue oder verbesserte Produkte anzubieten. So trägt ein Technologie-Push nicht nur zur Lösung technischer Problemstellungen bei, stattdessen bietet dieser sowohl ergänzende als auch integrierende Technologie-Kombinationsmöglichkeiten bei der Entwicklung von Produkten. SPATH und WARSCHAT unterscheiden in diesem Zusammenhang zwei Arten von Technologiekombinationen in der Technologieentwicklung (vgl. Spath und Warschat 2008, S. 2):

- Technologieaddition und

---

<sup>6</sup> Das Quality Function Deployment (QFD) entstammt in seinen Ursprüngen der Qualitätssicherung und kann als ein Instrument zur Planung sowie Entwicklung von Qualitätsfunktionen verstanden werden (vgl. Saatweber 2011, S. 29). Charakterisierendes Merkmal des QFD ist die Übertragung von Kundenanforderungen in Qualitätsmerkmale zur Entwicklung kundengerechter Produkte. Zur Aufnahme und Gegenüberstellung von Kundenanforderungen und Qualitätsmerkmalen wird ein Matrizenkomplex, als sogenanntes House of Quality, aufgebaut sowie eine Ermittlung kritischer Funktionen vorgenommen.

- Technologieintegration

Die Technologieaddition als Entwicklungsform vereinigt zwei oder mehrere Technologien naheliegender und beherrschter Anwendungsgebiete (wie bspw. Roboterarm und Schweißautomat) infolge ihrer resultierenden Wirkungen zu einem neuen Produkt (vgl. Spath und Warschat 2008, S. 2). Die Realisierung einer Technologieaddition kann nach Auffassung der Autoren grundsätzlich durch einfache Kooperationsformen im Unternehmensumfeld gelöst werden. Andernfalls kann in der additiven Technologieentwicklung durch das Zusammenbringen unterschiedlicher Kompetenzfelder die Einbeziehung von Forschungs- und Entwicklungspartnern notwendig werden. Die Technologieintegration als zweite Technologiekombination führt mehrere Technologien aus unterschiedlichen Fachdisziplinen in einem komplexen Gesamtsystem zusammen und verursacht in ihrer Form ganz neue Funktionalitäten (vgl. Findeisen 2006, S. 60). Im Vergleich zur additiven Technologieentwicklung sind die gegenseitigen Abhängigkeiten der einbezogenen Technologien in der Technologieintegration bedeutend vielfältiger und intensiver (vgl. Bullinger 2008, S. 2). Die integrative Technologieentwicklung setzt dadurch ein höheres Maß an interdisziplinärer Kooperation voraus, was sich wiederum in signifikanten Verlängerungen von Entwicklungsaktivitäten und -zeiten niederschlagen kann (vgl. Bullinger 2008, S. 2; Hirt 2011, S. 467). In der Unternehmenspraxis finden sich sicherlich beide Technologieentwicklungsformen und sind demnach in der vorliegenden Arbeit zu berücksichtigen.

Durch eine systematische Kombination von unterschiedlichen Technologien zu einem Gesamtsystem werden Wirkungen erzeugt, die zu neuen oder verbesserten Produkten führen können (vgl. Spath et al. 2012). Mit dem Einsatz von Technologiekombinationen ergeben sich neben verbessernden Aspekten auch Veränderungen, die sich im Betrachtungssystem als architekturzerstörende oder -erhaltende Effekte auswirken können. Die Architektur eines Systems wird somit durch den Einsatz von Technologien beeinflusst. Systeme sind in diesem Kontext als technische Objekte aufzufassen, die eindeutig von ihrer Umgebung abgegrenzt und durch gewollte Aufgaben charakterisiert sind (vgl. Kap. 5.1). Für die vorliegende Arbeit ist der Begriff „Funktion“ als eine abstrakte und lösungsneutrale Formulierung der Aufgabe eines technischen Systems - unter Berücksichtigung der Zusammenhänge von Ein- und Ausgangsgrößen – aufzufassen (vgl. Pahl 2007; Colani et al. 2011). Systematischen Zugang zu Funktionen in technischen Objekten bietet die nach VDI 2803 entwickelte Funktionsanalyse (VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Gestaltung Oktober 1996). Im Gegensatz hierzu sind Wirkungen als Ergebnisse der Umsetzung von Funktionen in technischen Systemen zu verstehen und durch physikalische Größen wie Kräfte oder Momente beschreibbar (vgl. Colani et al. 2011, S. F 3).

Unter Berücksichtigung der Zielsetzung dieser Arbeit ist festzuhalten, dass die Kombination technisch-funktionaler Aspekte und deren erzeugende Wirkungen als Grundlage zur Einschätzung von technologischen Entwicklungen dienen können. Sowohl das System- wie auch das Funktionsverständnis für Technologien und Produkte sind hierdurch für eine Technologieentwicklung von Bedeutung.

## 3.2 Das Management von Technologien

Um die in den vorigen Abschnitten vorgestellten Ausprägungen und Aspekte von Technologien als Unternehmen optimal einsetzen und verwerten zu können ist ein entsprechendes Management unabdingbar. Dieses soll entsprechend der Leistungsfähigkeit, Kombinatorik oder Wirkung von Technologien Rahmenbedingungen für unternehmerisches Handeln schaffen. In der Literatur sind in den vergangenen Jahren unterschiedliche Definitionen, bspw. nach (Bullinger 1994, S. 39; Brockhoff 2010, S. 153; Strebel 2007, S. 25; Gerpott 1999, S. 58f; Specht 2002a, S. 357; Tschirky 1998, S. 227f) zum Aufgabenspektrum und den Inhalten eines Technologiemanagements erschienen. So ist für STREBEL (Strebel 2007, S. 25) neben planenden, koordinierenden und verwertenden Aufgaben im Technologiemanagement vor allem das Wissensmanagement von Bedeutung. Ganz anderer Auffassung sind CETINDAMAR et al. (Cetindamar et al. 2009 und Phaal et al. 2001). Für die Autoren ist Technologiemanagement in Unternehmen vielmehr auf die richtige Auswahl, Pflege und Weiterentwicklung von Technologien ausgerichtet und zwischen den Wechselwirkungen von Technology Push und Market Pull verortet (vgl. Cetindamar et al. 2009). Den zum Teil sehr unterschiedlichen Auffassungen der Autoren ist zu entnehmen, dass – abgesehen vom gemeinsamen Planungsaspekt (vgl. Schuh et al. 2011b, S. 15) - kein einheitliches Begriffsverständnis für das Technologiemanagement vorherrscht. Die vorliegende Arbeit fasst den Begriff „Technologiemanagement“ unter Berücksichtigung der Ausführungen von SPECHT (Specht 2002a, S. 357) und GERPOTT (Gerpott 1999, S. 59) als auch der produkttechnologischen Zielsetzung aus Kap. 2.1 deshalb wie folgt auf:

„Technologiemanagement kann als die Planung, Organisation, Realisierung sowie Kontrolle des Wissens (i.S.v. Kenntnissen, Kompetenzen und Aktionen) über Technologien definiert werden, welches im Unternehmen für die Schaffung von Produkten erforderlich oder bereits vorhanden ist. Das Technologiemanagement umfasst hierbei insbesondere die Bereitstellung neuer Technologien für das Unternehmen, die Durchsetzung des Einsatzes dieser Technologien in Produkten [...], als auch die interne sowie externe Verwertung neuer Technologien, welche durch das Unternehmen erarbeitet wurden.“

Mit dieser Definition zum Technologiemanagement ist auch die Bereitstellung „benötigter Technologien zum richtigen Zeitpunkt und zu angemessenen Kosten“ zu verstehen (vgl. Klappert et al. 2011b, S. 5). In Erweiterung kann hier sogar der Auffassung von QIAN gefolgt werden. Die Autorin sieht Technologiemanagement in Unternehmen als eine Form von Wertsteigerung an, indem durch eine Generierung technologischer Innovationen, einer Verbesserung von Marktpositionen und einer Realisierung nachhaltiger Gewinne letztlich eine Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit erfolgt (vgl. Qian 2002, S. 39; Vahs und Burmester 2005). Das Technologiemanagement nimmt durch solche Tätigkeitsfelder, wie von KLAPPERT et al. und QIAN beschrieben, eine essentielle Querschnittsaufgabe im Unternehmen ein und wirkt sich so auch auf nachgelagerte Unternehmensbereiche, wie die Produktentwicklung, als auch die Wettbewerbsfähigkeit aus.

BROCKHOFF (Brockhoff 1999) führt zum besseren Verständnis des Managementbegriffs die drei wesentlichen Tätigkeitsfelder eines Technologiemanagements nochmals graphisch zusammen (siehe Abb. 3):

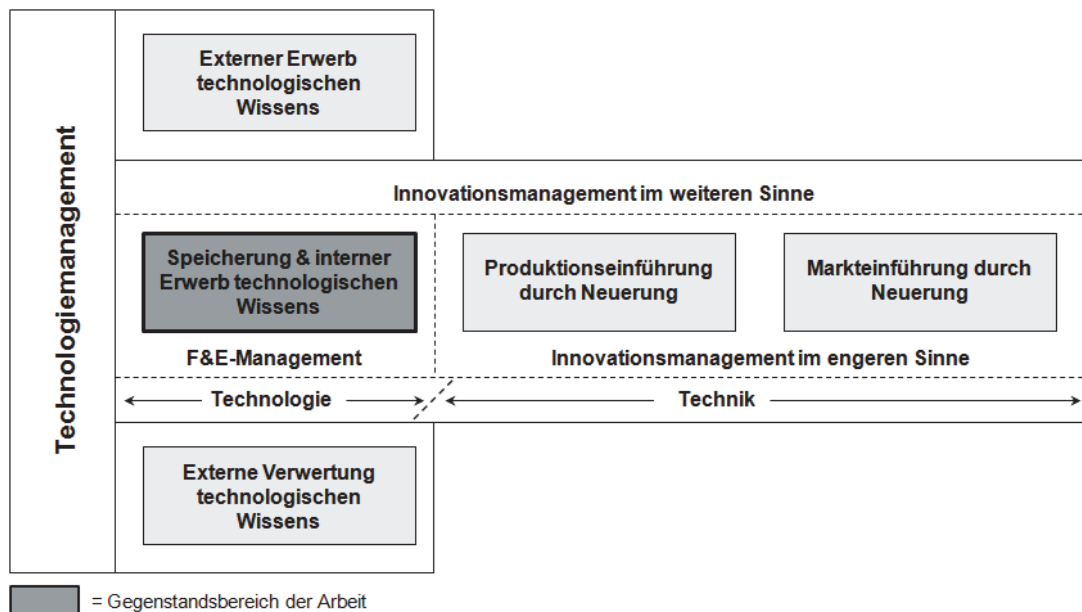


Abb. 3: Eingrenzung des Technologiemanagements für die vorliegende Arbeit (vgl. Brockhoff 1999, S. 71, 153f)

So dient das Management von Technologien in Unternehmen insbesondere dazu, Wissen zu beschaffen, zu speichern oder auf andere Art systematisch aufzubauen und in entsprechenden Situationen unter wirtschaftlichen wie auch strategischen Gesichtspunkten zu verwerten. Wegen der zugrunde gelegten Tätigkeitsfelder kann es dabei zu Überlagerungen mit anderen in Unternehmen vorherrschenden Managementfeldern wie dem F&E-Management und dem Innovationsmanagement kommen. Zunächst sei an dieser Stelle auf das F&E-Management hingewiesen. Mit seinen planenden und koordinierenden Aufgaben von Prozessen, Programmen und Projekten zur Wissensbeschaffung weist es große Wechselwirkungen zum Technologiemanagement auf (vgl. Brockhoff 1999; Achatz 2012, S. 93). So können nicht zuletzt wesentliche Impulse für Technologieentwicklungen durch Ergebnisse der angewandten Forschung im Unternehmen bezogen und zum Kompetenzaufbau genutzt werden (vgl. Specht 2002, S. 52). Auch auf das Innovationsmanagement sei an dieser Stelle kurz eingegangen. Als angrenzende Disziplin zum F&E-Management verfolgt es vornehmlich das Ziel Produktideen in wirtschaftlich erfolgreichen Produkten umzusetzen. Mit seinen weitreichenden an Technologien anschließenden und zum Teil auch nicht-technischen Aspekten wie der Markteinführung und –durchdringung von Produktentwicklungen weist es aber eher einen mittelbaren als direkten Bezug zum Technologiemanagement auf (vgl. Specht 2002a; Jahn 2010, S. 12). Für die vorliegende Arbeit ist vor dem Hintergrund einer Technologieentwicklung die interne Speicherung und der Erwerb von technologischem Wissen sowie ein damit verbundener Kompetenzaufbau von großer Bedeutung, vgl. Abb. 3. Das angrenzende F&E-Management ist hierdurch in seinen Grundzügen ebenfalls von Relevanz, vgl. Kap.3.3. Der externe Erwerb und die Verwertung technologischen Wissens sind für diese Arbeit hingegen nicht von Bedeutung, wozu auch das Innovationsmanagement mit seiner nachgelagerten Entwicklung und Markteinführung von Produkten gezählt werden kann. Dieses ist ebenfalls nicht Bestandteil der Arbeit, wie bereits in Kap. 3.1.1 kurz erläutert.

Die Begriffe strategisches und operatives Technologiemanagement werden in dieser Arbeit mehrmals angesprochen, weshalb sie an dieser Stelle kurz genannt seien. Das strategische Management ist für die vorliegende Arbeit als frühzeitige Identifikation, Wertzuweisung, Beherrschung, aber auch Ablösung von Technologien unter markt- und wettbewerbsrelevanten Aspekten zu verstehen (vgl. Hofbauer und Bergmann 2012, S. 18; Haag 2011, 312). Demgegenüber befasst sich das operative Technologiemanagement vorrangig mit der kurz- bis mittelfristigen Realisierung und Umsetzung strategischer Aufgabenstellungen und Erfolgspotenziale. BLEICHER sieht zwischen der Umsetzung technologischer Potenziale auf der operativen Ebene und deren Formulierung auf strategischer Ebene vielfältige Wechselwirkungen und Rückkopplungen (vgl. Bleicher 2011, S. 80). Für die vorliegende Arbeit sind insbesonde-

re die Überprüfung und Steuerung technologischer Entwicklungen unter Berücksichtigung solch formulierter Erfolgspotenziale auf der operativen Ebene (i.S. der Projektebene) von Bedeutung. Weitergehende Gesichtspunkte oder Inhalte des strategischen und operativen Technologiemanagements finden in dieser Arbeit jedoch keine Berücksichtigung mehr.

### 3.2.1 Aufgabenbereiche im Technologiemanagement

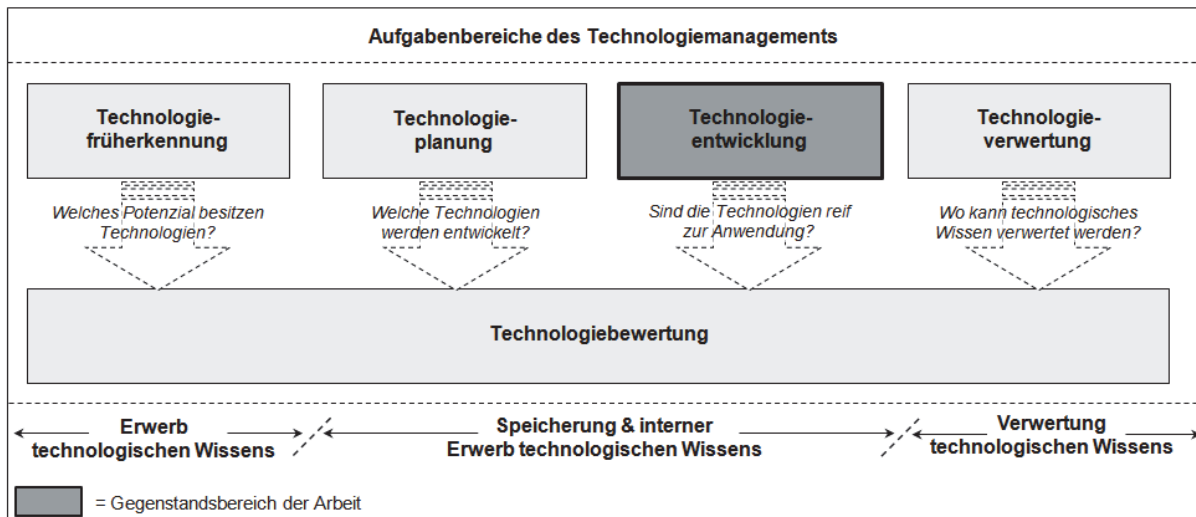
Nach einer grundsätzlichen Einordnung der Begrifflichkeiten werden an dieser Stelle die Aufgabenbereiche für das Management von Technologien betrachtet und eine weitere Differenzierung vorgenommen. Im Hinblick auf das Technologiemanagement und der Einführung neuer Technologien können in Unternehmen fünf miteinander vernetzte Aufgabenbereiche<sup>7</sup> zugrunde gelegt werden, (vgl. Schuh et al. 2011b, S.15) und siehe Abb. 4:

- Technologiefrüherkennung
- Technologieplanung
- Technologieentwicklung (siehe Kap. 3.3)
- Technologieverwertung
- Technologiebewertung (siehe Kap. 3.4)

Die Technologiefrüherkennung stellt in Unternehmen für gewöhnlich eine erste Auseinandersetzung mit neuen Technologien dar. Ihr Ziel ist die Erfassung technologischer Veränderungen und Entwicklungen innerhalb und außerhalb eigener Branchen bzw. im eigenen Unternehmensumfeld als auch die Ermittlung des Zukunftspotenzials aussichtsreicher Technologien (vgl. Wellensiek et al. 2011). Die Erkenntnisse einer solchen Früherkennung dienen Unternehmen neben dem Erwerb technologischen Wissens auch als Entscheidungsvorbereitung in Bezug auf eine zukünftige Technologieauswahl (vgl. Haag 2011, S. 313). Anstehende Entscheidungen sind in Bezug auf Technologiepotenziale zu treffen. Die Technologieplanung als ein sich anschließender Aufgabenbereich dient der Ermittlung und Systematisierung von Aktivitäten, Abläufen, Kosten, Ressourcen sowie Terminen von zukünftigem Handeln. Für Unternehmen besitzt gerade die Planung von Technologien einen hohen Stellenwert und kann als Operationalisierung der Technologiestrategie durch den Anstoß von Technologieentwicklungen eines Unternehmens verstanden werden (vgl. Gomeringer 2007, S. 31). Im Gegensatz hierzu ist die Technologieentwicklung als wesentlicher Gegenstandsbereich dieser Arbeit auf die effektive Umsetzung von Zielvorgaben aus der Technologieplanung unter Berücksichtigung neuer oder existierender Technologien und vorhandener Ressourcen im Unternehmen ausgerichtet (vgl. Klappert et al. 2011a, S. 320; Schuh et al. 2011, S. 16). Durch den Einsatz entsprechender Entwicklungsprozesse (vgl. Kap. 3.3) auf operativer Ebene kommt es in der Technologieentwicklung durch Technologieentwicklungsprojekte zum systematischen Erwerb technologischen Wissens als auch zum Aufbau entsprechender Kompetenzen und letztlich zur Überprüfung von Technologiereife (vgl. Kap.3.1.3). Mit der Technologieverwertung wird das Ziel einer Ausschöpfung technologischer Potenziale im Unternehmen verfolgt, wobei die Ergebnisse aus der Technologieentwicklung an dieser Stelle von wesentlicher Bedeutung sind, (vgl. Abb. 4).

---

<sup>7</sup> Ein vergleichbares Verständnis zu den Aufgabenbereichen im Technologiemanagement findet sich bei: (Gerpott 1999, S.61; Schuh et al. 2011b, S.15-17; Zahn 1995, S.14-16; Bullinger 1994, S.42-43). Eine strategiebezogene Aufgabenausrichtung findet sich hingegen bei (Ewald 1989) und (Abele 2006).



**Abb. 4: Aufgabenbereiche und Bewertungsfragestellungen im Technologiemanagement, vgl. (Schulte-Gehrmann et al. 2011, S. 86)**

Schließlich soll die Technologiebewertung technologische Entscheidungen in Bezug auf eine Technologieeinführung, -entwicklung, -nutzung oder -verwertung herbeiführen (vgl. Specht 2002a, S. 337; Haag 2011, S. 311). Sie greift als Querschnittsbereich technologische Bewertungsfragestellungen auf und führt unter Einsatz von Methoden und Kriterien zu objektbezogenen Entscheidungen (siehe Kap. 3.4). Als Teil des Technologiemanagements findet die Technologiebewertung mitunter Einsatz bei der Beantwortung von Fragestellungen zum Potenzial von Technologien, deren Entwicklungsattraktivität, Anwendungsreife oder Verwertungsmöglichkeiten. Die Bewertungsaufgabe der Technologiebewertung hängt dabei jeweils von der zu lösenden Bewertungsfragestellung und dem Informationsgehalt im entsprechenden Aufgabenbereich ab. Die Technologiebewertung hat hierdurch einen wesentlichen Einfluss auf die strategischen wie auch operativen Aspekte des Technologiemanagements und verhilft sowohl Entwicklungsteams als auch Entscheidern zur entsprechenden Entscheidungsfindung. Vor dem Hintergrund der Zielsetzung ist für diese Arbeit lediglich die Technologieentwicklung in wechselseitiger Abhängigkeit zur Technologiebewertung von Relevanz, (vgl. Abb. 4). Nachfolgend wird darauf das Hauptaugenmerk gelegt und angrenzende Bereiche wie eine Technologieplanung oder –verwertung nur noch entsprechend ihrer Notwendigkeit für den Gesamtzusammenhang betrachtet.

### 3.2.2 Entscheidungssituationen im Technologiemanagement

Evaluierungen bilden, wie Kap. 3.2.1 bereits gezeigt hat, eine wesentliche Grundlage und Vorbereitung für die verschiedenartigen Entscheidungen im Technologiemanagement. Die Entscheidungssituationen, insbesondere für die Technologieentwicklung, sind nachfolgend entlang der Technologiemanagementaufgaben in Abb. 5 aufgegliedert.

Entsprechend ihres Aufgabenbereichs lassen sich unter anderem die Potenzial-, Entwicklungs- wie auch die Verwertungsentscheidung voneinander abgrenzen. Mit ihrem zumeist auf Vergleichsbewertungen basierenden Beschluss tragen sie zur Selektion, Nutzung wie auch Verwertung von Technologien im Unternehmen bei. Für die Technologieentwicklung ist es die Tauglichkeitsentscheidung, die im Rahmen des Technologiemanagements getroffen werden muss. Im Vergleich zu anderen Entscheidungssituationen innerhalb des Technologiemanagements handelt es in der Technologieentwicklung nicht um eine auf Vergleichsbewertungen basierende Entscheidung, wie bspw. bei der Potenzialentscheidung. An dieser Stelle weist die Entscheidungsfindung einen mehrstufigen Charakter auf. Sie verfolgt hier das Ziel, die Anwendungsfähigkeit von Technologieentwicklungen anhand festgelegter Zielsetzungen nachzuweisen und versucht dadurch die Frage nach der Reife von Technologien zu beantworten. Der Begriff „Tauglichkeit“ kann hier in einer ersten Form als „Erfüllung strategischer Voraussetzungen wie auch zielbezogener Anforderungen durch Technologien“

verstanden werden. Für die Entscheidungsfindung wird demnach eine absolute, zielbezogene Bewertung benötigt, die sich auf eine strategisch getroffene Entscheidung bezieht, (siehe Kap.3.2.1). Daraus lässt sich für die Bewertung in der Technologieentwicklung ableiten, dass die Tauglichkeitsentscheidung keinen vergleichenden Bewertungsvorgang darstellt, sondern ein Soll-Ist-Vergleich zwischen gesetzten Zielen und gegenwärtig erreichten Ergebnissen aufweist und somit anders zu behandeln ist als Entscheidungsfindungen mit Vergleichsbewertungen.

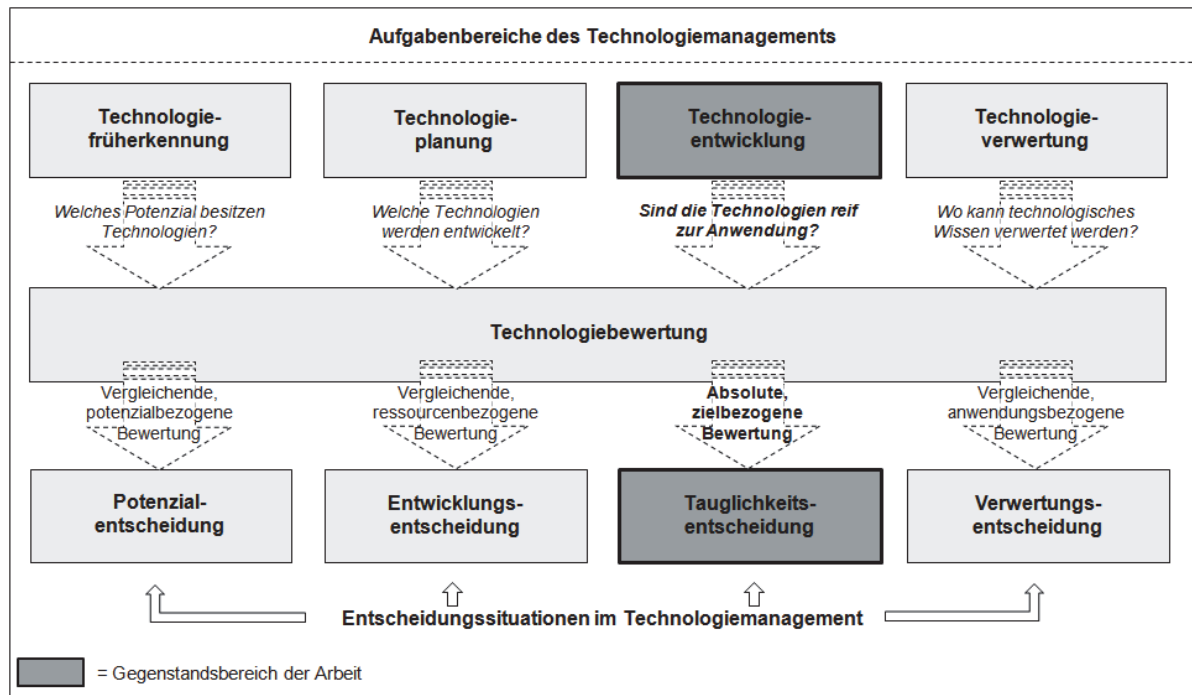


Abb. 5: Entscheidungssituationen im Technologiemanagement (eigene Darstellung)

Die Unterschiedlichkeit der Entscheidungssituationen zeigt, dass zur jeweiligen technologischen Fragestellung entsprechende Wissensträger aus dem Unternehmen eingebunden werden sollten, um sowohl eine valide Datenbasis zur Entscheidungsfindung bereitzustellen als auch Ansprechpartner gegenüber Entscheidern auszuweisen (vgl. Ganz und Warschat 2010, S. 62). In der Technologieentwicklung ist dies die Tauglichkeitsentscheidung, welche durch Forschungs- wie auch Entwicklungsexperten gestützt werden muss. Durch ihre Fachkenntnisse und einzubringenden Daten für Bewertungen kann es im Austausch mit Entscheidern zur Verwertung, Speicherung oder zu einem weiteren internen Erwerb technologischen Wissens kommen (vgl. Ganz und Warschat 2010, S. 55). Neben eingebundenen Experten ist zudem die Wahl richtiger Bewertungsmethoden und Kriterien für die Tauglichkeitsentscheidung von Bedeutung. In Kap. 3.4 wird hierauf noch detaillierter eingegangen. Zunächst wird jedoch in Kap. 3.3 die Technologieentwicklung ausführlicher beschrieben.

### 3.3 Technologieentwicklung in Unternehmen

Die Technologieentwicklung ist, wie bereits im vorigen Abschnitt dargestellt, auf eine effektive Umsetzung von Zielvorgaben aus der Technologieplanung unter Berücksichtigung neuer oder existierender Technologien und vorhandener Ressourcen im Unternehmen sowie unter Einsatz eines Technologieentwicklungsprozesses auf operativer Ebene ausgerichtet (vgl. Klappert et al. 2011a, S. 320). Nachfolgend sollen unter Berücksichtigung dieser Rahmenbedingungen weitere Grundlagen zur Technologieentwicklung in der Unternehmenspraxis dargestellt werden.

#### 3.3.1 Ziele und Aufgaben der Technologieentwicklung

Zunächst ist die Technologieentwicklung in ihrem Verständnis und Anwendungszusammenhang zu konkretisieren, denn in der Literatur wurde der Begriff bereits mehrfach diskutiert und durch Autoren wie SPECHT et al., KLAPPERT et al. sowie STUMMER et al. unterschiedlich geprägt (vgl. Specht 2002; Klappert et al. 2011; Stummer et al. 2010). So verstehen SPECHT et al. (Specht 2002) unter „Technologieentwicklung“ alle Vorgänge, die zur Gewinnung und Weiterentwicklung von Wissen dienen, um praktische Probleme zu lösen. Für KLAPPERT et al. (Klappert et al. 2011) umfasst der Begriff „Technologieentwicklung“ eine Überprüfung der Anwendungstauglichkeit von Produkten und die zu deren Herstellung benötigten und eingesetzten Technologien. Im Gegensatz dazu sehen STUMMER et al. (Stummer et al. 2010) die „Technologieentwicklung“ als eine Analyse neuer Technologien und als Mittel zur Entscheidungsfindung, in welche dieser Technologien investiert werden soll. Die vorliegende Arbeit folgt der Definition von KLAPPERT et al. und versteht „Technologieentwicklung“ als eine systematische Generierung von technologischem Wissen unter Berücksichtigung strategischer Aspekte (vgl. Klappert et al. 2011a). Die systematische Wissensgenerierung wird dabei durch unternehmerischen Ressourceneinsatz in Gang gesetzt (vgl. Höcherl 1999, S. 39), um die Ermittlung von Fähigkeiten und Grenzen dieser neuer Technologien zu begünstigen (vgl. Eldred 1997, S. 43). Die Entwicklung wie auch Übergabe von Technologien an die nachgelagerte Produktentwicklung lässt sich dabei als logisch systematischer Entwicklungspfad betrachten (vgl. Eldred 1997, S. 42). Dabei ist eine Überprüfung der Anwendungstauglichkeit und Herstellbarkeit der zu entwickelnden Technologien (vgl. Klappert et al. 2011a; Eldred 1997, S. 44) in Form von Systemen bzw. technischen Objekten (siehe Kap. 3.1.4) mit direktem Anwendungsbezug, sicherzustellen.

Zentrales Ziel der Technologieentwicklung ist es demzufolge, „Leistungspotenziale aufzubauen und die Herstellung der allgemeinen Einsatzreife von Technologien in Produkten“ zu gewährleisten (Frunzke 2010, S. 285), die Vorgaben einer vorhergehenden Planung umzusetzen und auf deren Erfüllung hin zu überprüfen. Die Entwicklung von Technologien dient auch dazu, die im Rahmen einer Technologiestrategie formulierten Aussagen zum entsprechenden Timing, zu attraktiven Technologieverwertungsmöglichkeiten und zu festgelegten Maßnahmen zu überprüfen (vgl. hierzu Schulte-Gehrmann et al. 2011; Schuh und Klappert 2011, S. 223; Klappert et al. 2011a, S. 224). Dabei sind sowohl die Weiterentwicklung bereits vorhandener Technologien im Unternehmen als auch Neuentwicklungen zu berücksichtigen, um Wissen und Fähigkeiten in Bereichen zu generieren, „in denen Unternehmen bisher ungenügend kompetent waren oder sich einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil verschaffen wollen“ (vgl. Frunzke 2010, S. 285). Die Integration und wechselseitige Beeinflussung von Markt- und Technologieaspekten rücken im Rahmen der Technologieentwicklung hierdurch in den Vordergrund (vgl. Specht 2002b, S. 75).

Aufgrund ihrer inhaltlichen Ausrichtung und Zielsetzung resultieren für die Technologieentwicklung spezifische Aufgaben, die hier zusammenfassend dargestellt sind (vgl. Specht 2002b, S. 77; Eldred 1997; Spath und Leyh 2011, S. 28; Klappert et al. 2011a, S. 228). So nimmt die Technologieentwicklung in Unternehmen zentrale Aufgabenfelder ein wie die:

- Umsetzung von Technologiestrategien und Überprüfung von Zielvorgaben aus der Technologieplanung,

- Realisierung von Technologieentwicklungsprojekten,
- Entwicklung von Technologien bis zu einem Reifegrad, an dem ihre grundsätzliche Machbarkeit für definierte Anwendungen demonstriert und ein Produktentwicklungsprojekt initiiert werden kann,
- Entscheidungsfindung und Überprüfung der Einsatzfähigkeit (durch Methoden und Instrumente) neuer Technologiekombinationen für definierte und geplante Anwendungen.

Die Aufgabenfelder der Technologieentwicklung umfassen so neben der Einspeisung von Technologieentwicklungsprojekten auch die Bewertung neuer Technologien im Entwicklungsverlauf, die Entscheidungsfindung zur Weiterentwicklung bzw. zum Abbruch neuer Technologien oder die Optimierung des betrachteten Bewertungsobjekts. Die Überprüfung der Einsatzfähigkeit als eine wiederkehrende Aufgabe in der Technologieentwicklung soll die mit den Technologien verbundenen Potenziale, Risiken und auftretenden Herausforderungen überprüfen (vgl. Spath und Leyh 2011, S. 28). Für die Durchführung solcher Technologieentwicklungsaktivitäten ist zunächst eine richtige Verortung und Abgrenzung in der Prozesslandschaft von Unternehmen zweckmäßig.

### 3.3.2 Technologieentwicklung als Unternehmensprozess

Die Einordnung der Technologieentwicklung in gebräuchliche Unternehmensprozesse variiert in der Literatur und zeigt sich zum Teil uneinheitlich. Unterschiede finden sich bspw. zwischen den Auffassungen von WHEELWRIGHT & CLARK<sup>8</sup> (Wheelwright 1992, S. 92-97) und ENGELN (Engeln 2006, S. 16) wo die Technologieentwicklung als vor- bzw. nachgelagerter Prozess der Vorentwicklung<sup>9</sup> mit unterschiedlichem Aufgabenumfang betrachtet wird. Wegen des definierten Technologieentwicklungsverständnisses nach KLAPPERT et al. (vgl. Kap. 3.3.1) ist die Technologieentwicklung für diese Arbeit als vorgelagerter Prozess einer Produktentwicklung mit Anwendungsbezug zu verstehen, vgl. Abb. 6. Dabei sind eine Technologie- als auch Vorentwicklung als nicht trennscharfe Prozesse im operativen Unternehmensgeschäft zu betrachten, die im Kern auf die Generierung von anwendungsbezogenem Wissen und dem Nachweis der Machbarkeit abzielen; eine Unterscheidung von Vorentwicklung oder Technologieentwicklung wird an dieser Stelle folglich nicht vorgenommen und ist im Rahmen der Arbeit als synonym zu betrachten.

---

<sup>8</sup> Vgl. ebenfalls (Specht 2002b, S. 15,16, 52, 111; Frunzke 2010).

<sup>9</sup> Der Begriff „Vorentwicklung“ bezeichnet in dieser Arbeit einen Unternehmensprozess zwischen den Bereichen Forschung und Produktentwicklung. Erkenntnisse zu Produkttechnologien aus der Forschung werden in der Vorentwicklung aufgegriffen und auf deren Umsetzbarkeit in Produkten geprüft bzw. validiert (vgl. Achatz 2012, S. 392).

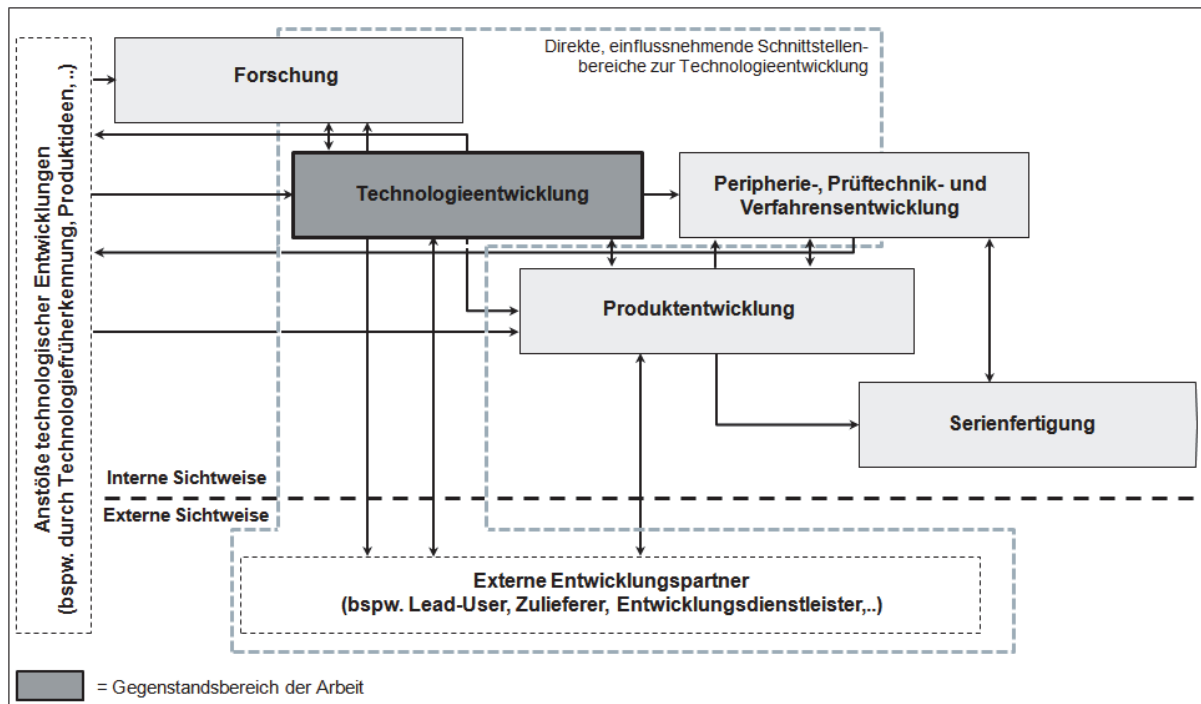


Abb. 6: Technologieentwicklung als Unternehmensprozess, in Anlehnung an (Engeln 2006, S. 16; Klappert et al. 2011, S. 224)

Abb. 6 verdeutlicht nochmals die Eingliederung der Technologieentwicklung als Unternehmensprozess und deren Wechselwirkungen zu angrenzenden Prozessen wie der Forschung, Verfahrensentwicklung als auch Produktentwicklung. Zunächst ist auf die Schnittstelle zur Forschung hinzuweisen. Die Erkenntnisse aus Forschungsprojekten können für Technologieentwicklungen von wesentlicher Bedeutung sein und gleichzeitig als Grundlage zum Entwicklungsanstoß dienen. Demzufolge sollten aufgebaute Technologiekompetenzen aus der Forschung durch einen gezielten Wissenstransfer in die Technologieentwicklung übertragen werden, um die sich anschließende anwendungsbezogene Tauglichkeitsprüfung im technologischen Entwicklungsprozess zu stützen. Neben der Forschung bestehen zwischen einer Technologieentwicklung für Produkte und einer Verfahrensentwicklung ebenfalls Wechselwirkungen. Häufig führen technologische Neuerungen für Produkte zu Veränderungen im Verfahrens- bzw. Produktionsbereich, die im Technologieentwicklungsprozess frühzeitig abgestimmt und auf umsetzungsbezogene Risiken hin untersucht werden müssen. Die Wechselwirkung von der Technologie- zur Produktentwicklung ist demgegenüber eher mittelbar und als nachgelagert zu betrachten. Ressourcenintensive Produktentwicklungen werden von Unternehmen für gewöhnlich erst bei hinreichender Reife von Produkttechnologien gestartet und sind deshalb nicht Gegenstandsbereich der Technologieentwicklung. Abschließend ist auf die Verbindung zu externen Entwicklungspartnern hinzuweisen, denen nach ENGELN (Engeln 2006, S. 16) eine nicht unbedeutende Rolle in der Technologieentwicklung beigemessen wird. Auch GANZ und WARSCHAT (Ganz und Warschat 2010) weisen in einer aktuell veröffentlichten Studie auch nochmals darauf hin, dass es sich förderlich auf eine Technologieentwicklung auswirken kann, wenn interne oder externe Interessensgruppen eingebunden werden und diese die technologischen Festlegungen von Technologiekonzepten in regelmäßigen Abständen hinterfragen (vgl. Ganz und Warschat 2010, S. 64). Dieser Sachverhalt macht eine systematische oder gar periodische Einbindung einer externen Sichtweise (bspw. durch Lead-User) in den Entwicklungsprozess fast unausweichlich (vgl. Ganz und Warschat 2010, S. 64; Achatz 2012, S. 347). In Erweiterung kann hier sogar in Betracht gezogen werden nachgelagerte Unternehmensbereiche wie einen Einkauf, Vertrieb oder ein Kostenmanagement bei technologischen Entwicklungen bedarfsbezogen einzubinden. Zwischen den einzelnen direkt einflussnehmenden Schnittstellenbereichen zur Technologieentwicklung kann durchaus festgehalten werden, dass eine intensive Kommunikation, kontinu-

ierliche Fortschrittsüberprüfungen von Produkttechnologien als auch ein entsprechend ergebnisorientierter Wissensaustausch unabdingbar sind.

Eine weitere Eingrenzung sei an dieser Stelle ebenfalls noch erwähnt: Die Technologieentwicklung wird in dieser Arbeit auf die Entwicklung von Produkttechnologien beschränkt, vgl. Kap. 2.1. Eine Entwicklung von Fertigungs- bzw. Verfahrenstechnologien im nachgelagerten Unternehmensprozess (vgl. Abb. 6) ist nicht Gegenstand der Arbeit.

### **3.4 Tauglichkeitsbewertung in der Technologieentwicklung**

Die Technologiebewertung nimmt, wie bereits in Kap. 3.2 dargestellt, eine Querschnittsaufgabe im Technologiemanagement ein, um technologische Entscheidungen in Bezug auf eine Technologieeinführung und -entwicklung bzw. Technologienutzung oder -verwertung zu treffen. Die Bewertung an sich ist dabei nicht nur eine erfassende oder messende Maßnahme zur Entscheidungsfindung (vgl. Brose 1982, S. 188). Der Bewertungsaspekt dient in diesem Zusammenhang vielmehr der zweckbestimmten und aussagekräftigen Interpretation des eingesetzten Datenmaterials und der rationalen Entscheidungsfindung im Unternehmen (vgl. Brose 1982, S. 188).

Die vorliegende Arbeit folgt dem Verständnis von SPECHT (vgl. Specht 2002a), welcher die Technologiebewertung „als die Bestimmung und Beurteilung des Erfüllungsgrads, vorgegebener Zielstellungen für ein technologiebezogenes Bewertungsobjekt versteht und als Grundlage zur Entscheidungsfindung bei der [...] Entwicklung sowie Nutzung von Technologien“ in Unternehmen einsetzt<sup>10</sup>. Die Technologiebewertung ermöglicht so das Messen oder Schätzen von Parametern einzelner Bewertungsobjekte, genauso wie das Ermitteln von Vor- und Nachteilen verschiedener Technologiealternativen aus technischer, wirtschaftlicher, organisatorischer, ökologischer und zeitlicher Sicht. In Erweiterung zur Definition von SPECHT sei an dieser Stelle noch ergänzt, dass die Bewertung in der Technologieentwicklung keine einmalige und punktuelle Analyse von Objekten, sondern vielmehr eine prozessuale und wiederkehrende Aktivität zur Überprüfung der Einsatzfähigkeit, Leistungsfähigkeit und Anwendbarkeit von Technologiekombinationen in späteren Produkten darstellt (vgl. Kap. 3.2.2). Darüber hinaus spielen Kombinationen von Technologien, wie die Technologieaddition oder Technologieintegration, in diesem Zusammenhang ebenfalls eine große Rolle (vgl. Kap.3.1.4).

In der Literatur wird eine solche Form der Bewertung, zur Überprüfung des Fortschritts und der Entscheidungsfindung, auch als *ex nunc*-Bewertung<sup>11</sup> bezeichnet (vgl. Brose 1982, S. 193). Im Bereich des Technologiecontrollings kommt es, mit dem Diagnostic Technology Controls System, ebenfalls zu einer im weitesten Sinne vergleichbaren Form der Technologiebewertung (vgl. Anhang 12.3). Hier werden Technologieentscheide in ihrer Realisierung überprüft und bei auftretenden Abweichungen wird entgegengewirkt. Aufgrund des weitreichenden Aufgabenspektrums und der derzeit noch unklaren Einordnung des Technologiecontrollings ins Technologiemanagement innerhalb der betrachteten Literatur (vgl. Anhang 12.3 und siehe bspw. Eversheim und Schuh 2005, S. 183) wird das Diagnostic Technology Controls System in dieser Arbeit nicht weiter in Betracht gezogen.

---

<sup>10</sup> Vgl. (Specht 2002a, S. 337; Haag 2011, S. 310; Heubach 2008, S. 40).

<sup>11</sup> In der Literatur lassen sich drei Arten von Bewertungen nach dem Zeitpunkt ihres Einsatzes differenzieren (vgl. Luczak und Winkelmann 2004, S.14-15 und siehe Kromrey 2000, S.233-258): die *ex ante*-Bewertung, *ex nunc*-Bewertung sowie die *ex post*-Bewertung. Die *ex ante*-Bewertung dient zur strategischen Beurteilung vor Beginn bzw. in Vorbereitung zur Entscheidung über die Durchführung oder Ablehnung von Projekten. Mit der *ex nunc*-Bewertung werden laufende Projekte bewertet und hierdurch eine Vorbereitung der Entscheidung über die Projektweiterführung oder den Abbruch vorgelegt. Mit der *ex post*-Bewertung werden zum Projektabschluss die Projektergebnisse den Soll-Werten gegenübergestellt und das Projekt hierdurch einer nachgelagerten Bewertung unterzogen (vgl. Luczak und Winkelmann 2004, S.14-15; Brose 1982, S. 193f).

### 3.4.1 Bewertungsvoraussetzungen

Neben einer systematischen Form der Bewertung, wie z.B. der ex nunc-Bewertung, bedingt die Auswahl von entsprechenden Bewertungskriterien und –methoden im Wesentlichen das Bewertungsergebnis. Nachfolgend wird zunächst ein Blick auf erforderliche Bewertungskriterien für die Technologieentwicklung geworfen. Anschließend sollen mit den Möglichkeiten der methodenbasierten Technologiebewertung relevante und zielführende Werkzeuge zur Tauglichkeitsentscheidung aufgezeigt werden:

Einer aktuellen Studie zufolge sehen Unternehmen bei der Bewertung von Technologien vor allem Bewertungskriterien wie Marktattraktivität, Leistungssteigerung als auch Kostensenkungspotenziale als besonders wichtig an (vgl. Wellensiek et al. 2010, S. 47). Demnach bilden nicht nur wirtschaftliche Aspekte eine Grundlage zur Entscheidungsfindung in der Unternehmenspraxis, sondern zunehmend auch technische Kriterien. Bei einer Betrachtung der Literatur bietet sich noch ein weitaus breiteres Bild an Bewertungskriterien an, vgl. Anhang 0. So werden hier neben ökonomischen und technischen Kriterien auch funktionsbedingte und herstellungsbezogene Kriterienklassen zur Technologiebewertung vorgeschlagen. COOPER nennt bspw. in Bezug auf eine Technologieentwicklung Kriterien wie Konformität zur Geschäftsstrategie, strategische Hebelwirkung, technische und kommerzielle Erfolgswahrscheinlichkeit als auch das Umsatzpotenzial fürs Unternehmen (vgl. Haag 2011, S. 322) und fokussiert dadurch vornehmlich einen strategischen Bezug. Demgegenüber setzt KNAPPE für die Beurteilung von Technologien Bewertungskriterien wie Produkt- und Kundennutzen, Realisierbarkeit der technischen Lösung als auch Entwicklungsszenarien an und vermittelt so einen weitaus konkreteren Einblick über die Möglichkeiten einer anwendungsbezogenen Bewertung in der Technologieentwicklung. Seiner Auffassung nach sind Technologien in einem spezifischen technisch-wirtschaftlichen Umfeld angesiedelt, weshalb die anzuwendenden Kriterien diesen Spezifika Rechnung tragen müssen (vgl. Knappe 2006, S. 19). Je nach Informationsgehalt im Entwicklungsverlauf können die zu erreichenden Zielstellungen dann entweder durch qualitative oder quantitative Aussagen belegt werden.

Zu Beginn einer Technologieentwicklung, d.h. wenn der Zeitraum bis zur Verwertung noch nicht konkretisiert und Unsicherheiten als auch Risiken hoch sind, werden qualitative Aussagen im Vordergrund stehen. Mögliche monetäre Erfolge lassen sich hier noch kaum sinnvoll in einer wirtschaftlichen Kenngröße wie dem Net Present Value (NPV) darstellen, (vgl. König und Völker 2002, S. 5). Im Gegensatz dazu rücken bei zeitnaher Verwertung von Technologieentwicklungen quantitative Aspekte in den Vordergrund und werden zur Entscheidungsfindung herangezogen, vgl. Abb. 7.

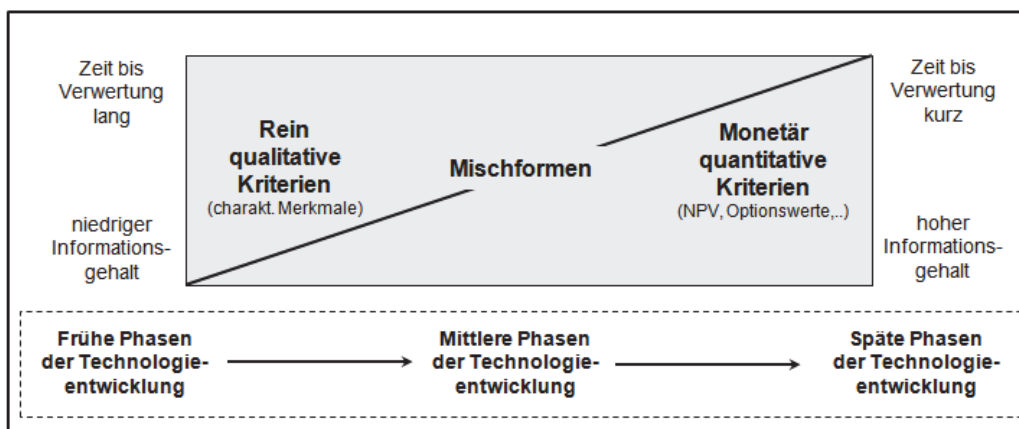


Abb. 7: Möglichkeiten zur entwicklungsbezogenen Technologiebewertung (vgl. König und Völker 2002, S. 3)

Meist werden in der Unternehmenspraxis Mischformen verwendet, die in mehrdimensionalen Bewertungen münden und gleichzeitig einen Überblick aus unterschiedlichen Perspektiven schaffen (vgl. Wellensiek et al. 2010). Während Mehrdimensionalität auf der einen Seite zu einem vertiefenden Verständnis führt, kann gleichzeitig eine zu große Anzahl von Zielen und

daraus abgeleiteten Bewertungskriterien durch deren Komplexität an Übersichtlichkeit und Aussagekraft verlieren (vgl. Granig 2007, S. 68). GRANIG empfiehlt deshalb die Auswahl und Festlegung von Bewertungskriterien auf eine aussagekräftige Anzahl zu reduzieren und gleichzeitig qualitative wie quantitative Merkmale zu berücksichtigen (vgl. Granig 2007, S. 68).

Angesichts der Tatsache, dass neben dem Vorschlag von COOPER und KNAPPE in der Literatur bisher kein zweckmäßiges Kriterienbündel zur Bewertung von Technologieentwicklungskonzepten gefunden werden konnte, scheint hier eine erste Konkretisierung und Festlegung von Bewertungsdimensionen als sinnvoll und notwendig. Unter Berücksichtigung der vorhergehenden Ausführungen und vorgeschlagenen Bewertungskriterien der beiden Autoren wie auch der einflussnehmenden Schnittstellenbereiche auf die Technologieentwicklung (vgl. Kap. 3.3.2) werden für diese Arbeit die folgenden mehrperspektivischen Bewertungsdimensionen als relevant erachtet:

- technologische Dimension,
- kundenbezogene Dimension,
- herstellungsbezogene Dimension und
- wirtschaftliche Dimension.

Eine Überprüfung der Sinnhaftigkeit dieser Dimensionen wie auch ihre Konkretisierung anhand von Einzelkriterien gilt es im Rahmen der nachfolgenden Kap. 4 und 5 vorzunehmen.

Um die Bewertungsdimensionen oder Kriterien einer Bewertung auf deren Erfüllung hin zu überprüfen, finden abhängig vom Informationsgehalt sowohl qualitative als auch quantitative Bewertungsmethoden in der Technologiebewertung Einsatz. Der Begriff „Methode oder Verfahren“ kann in diesem Zusammenhang als systematische und zielgerichtete Vorgehensweise der Erkenntnisgewinnung oder des Problemlösens verstanden werden (vgl. Brose 1982, S. 178). Dabei sollen durch den Methodeneinsatz Entscheidungsfindungen unterstützt bzw. gefällte Entscheidungen in strukturierter Form nachvollzogen werden können (vgl. Kröll 2007, S. 23). Charakteristisch für die Technologieentwicklung ist, wie Abb. 7 bereits auch verdeutlicht hat, die permanente Zunahme des Informationsgehalts und die Verfügbarkeit quantitativer Daten über die einzelnen Technologieentwicklungsphasen hinweg (vgl. Koch 2010, S.14). Aus der Vielzahl an verfügbaren Technologiebewertungsmethoden sind deshalb jene zu selektieren, die sowohl die Tauglichkeitsentscheidung in der Technologieentwicklung unterstützen als auch mit den im vorigen Abschnitt vorgeschlagenen Bewertungskriterien für eine ex nunc-Bewertung kombinierbar sind, vgl. Abb. 8. THOMA (Thoma 1989) wie auch andere Autoren empfehlen gerade zu Beginn einer Technologieentwicklung die Verwendung von qualitativen Methoden und somit auch Kriterien (vgl. König 2007, S. 12). Quantitative Methoden visualisieren letztendlich harte Fakten in Form von monetären Zielgrößen; sie benötigen allerdings auch schon recht große Datensicherheiten und lassen sich, wie KÖNIG folgerichtig anmerkt, auch erst im späteren Entwicklungsverlauf sinnvoll einsetzen (vgl. König 2007, S. 12). BULLINGER (Bullinger 1994) verweist darauf, dass bei der Auswahl von unterstützenden Bewertungsinstrumenten eine rein quantitative Methodenkombination vermieden werden sollte. Die Auswahl und Kombination vorhandener Bewertungsmethoden muss demnach vielmehr an die spezifische Problemstellung und den entsprechenden Informationsgehalt der Technologieentwicklung angepasst werden. Eine entsprechende Zusammenstellung qualitativer und quantitativer Bewertungsmethoden für die Technologieentwicklung zeigt Abb. 8. Die Methodenzusammenstellung erfolgte unter Berücksichtigung der Zielstellung dieser Arbeit als auch der in den vorigen Abschnitten angeführten Spezifika der Technologieentwicklung.

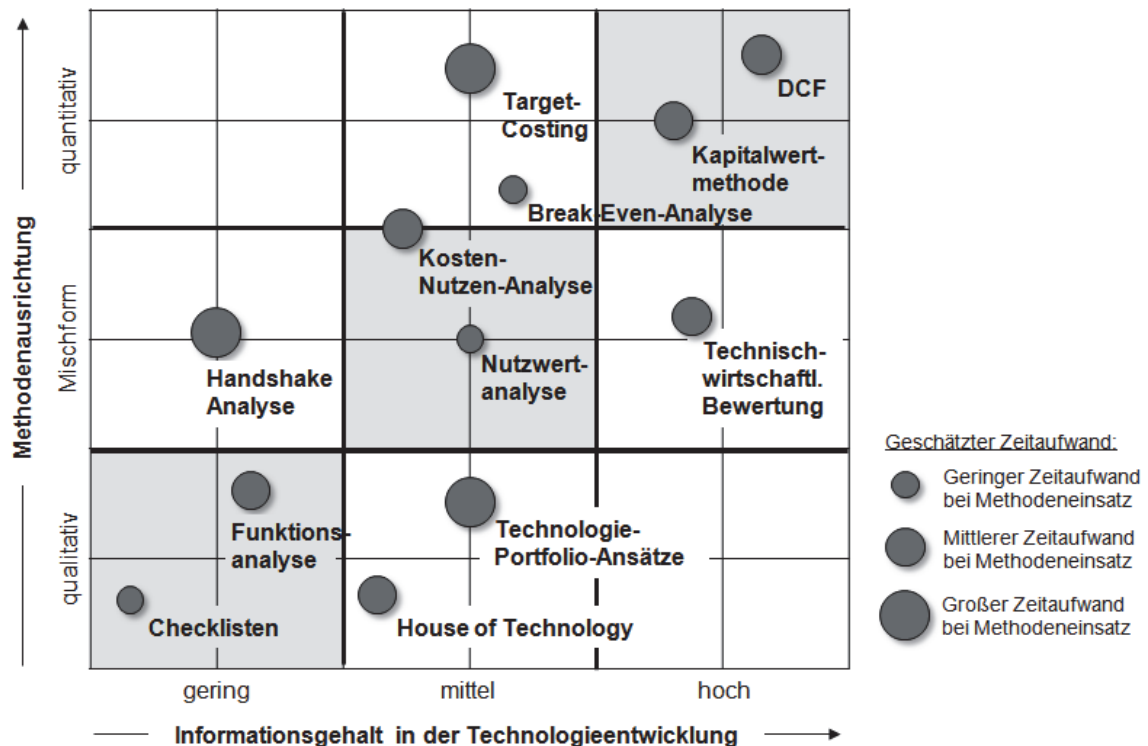


Abb. 8: Technologiebewertung in Abhängigkeit von Informationsgehalt und methodischer Ausrichtung<sup>12</sup>

So erbringen bei geringem Informationsgehalt qualitative Methoden wie Checklisten, Technologie-Portfolio-Analysen oder das House of Technology erste Erkenntnisse zum Bewertungsobjekt. Bei den Mischformen führen vor allem vergleichende Bewertungsmethoden mit technisch-wirtschaftlichen Bewertungsaspekten wie die Nutzwertanalyse zu entsprechenden Ergebnissen. Wächst der Informationsgehalt weiter, führen letztlich Wirtschaftlichkeitsmethoden wie die Kapitalwertmethode, die Discounted Cash-Flow<sup>13</sup> (DCF) Methode oder die Break-Even-Analyse zu quantitativen Bewertungsergebnissen.

Die Einsatzfähigkeit der in Abb. 8 aufgeführten Bewertungsmethoden zur Tauglichkeitsprüfung wird im Kap. 4.2 detailliert untersucht und überprüft. Zunächst wird jedoch der Ablauf von Technologiebewertungen detaillierter betrachtet.

### 3.4.2 Bewertungsablauf

Die Bewertung von Technologien erfolgt nicht allein durch die Bearbeitung einer Fragestellung (vgl. Kap. 3.2.2) und unter dem Einsatz ausgewählter Bewertungsmethoden (vgl. Kap. 3.4.1). Vielmehr muss eine Technologiebewertung für den Einsatz in der Unternehmenspraxis einem systematischen Vorgehen zur Analyse und Evaluierung von Zielen folgen, um begründete Entscheidungen zu ermöglichen<sup>14</sup>. PLESCHAK und SABISCH schlagen in diesem

<sup>12</sup> Unter anderem zusammengestellt aus: (Breiung 1997; Haag 2011; Farrukh 2009; Lentes 2004; Birkenmeier 1996; Schmeisser und Solte 2010b, S. 51f).

<sup>13</sup> Der Discounted Cash-Flow (DCF) stellt ein dynamisches Verfahren zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von einzelnen Unternehmensbereichen oder gar ganzer Unternehmen dar (vgl. Schaefer 2004, S.45). Das Verfahren setzt direkt an den Ein- und Auszahlungen des Unternehmensbereichs an. Als Wert wird hier das Eigenkapital des Unternehmens verstanden, wobei das Verfahren im Kern auf der Kapitalwertmethode beruht. Als Ziel des Verfahrens ist die Ermittlung des Unternehmenswerts zu verstehen, um Beteiligungsoptionen oder Unternehmenskäufe mit belastbaren Daten auszustatten.

<sup>14</sup> Vgl. hierzu (Glasser 1988), der darauf hinweist, dass eine systematische Vorgehensweise zur Durchführung von Bewertungen in der Technologiebewertung ein wesentlicher Aspekt für Akzeptanz darstellt und Kommunikation von Wissen ermöglicht.

Zusammenhang ein systematisch strukturiertes Vorgehen zur Analyse und Ermittlung von Zielerfüllungsgraden technischer Bewertungsobjekte vor, welches für die vorliegende Arbeit als relevant erachtet wird, vgl. Abb. 9. Nach dem Verständnis der Autoren sind die Analyse der Ausgangssituation, die Festlegung von Bewertungskriterien und Zielgrößen sowie die Ermittlung von Zielerfüllungsgraden als auch die Auswertung von Bewertungsergebnissen die Kernpunkte einer entwicklungsbegleitenden Bewertung (vgl. Pleschak 1996, S. 175).

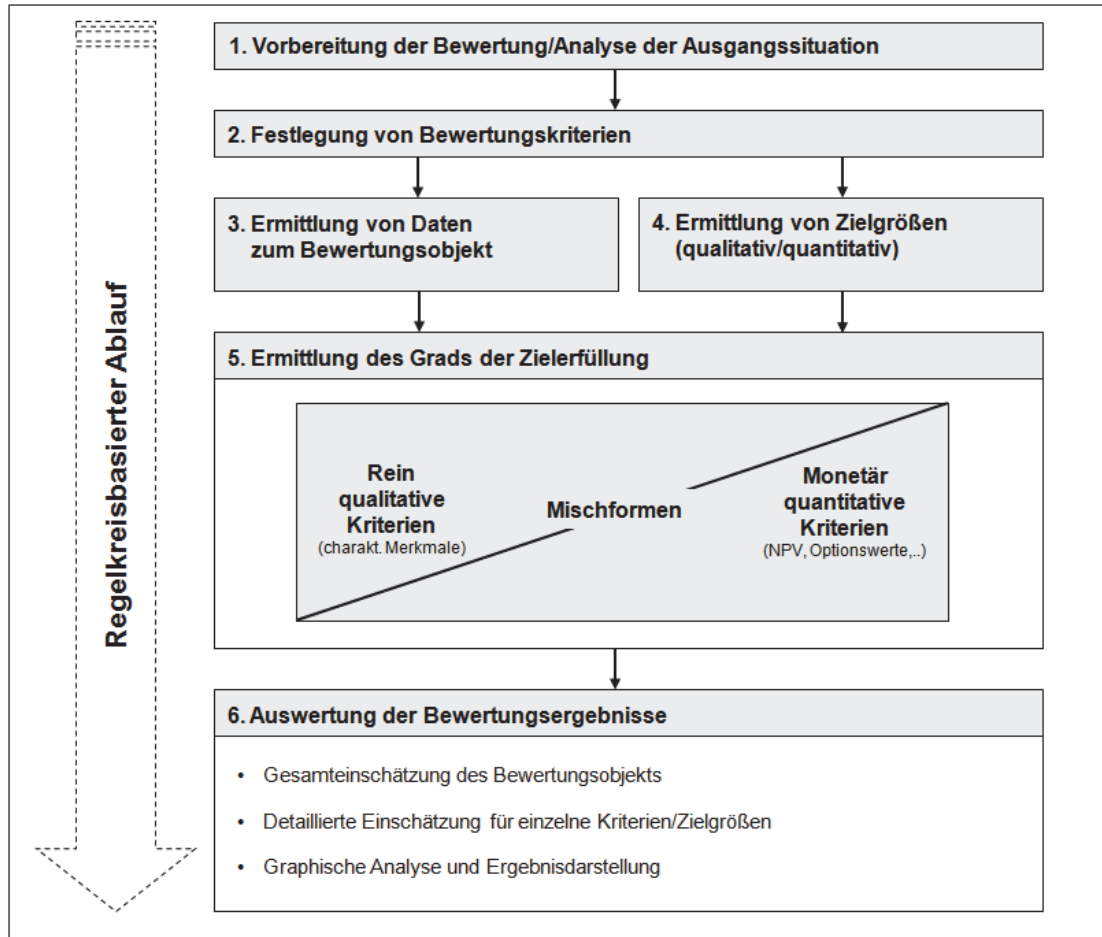


Abb. 9: Bewertungsprozess zur Klärung vordefinierter Entwicklungsziele, in Anlehnung an (Pleschak 1996)

Abb. 9 zeigt in diesem Zusammenhang, dass ausgehend vom Bewertungsobjekt und dessen Objekteigenschaften eine Festlegung von Bewertungskriterien<sup>15</sup> erfolgt und hierdurch eine Datenbasis zur Bewertung geschaffen wird. Eine Definition von Bewertungskriterien ist nach PLESCHAK und SABISCH an den Entwicklungszielen des Unternehmens und dessen Innovations- oder Technologiestrategie auszurichten und anhand konkreter Zielgrößen aus unterschiedlichsten Perspektiven festzulegen (vgl. Granig 2007, S. 63). Die eigentliche Bewertung für das Bewertungsobjekt erfolgt in Form eines Soll-Ist-Vergleichs unter der Nutzung qualitativer wie quantitativer Bewertungsmethoden (vgl. Farrukh 2009, S. 45). Auf dieser Basis entsteht in einem abschließenden Schritt eine Auswertung der Zielerreichungsgrade, die in einer Gesamteinschätzung des Bewertungsobjekts mündet. Der Vergleich von Bewertungsergebnissen und die Gesamteinschätzung des Bewertungsobjekts beenden das systematische Vorgehen; dabei sind aber Entscheidungen zur Initiierung von notwendigen Veränderungen einzelner Kriterien und Ja-/Nein-Entscheidungen im Entwicklungsprozess möglich (vgl. Pleschak 1996, S. 175; Specht 2002a, S. 338).

<sup>15</sup> Kriterien für die Technologiebewertung finden sich bspw. in Tab. 28 im Anhang sowie bei: (Rapp 1999, S. 223; Knappe 2006, S. 1-19; Granig 2007, S. 60-64; Breiung 1997, S. 23; Heubach 2008 S. 198).

Das von PLESCHAK und SABISCH aufgestellte Vorgehen zur Durchführung von ex nunc-Bewertungen in der Technologieentwicklung stellt eine wichtige Basis zur Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten dar und ist für die Arbeit entsprechend zu adaptieren.

### 3.4.3 Definition des Begriffs Tauglichkeitsprüfung

Da die Technologiebewertung als Instrument zur Entscheidungsfindung in unterschiedlichen Entscheidungssituationen genutzt wird (vgl. Kap.3.2.2), muss ihre spezifische Aufgabe für die Technologieentwicklung an dieser Stelle nochmals weiter differenziert werden:

Die Tauglichkeitsprüfung als eigenes Handlungsfeld der Technologiebewertung wird für diese Arbeit als die Überprüfung und Beurteilung des Erfüllungsgrades vorgegebener Zielstellungen für ein spezifisches Technologiekonzept in der Technologieentwicklung definiert. Dabei wird das Ziel verfolgt, anhand festgelegter Bewertungsperspektiven und auf Grundlage geeigneter qualitativer sowie quantitativer Bewertungsmethoden die Erfüllungsgrade solcher Konzepte zu ermitteln und Handlungsmaßnahmen für die Weiterentwicklung abzuleiten, um den größtmöglichen Entwicklungserfolg sicherzustellen<sup>16</sup>. Eine solche Tauglichkeitsprüfung soll als zentrale Aufgabe die Entscheidungsfindung in der Technologieentwicklung unterstützen, indem sie Handlungsmaßnahmen auf der Basis von Entwicklungsergebnissen vorschlägt. Die vorliegende Arbeit geht zudem von einem direkten Anwendungszusammenhang von Technologien zur Erfüllung bestimmter Funktionen und Zwecke aus.

Im Mittelpunkt der Arbeit steht also die methodenbasierte Unterstützung von Tauglichkeitsentscheidungen unter Unsicherheit. Die Bewertungsaufgabe bezieht sich demnach im Schwerpunkt auf die einzelnen Phasen einer Technologieentwicklung und den darin zu entwickelnden Technologiekonzepten. Die methodische Unterstützung reicht dabei von einfachen qualitativen Methoden bis hin zu quantitativen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen. Deren Auswahl ist jedoch bedingt durch Informationsgehalte der Entwicklung und vordefinierter Bewertungskriterien (vgl. Kap. 3.4.1).

In der Unternehmenspraxis ist die Tauglichkeitsprüfung aus heutiger Sichtweise nach wie vor durch Einschränkungen geprägt, beispielsweise durch das Fehlen einer gemeinsamen Sprache für den Begriff „Reifegrad“ oder adäquater Methodenkombinationen im Entwicklungsverlauf. Nach deren strategischer Entscheidung führen Technologieentwicklungsaktivitäten häufig zu großen technischen Herausforderungen oder scheitern unter anderem daran, dass eine hinreichend quantifizierbare Aussage zum gegenwärtigen Reifegrad fehlt bzw. nur unzureichend verankert ist (vgl. Rummel et al. 2013, S.179). Eine Entscheidungsfindung in Bezug auf einen Abbruch oder eine Weiterentwicklung von Technologieentwicklungsprojekten wird infolgedessen erschwert. Dieser Sachverhalt führt zu einer Präzisierung der Problemstellung dieser Arbeit:

Technologieorientierte Unternehmen benötigen eine zielführende methodische Unterstützung bei der Reifegradbewertung und Verwertungsentscheidung in der Technologieentwicklung – unter der Voraussetzung einer objektbezogenen und wiederholbaren Prüfung von Technologiekombinationen.

---

<sup>16</sup> (vgl. Pleschak 1996, S. 169; Haag 2011, S. 310, Specht 2002a, S. 337-338).

## **4 Stand des Wissens zur Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung**

Die Analyse der Ausgangssituation in Kap. 3 hat gezeigt, dass im Umfeld von technologieorientierten Unternehmen ein Bedarf an Instrumenten zur Überprüfung und Verifikation strategischer Ziele und Reifegrade in der Technologieentwicklung besteht. Eine Analyse des betreffenden Wissensstandes soll neben einem kritischen Vergleich von Technologieentwicklungsprozessen zeigen, welche Bewertungsmethoden und Instrumente sowie Reifegradmodelle für einen prinzipiellen Einsatz in der Technologieentwicklung gegenwärtig verfügbar sind und welche Gültigkeit diese zur Problemlösung besitzen.

### **4.1 Tauglichkeitsbezogene Technologieentwicklungsprozesse**

Um die Entwicklung von Technologien zielorientiert durchführen zu können ist der Einsatz entsprechender Managementmethoden oder gar spezifischer Technologieentwicklungsprozesse unvermeidlich. In der Literatur sind zu diesem Thema seit einigen Jahren unterschiedliche Prozessmodelle bekannt. Nachfolgend werden die wichtigsten Modelle nach HEUBACH et al., COOPER sowie ELDRED und MCGRATH vorgestellt und in einem Vergleich auf deren Stärken als auch Schwächen hin untersucht. Es gilt insbesondere herauszufinden, ob solche Technologieentwicklungsprozesse nicht bereits über wesentliche Voraussetzungen für eine Tauglichkeitsprüfung verfügen bzw. eine solche ausreichend gewährleisten können.

#### **4.1.1 Vergleich der Technologieentwicklungsprozesse**

##### **Technologieentwicklungsprozess nach Heubach et al.**

HEUBACH et al. haben ein Prozessmodell konzipiert, welches über den Lebenszyklus von Technologien hinweg durch eine Stage-Gate-basierte Vorgehensweise systematisiert wird und den Handlungsspielraum zwischen Technologie und Markt abbildet. Nach Auffassung der Autoren soll dieser Prozess zum einen die Anknüpfungspunkte in der Technologieentwicklung zwischen Grundlagenforschung sowie industrieller Forschung und Entwicklung verdeutlichen. Zum anderen soll eine Bewertung der Technologieentwicklungsfähigkeit zur Maßnahmenableitung und Steigerung bisher erreichter Fähigkeiten begünstigt werden (vgl. Heubach et al. 2008, S. 19). Der von HEUBACH et al. entwickelte Prozess ist in die vier Phasen: Initiierung, Inkubation, Modifikation und Applikation unterteilt. In der Initiierungsphase stehen die Erfassung und das Erkennen chancenreicher Technologien im Vordergrund, um neue Lösungsansätze zu entwickeln (vgl. Ganz und Warschat 2012, S. 15). Mit einer Entscheidung am Ende der Phase - für oder gegen den Einstieg in die Technologieentwicklung - kommt es zur Inkubation. Ziel dieser Phase ist es, die Technologie tiefer zu erforschen und die Entwicklungsaktivitäten auf den Aufbau eines ersten Prototypen auszurichten (vgl. Heubach et al. 2008, S. 36). In der Modifikationsphase werden die Entwicklungsaktivitäten erneut spezifiziert, indem es zum Abgleich von Markt- und Kundenbedürfnissen gegenüber der Technologie kommt (vgl. Ganz und Warschat 2012, S. 15). Letztlich kommt es durch die Phase Applikation zur Einführung wie auch nachhaltigen Etablierung der Technologie am Markt. In Ergänzung zum Stage-Gate-basierten Vorgehen führen die Autoren schließlich zusätzlich die fünf Ebenen Markt, Produkt/Leistung, Funktion, Technologie und Kompetenz ein, um auf die Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen Markt und Technologie hinzuweisen als auch im Entwicklungsverlauf zu berücksichtigen (Heubach et al. 2008, S. 20).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich HEUBACH et al. mit ihrem Prozessmodell auf die Grundlagenforschung und die angewandte Forschung fokussieren. Zur industriellen Forschung und Entwicklung sowie zum Markt werden lediglich Anknüpfungspunkte aufgezeigt. Letztlich ist das Prozessmodell von HEUBACH et al. durch die vielfältigen Ebenenbetrachtungen auf eine Darstellung von Ganzheitlichkeit ausgerichtet, wodurch die Tauglichkeitsprüfung unweigerlich als eine sekundäre Aufgabe eingestuft wird.

## **Stage-Gate-basierte Technologieentwicklung nach Cooper**

COOPER (Cooper 2006, S. 23) entwickelte 2006 ein Stage-Gate-basiertes Vorgehen, um den speziellen Anforderungen an die Entwicklung neuer Technologien in Unternehmen gerecht zu werden. Dieses entwickelte Vorgehen ist in die drei Phasen: Project Scoping, Technical Assessment sowie Detailed Investigation unterteilt und wird an Entscheidungspunkten durch Bewertungskriterien (wie bspw. strategischer Fit, Wahrscheinlichkeit für technischen Erfolg und Wahrscheinlichkeit eines Markterfolgs) zum Abbruch oder zur Weiterentwicklung der betrachteten Entwicklungsprojekte ergänzt (vgl. Cooper 2006, S. 26-27). Im Project Scoping wird eine Erarbeitung von Grundlagen vorgenommen, welche neben der Projektplanung Aktivitäten wie eine Patentrecherche oder Wettbewerbsanalysen zum entsprechenden Technologieentwicklungsprojekt umfassen. Das Technical Assessment nutzt der Autor zur Technologieanalyse als auch zum Nachweis der technischen Machbarkeit, wobei es zu einer Labordemonstration und zu Aussagen zum Technologiepotenzial fürs Unternehmen kommen kann. In der Phase Detailed Investigation kommt es letztlich zur Durchführung weiterer umfassender Experimente, zur Identifikation von Anwendungsgebieten der Technologie als auch zu Analysen in Bezug auf Fertigungsmöglichkeiten und Marktaspekten. Die von COOPER vorgenommene Stage-Gate Struktur soll unproduktive Technologieentwicklungen in der Unternehmenspraxis frühzeitig verhindern bzw. diese anhand entsprechender Instrumente, wie bspw. einem Scorecard-Ansatz, selektieren (vgl. Cooper 2006, S. 29). COOPERS Ansatz ist in seinen Ausführungen im Vergleich zu HEUBACH et al. wesentlich detaillierter und weist indes einen großen Bezug zur Unternehmenspraxis auf. Dahingegen wäre zu nennen, dass der Autor zwar eine ganzheitliche Vorgehensweise zur Technologieentwicklung vorlegt, er den Schwerpunkt seiner Betrachtungen aber auf den Transfer von der Technologie- zur Produktentwicklung legt und hierdurch die systematische Überprüfung der Tauglichkeit stellenweise in den Hintergrund rückt.

## **Ein Ansatz zur Kommerzialisierung neuer Technologien nach Eldred & McGrath**

ELDRED und MCGRATH (Eldred 1997) stellen in ihrer Arbeit einen integrierten und unternehmensbezogenen Technologieentwicklungsprozess (Technologie Realization and Commercialization, TRAC) für das effektive Management von Technologieentwicklungsprogrammen vor. Die Autoren gehen ebenfalls davon aus, dass der unstrukturierte Prozess vor einer Produktentwicklung maßgeblich dafür sorgt, dass so viele aussichtsreiche Technologieentwicklungen unbegründet scheitern. Ein gründlicher Managementprozess kann nach Meinung der Autoren die Technologieentwicklung wesentlich verbessern und mehr Technologien bis zur Marktreife befördern. Der Prozess selbst ist aus vier Phasen aufgebaut, die als Technologieentwicklungspfad zu betrachten sind und den Prozess von der Technologie-wahrnehmung über den Nachweis der Machbarkeit bis zu Kommerzialisierung führen (vgl. Eldred 1997, S. 45). Die vier Basiselemente des TRAC umfassen: einen Technologie-Review-Prozess, ein Technologieentwicklungs-Team, ein Senior-Review-Comittee und eine strukturierte Methodenpyramide (wie bspw. Projektplan, Experimente und Laboraktivitäten). Der Technologie-Review-Prozess als Rahmengerüst des TRAC bietet durch die Nutzung einer Technologiematrix zur Formulierung von Performance-Indikatoren wie auch verschiedener Review-Stufen ein schrittweises Steigern der Fähigkeiten einer Technologieentwicklung auf Projektebene an. Daneben wird auf strategischer Ebene die Entscheidungsfindung an Entscheidungsgates im Review-Prozess durch das von ELDRED und MCGRATH vorgeschlagene Senior-Review-Comittee gewährleistet. Letztlich liegt die Projektverantwortung und Durchführung von Technologieentwicklungen im Rahmen des TRAC beim Technologieentwicklungsteam (vgl. Eldred 1997, S. 47). Sie verantworten neben der Entwicklung ebenfalls die kontinuierliche Überprüfung des Technologiefortschritts unter der Nutzung einzelner Methodenaspkte.

Der TRAC-Prozess von ELDRED und MCGRATH stellt einen ganzheitlichen Ansatz für die Technologieentwicklung in Unternehmen dar und weist mit seinen vier Basiselementen auf

die Wichtigkeit des Zusammenspiels von Prozess, Rollenverständnis wie auch Verantwortlichkeiten und methodischen Ansätzen innerhalb der Technologieentwicklung hin. Trotz dieses ganzheitlichen Anspruchs und der methodischen Bezugsbasis (bspw. durch die Technologiematrix) ist der von ELDRED und MCGRATH entwickelte TRAC in seinem Kern auf die Verbesserung eines Projektmanagements für Technologieentwicklungsprojekte ausgerichtet. Einer objektbezogenen Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten kommt der TRAC hierdurch nur ungenügend nach.

In der nachfolgenden Tab. 1 findet sich eine Zusammenstellung der wesentlichen Erkenntnisse aus den vorgestellten Technologieentwicklungsprozessen von HEUBACH et al., COOPER sowie ELDRED & MCGRATH. Der Vergleich ist zum einen auf die zeitliche Einordnung der Prozesse gerichtet. Zum anderen werden die Systematik sowie die methodische Unterstützung in den Prozessen hervorgehoben und schließlich Flexibilität als auch Anwendbarkeit in der Unternehmenspraxis ermittelt. Die für den Vergleich zugrunde gelegten Kriterien in Tab. 1 entstammen Kap.3.2.2 sowie 3.4 und wurden unter Berücksichtigung der Zielsetzung aus Kap. 2.1 ausgewählt.

Tab. 1: Vergleich von Technologieentwicklungsprozessen<sup>17</sup>

Vergleichskriterien  Ansätze zur phasenbezogenen Entwicklung	Zeitliche Einordnung			Systematik des Ansatzes			Bewertung und Integration			Einsatz	
	Technologieentwicklung	Technologieadaptation bzw. Produktplanung	Produktentwicklung	Objektbezogen (technische Objekte)	Projektbezogen	Kombiniert	Methodengestützte Bewertung	Reifegradbetrachtung der Technologien	Entscheidungs- und Kontrollorgane	Flexibilität	Anwendbarkeit (i.S. von Aufwand)
Heubach et al.	●	●	○	○	●	○	○	●	○	●	●
Cooper	○	●	○	○	●	○	●	○	○	○	●
Eldred & McGrath	●	○	○	○	●	○	○	●	●	○	●

Legende: ● größtenteils erfüllt, ○ teilweise erfüllt, ○ größtenteils nicht erfüllt

Der Vergleich in Tab. 1 zeigt zunächst, dass im Hinblick auf die zeitliche Einordnung die betrachteten Ansätze in großem Maße auf die eigentliche Technologieentwicklung fokussiert sind. Bei einer Betrachtung der Systematik der Ansätze fällt hingegen auf, dass lediglich ELDRED und MCGRATH einen direkten Bezug zum technischen Objekt gewährleisten können. Weder HEUBACH et al. noch COOPER können in ihren Prozessen eine direkte Betrachtung technischer Objekte gewährleisten. Zu einer kombinierten Form von objekt- als auch projektbezogener Betrachtung kann es hierdurch nicht kommen. In Bezug auf den Aspekt Bewertung und Integration schneiden alle drei Entwicklungsprozesse schlecht ab, weder werden in zufriedenstellendem Maße Bewertungsmethoden noch in ausreichender Form Entscheidungs- und Kontrollorgane berücksichtigt. Die Annahme einer hinreichenden Tauglichkeitsprüfung durch Technologieentwicklungsprozesse ist an dieser Stelle wiederlegbar. Eine detaillierte Analyse in Kap. 4.1.2 gibt Aufschluss über die tatsächliche Eignungsfähigkeit.

<sup>17</sup> Unter Berücksichtigung von: (Heubach et al. 2008; Cooper 2006; Eldred 1997). Weitere vergleichbare Prozesse finden sich beispielsweise noch bei (Ajamian 2002; Schuh 2010; Specht 2002; Bügel 2009 oder Jahn 2010) und siehe Anhang 12.4.

#### 4.1.2 Defizite der Technologieentwicklungsprozesse

**Unzureichender Objektbezug:** Zunächst ist als wesentliches Defizit die ungenügende Betrachtung der Leistungsfähigkeit von Technologien in den analysierten Technologieentwicklungsprozessen zu nennen: Weder werden die Leistungsfähigkeitsgrenzen der zu entwickelnden Technologien getestet noch die Leistungskennwerte zur Überprüfung bereitgestellt. Es wird zwar mehrfach auf den Nachweis von Machbarkeit und Einsatzfähigkeit hingewiesen, jedoch wird nie ein direkter Hinweis für die tatsächliche Überprüfung einzelner Technologien eingebracht. Da die Leistungsfähigkeit wie auch Einsatzfähigkeit von Einzeltechnologien letztlich in hohem Maße anwendungsspezifisch ist, kann dieser Aspekt in den vorliegenden Modellen nur ungenügend berücksichtigt werden (vgl. Hirt 2011, S. 488). Zusammenfassend bleibt also festzuhalten, dass die vorliegenden Technologieentwicklungsprozesse dem geforderten Objektbezug für technische Systeme nicht zufrieden stellend nachkommen und eine leistungsfähigkeitsbezogene Bewertung von Technologien aufgrund einer projektbezogenen Bewertung nicht möglich ist.

**Eingeschränkte Nutzung von Bewertungsmethoden:** Neben dem unzureichenden Objektbezug besteht ein weiteres Defizit in Bezug auf die Nutzung von Bewertungsmethoden im Entwicklungsverlauf der Technologieentwicklungsprozesse. Zwar weisen COOPER wie auch ELDRED und MCGRATH auf zugrundegelegte Bewertungsmethoden, wie Scorecards, Projektpläne oder Phasenpläne hin, treffen darüber hinaus aber keine Aussagen zu einem quantitativen Methodeneinsatz (vgl. Kap. 3.4.1). So sind die von den Autoren eingebrachten Methoden zum Großteil qualitativer oder projektbezogener Natur und gehen dadurch nur ungenügend auf das zugrunde liegende Technologiekonzept und den darin eingesetzten Technologien ein. Bei den betrachteten Ansätzen kann demnach weder eine systematische Kombination von unterschiedlichen Technologien zu einem Gesamtsystem überprüft noch deren Abhängigkeiten zueinander anhand von quantitativen Bewertungsmethoden dargestellt werden (vgl. Kap. 3.4.1).

**Ungenügende Berücksichtigung von Schnittstellenbereichen:** Letztlich wird ein weiteres Defizit in der unzureichenden Einbindung von angrenzenden Unternehmensprozessen wie bspw. einer Forschung oder externen Entwicklungspartnern gesehen, vgl. Kap. 3.3.2. Lediglich HEUBACH et al. gehen auf den Punkt der Kundeneinbindung innerhalb des Technologieentwicklungsprozesses ein und berücksichtigen den Abgleich zu Kundenanforderungen. Weder COOPER noch ELDRED und MCGRATH heben diesen Aspekt in ihren Arbeiten hervor. Es werden lediglich durch eine übergeordnete Marktsicht Anwenderaspekte berücksichtigt bzw. zugrunde gelegt. Weiterführende Hinweise zu einer Schnittstelleneinbindung in Checklisten o.ä. finden sich nicht. Interessanterweise findet die Verfahrensentwicklung (vgl. Kap.3.3.2) in den vorliegenden Entwicklungsprozessen kaum Berücksichtigung, letztlich weist COOPER zwar darauf hin, detailliert die Überprüfung von Fertigungsmöglichkeiten aber in seiner Arbeit nicht weiter. Insgesamt ist für diesen Aspekt festzuhalten, dass die Schnittstelleneinbindung von internen wie auch externen Bereichen derzeit in nur ungenügendem Maße Berücksichtigung findet.

Tab. 2 fasst die identifizierten Defizite der Technologieentwicklungsprozesse nach HEUBACH et al., COOPER sowie ELDRED und MCGRATH nochmals in ihren Kernpunkten zusammen.

Tab. 2: Zusammenfassung von Defiziten und Anforderungen von Technologieentwicklungsprozessen

Defizite	Anforderungen
[D1] Die vorliegenden Technologieentwicklungsprozesse fokussieren einen Projektbezug. Eine objektbezogene Betrachtung (i.S. einer Funktionsanalyse) findet bei den vorliegenden Prozessen zu wenig Berücksichtigung.	[A1] Die bewertungs-basierte Vorgehensweise muss einen direkten Objektbezug gewährleisten können und dabei die Leistungsfähigkeit eingesetzter Technologien messbar machen.
[D2] Die vorhandenen Technologieentwicklungsprozesse verfügen nur über eine eingeschränkte Nutzung von Bewertungsmethoden, welche zu meist auf Checklisten oder Projektmanagementmethoden beschränkt sind.	[A2] Die zu entwickelnde Vorgehensweise muss entsprechende Bewertungsmethoden in qualitativer wie auch quantitativer Form für die Bewertung technischer Systeme bzw. Objekte gewährleisten.
[D3] In den vorliegenden Technologieentwicklungsprozessen ist die Einbindung von Schnittstellenbereichen derzeit nur ungenügend berücksichtigt, bzw. lediglich über eine allgemeine Marktsicht eingebunden.	[A3] Die zu entwickelnde bewertungs-basierte Vorgehensweise muss eine Einbindung relevanter interner wie auch externer Schnittstellenbereiche zur Tauglichkeitsprüfung im Technologieentwicklungsprozess sicherstellen können.

Grundsätzlich bleibt festzuhalten, dass die vorliegenden Technologieentwicklungsprozesse mit den ihnen zur Verfügung stehenden Werkzeugen nur ungenügend zu einer Bewertung von Technologiekonzepten beitragen können. Vielmehr fokussieren die Prozesse das systematische Vorgehen, wie ein Technologieentwicklungsprojekt bearbeitet werden kann und welche Gremien für eine Entscheidungsfindung in der Technologieentwicklung einzubeziehen sind. Dabei wird völlig außer Acht gelassen, einer der wesentlichen Fragen zur Technologieentwicklung nachzugehen, nämlich der Frage: „*wie reif ist eine Technologie bereits?*“. Diese fehlende Beantwortung macht eine Untersuchung ergänzender Bewertungsmethoden und Reifegradmodelle für die Tauglichkeitsprüfung zwingend erforderlich, vgl. Kap. 4.2 bis 4.4 .

## 4.2 Tauglichkeitsbezogene Bewertungsmethoden

Dieses Teilkapitel stellt sieben der relevantesten tauglichkeitsbezogenen Bewertungsmethoden aus den Bereichen Quality Function Deployment, Value Engineering, strategischer Planung und Investitionsrechnung vor. Die Methoden sollen Evaluierungsmöglichkeiten für technologische Entwicklungen verdeutlichen und vor dem Hintergrund einer Produkttechnologieentwicklung kritisch diskutiert werden. Sie wurden unter Berücksichtigung der in Kap. 2 dargestellten Zielsetzung und den Erkenntnissen aus Kap. 3.4 und 3.4.1 (vgl. Abb. 8) ausgewählt. Im Anhang findet sich (vgl. Anhang 12.9, 12.12, 12.16 und 12.19) eine umfangreiche Sammlung tauglichkeitsbezogener Bewertungsmethoden.

### 4.2.1 Vergleich der Bewertungsmethoden

#### Die Funktionsanalyse

Die Funktionsanalyse nach VDI-Richtlinie 2803 stellt eine systematische Methode zur Analyse der Funktionsstruktur von Objekten dar und ist wesentlicher Bestandteil der Wertanalyse (VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Gestaltung Oktober 1996). Das Analyseobjekt wird dafür funktional aufgegliedert und in seinen Komponenten und Elementen abgebildet, d.h. es entsteht eine Basis zur Untersuchung seiner Wirkungen und Zwecke. Anhand der vorgenommenen Abstraktion und Dekomposition<sup>18</sup> erscheint das Analyseobjekt lösungsneutral und es bietet sich die Möglichkeit zur Entwicklung alternativer technischer Lösungsmög-

<sup>18</sup> Angaben zur Dekomposition von Objekten werden zudem bei (Akiyama 1994, S. 165f) oder (Heubach 2008, S. 91) gemacht.

lichkeiten (vgl. Biedermann 1998, S. 543). Nach VDI 2803<sup>19</sup> sind Funktionen als Wirkungen des Analyseobjekts zu verstehen und durch eine Kombination aus Substantiv und Verb zu beschreiben. Mit Hilfe des Beschreibungsterms werden die Funktionen systematisch in Gebrauchs-, Geltungs-, Haupt- sowie Nebenfunktionen oder Gesamt- und Teilfunktionen unterteilt und zur Visualisierung von funktionalen Zusammenhängen in einem Funktionsbaum oder Funktionennetz (vgl. VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Gestaltung Oktober 1996, S. 4) dargestellt. Der Kern der Methode ist die konzentrierte Betrachtung funktionaler Zusammenhänge und Wirkungen von technischen Objekten. In ihrer einfachsten Form lassen sich die Objekte anhand eines Funktionsbaums darstellen. Die Berücksichtigung der verwendeten Technologien rückt aufgrund der singulären Betrachtungen in den Hintergrund. Das methodische Vorgehen der Funktionsanalyse umfasst die Sammlung, Gliederung und Strukturierung von Ist-Funktionen, welche die Ableitung von Soll-Funktionen erlaubt.

### Das House of Technology

Das House of Technology (HoT) wurde in Analogie zu dem in der Unternehmenspraxis bereits seit Jahren eingesetzten und anerkannten House of Quality des Quality Function Deployment entwickelt (Lentes 2004, S. 221), um die Funktionen eines Produkts in Relation zu dessen Technologieelemente zu setzen. Dadurch wird die Annahme BULLINGERS bestätigt (vgl. Bullinger und Richter, S. 1182), wonach Technologien dazu genutzt werden, um bestimmte Funktionen eines Produktes zu realisieren. So wird im House of Technology durch eine Relationsmatrix die Beziehung von Produktfunktionen und Technologieelementen bestimmt, um optimale Lösungsalternativen für die Produktplanung zu identifizieren und vergleichen (vgl. Abb. 10). Das methodische Vorgehen zum Aufbau der Relationsmatrix umfasst die zeilenweise Aufgliederung ermittelter Produktfunktionen nach SPECHT (vgl. Specht 1999a; Specht 1999b) sowie die spaltenweise Aufgliederung von Technologieelementen. Die sich ergebende Relationsmatrix erzeugt durch eine anwendungsspezifische Kombination von Technologieelementen einen sogenannten Technologieverbund (vgl. Kröll 2007, S. 85). Neben der Verbundwirkung wird die gegenseitige Beeinflussung einzelner Technologieelemente untereinander mit Hilfe einer Korrelationsmatrix im Dach des HoT berücksichtigt (vgl. Lentes 2004, S. 222) und eine begründete Vernetzung bzw. Basis zur Identifikation kritischer Technologieelemente geschaffen.

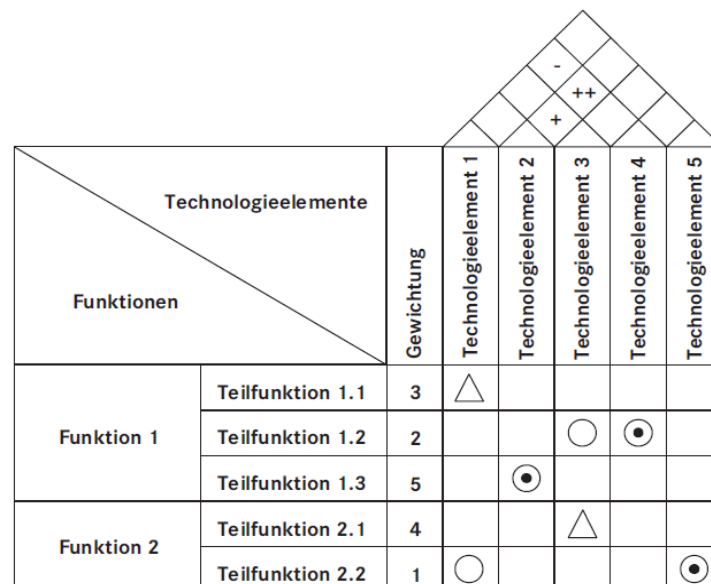


Abb. 10: Das House of Technology (vgl. Kröll 2007 S. 86, Lentes 2004, S. 221)

<sup>19</sup> Siehe VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Gestaltung Oktober 1996 Blatt 1, Seite 2.

Die neu entstandenen Funktions-Technologiekombinationen können sowohl neue als auch beherrschte Technologien in die Relationsmatrix mit einbeziehen, die den Vergleich von Alternativen gewährleistet. Die Verwendung der Methode als Bewertungsinstrument in der Technologieentwicklung verlangt die Definition einer Objektstruktur für Technologiekonzepte, vgl. Kap. 5.1.

### **Die Handshake-Analyse**

Die Handshake-Analyse wurde in Anlehnung an das Value Engineering entwickelt und stellt einen integrativen Ansatz zur systematischen Identifikation von technologie- und marktorientierten Lösungen für Produktinnovationen dar (vgl. Baessler et al. 2003, S.44; Birkenmeier 1996; Biedermann 1998, S. 550). Durch den Ansatz werden auf einer strategischen Betrachtungsebene die Zusammenhänge von Kundenbedürfnissen, dem Technologieeinsatz sowie von Produktkombinationen aufgezeigt und bewertet (vgl. Birkenmeier 1996; Biedermann 1998, S. 550). Das methodische Vorgehen des Ansatzes umfasst die Bildung eines Systems mit mehreren Matrizen zur systematischen und transparenten Gegenüberstellung von Zusammenhängen (vgl. Baessler et al. 2003, S. 44). Dabei erzeugt zunächst jede Matrix den Vergleich zweier Bewertungsgrößen, wodurch passende Teillösungen für Produktinnovationen gefunden und ein sogenannter „Handshake“ erzeugt wird. Im Schwerpunkt konzentriert sich der Ansatz auf die Kombinatorik von Einzelmatrizen und auch auf die sich ergebende ganzheitliche Betrachtungsweise von Produktkombinationen und verwendeten Technologien. Knotenpunkte im System stellen zudem übergreifende Beziehungen zwischen den jeweiligen Bewertungsgrößen sicher und erzeugen so weitere „Handshakes“. Eine festgelegte Reihenfolge im Matrixensystem sorgt für ein systematisches Vorgehen und vermittelt das richtige Verständnis der abgebildeten Zusammenhänge (vgl. Baessler et al. 2003, S. 44). Aus der Systembetrachtung und der Verknüpfung der Matrizen untereinander entstehen schließlich technologie- und marktorientierte Lösungen für Produktinnovationen. Im Fokus der Methode steht eindeutig die Kombinatorik unterschiedlicher Aspekte der Wertschöpfungskette in Unternehmen. Für die Aufgaben einer Technologiebewertung eignet sich die Handshake-Analyse allerdings wenig, weil ihre Verwendung in der Technologieentwicklung Anpassungen für entwicklungsbezogene Bewertungen im Matrixensystem verlangt. Die Methode der Handshake-Analyse wird in der Literatur zudem bisher kaum erwähnt, was auf eine geringe Verwendungshäufigkeit und einen geringen Bekanntheitsgrad schließen lässt.

### **Technologie-Portfolio-Analyse**

Die Technologie-Portfolio-Analyse stellt ein strategisches Instrument zur Unterstützung der Entscheidungsfindung bei alternativen Technologieinvestitionen dar. Seinen Ursprung findet das Instrument in den traditionellen Finanzmarkt- und Produkt-Markt-Portfoliokonzepten, wo Portfolios unter anderem zur Beurteilung von Marketingstrategien eingesetzt werden (Achatz 2012, S. 360; Bea und Haas 2005, S. 148). Die Grundstruktur solcher Technologie-Portfolios basiert auf zwei Dimensionen, in denen von Unternehmen beeinflussbare sowie nicht-beinflussbare Parameter zu den einzelnen Technologien abgetragen sind (Achatz 2012, S.360; Bea und Haas 2005, S. 158). Die Dimensionen dienen sowohl als Maßstab für das zukunftsgerichtete Wettbewerbspotenzial der Technologien als auch zur Beschreibung der aktuellen Unternehmensposition bezüglich der betreffenden Technologien (vgl. Bea und Haas 2005, S. 158). Die Literatur bietet hierfür verschiedenartige Technologie-Portfolios<sup>20</sup> an. Stellvertretend sei hier das Technologie-Portfolio nach Pfeiffer, welches die Bewertung von in Produkten eingesetzten oder neuen, bisher nicht genutzten Technologien anhand der Dimensionen Technologieattraktivität (externe, nichtbeeinflussbare Größe) und Ressourcen-

---

<sup>20</sup> Weiterführende Literatur zur Portfolio-Analyse findet sich bspw. unter: (Bullinger 1994, S. 154; Bruns und Meyer-Bullerdiek 2008; Servatius 1985; Booz Allen & Hamilton, S. 59f; Krubasik 1982). Eine zusammenfassende Darstellung gängiger Portfolio-Methoden mit deren Zielsetzungen und Schlüsselfaktoren findet sich zudem bei (Haag 2011, S. 330-336).

stärke (interne, beeinflussbare Größe) sowie spezifischer Indikatoren vornimmt (vgl. Bea und Haas 2005, S. 158). Das methodische Vorgehen dieser Technologie-Portfolio-Analyse umfasst neben einer Bestimmung der relevanten Bewertungsgrößen, eine Übertragung von Bewertungsergebnissen ins Portfolio und eine sich anschließende Entscheidungsfindung (vgl. Achatz 2012, S.360). Der Schwerpunkt dieses Portfolio-Ansatzes liegt in der zweidimensionalen, qualitativen Bewertung und Visualisierung von Technologiealternativen zur Entscheidungsfindung innerhalb des Technologiemanagements, wobei Handlungsempfehlungen den Bewertungsprozess unterstützen.

### **Die Nutzwertanalyse**

Die Nutzwertanalyse ist ein systematisches Bewertungsverfahren zur Bestimmung und Auswahl von Lösungsalternativen von mehrdimensionalen Zielsystemen (vgl. Zangemeister 1976, S. 45; Breiing 1997, S. 241). Die Kernpunkte des Bewertungsverfahrens sind die Vergabe von Punktwerten für Lösungsalternativen, anhand vordefinierter Bewertungskriterien und die Ermittlung gewichteter Kosten-Nutzen-Verhältnisse pro Alternative. Durch die Definition eines festgelegten technisch-wirtschaftlichen Kriterienrahmens liegt allen Lösungsalternativen eine gemeinsame Datenbasis zugrunde, die dadurch zur Vergleichbarkeit der Alternativen führt. Mit Hilfe der zugeordneten Punktwerte kann pro Lösungsalternative eine dimensionslose Zahl ermittelt und ein Gesamtnutzwert abgebildet werden (vgl. Breiing 1997, S.244). Das methodische Vorgehen der Nutzwertanalyse umfasst in der Grundvariante fünf Schritte (vgl. Adam 1996, S.413). Zunächst erfolgt - ausgehend vom Zielsystem - die Formulierung geeigneter technischer wie auch wirtschaftlicher Bewertungskriterien. Im zweiten Schritt werden anhand der darlegten Bewertungskriterien entsprechende Gewichtungsfaktoren festgelegt, um die Bedeutung einzelner Kriterien hervorzuheben. Die sich anschließende Bewertung benötigt außerdem noch eine Festlegung der Kriterienausprägungen. Erst wenn die notwendigen Voraussetzungen zur Nutzwertanalyse erfüllt sind, nehmen (Technologie-) Experten eine entsprechende Bewertung der Lösungsalternativen pro Bewertungskriterium vor. Im letzten Schritt der Grundvariante erfolgt dann eine finale Berechnung von Nutzwerten pro Lösungsalternative und die Vergabe der Rangfolge. Der Einsatz der Nutzwertanalyse wird klassischerweise in der Frühphase von Entwicklungsprozessen gesehen, konkret innerhalb der Technologieentwicklung und Vorentwicklung.

HAAG (vgl. Haag 2011, S. 321) schlägt die Nutzwertanalyse als geeignete Methode zur Technologiebewertung in der Technologieentwicklung vor. Sie liefert nach Meinung des Autors insbesondere bei qualitativ verfügbaren Daten eine Möglichkeit zur Entscheidungsfindung in der Technologieentwicklung. Eine Zunahme an Bewertungskriterien impliziert jedoch rasch eine unübersichtliche Bewertung und einen hohen Bewertungsaufwand pro Lösungsalternative (vgl. Breiing 1997, S. 22).

### **Target Costing**

Das Target Costing stammt aus dem Bereich des Produktkostenmanagements und stellt einen Ansatz zur frühzeitigen Ausrichtung von Kostenstrukturen zu entwickelnder Produkte an Marktanforderungen sowie Kundenwünschen dar (vgl. Schmeisser und Solte 2010b, S. 64; Dinger 2002, S. 7). Das Verfahren dient als strategisches Kostenplanungs-, Kostensteuerungs- und Kostenkontrollinstrument, wobei die Festlegung von Funktionskosten mit Hilfe eines Top-Down-Ansatzes erfolgt (vgl. Dinger 2002, S. 10). Das methodische Vorgehen<sup>21</sup> des Target Costing umfasst neben einer Zielkostenbestimmung eine Zielkostenaufspaltung und schließlich Zielkostenkontrolle. Ausgehend von einem aus Marktsicht definierten Zielpreis wird zunächst die Zielkostenbestimmung durch den Einsatz der Subtraktionsmethode

---

<sup>21</sup> In der Literatur finden sich unterschiedlichste Ausführungen zum Ablauf des Target Costing. Vor dem Hintergrund der Zielsetzung der Arbeit wird der wohl am häufigsten eingesetzte und aufgeführte dreiphasige Ablauf der Zielkostenfindung, Zielkostenaufspaltung sowie Zielkostenkontrolle gewählt. Weiterführende Literatur zum Target Costing findet sich bspw. bei: (Götze 2010; Niemand 1996; Horváth et al. 1993; Seidenschwarz 1993).

für das zu entwickelnde Produkt bzw. technische Objekt vorgenommen. Neben der Kostenbestimmung erfolgt unter Berücksichtigung von Kundenanforderungen eine Kostenaufspaltung auf die Produktfunktionen und Produktkomponenten; dadurch entsteht eine Verhältnismäßigkeit zwischen direkten Kosten und gestiftetem Nutzen. Mit einem Zielkostenkontrolldiagramm kann zudem das ermittelte Kosten-Nutzen-Verhältnis grafisch visualisiert werden. Die Zielkostenkontrolle kann schließlich die Anpassungs- oder Verbesserungsmaßnahmen zur Kostenerreichung realisieren. Im Schwerpunkt ist der Ansatz auf die Optimierung bestehender oder neu zu entwickelnder Produkte ausgerichtet, wobei Produkt- als auch Marktinformationen in systematisch-funktionaler Weise kombiniert werden.

## Die Kapitalwertmethode

Die Kapitalwertmethode stellt eines der wohl am häufigsten eingesetzten Instrumente zur monetären Bewertung von Investitionsobjekten dar (vgl. Haag 2011, S. 346). Die Methode dient sowohl dazu den ökonomischen Wert einer Technologieinvestition zu ermitteln als auch die Entscheidungsfindung bei Technologiealternativen zu unterstützen. Das Entscheidungskriterium stellt in diesem Fall der jeweils höhere Kapitalwert einer Technologiealternative dar, welcher sich aus den potenziellen Einzahlungen und Auszahlungen der Technologieentwicklung wie auch -nutzung ermittelt lässt (vgl. Heesen 2010, S. 32). Das rechnerische Prinzip der Kapitalwertmethode basiert auf dem Vergleich der gesamten von einer Investition verursachten Ein- und Auszahlungen. Hierbei werden die potenziellen Zahlungsströme für die Technologie(n) mittels eines Kalkulationszinsfußes bis zum Datum des Investitionsbeginns abgezinst (vgl. Heesen 2010, S. 32). Das methodische Vorgehen zur Kapitalwertermittlung (vgl. Formel 1) umfasst neben der Bestimmung technologiebedingter Ein- und Auszahlungen im Zeitverlauf auch die Festlegung eines Diskontierungssatzes und schließlich die Diskontierung der Ein- und Auszahlungen auf den aktuellen Zeitpunkt (vgl. Haag 2011, S. 345). Bei positivem Kapitalwert kann vermutet werden, dass die geplante Technologieinvestition voraussichtlich einen ökonomischen Nutzen stiften wird (vgl. Haag 2011, S. 345). Wohingegen ein negativer Kapitalwert vermuten lässt, dass die geplante Technologieinvestition ökonomisch gesehen, aufgrund eines geringeren Gegenwartswerts im Vergleich zur Investitionshöhe, nicht wirtschaftlich sein wird (vgl. Haag 2011, S. 346).

$$K = -I + \sum_{t=1}^m (e_t - a_t) \cdot (1 + i)^{-t} = -I + \sum_{t=1}^m \frac{(e_t - a_t)}{(1 + i)^t}$$

(mit  $K$ : Kapitalwert,  $I$ : Investitionen zu Vorhabensbeginn,  $e_t$ : erwartete kumulierte Einzahlungen pro Periode  $t$ ,  $a_t$ : erwartete kumulierte Auszahlungen pro Periode  $t$ ,  $i$ : Kalkulationszinssatz  
Indizes:  $t$ : betrachtete Periode,  $m$ : Betrachtungszeitraum)

### Formel 1: Kapitalwertberechnung<sup>22</sup>

Zum Einsatz der Kapitalwertmethode ist anzumerken, dass die Wirtschaftlichkeit einer Investition in der Technologieentwicklung und -nutzung stark an den zugrundegelegten Kalkulationszinsfuß gebunden ist (vgl. Heesen 2010, S. 33). Bei verkehrter Wahl des Zinsfußes, kann es ggf. zu falschen Investitionsentscheidungen kommen. Ebenfalls sind die Bestimmung der Höhe und die zeitliche Verteilung der Zahlungen in der Technologieentwicklung unter Umständen schwierig zu rechnen (vgl. Heesen 2010, S. 36).

<sup>22</sup> Vgl. hierzu beispielsweise KÖNIG & VOLKER (König und Völker 2002, S. 3) wo die Kapitalwertermittlung als wertorientierte Beurteilung von Technologien in der Technologieentwicklung aufgefasst wird.

Die wesentlichen Erkenntnisse zur vorausgegangenen Methodenanalyse sind in der folgenden Tab. 3 visualisiert. Die Gegenüberstellung beleuchtet sowohl den Analysegegenstand als auch den Anwendungskontext der ausgewählten Bewertungsmethoden. Zusätzlich werden Aspekte wie Ganzheitlichkeit, Objektbezug und Einsatzfähigkeit in der Praxis analysiert. Die Evaluierungskriterien für den Vergleich in Tab. 3 sind den Kap. 3.3 und 3.4 entnommen und wurden unter Berücksichtigung der Zielsetzung (vgl. Kap. 2.1) ausgewählt.

Tab. 3: Vergleich tauglichkeitsbezogener Bewertungsmethoden zur Entscheidungsfindung

Methoden & Ansätze	Analysegegenstand			Bewertungsausrichtung			Ganzheitlichkeit der Bewertung				Bezug		Eignung	
	Allgemeine Objektbetrachtung	Komponenten- & Elementbetrachtung	Funktionsbetrachtung	Situationsanalyse	Schwachstellenidentifikation	Bewertung (Soll-Ist-Vergleich)	Technikbezogene Bewertung	Markt- und Kundenbezogene Bewertung	Fertigungsbezogene Bewertung	Wirtschaftlichkeitsbezogene Bewertung	Berücksichtigung spezifischer Technologien	Allgemeine, unspezifische Betrachtung	Anwendbarkeit (i.S. von Aufwand)	Methodenkompetenz
Funktionsanalyse	●	●	●	●	○	○	●	○	○	○	○	●	○	○
House of Technology	○	●	●	●	○	●	●	○	○	○	●	○	●	○
Handshake Analyse	○	○	●	●	○	○	●	●	●	○	●	○	○	○
Portfolio	●	○	○	●	●	○	●	○	○	●	○	●	●	○
Nutzwertanalyse	●	○	○	●	○	●	●	○	○	●	○	●	○	○
Target Costing	○	●	●	●	●	○	○	●	○	●	○	●	●	○
Kapitalwertmethode	●	○	○	●	○	○	○	○	○	●	○	●	○	○

Legende: ● = größtenteils erfüllt, ○ = teilweise erfüllt, ○ = größtenteils nicht erfüllt

Der aufgeführte Vergleich aus Tab. 3 zeigt, dass der Objektbezug auf Komponenten- oder Funktionsebene nur durch wenige Methoden, wie der Funktionsanalyse, dem Target Costing oder dem House of Technology, wirklich abgedeckt werden kann. Die übrigen Methoden weisen hierin zum Teil merkbare Defizite auf. In Bezug auf die Bewertungsausrichtung zeigt sich, dass zwar alle Methoden eine Situationsanalyse gewährleisten, wenige hingegen aber nur den für eine Tauglichkeitsprüfung notwendigen Soll-Ist-Vergleich zulassen. Hinsichtlich der Thematik Ganzheitlichkeit kann keine der Methoden einen Ansatz über alle Betrachtungsbereiche hinweg anbieten. Die Handshake-Analyse kommt dieser Forderung noch am nächsten und greift mitunter den bisher oft vernachlässigten Aspekt der Fertigungsbetrachtung als auch -bewertung auf. Bei der Berücksichtigung spezifischer Technologien im Vergleich zu einer unspezifischen Betrachtung muss festgestellt werden, dass auch hier nur wenige Methoden wirklich einen Zugang anbieten. Letztlich können dies wirklich nur das House of Technology wie auch die Handshake-Analyse aufgrund ihrer technisch-funktionalen Aufgliederungen gewährleisten.

## 4.2.2 Defizite der Bewertungsmethoden

**Unzureichende Ganzheitlichkeit in der Bewertung:** Um ein umfassendes Bild über die Attraktivität und Wettbewerbsfähigkeit von technologischen Entwicklungen zu erlangen, ist ein Abgleich von Angebot und Nachfrage (intern wie auch extern) unumgänglich (vgl. Hall 2002, S. 123). Die Analyse der vorgestellten Ansätze zeigt, dass diese Forderung nur ungenügend erfüllt wird. So ist die fehlende Ganzheitlichkeit von Bewertungen ein grundlegendes Defizit. Zumeist sind die dargestellten Ansätze auf technische oder wirtschaftliche Aspekte hin ausgerichtet (vgl. Tab. 3); kaum Berücksichtigung finden dabei aber die zur Realisierung von Entwicklungen notwendigen Fertigungsaspekte. Lediglich die Handshake-Analyse bringt Technikaspekte direkt mit Fertigungsmöglichkeiten in Verbindung, detailliert diese aber nicht weiter. Auch die Visualisierung der Erfüllung von Kundenanforderungen wird in den vorgestellten Verfahren nicht berücksichtigt (vgl. Hall 2002, S. 60). Keine der vorgestellten Methoden kann einen ganzheitlichen Ansatz unter technischen sowie markt- und kundenbezogenen Aspekten wirklich garantieren. Die Ansätze können somit nur partiell zur Entscheidungsfindung beitragen. Für die Bewertung von Technologieentwicklungen ist aber gerade eine ganzheitliche Betrachtungsweise notwendig. In der Folge ist noch anzumerken, dass Unternehmensziele oder strategische Zielsetzungen in den vorgestellten Bewertungsansätzen überhaupt nicht berücksichtigt werden und hier ein zusätzliches Defizit zu finden ist.

**Unzureichende Berücksichtigung von Technologien und deren Abhängigkeiten:** Eine Entscheidungsfindung in der Technologieentwicklung setzt voraus, dass eingesetzte Technologien beschrieben werden und deren gegenwärtige Leistungsfähigkeit wie auch deren Wechselwirkungen im Gesamtsystem bekannt sind. Methoden, die eine solche Entscheidungsfindung unterstützen, müssen demnach einen entsprechend detaillierten Zugang zu eingesetzten Technologien gewährleisten. KRÖLL weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass für eine Entscheidungsfindung in der Technologieentwicklung keine isolierte Betrachtung von Technologien vorgenommen werden sollte. Seiner Meinung nach sind vielmehr bestehende Wechselwirkungen mit anderen Technologien in die Bewertung und Entscheidungsfindung mit einzubeziehen, um eine adäquate Entscheidung über die Verwendungs- und Leistungsfähigkeit von Technologien zu treffen (vgl. Kröll 2007, S. 52). Die Überprüfung der hier vorgestellten Entscheidungsfindungsmethoden berücksichtigt die von KRÖLL genannten Aspekte nur unzureichend. So ist insbesondere festzustellen, dass bei der Kapitalwertmethode eine Betrachtung von Einzeltechnologien oder Technologiekombinationen nicht vorgesehen ist, weshalb technologiebezogene Bewertungen beim Einsatz dieser Methode auf einem allgemeinen, unspezifischen Niveau verbleiben. Lediglich das House of Technology und die Handshake-Analyse bieten durch ihre charakteristische Matrixstruktur einen detaillierteren Zugang zu verwendeten Technologien bzw. deren Wechselwirkungen untereinander (vgl. Lentos 2004, S. 220).

**Mangelhafte Kombinierbarkeit der Einzelmethoden:** Die unterschiedlichen Detaillierungsgrade der vorliegenden Bewertungsmethoden sind bei kritischer Betrachtung nur bedingt für eine direkte Kombinierbarkeit zweier oder mehrerer Methoden geeignet. Den Empfehlungen von WELLENSIEK et al. wie auch GRANIG in Bezug auf einen Methodenmix wird hierdurch nur ungenügend nachgekommen (vgl. Kap. 3.4.1). Die Methoden setzen zumeist einen bestimmten Daten- und Informationsgehalt voraus, welcher in unterschiedlichem Detaillierungsgrad zu berücksichtigen ist und hierdurch keine Mischformen von Bewertungsmethoden zulässt. Zudem beschäftigen sich die Methoden oft nur ungenügend mit der Einbindung von Wissensträgern oder Schnittstellenbereichen in Unternehmen. Expertenwissen kann hierdurch oft nur indirekt aufgenommen werden.

**Bewertungsfokus - vergleichende Bewertung:** Neben der ungenügenden Kombinierbarkeit der Bewertungsmethoden besteht ein weiteres Defizit in Bezug auf die Bewertungsform, vgl. Kap. 3.4.1. Die vorliegenden Bewertungsansätze berücksichtigen im Bewertungsvorgang die für eine Technologieentwicklung notwendige Soll-Ist-Überprüfung vorgegebener Zielstellungen nur ungenügend. Sie beabsichtigen vielmehr einen Vergleich von Lösungsalternativen. Da es sich um Technologieentwicklungsprojekte handelt, zu denen kein

Vergleichsprojekt zur Bewertung herangezogen werden kann, erfüllen die behandelten Entscheidungsfindungsmethoden die Forderung nach einer Soll-Ist-Überprüfung von definierten Zielstellungen nur ungenügend; sie erzeugen vielmehr ein weiteres Defizit hinsichtlich ihrer Einsatzfähigkeit in der Technologieentwicklung.

Tab. 4: Zusammenfassung von Defiziten und Anforderungen von Ansätzen zur Entscheidungsfindung

Defizite	Anforderungen
[D1] In den vorliegenden Ansätzen zur Bewertung und Entscheidungsfindung wird eine Kopplung technisch-funktionaler sowie marktrelevanter Aspekte nur ungenügend gewährleistet oder berücksichtigt.	[A1] Im Rahmen der bewertungsbasierten Vorgehensweise müssen eingesetzte Bewertungs- bzw. Entscheidungsfindungsmethoden zu einer ganzheitlichen Bewertung führen. Entscheidend ist dabei die Verknüpfung technisch-funktionaler sowie marktrelevanter Aspekte bspw. durch Methodenmix.
[D2] Bei den vorliegenden Ansätzen werden eingesetzte Technologien nur unzureichend in der Bewertung & Entscheidungsfindung berücksichtigt. Häufig fehlt den Ansätzen ein systematisch, detaillierter Zugang zu neuen oder beherrschten Technologien der Technologieentwicklung.	[A2] Die bewertungsbasierte Vorgehensweise muss durch gezielten Methodeneinsatz einen hinreichend detaillierten Zugang zu den eingesetzten Technologien für die Bewertung ermöglichen. Hierbei sind insbesondere Technologieelemente und deren Wechselwirkungen zueinander zu berücksichtigen.
[D3] Die inhaltliche Ausrichtung der vorliegenden Bewertungsmethoden ist durch Einseitigkeit gekennzeichnet. Es werden nur ungenügend qualitative als auch quantitative Kombinationen vorgeschlagen.	[A3] Es werden sowohl qualitative als auch quantitative Bewertungsansätze für eine effektive Bewertung benötigt, im Sinne einer Kombination aus Bewertungsmethoden.
[D4] In den vorliegenden Bewertungsansätzen ist im Bewertungsvorgang eine Soll-Ist-Überprüfung vorgegebener Zielstellungen nur ungenügend berücksichtigt, vielmehr sind die vorliegenden Ansätze auf einen Vergleich von Lösungsalternativen ausgerichtet.	[A4] Die bewertungsbasierte Vorgehensweise muss eine Soll-Ist-Überprüfung vorgegebener Zielstellungen aus der Technologieplanung durch Methodenkombinationen oder Methodenadaption für die Technologieentwicklung gewährleisten.

Tab. 4 fasst die identifizierten Defizite der analysierten Bewertungsmethoden nochmals zusammen und führt Anforderungen zur Lösung der bestehenden Problemstellungen an. So kann festgestellt werden, dass eine detaillierte Analyse von Technologiekonzepten und den darin eingesetzten Technologien die Güte einer Entscheidungsfindung wesentlich beeinflusst. Der Vergleich im vorigen Abschnitt zeigt, dass die gängigen Entscheidungsfindungsmethoden (vgl. Tab. 3) dieser Forderung nur ungenügend nachkommen. Es bleibt daher festzuhalten, dass bisher keine Praktiken vorliegen, die einen operablen Zugang zu einzelnen Technologien und eine fortsetzbare Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten in der Technologieentwicklung gewährleisten.

## 4.3 Integrierte Verfahren zur Tauglichkeitsbewertung

### 4.3.1 Eingrenzung aus der Gesamtheit von Ansätzen

Neben Einzelmethoden zur Bewertung von Technologien bietet die Fachliteratur auch eine Vielzahl von integrierten Technologiebewertungsansätzen<sup>23</sup> an (vgl. Tab. 5). Eine zeitliche Einordnung zeigt, dass die inhaltliche Ausrichtung dieser Technologiebewertungsansätze

<sup>23</sup> Tab. 5 zeigt eine Zusammenfassung wissenschaftlicher Arbeiten vergangener Jahre. Dabei wurden vor allem Ansätze untersucht, die sich explizit mit der Thematik Technologiebewertung im Rahmen des Technologiemanagements auseinandersetzen. Die Tabelle hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Einzelne Methoden zur Bewertung von Technologien wurden im Rahmen der Analyse in Tab. 5 nicht berücksichtigt. Eine entsprechende Analyse findet sich hierzu Kap. 4.2.

von der Technologiefrüherkennung bis zur Produktplanung in der Produktentwicklung reicht und sich sowohl auf qualitativen als auch quantitativen Methodeneinsatz stützt. So wurde die Thematik Technologiebewertung bereits aus unterschiedlichen Blickwinkeln heraus betrachtet, um beispielsweise die technologische Leistungsfähigkeit von Unternehmen zu bestimmen, Fertigungstechnologien und deren Einsatzfähigkeit in der Produktentwicklung zu bewerten oder mit Technologien in Verbindung stehende Geschäftsmodelle zu bewerten.

Tab. 5: Vergleich von Technologiebewertungsansätzen für die Technologieentwicklung<sup>24</sup>

Vergleichskriterien	Zeitliche Einordnung des Ansatzes						Bewertungsart		Bewertungsobjekt		Bewertungsbezug	
	Technologiefrüherkennung	Technologieplanung	Technologieentwicklung	Technologieverwertung	Produktplanung	Produktentwicklung	qualitativ	quantitativ	Produkttechnologie	Fertigungstechnologie	Operativer Bezug	Strategischer Bezug
<b>Methoden &amp; Ansätze</b>												
Adams	○	●	○	○	●	○	●	●	●	●	●	●
Borsdorf	○	●	○	○	●	●	●	○	○	●	●	○
Hall	○	●	●	○	●	○	●	○	○	●	●	●
Kröll	○	○	○	○	●	○	●	●	●	○	●	○
Heubach	○	○	○	○	●	○	●	○	●	○	●	○
Abele	○	●	○	○	○	○	●	○	●	○	○	●
Gomeringer	○	●	○	○	○	○	●	○	●	○	●	○
Kurr	○	○	○	●	●	○	●	○	●	○	○	●
Schabacker	○	○	○	○	●	●	○	●	●	●	●	○
Niemand et al.	○	○	●	○	○	○	○	●	●	○	●	○
Schöning	○	○	●	○	○	○	○	●	●	●	○	●
Dahlem	○	○	○	●	●	○	●	○	●	○	○	●

Legende: ●= größtenteils erfüllt, ○= teilweise erfüllt, ○= größtenteils nicht erfüllt

Die Vielfältigkeit an untersuchten Bewertungs-Fragestellungen (vgl. Tab. 5) verdeutlicht, dass sowohl die Technologie- wie auch die Produktplanung in der bisherigen Behandlung der Literatur zur Technologiebewertung große Berücksichtigung finden. Dies lässt sich dadurch begründen, dass die Entscheidungsprozesse zum Einstieg in neue Technologien und Entscheidungen zur Verwertung technischen Wissens für Unternehmen eine hohe wettbewerbsstrategische Bedeutung besitzen, wohingegen die anderen Aufgabenbereiche des Technologiemanagements (vgl. Kap. 3.2.1) erst in den vergangenen Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen haben (vgl. bspw. Cooper 2006; Eldred 1997). Demgegenüber ist allerdings auch festzustellen, dass sich eine explizite Auseinandersetzung mit der Technolo-

<sup>24</sup> Unter Berücksichtigung von (Adams 1995; Borsdorf 2007; Hall 2002; Kröll 2007; Heubach 2008; Abele 2006; Gomeringer 2007; Kurr 2003; Schabacker 2005; Niemand 2009; Schöning 2006; Dahlem 2013).

giebewertung in der Technologieentwicklung bei den bisherigen Analysen kaum erkennen lässt. So unterstützen nur wenige Autoren (Hall, Niemand et al. und Schöning) den kombinierten Einsatz qualitativer und quantitativer Bewertungsmethoden bei Technologieentwicklungsentscheidungen. Vereinzelt wird dies durch die Nutzung abgewandelter Scorecard-Ansätze (bspw. Schöning und Dahlem) ergänzt. Mehrheitlich findet bei den analysierten Ansätzen die Produkttechnologie als Bewertungsgegenstand Berücksichtigung. Diese wird größtenteils durch einen Mix aus operativen und strategischen Bewertungsaspekten auf deren Chancen und Risiken hin evaluiert.

Zusammenfassend bleibt aus der Analyse festzuhalten, dass die Technologieentwicklung als Teil des Technologiemanagements bisher nur unzureichend über Bewertungsansätze zur Entscheidungsfindung unterstützt wird (siehe Tab. 5). Die identifizierten Ansätze von HALL, NIEMAND et al. und SCHÖNING mit direktem Bezug zur Technologieentwicklung erfordern eine detaillierte Analyse. Es gilt zu prüfen, ob diese Ansätze eine Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten in der Technologieentwicklung ermöglichen oder wesentliche Voraussetzungen hierfür bieten können.

### **4.3.2 Vergleich von Technologiebewertungsansätzen**

In diesem Kapitel folgt eine detaillierte Analyse der Technologiebewertungsansätze von NIEMAND et al., HALL und SCHÖNING, die wegen ihrer inhaltlichen Ausrichtung in direktem Zusammenhang zur Technologieentwicklung stehen (vgl. Tab. 5). Diese Ansätze kombinieren bereits qualitative als auch quantitative Bewertungsmethoden zur Entscheidungsfindung bzw. zur Wertermittlung von Technologien in einem systematischen Vorgehen. Ihre Eignung zur Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten in der Technologieentwicklung soll nachfolgend kritisch diskutiert werden.

#### **CITS<sup>25</sup>-Modell nach Niemand et al.**

NIEMAND et al. stellten 2009 ein integratives Prozessmodell zur ganzheitlichen Bewertung von Technologiekonzepten in einer frühen Phase der Technologieentwicklung vor, das die Entscheidungsfindung bei der Entwicklung von Technologiekonzepten unterstützen soll. Die Autoren integrieren hierfür technologie-, konkurrenz- und kundenorientierte Ansätze zur Bewertung (vgl. Niemand 2009, S. 40) und richten dadurch Entwicklungen frühzeitig an den Bedürfnissen des Marktes aus. NIEMAND et al. legen hierfür vier Prozessschritte zugrunde. Im ersten Schritt, der Technologieorientierung, erfolgt anhand von Technologiebeschreibungen und Merkmalsableitungen eine „technologieorientierte“ Bewertung von Technologiekonzepten. NIEMAND et al. empfehlen hierfür die systematische Einbindung von Experten, insbesondere Forscher und Entwickler. Auf Basis der gewonnen Erkenntnisse wird im zweiten Schritt in einer konkurrenzorientierten Bewertung eine Wettbewerbsfähigkeitsanalyse der Technologiekonzepte in Bezug auf konkurrierende Technologien vorgenommen. Für die Ermittlung der Wettbewerbsfähigkeit greifen NIEMAND et al. in vereinfachter Form auf das von Porter entwickelte Five-Forces-Modell als auch auf die Analyse von Sekundärstatistiken zurück (vgl. Niemand 2009, S. 32). Im dritten Schritt - der Kundenorientierung - bewerten potenzielle Anwender die Technologiekonzepte. Zur Bestimmung von Anforderungen und Anwenderpräferenzen der potenziellen Anwender setzen NIEMAND et al. Expertenbefragungen sowie eine adaptive Conjoint-Analyse ein. Im letzten Schritt, der Entscheidungsfindung, integrieren die Autoren die Erkenntnisse aus der technologie-, konkurrenz- und kundenorientierten Perspektive, um über die Weiterentwicklung der betrachteten Technologiekonzepte zu entscheiden. Für die Entscheidungsfindung ziehen die Autoren eine Nutzwert- und Wirtschaftlichkeitsanalyse heran und binden auch hier potenzielle Anwender insofern systematisch ein, als sie deren Preisbereitschaft erfragen (vgl. Niemand 2009, S. 38).

---

<sup>25</sup> CITS: Consumer Integrated Technology Screening

Das Prozessmodell von NIEMAND et al. ist trotz seiner ganzheitlichen Betrachtungsweise im Schwerpunkt auf die Integration von Kunden in die Technologieentwicklung ausgerichtet (vgl. Niemand 2009, S. 40). Der spezifisch gewählte qualitative wie quantitative Methodeneinsatz deutet ebenfalls auf eine starke Kundenorientierung hin. Die Autoren gehen nicht darauf ein, ob eine Bewertung von Material- oder Fertigungstechnologien erfolgt. Es wird eine monetär bestimmte Entscheidungsfindung<sup>26</sup> in den Mittelpunkt gestellt.

### **Ganzheitliche, kennzahlbasierte Bewertung von Technologien nach Hall**

HALL entwickelt eine Vorgehensweise zur ganzheitlichen Bewertung von Produktionstechnologien für technologieorientierte Unternehmen. Der Autor konzentriert sich in seiner Arbeit darauf, Begründungen für bzw. gegen den Einsatz von Produktionstechnologien zu finden (Hall 2002, S. 4). Eine visualisierte Technologiesituation soll die Entscheidungsfindung von der Technologieplanung bzw. -steuerung und der angrenzenden Technologieentwicklung in Unternehmen durch mehrfachen Einsatz unterstützen. Zu diesem Zweck definiert HALL zwei Phasen in seiner Vorgehensweise: eine Explorationsphase und eine Bewertungsphase. Die Explorationsphase umfasst im Wesentlichen eine Beschreibung und Charakterisierung der zu betrachtenden Technologien, die Ermittlung relevanter Akteure bzw. Technologieanwender und eine Aufnahme von Kundenanforderungen, die er durch eine Conjoint-Analyse ermittelt. In der zweiten Phase – der Bewertungsphase – führt der Autor den konkreten Kundenbedarf und die zu bewertenden Technologien aus der vorhergehenden Phase zusammen. Für die eigentliche Bewertung setzt HALL eine Bewertungsmatrix ein, welche den Erfüllungsgrad von Kundenanforderungen bestimmt. Darüber hinaus nutzt der Autor zur systematischen Erzeugung eines ganzheitlichen Technologiebilds die Einbindung von Experten-Know-How. Für die konsistente und aussagekräftige Visualisierung von Bewertungsergebnissen und zur Ableitung einer Technologiebilanz zieht HALL zum Abschluss der zweiten Phase ein Reifegrad-Nutzenerfüllungs-Portfolio heran (vgl. Hall 2002, S. 124), das durch den gegenwärtigen Erfüllungsgrad von Kundenanforderungen und gegenwärtiger Leistungsfähigkeit von Technologiemerkmalen entsteht. Das Reifegrad-Nutzenerfüllungs-Portfolio bildet eine wesentliche Basis zum Vergleich alternativer Technologien und somit zur Entscheidungsfindung.

Die Vorgehensweise von HALL ist im Schwerpunkt auf die gegenwarts- sowie zukunftsbezogene Bewertung von Produktionstechnologien unter Berücksichtigung einzelner Interessenspartner ausgerichtet. Konkret wird aufgezeigt, wie Kundenanforderungen systematisch mit Produktionstechnologien bzw. deren Technologie Merkmale zu verknüpfen sind und eine Ermittlung von gegenwärtigen Erfüllungsgraden vorgenommen werden kann. Zusätzlich zeigt HALL ein kontinuierlich anwendbares Verfahren für Entscheider der Technologieplanung und -steuerung auf.

### **Technologiepotenzialbewertung nach Schöning**

2006 veröffentlichte SCHÖNING einen integrativen Ansatz zur quantitativen Technologiebewertung. Sein Bezugsrahmen ist auf Investitions- und Entscheidungsprozesse für Entscheidungsträger in technologieorientierten Unternehmen hin ausgerichtet (vgl. Schöning 2006, S. 42). Der Ansatz deckt neue Technologien, wie Produkt-, Produktions- oder Materialtechnologien ab und soll auf der Basis von Technologiepotenzialen und Referenztechnologien eine Einschätzung des zukünftigen Cash-Flows ermöglichen (vgl. Schöning 2006, S. 42). Um das zu erreichen, definiert der Autor fünf methodengestützte Teilmodelle zur systematischen Wertermittlung: Ein Technologiepotenzialmodell, ein Nutzenpotenzialmodell, ein Marktpotenzialmodell, ein Cash-Flow-Modell und ein Restriktions-Modell. Im Technologiepotenzial-Modell wird anhand von technologischen Leistungsparametern das objektive sowie subjektive Technologiepotenzial bestimmt. Im Nutzenpotential-Modell greift der Autor die technologi-

---

<sup>26</sup> monetäre Entscheidungsfindung: Entscheidung, die auf Basis von Wirtschaftlichkeitsgrößen, wie NPV oder Gewinnmarge in [€] getroffen wird.

schen Leistungsparameter des vorhergehenden Modells auf und verkettet sie mit Nutzenaspekten von Technologieanwendern. Deren Präferenzen ermittelt er durch eine technologische Conjoint-Analyse. Im Marktpotential-Modell werden Planungsdaten potentieller Anwendungsfelder zur Verfügung gestellt, um eine Abschätzung des Umsatzvolumens und eine Berechnung des Marktpotenzials durchzuführen (Schöning 2006, S. 112). Im Cash-Flow-Modell verdichtet der Autor alle relevanten Bewertungsgrößen, um den eigentlichen Technologiewert, unter Berücksichtigung von Risiko und Zeitpunkt des Cash-Flows, zu ermitteln. Hierzu baut Schöning ein Kalkulationsschema zur Ermittlung des Technologiewerts auf (vgl. Schöning 2006, S. 112), in welches ein Real-Optionen-Ansatz sowie lernkurvenbasierte Kostenmodelle integriert werden. Das Restriktionsmodell bildet schließlich prozessimmanente Risiken wie eine nicht vollständig realisierbare Leistungsfähigkeit von Technologien oder Produktionsfähigkeit ab und bewertet sie. Zur Beurteilung der Umsetzungsfähigkeit von Technologieentwicklungen nutzt der Autor das Technology Readiness Level Konzept. Die Erkenntnisse aus dem Restriktionsmodell sind im Technologiewert berücksichtigt.

Der Ansatz von SCHÖNING zeigt mit einer zukunftsorientierten, kaskadischen Bewertung auf, ob eine Technologieentwicklung sinnvoll ist und welche wirtschaftlichen Erfolge durch neue Technologien geschaffen werden können. Die eigentliche Realisierung und Kontrolle von Technologieentwicklungen (i.S. von Reifegraden) und deren Erfolge im unternehmerischen Entwicklungsprozess finden jedoch keine Berücksichtigung. Eine kaskadische Ergebnisgenerierung und eine rein monetär orientierte Entscheidungsfindung werden im Technologieentwicklungsprozess als wenig operabel gesehen. Die sinnvolle Anwendbarkeit der Methodik setzt zudem eine entsprechende Verfügbarkeit quantitativer Daten und Informationen voraus (vgl. Schöning 2006, S. 129) und wird ebenfalls als nicht operabel für eine Technologieentwicklung betrachtet.

Tab. 6 fasst die wesentlichen Erkenntnisse aus den vorgestellten Technologiebewertungsansätzen nochmals zusammen. Der Vergleich orientiert sich einerseits an den Analysegegenständen und stellt – andererseits – den Kontext und die Ganzheitlichkeit der Bewertungen aus den Ansätzen einander gegenüber. Darüber hinaus werden methodische Aspekte und Kennzahlansätze betrachtet. Die Evaluierungskriterien in Tab. 6 stammen aus den Kap. 3.3 und 3.4 und wurden unter Berücksichtigung der Zielsetzung (vgl. Kap. 2.1) ausgewählt.

Tab. 6: Vergleich von Technologiebewertungsansätzen für die Technologieentwicklung

Methoden & Ansätze	Analysegegenstand			Bewertungsausrichtung			Ganzheitlichkeit der Bewertung				Methodenunterstützung & Entscheidungsfindung			
	Allgemeine Objektbetrachtung	Komponenten- & Elementbetrachtung	Funktionsbetrachtung	Situationsanalyse	Schwachstellenidentifikation	Bewertung (Soll-Ist-Vergleich)	Technikbezogene Bewertung	Markt- und Kunden-bezogene Bewertung	Fertigungsbezogene Bewertung	Wirtschaftlichkeits-bezogene Bewertung	kombinierter Methodeneinsatz (inklusive Wechselwirkungen)	Kennzahlbasierte Bewertung	Monetäre Entscheidungsfindung	Nicht-Monetäre Entscheidungsfindung
Niemand et al.	●	●	○	●	○	○	●	●	○	●	●	○	○	○
Hall	●	○	○	●	○	○	●	●	●	○	○	○	○	●
Schöning	○	○	●	●	○	○	●	●	○	●	●	●	●	○

Legende: ● = größtenteils erfüllt, ○ = teilweise erfüllt, ○ = größtenteils nicht erfüllt

Im Vergleich zeigt sich, dass der Analysegegenstand in den vorliegenden Ansätzen unterschiedlich gesehen wird, vgl. Tab. 6. NIEMAND et al. wie auch HALL fokussieren sich im Schwerpunkt auf die allgemeine Objektbetrachtung wohingegen SCHÖNING den Fokus auf die Funktionsbetrachtung legt. Weitestgehend einig sind sich die Autoren nur in Bezug auf die Komponentenebene, welche detaillierten Zugang zu den Technologien bieten kann. Im Hinblick auf die Bewertungsausrichtung zeigt sich, dass alle Ansätze eine Situationsanalyse gewährleisten, der für eine Tauglichkeitsprüfung notwendige Soll-Ist-Vergleich aber lediglich bei HALL prinzipiell gewährleistet wird. Hinsichtlich der Thematik Ganzheitlichkeit bietet lediglich SCHÖNING einen umfassenden und weitestgehend vollständigen Handlungsrahmen an, indem er sowohl die Technik-Markt-Aspekte wie auch Fertigungs- und Wirtschaftlichkeits-Aspekte eingehend berücksichtigt. Die Entscheidungsfindung stellt sich letztlich jedoch wieder uneinheitlich dar und lässt auf ein Defizit hinweisen.

### 4.3.3 Defizite von Technologiebewertungsansätzen

**Fehlende Aufgliederung von Technologiekonzepten:** Als Defizit der vorgestellten Bewertungsansätze ist zunächst deren fehlende Aufgliederung von Technologiekonzepten anzuführen. Technologische Entwicklungen basieren i.d.R. auf einer Kombination von neuen wie auch bereits beherrschten Technologien. Ihre systematische Kombination zu einem Gesamtsystem erzeugt dabei Wirkungen, die zu neuen oder verbesserten Produkten führen können (Spath et al. 2012). In einer Technologieentwicklung gilt es solche Wechselwirkungen und Effekte auf deren Erfüllung hin zu überprüfen. Die diskutierten Ansätze kommen diesem Aspekt jedoch nur ungenügend nach. So werden weder die durch Technologiekombinationen hervorgerufenen Effekte oder Beeinflussungen in den Ansätzen berücksichtigt noch werden Technologiekonzepte in einer detaillierten Form untersucht oder bewertet. Ein funktionaler Zugang zu den Technologiekonzepten erfolgt ebenfalls nicht. Eine Tauglichkeitsprüfung neuer sowie beherrschter Technologien ist somit nur schwer möglich.

**Mangelnde entwicklungsbezogene Bewertungsausrichtung:** Neben der fehlenden Aufgliederung von Technologiekonzepten existiert ein weiteres Defizit in Bezug auf die unzureichende entwicklungsbezogene Bewertungsausrichtung. Charakterisierend für Technologieprojekte ist deren sich verändernde Datenbasis im zeitlichen Entwicklungsverlauf. Die Bewertung von Technologieprojekten erfordert aus diesem Grund eine regelmäßige Aufnahme von Informationen sowie deren Überprüfung im Vergleich zur Ausgangssituation, um auftretende Probleme sowie Fehlerquellen rechtzeitig identifizieren und beseitigen zu können (vgl. Brose 1982, S. 193). Die vorgestellten Ansätze kommen dieser Forderung nach anzupassenden und regelmäßigen Bewertungen nur ungenügend nach, indem nur der Entschluss zur Durchführung oder die Weiterentwicklung fokussiert werden, nicht aber die Überprüfung erzielbarer Wirkungen einer Entwicklung berücksichtigt sind. Auftretende Veränderungen im Entwicklungsverlauf können von den vorliegenden Ansätzen nur unzureichend ermittelt oder nicht berücksichtigt werden. Die statischen und zumeist auf einen Zeitpunkt bezogenen Bewertungen der vorliegenden Ansätze können zudem eine zielgerichtete Steuerung und Kontrolle von Entwicklungstätigkeiten sowie eine ex nunc-Beurteilung (Nohe 1999, S. 39) nur bedingt oder nicht berücksichtigen. Der Forderung, dass Bewertungen in zielgerichteten Prozessen permanent bestehen und Anwendung finden sollten (vgl. hierzu Brose 1982, S. 185), können die vorliegenden Ansätze nicht nachkommen. Insgesamt erfolgt auch keine Gewährleistung der Überprüfung von Plangrößen oder eine Maßnahmendefinition bei abweichender Entwicklung in den dargestellten Ansätzen.

**Ungenügende reifegradbasierte Bewertungsausrichtung:** Das wohl stärkste Defizit und allen Ansätzen gemein, ist deren fehlende bzw. ungenügende reifegradbasierte Bewertungsausrichtung. Die vorgestellten Ansätze können eine Bewertung zur Ermittlung des Technologiereifegrads aufgrund von fehlenden reifegradbezogenen Verhältnismäßigkeiten nicht gewährleisten. Zwar führt SCHÖNING in seinem Ansatz das Technology Readiness Level Konzept ein, nutzt dieses aber für eine zukunftsgerichtete Bewertung der Umsetzungsfähigkeit von Technologien und nicht zur gegenwartsbezogenen Evaluierung von Reifegrada-

den. Insgesamt wird dem Aspekt Reifegradermittlung und -betrachtung in den vorliegenden Ansätzen in nur ungenügendem Maße nachgekommen.

**Fehlende Steuerungs- und Kontrollfunktionen strategischer Ziele:** Durch die mangelnde entwicklungsbezogene Bewertungsausrichtung ergibt sich ein weiteres Defizit in Bezug auf die Steuerung und Kontrolle strategischer Ziele während des Entwicklungsverlaufs. So dienen Bewertungen neben ihrer zentralen Aufgabe einer zielbezogenen Überprüfung auch zur Überwachung und Kontrolle von Vorgängen. Der Zweck von Bewertungen ist es demnach, Wirkungen bzw. Nutzen von Entwicklungen in Relation zu Unternehmenszielen bzw. daraus abgeleiteten Zielen zu messen (vgl. Brose 1982, S. 192). Die aus einer Technologieplanung heraus angestoßenen Technologieentwicklungsprojekte müssen hierfür einem regelmäßigen Controlling geplanter Ziele unterzogen werden (Haag 2011, S. 320). Die Ansätze in Tab. 6 kommen dieser Anforderung nur ungenügend nach. Zwar werden kunden- und marktrelevante Aspekte eingebunden und berücksichtigt, es werden aber weder explizit strategische Zielstellungen einer vorangegangenen Technologieplanung berücksichtigt noch werden diese anhand von existenten Steuerungs- und Kontrollprozessen überprüft. So verfügt lediglich einer der vorliegenden Ansätze über eine systematische Fortschrittsbetrachtung bzw. einen Reifegradnachweis von Technologien. Technologieentwicklungen brauchen jedoch ein beständiges Controlling strategischer Ziele, um frühzeitig Fehlentwicklungen oder das Erreichen von Reifeplateaus zu erkennen (vgl. Höcherl 1999, S.7-8). Dieser Sachverhalt kann durch die vorgestellten Ansätze nur unbefriedigend erfüllt werden.

**Unzureichende Berücksichtigung von Unsicherheit und Informationsgehalt:** Ein weiteres Defizit der vorliegenden Ansätze besteht schließlich in der ungenügenden Berücksichtigung des unvollständigen Informationsgehalts und der unterschiedlichen Informationsqualität während einer Technologieentwicklung. In den frühen Entwicklungsphasen sind technologische Konzepte insbesondere durch eine Vielzahl von Unzulänglichkeiten charakterisiert. Diese ergeben sich beispielsweise durch das Betreten neuer, bisher nicht beschrittener Anwendungsfelder von Unternehmen sowie der zu Beginn meist noch vorherrschenden Unsicherheit über die technische Umsetzbarkeit und das Erreichen von Leistungsparametern (Herstatt 2000, S. 5; Haag 2011, S. 321). Diese Unsicherheiten und teils fehlenden Informationen gilt es bereits frühzeitig durch angepasste Bewertungen aufzufangen. Denn nur so können Unternehmen entsprechende Handlungsoptionen, wie bspw. einen Abbruch von Entwicklungsaktivitäten, einen Aufschub, eine Einschränkung des Entwicklungsbudgets oder eine Erweiterung bzw. Intensivierung von Entwicklungsaktivitäten nutzen und auf neu eintretende Ereignisse oder Umweltzustände reagieren. Die diskutierten Ansätze können diese Handlungsfelder nur eingeschränkt unterstützen, da von einer umfangreichen und quantitativen Datenbasis zur Bewertung und Entscheidungsfindung ausgegangen wird. In den Ansätzen wird nicht aufgezeigt, wie unter der Annahme eines geringen Informationsgehalts eine Bewertung oder Entscheidungsfindung vorgenommen werden kann. Es wird auch nicht darauf hingewiesen, ob alternative Bewertungsmethoden zur Bewertung von Technologieentwicklungen eingesetzt werden können. Eine entwicklungsbezogene Bewertung von Technologien ist auf diese Weise nur schwer möglich.

**Monetäre Entscheidungsfindung:** Letztlich wird noch ein weiteres Defizit in der vorwiegend monetären Entscheidungsfindung der vorgestellten Bewertungsansätze gesehen. Da Technologieentwicklungen in erster Linie darauf ausgerichtet sind technologisches Wissen aufzubauen und die spätere Einsatzfähigkeit in Produkten sicherzustellen (vgl. Klappert et al. 2011a, S. 223), birgt eine rein monetäre Entscheidungsfindung die Gefahr, solche tauglichkeitsbezogenen Nachweise zu vernachlässigen oder in den Hintergrund zu rücken. Um Technologieentwicklungen ausgewogen zu bewerten, sollte nicht nur auf finanzielle Kennzahlen, z.B. den Discounted Cash Flow (DCF), zur Entscheidungsfindung gesetzt werden (vgl. Klappert et al. 2011a, S. 235; Cooper 2006). Vielmehr müssen finanzielle Kennzahlen in Übereinstimmung mit vorwiegend nichtmonetären Kennzahlen gebracht und gemeinsam zur Entscheidungsfindung genutzt werden, vgl. Kap. 3.4.1. Die Ansätze in Tab. 5 berücksichtigen diesen Aspekt kaum oder gar nicht. So stehen Entscheider technologieorientierter Un-

ternehmen vor der Herausforderung, technologische Entscheidungen allein auf der Basis rein monetärer Werte zu treffen. Die auf monetäre Kennzahlen ausgerichteten Ansätze erwecken den Eindruck einer Entscheidungsfindung bei vollständigem Informationsgehalt, was in einer Technologieentwicklung für gewöhnlich nicht der Fall ist. Tab. 7 zeigt nochmals eine Zusammenfassung der identifizierten Defizite dar und stellt diesen Anforderungen zur Problembehebung gegenüber.

Tab. 7: Zusammenfassung von Defiziten und Anforderungen integrativer Bewertungsansätze

Defizite	Anforderungen
[D1] Die vorhandenen Ansätze fokussieren keine Aufgliederung von Technologiekonzepten bzw. schlagen hierzu keinen methodischen Ansatz auf funktionaler Ebene vor. Entstehende Wechselwirkungen von Technologien können während Technologieentwicklungsphasen nicht berücksichtigt werden.	[A1] Die bewertungs-basierte Vorgehensweise muss einen entsprechend detaillierten Zugang zu Technologiekonzepten gewährleisten und eine Bewertung von Effekten sowie Wechselwirkungen zwischen einzelnen Technologien eines Technologiekonzepts gewährleisten.
[D2] Die vorliegenden Ansätze zur ganzheitlichen Technologiebewertung können nur mangelhaft entwicklungsbezogene Bewertungsvorgänge gewährleisten.	[A2] Die zu entwickelnde Vorgehensweise muss an die Entwicklungsphasen einer Technologieentwicklung angepasste Bewertungsvorgänge gewährleisten.
[D3] Die vorliegenden Ansätze sind nicht in der Lage den technologischen Reifegrad im Entwicklungsverlauf nachzuweisen.	[A3] Die zu entwickelnde Vorgehensweise muss die Evaluierung von Reifegraden enthalten und wiederholt zur reifegradbasierten Bewertung einsetzbar sein.
[D4] In den vorliegenden Ansätzen erfolgt nur eine unzureichende Umsetzungsüberprüfung sowie Steuerung strategischer Ziele, wie bspw. einer Technologiestrategie, in der Technologieentwicklung.	[A4] Im Rahmen der bewertungs-basierten Vorgehensweise muss, unter der Berücksichtigung strategischer Ziele, eine Steuerung und Kontrolle von Entwicklungsaktivitäten gewährleistet werden.
[D5] Bei den vorliegenden Ansätzen zur Technologiebewertung ist ein vollständiger Informationsgehalt (i.S. quantitativer Daten) zur Entscheidungsfindung notwendig.	[A5] Die bewertungs-basierte Vorgehensweise soll mit unvollständigem Informationsgehalt realisierbar sein und Bewertungen sowie Aussagen zum gegenwärtigen Entwicklungsstand von Technologien liefern können.
[D6] Die vorhandenen Ansätze zur ganzheitlichen Technologiebewertung fokussieren eine überwiegend monetäre Entscheidungsfindung. Nichtmonetäre Kriterien finden bei technologischen Entscheidungen zu wenig Berücksichtigung und basieren auf einseitigem Methodeneinsatz.	[A6] Die bewertungs-basierte Vorgehensweise muss eine ganzheitliche Bewertung gewährleisten und dabei finanzielle sowie nicht-finanzielle Kriterien in gleichem Maße und explizit zur Entscheidungsfindung in der Technologieentwicklung berücksichtigen. Ein einseitiger Methodeneinsatz ist zu vermeiden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Ansätze in Tab. 7 für Technologieentwicklungen in Unternehmen in mehrfacher Hinsicht nur ungenügende Bewertungsmöglichkeiten bieten. Der aufgezeigte Vergleich wie auch die Analyse der Technologiebewertungsansätze von NIEMAND et al., SCHÖNING sowie HALL macht es deshalb erforderlich in einer weiteren Analyse Reifegradmodelle aus der Literatur für technologische Entscheidungen in der Technologieentwicklung zu betrachten und diese vertiefter zu analysieren.

#### 4.4 Tauglichkeitsbezogene Reifegradmodelle

Die aus dem vorhergehenden Kap. 4.3.3 erhaltenen Erkenntnisse in Bezug auf die Bewertung von Technologiekonzepten durch methodische Ansätze und den dort identifizierten Defiziten machen eine zusätzliche Betrachtung von Reifegradmodellen erforderlich. Nachfolgend werden hierzu die wesentlichen Grundlagen bestehender Reifegradmodelle vorgestellt und ein Vergleich der relevantesten Ansätze vorgenommen. Abschließend folgen eine kriti-

sche Diskussion sowie eine Aufzählung entsprechender Anforderungen für eine Reifegradermittlung in der Technologieentwicklung (vgl. Tab. 9).

#### 4.4.1 Grundlagen tauglichkeitsbezogener Reifegradmodelle

Reifegradmodelle halten seit einigen Jahren in verschiedensten wissenschaftlichen Gebieten Einzug. So sind neben dem Technology Readiness Level (TRL), Modelle wie das European Foundation for Quality Management (EFQM) oder das Organizational Project Management Maturity Model (OPM 3) in Wissenschaft und Praxis entstanden (vgl. La Croix 2008; Frerichs 2010, S. 1; Wochinger 2010, S. 223). Die Konzepte dieser Reifegradmodelle stammen ursprünglich aus dem Bereich der Softwareentwicklung; sie wurden in den vergangenen Jahren stetig weiterentwickelt und zunehmend auch auf andere Bereiche übertragen (siehe Anhang 12.5). So ist mittlerweile von geschätzten 135 Modellen zur Ermittlung von Reifegraden auszugehen (Becker 2010).

Reifegradmodelle verfolgen das Ziel, einen „antizipierenden, typischen, logischen oder gar erwünschten Evolutionspfad hin zu einer möglichst vollkommenen Reife zu beschreiben“ (vgl. Becker 2010, S. 2110). Ausgehend von ihrer theoriebasierten Definition werden die Modelle in der Wissenschaft und Praxis vorwiegend eingesetzt, um Fähigkeiten oder Entwicklungsstände von Technologien, Produkten, Prozessen oder Organisationen zu analysieren (vgl. Wochinger 2010, S. 223) und deren gegenwärtige Fähigkeitsniveaus durch „Reifestufen“ oder sogenannte „Reifegrade“ zu beschreiben. Neben ihrer zunehmenden Verbreitung und ihrem Einsatzzweck zeichnen sich die Modelle vor allem dadurch aus, dass sie (vgl. de Bruin 2005; Frerichs 2010, S. 1–2):

- in strukturierter Weise die Ist-Situation von Bewertungsobjekten ermitteln,
- auf Basis von Ist-Daten Verbesserungsmaßnahmen ableiten und priorisieren und
- die erfolgreiche Umsetzung festgelegter Maßnahmen überwachen.

Reifegradmodelle werden demzufolge nicht nur für die Bewertung von Fähigkeitsniveaus eingesetzt, sondern können zudem Anstöße und Maßnahmen zur systematischen Verbesserung bzw. Veränderung von Reifegraden liefern. Damit geht einher, dass solche Modelle ein geeignetes Werkzeug darstellen, um den Fortschritt der eingeleiteten Maßnahmen zu messen (vgl. Wochinger 2010, S. 223; Berg 2002, S. 30). Der Begriff „Reife“ wird in diesem Zusammenhang als gegenwärtiger Entwicklungsstand des Betrachtungsobjekts verstanden, wobei der Reifegrad mit dem Grad an gegenwärtiger Leistungsfähigkeit gleichgesetzt werden kann (vgl. Reinhart 2010, S. 710; Christiansen 2010).

CHRISTIANSEN und GAUSEMEIER haben aufgrund der Vielzahl an verfügbaren Modellen in den letzten Jahren eine Klassifikation von Prozess-Reifegradmodellen vorgenommen. In ihrer Analyse zur Modell-Klassifizierung fanden sie heraus, dass Reifegradmodelle auf einer allgemeingültigen Grundstruktur beruhen (vgl. Christiansen 2010, S. 345). Der Bezugspunkt der Struktur ist das zu untersuchende Bewertungsobjekt. Dabei kann es sich um einen Prozess, eine Organisationseinheit, ein Produkt oder um eine Technologie handeln. Die eigentliche Grundstruktur ist in die Phasen Leistungsbewertung, Definition des Soll-Zustands (unter Berücksichtigung von Unternehmenszielen) sowie Leistungssteigerung unterteilt, vgl. Abb. 11. Die Struktur umfasst neben der Datenerhebung zum Bewertungsobjekt dessen Zustandsanalyse zur systematischen Aufbereitung und eine Zustandssynthese zur Interpretation der gegenwärtigen Situation. Darüber werden für die Definition des Soll-Zustands die Unternehmensstrategie sowie –ziele eingebunden und schließlich durch einen Soll-Ist-Vergleich leistungssteigernde Maßnahmen eingeleitet. Dem Gedanken der Grundstruktur von Reifegradmodellen nach CHRISTIANSEN und GAUSEMEIER folgend, wird für die vorliegende Arbeit bei der Reifegradermittlung von einem mehrphasigen und wiederholbaren Ablauf ausgegangen (vgl. Christiansen 2010, S. 345).

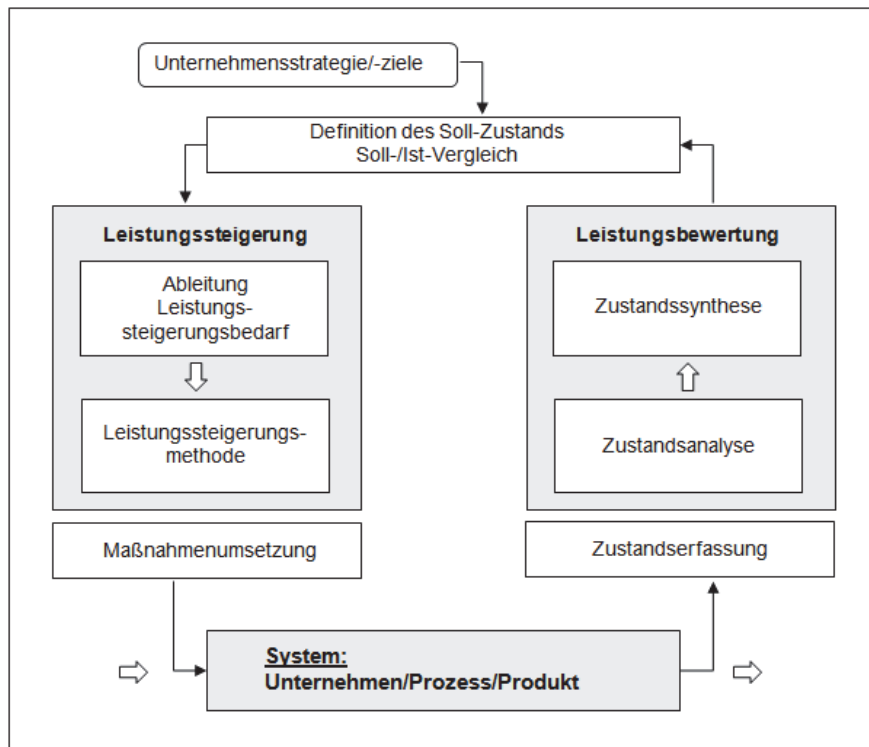


Abb. 11: Regelkreis zur Leistungssteigerung von Systemen, in Anlehnung an (Christiansen 2010, S. 345)

Für die Zielsetzung dieser Arbeit sind demnach nur Reifegradmodelle von Interesse, die eine Bewertung von technischen Objekten – wie Technologien oder Produkten – zulassen und dem in Abb. 11 aufgezeigten Regelkreis in seinen Kernschritten folgen. Abb. 12 gibt daher eine Übersicht von technologiebezogenen und produktbezogenen Reifegradmodellen. Andere Arten von Reifegradmodellen werden in den folgenden Betrachtungen nicht berücksichtigt.

Prinzipiell basieren die in Abb. 12 aufgeführten Reifegradmodelle<sup>27</sup> von BLAU et al., PFEIFER-SILBERBACH, KNAF & HEUBACH, DEUTSCH et al., REIHNHARDT & SCHINDLER sowie das Technology Readiness Level (TRL) und Integration Readiness Level (IRL) Konzept auf der vorgeschlagenen Grundstruktur von CHRISTIANSEN und GAUSEMEIER (vgl. Abb. 11) und den dort aufgeführten Aspekten einer Zustandserfassung, Leistungsbewertung, eines Soll-Ist-Vergleichs sowie einer Leistungssteigerung. Dabei sind die Modelle zum Teil auf einzelne Phasen des Regelkreises spezialisiert. Zusätzlich zur Regelkreisstruktur lassen sich die betrachteten Reifegradmodelle weiter differenzieren. BECKER et al. (Becker 2010) schlagen hierzu unter anderem die beiden Kategorien Art der Reifegradermittlung sowie Dimensionen von Kompetenzobjekten vor. Mit Hilfe dieser Kategorisierung können bei der Betrachtung von produkt- und technologiebezogenen Reifegradmodellen weitere Unterkategorien identifiziert werden. Den Vorschlägen von BECKER et al. folgend werden in der vorliegenden Arbeit Reifegradmodelle aufgegliedert und die Unterkategorien reifestufenbasierte und kennzahlbasierte Modelle sowie Modelle zur Bewertung von Komponenten- und Gesamtsystemen zur weiteren Unterscheidung eingeführt.

<sup>27</sup> Basierend auf den Quellen: (Blau 2007; Pfeifer-Silberbach 2005; Knaf 2008; Deutsch 2010; Reinhart 2010 und La Croix 2008).

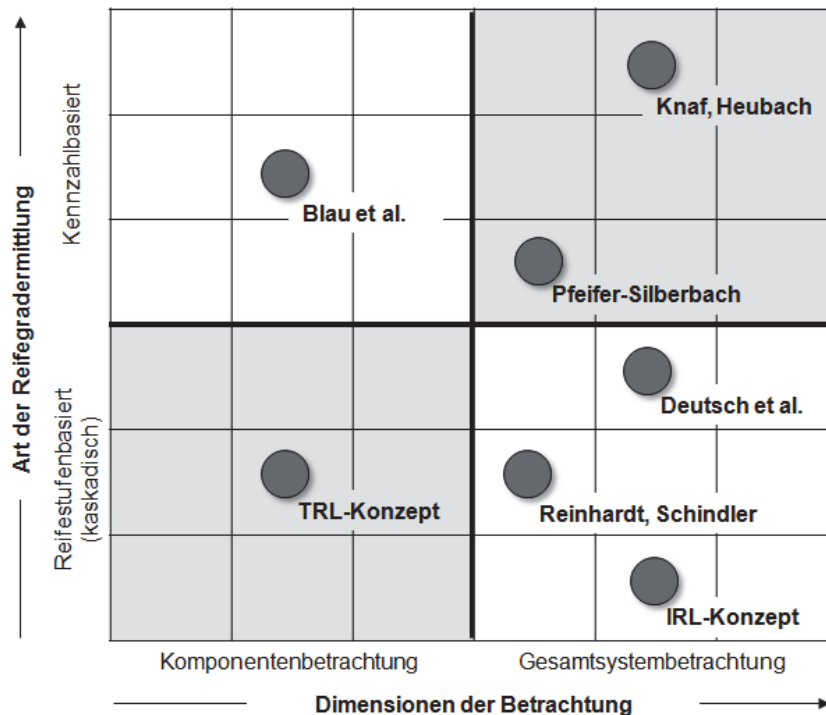


Abb. 12: Portfolio zur Kategorisierung und Einteilung unterschiedlicher Reifegradmodelle<sup>28</sup>

Reifestufenbasierten Ansätzen liegt in der Regel eine definierte Anzahl von Reifestufen – für gewöhnlich drei bis sechs - mit entsprechender Bezeichnung und zugeordneten Anforderungen zugrunde (Becker 2010, S. 2111). Charakteristisch ist dabei vor allem die kaskadische Reihenfolge der Reifestufen, welche eine sequentielle Erfüllung von Anforderungen mit stetig steigendem Reifegrad bedingen und methodisch durch Checklisten unterstützt werden. Demgegenüber stehen kennzahlbasierte Ansätze, die in systematischer und strukturierter Weise die Reifegradermittlung anhand festgelegter Merkmale von Bewertungsobjekten ermitteln und daraus Kennzahlen bilden. Diesen Ansätzen liegen für gewöhnlich Berechnungsformeln zur Ermittlung der Kennzahlen zugrunde, wobei dies zu steigenden oder sinkenden Reifegraden führen kann. Darüber hinaus ist noch zu unterscheiden, dass eine Reifegradermittlung für Bewertungsobjekte anhand einer Komponentenbetrachtung oder Gesamtsystembetrachtung erfolgen kann. Die Komponentenbetrachtung gewährleistet eine Bewertung auf Komponentenebene und liefert im Vergleich zur Gesamtsystembetrachtung einen detaillierten Einblick in das Bewertungsobjekt und somit auf die eingesetzten Technologien. Die Gesamtsystembetrachtung liefert hingegen, wie der Name schon sagt, keinen detaillierten Zugang zum Bewertungsobjekt und lässt Reifegradbetrachtungen nur auf oberster Aggregationsebene zu. Einzelne Technologien können hier nicht betrachtet oder bewertet werden.

Das Portfolio der Abb. 12 verdeutlicht, dass die aufgeführten Reifegradmodelle Unterschiede in Bezug auf die von BECKER et al. eingebrachten Kategorien und zusätzlich definierten Unterkategorien aufweisen. Nachfolgend wird ein Vergleich einzelner dieser aufgeführten Reifegradmodelle vorgenommen.

#### 4.4.2 Vergleich der Reifegradmodelle

Nach vorhergehenden Grundlagen in Kap. 4.4.1 werden in diesem Abschnitt vier unterschiedliche Reifegradmodelle aus den Bereichen Luft- und Raumfahrt, Softwareentwicklung, Produktentwicklung sowie Grundlagenforschung vorgestellt. Diese Modelle sollen die Unterschiedlichkeit einer objektorientierten, entwicklungsbezogenen Reifegradermittlung verdeutli-

<sup>28</sup> Das TRL, IRL sowie das Reifegradmodell von Deutsch et al. sind ihrer Grundstruktur identisch, wesentlicher Unterschied ist deren Betrachtungsobjekt für die Reifegradermittlung.

chen und vor dem Hintergrund einer Produkttechnologieentwicklung kritisch diskutiert werden. Die Modelle wurden unter Berücksichtigung der in Kap. 2.1 formulierten Zielsetzung aus den bereits verglichenen Ansätzen der Abb. 12 extrahiert.

### **Technology Readiness Level nach MANKINS und LA CROIX**

Ein Verfahren zur Bewertung der Entwicklungsreife neuer Technologien wurde in den 80er Jahren von der NASA für den Einsatz in der Raumfahrttechnik entwickelt (vgl. La Croix 2008, S. 9). Das Bewertungsverfahren, auch Technology Readiness Level-Konzept (TRL) genannt, konzentriert sich im Kern auf die Bewertung von Hardwarekomponenten und den darin eingesetzten Technologien (La Croix 2008, S. 9). Einsatz findet das Verfahren in den verschiedenen Phasen eines Projekts, wo es wiederholt zur Überprüfung der Technologieeinsatzreife herangezogen wird (La Croix 2008, S. 45; Farrukh 2009, S. 47-48). Die eigentliche TRL-Bewertung erfolgt unter Zuhilfenahme eines vordefinierten Kriterienkataloges, welcher in Form von Checklisten verschiedene Muss- und Kann-Kriterien zur TRL-Einstufung umfasst, (La Croix 2008, S. 50). Anhand der TRL-Einstufung, welche wiederum durch neun Reifestufen beschrieben ist, wird eine Quantifizierung der Technologieeinsatzreife vorgenommen (vgl. La Croix 2008, S. 14; Mankins 1995). Die Stufen der Technologieeinsatzreife reichen von der Beobachtung wissenschaftlicher Grundlagen einer Technologie (TRL-Stufe 1) bis hin zum Einsatz in einer Raumfahrtmission (TRL-Stufe 9). Um die Technologien von Hardwarekomponenten zur Reife zu entwickeln, müssen die verschiedenen TRL-Stufen wie Machbarkeit, Test und Prototypenherstellung chronologisch durchlaufen werden. Basierend auf dem TRL-Konzept der NASA wurden in den vergangenen Jahren diverse Weiterentwicklungen unter anderem von REINHARDT und DEUTSCH et al. sowie SAUSER et al., siehe Abb. 12 vorgenommen und (vgl. Reinhart 2010; Sauser 2010). Aufgrund des gemeinsamen TRL-Rahmengerüsts wird an dieser Stelle auf eine Vorstellung der modifizierten Ansätze von REINHARDT, DEUTSCH et al. sowie SAUSER et al. verzichtet und auf die entsprechende Literatur verwiesen.

Das TRL-Konzept ist im Kern auf die Bewertung von Hardwarekomponenten ausgerichtet und zeigt auf, wie mit Hilfe vordefinierter Kriterienkataloge eine Reifegradeinstufung von Technologien vorgenommen werden kann. Als relevant für die vorliegende Arbeit wird die Komponentenbetrachtung zur Reifegradbestimmung eingestuft. Als nachteilig werden jedoch Anpassungen von Kriterienkatalogen zur Anwendung in der Unternehmenspraxis erachtet. So ist davon auszugehen, dass die vorgeschlagenen Checklistenpunkte der Kriterienkataloge in nur ungenügendem Maße die Güte von Technologieentwicklungen im Industriegüterbereich abdecken. Darüber hinaus berücksichtigen das TRL-Konzept bzw. die zugrunde gelegten Checklisten weder Informationen zur Gewährleistung von Machbarkeit noch zu industriellen Herstellungsverfahren (z.B. Produktionskapazitäten). Es werden ebenfalls keine Systemaktivitäten, wie Wechselwirkungen zwischen Hardwarekomponenten im TRL-Konzept berücksichtigt (La Croix 2008, S. 58). Der Ansatz ist insgesamt, aufgrund vorzunehmender Anpassungen in den genutzten Kriterienkatalogen als wenig praxistauglich einzustufen (Farrukh 2009, S. 50).

### **Reifegradüberwachung von Softwarekomponenten nach BLAU et al.**

BLAU et al. entwickeln eine Methode zum kontinuierlichen Reifegradcontrolling von Softwareprodukten in der Softwareentwicklung (Blau 2007, S.4). Die Autoren konzentrieren sich in ihrer Arbeit darauf, den Reifegrad erfolgskritischer Softwarekomponenten zu bestimmen, wobei ihr Vorgehen im Kern an die VDA-Methodik „Reifegrad-Absicherung von Neuteilen“ (vgl. Anhang 12.5) angelehnt ist. Für den Einsatz der Methodik im Projektverlauf von Softwareentwicklungen legen BLAU et al. drei Phasen fest: eine Risikoanalyse, eine Identifikation kritischer Komponenten sowie ein mehrfach anwendbares Reifegradcontrolling. Zunächst erfolgt in einer ersten Phase anhand von Daten- oder Funktionsmodellen eine Sammlung von Anhaltspunkten zur Identifikation erfolgskritischer Komponenten. Diese generierten Informationen greifen die Autoren in der zweiten Phase wiederum auf, um kritische Komponenten der Softwarearchitektur zu identifizieren. Zur methodischen Unterstützung bei der Kom-

ponentenidentifikation setzen BLAU et al. eine abgewandelte ABC-Analyse ein. Das anschließende Reifegradcontrolling kritischer Komponenten der Systemarchitektur erfolgt in der dritten Phase. BLAU et al. setzen für das Controlling ein Kennzahlensystem bestehend aus den fünf Merkmalen Funktionalität, Zuverlässigkeit, Benutzbarkeit, Wartbarkeit sowie Entwicklungsstand ein. Die Kennzahlermittlung wird durch eine von den Autoren festgelegte Rationalskala und formelbasierte Berechnung (vgl. Formel 2) unterstützt. Die Bewertungsergebnisse der Merkmale werden zu einem Reifegradwert verdichtet und von BLAU et al. schließlich visuell über eine Ampel abgebildet, wodurch ein kontinuierliches Modell zur Reifegradbetrachtung von Komponenten in Entwicklungsphasen oder an Meilensteinen im Projektverlauf bereitgestellt wird.

$$R = \frac{\sum_{j=1}^N M_j \cdot h_j}{\sum_{j=1}^N h_j} \quad \text{mit} \quad M_j = \frac{\sum_{i=1}^N K_i \cdot g_i}{\sum_{j=1}^N g_i}$$

(mit  $R$ : Reifegrad einer Komponente,  $M_j$ : Merkmal eines Reifeurteils einer Komponente,  $h_j$ : Gewichtung des Merkmals  $j$ ,  $g_i$ : Gewichtung der Kennziffer  $i$ )

**Formel 2: Formel zur Berechnung von Reifegradurteilen nach Blau et al.**

Die Methode von BLAU et al. zeigt anhand eines Bottom-Up-Prinzips die prinzipiellen Möglichkeiten einer multi-dimensionalen Reifegradbewertung und Kennzahlverdichtung für Softwarekomponenten in der Entwicklung auf. Für die vorliegende Arbeit können die Struktur einer formel- und merkmalsbasierten Reifegradermittlung auf Komponentenebene adaptiert werden, vgl. Formel 2. Die aufgeführten Merkmale zur Reifegradermittlung sind jedoch für Softwarekomponenten definiert und können in ihrer Ausrichtung nicht für eine Bewertung von Hardwarekomponenten in der Technologieentwicklung herangezogen werden. Als wenig operabel werden die fragenbasierte Kennzahlermittlung sowie fehlende Maßnahmenkataloge zur Unterstützung des Controllings gesehen. Außerdem wird der fehlende Einsatz von konkreten Bewertungsverfahren zur Kennzahlermittlung als Defizit gesehen, siehe (Blau 2007, S.9).

### Reifegradmonitoring in der Produktentwicklung nach PFEIFER-SILBERBACH

PFEIFER-SILBERBACH entwickelt ein Konzept zum Reifegradmonitoring von Produkten und Neukonstruktionen für die Konstruktionsphase der Produktentwicklung. Ziel ist es, Projektverantwortlichen ein Analyseinstrument bereitzustellen, um den realen Entwicklungsreifegrad von Produkten abzubilden und Probleme im Entwicklungsverlauf zu identifizieren (Pfeifer-Silberbach 2005, S. 81). Hierfür definiert PFEIFER-SILBERBACH ein auf Teilkennzahlen basierendes Kennzahlensystem. Der Autor definiert hierfür die drei Schwerpunkte: Projekt, Dokumente und Workflow sowie Produkt als Teilkennzahlen. Zur Berechnung der festgelegten Schwerpunkte nimmt der Autor eine weitere Untergliederung vor. PFEIFER-SILBERBACH nutzt für die Teilkennzahl „Projekt“ erfüllte Meilensteine, Quality Gates, abgeschlossene Teilprojekte sowie abgearbeitete Arbeitspakete zur Kennzahlberechnung. Bei der Teilkennzahl Dokumente und Workflow nutzt der Autor freigegebene Dokumente, Bauteile, Einzelteile sowie Geometriemodelle zur Wertermittlung. Die Teilkennzahl „Produkt“ berechnet sich aus zu erfüllenden Produkthanforderungen sowie einem Entwicklungsreifegrad. Für eine konsistente Reifegradbetrachtung führt der Autor die generierten Teilkennzahlen in einem verdichteten, kennzahlbasierten Konstruktionsreifegrad zur Bestimmung der Produktreife zusammen. Zusätzlich zum Konstruktionsreifegrad nutzt PFEIFER-SILBERBACH ein entsprechendes Datenmodell, um relevante Informationen zur Reifegradermittlung aus Unternehmensdaten (bspw. aus Simulations- und Datenmodellen, wie Digital Mock Up) aufzugreifen und abzubilden.

$$K_{\text{Entwicklungs-Reifegrad}} = \frac{\Gamma_1 \cdot K_{\text{Konzept-Reifegrad}} + \Gamma_2 \cdot K_{\text{Produkt-Reifegrad}}}{\Gamma_1 + \Gamma_2}$$

(mit  $\Gamma_1$ : Gewichtungsfaktor 1,  $\Gamma_2$ : Gewichtungsfaktor 2)

**Formel 3: Formel zur Berechnung von Entwicklungsreifegraden für Produkte nach PFEIFER-SILBERBACH**

Der Ansatz von PFEIFER-SILBERBACH ist im Schwerpunkt auf die Kennzahlgenerierung sowie Datenbereitstellung in der Konstruktion ausgerichtet. Als relevant für die vorliegende Arbeit wird die explizite Aufspaltung und Berücksichtigung von Produkt- als auch Projektfortschritt zur Kennzahlgenerierung des Konstruktionsreifegrads gesehen. Der Autor bietet allerdings in seinem Konzept keine systematische Vorgehensweise zur Reifegradermittlung an und ist rein auf die Datenermittlung sowie einen Soll-Ist-Vergleich reduziert. Die spezifische Ausrichtung des Ansatzes im Produktentwicklungsprozess wird zusätzlich durch unternehmensbezogene Datenmodelle zur Reifegradermittlung unterstützt. Eine Ableitung von Maßnahmen oder eine Ergebnisanalyse ist nicht Teil des vom Autor entwickelten Ansatzes. Insgesamt ist der von PFEIFER-SILBERBACH entwickelte Ansatz als wenig operabel für die Technologieentwicklung zu sehen.

### **Reifegradbestimmung mittels Technologiekompass nach KNAF und HEUBACH**

KNAF und HEUBACH stellen ein Verfahren zur Reifegradermittlung von Technologien aus dem Bereich forschender wissenschaftlicher Institutionen vor (Knaf 2008). Ziel ist es, den Entwicklungsstand einer Technologie durch den Bezug zu Referenztechnologien zu ermitteln (Knaf 2008, S. 167). Der Vergleich wird durch Indikatoren ermöglicht, die sowohl für die Referenztechnologie als auch für die zu testende Technologie gültig und messbar sind. Für die Reifegradermittlung nutzen die Autoren vier Schritte. Zunächst ist eine Identifikation einer entsprechenden Referenztechnologie notwendig. Hier nehmen die Autoren an, dass die Referenztechnologie ihre gesamte Entwicklung im Wesentlichen durchlaufen hat und umfangreiche Datensätze zur Verfügung stehen (Knaf 2008, S. 161). Nach der Auswahl der Referenztechnologie sind metrische Indikatoren für den Vergleich von zu bewertender Technologie und Referenztechnologie zu bestimmen. Indikatoren sind in diesem Fall beispielsweise: Anzahl an Patenten, Anzahl an Veröffentlichungen der Sekundärliteratur oder Art der Veröffentlichung. In der Datenvorbereitung sind die gesammelten Indikatorwerte abzugleichen bzw. Fehlstellen zu überprüfen. In der Datenanalyse wird ein Vergleich des Entwicklungsverlaufs der beiden Technologien vorgenommen und ein sukzessiver Ähnlichkeitsvergleich zwischen Referenz- und Testtechnologie hergestellt sowie graphisch visualisiert. Für die Bestimmung der Technologiereife sowie zur Visualisierung des Datenvergleichs setzen KNAF und HEUBACH ein entwickeltes Software-Werkzeug ein.

Das von KNAF und HEUBACH entwickelte Verfahren stützt sich im Kern auf Gartner's „Hype-Cycle“ zur Beschreibung von Technologieentwicklungsverläufen. Die Autoren legen die Annahme zugrunde, dass der zeitliche Verlauf einer Technologieentwicklung anhand einer Summe von Indikatoren wiederspiegelt werden kann (Knaf 2008, S. 157). Der Erfolg des vorliegenden Verfahrens wird aus jetziger Sichtweise von der Wahl der Referenztechnologie als auch von der Datenverfügbarkeit zu bewertender Technologien bestimmt. Das Verfahren bietet keine expliziten Möglichkeiten zur Ergreifung von Handlungsmaßnahmen bei abweichender Entwicklung auf. Insgesamt wird für das beschriebene Verfahren eine geringe Praxistauglichkeit gesehen aufgrund hoher Berechnungskomplexität sowie großer Unsicherheit bei der Auswahl von Referenztechnologien.

In der nachfolgenden Tab. 8 sind die wesentlichen Erkenntnisse aus den im vorigen Abschnitt vorgestellten Reifegradmodellen zusammengefasst. Der Vergleich ist zum einen auf die inhaltlichen Schwerpunkte der Modelle gerichtet. Zum anderen werden die Art der Reifeermittlung von Objekten und die methodische Unterstützung in den Modellen hervorgehoben. Die herangezogenen Vergleichskriterien in Tab. 8 entstammen Kap. 4.4.1 und wurden unter Berücksichtigung der Zielsetzung aus Kap. 2.1 ausgewählt.

Tab. 8: Vergleich von Ansätzen zur Reifegradbetrachtung von Technologieentwicklungen<sup>29</sup>

Methoden & Ansätze	Fokussierung des Modells (Grundstruktur)				Art der Reifeermittlung & Methodenunterstützung				Objekt-betrachtung		Bewertungs-ausrichtung	
	Zustandserfassung	Leistungsbewertung (Ist-Stand)	Soll-Ist-Vergleich (Reifeermittlung)	Leistungssteigerung (Maßnahmenableitung)	Kennzahlbasierte Ermittlung	Reifestufenbasierte Ermittlung	Qualitativer Methodeneinsatz (bspw. Fragebogen/ ...)	Quantitativer Methodeneinsatz	Gesamtsystem-betrachtung	Komponenten-betrachtung	Eindimensionale Reifeermittlung	Multidimensionale Reifeermittlung
Mankins und La Croix	●	●	●	○	○	●	●	○	○	●	●	○
Blau et al.	●	●	●	○	●	○	●	○	○	●	○	●
Pfeifer-Silberbach	○	●	●	○	●	○	●	○	●	○	○	●
Knaf und Heubach	●	●	○	○	○	●	●	○	●	○	●	○

Legende: ● größtenteils erfüllt, ○ teilweise erfüllt, ○ größtenteils nicht erfüllt

Der Vergleich vorliegender Reifegradmodelle in Tab. 8 zeigt zunächst, dass die Modelle in ihrer Grundstruktur auf Einzelaspekte fokussiert sind und somit keines der Modelle die zugrunde liegenden Schritte (vgl. Kap. 4.4.1) von der Zustandserfassung, über die Leistungsbewertung und dem wichtigen Soll-Ist-Vergleich bis hin zur Leistungssteigerung vollständig gewährleisten kann. Hier ist ein offensichtliches und zu behebendes Defizit festzustellen. Bei der Betrachtung der Reifeermittlung fällt darüber hinaus auf, dass mehrheitlich zu einer kennzahlbasierten Reifeermittlung gegriffen wird, diese jedoch ohne quantitativen Methodeneinsatz erfolgt. Uneinigkeit herrscht hingegen bei der Bewertungsausrichtung. Hier findet sich bei der multidimensionalen Reifegradbewertung ein nur unzufrieden stellendes Bild wieder.

#### 4.4.3 Defizite der Reifegradmodelle

**Unzureichende Durchgängigkeit in der Grundstruktur:** Als grundlegendes Defizit ist die unzureichende Durchgängigkeit in der Grundstruktur vorliegender Reifegradmodelle zu sehen. So weist bspw. WILDEMANN darauf hin, dass Handlungsmaßnahmen zur Entscheidungsfindung nur ableitbar sind, wenn neben der Erfassung vom Ist-Zustand eines Bewertungsobjekts ebenfalls Defizite aufgezeigt und entsprechende Ursache-Wirkungsketten abgeleitet werden, um in der Folge Handlungsempfehlungen zur Schließung vorhandener Lücken darzulegen (Wildemann, S.40). Diesem Aspekt wird in den vorliegenden Modellen zu wenig Rechnung getragen. So sind die betrachteten Modelle zum Großteil auf die Phase des Soll-Ist-Vergleichs fokussiert, vgl. Abb. 12. Auf eine konkrete Maßnahmenableitung oder explizite Definition von Zielsetzungen wird nur ungenügend eingegangen, was lediglich zu einer Teilabdeckung des Regelkreises führt. Für ein kontinuierliches Controlling von Technologieentwicklungen ist jedoch neben einem Soll-Ist-Vergleich ebenfalls eine Ableitung von Maßnahmen erforderlich. Weder BLAU et al., PFEIFER-SILBERBACH noch KNAF und HEUBACH können dieser Forderung nachkommen. Zudem berücksichtigt keiner der Autoren

<sup>29</sup> Zusammengestellt aus: (La Croix 2008; Blau 2007, Pfeifer-Silberbach 2005 und Knaf 2008).

strategische oder projektbezogene Zielsetzungen in der Reifegradermittlung. Fehlentwicklungen oder Abweichungen von strategischen Zielen wie dies für eine entwicklungsbezogene Technologiebewertung notwendig ist (vgl. Kap. 3.4), sind so nur schwer identifizierbar. Diese fehlende Berücksichtigung von Zielen führt zu einem weiteren Defizit in den existierenden Reifegradmodellen.

**Reifegradermittlung mit bedingtem quantitativem Methodeneinsatz:** Ein wesentliches Defizit der vorgestellten Ansätze besteht in der fehlenden methodischen Unterstützung bei der Reifegradermittlung. So wird beim Großteil der vorgestellten Reifegradmodelle nicht darauf eingegangen, welche Bewertungsmethoden über Checklisten hinaus zur Ermittlung eingesetzt werden. Weder PFEIFER-SILBERBACH noch KNAF und HEUBACH äußern sich hierzu im Detail. BLAU et al. führen zwar methodische Ansätze, wie die ABC-Analyse zur Selektion kritischer Komponenten auf, nennen aber keine konkreten Bewertungsverfahren zur eigentlichen Kennzahlermittlung. Dieses Fehlen von Bewertungsmethoden setzt Erfahrungs- oder Expertenwissen in der Bewertung voraus, welches aufgrund der Komplexität und Kombinatorik von unterschiedlichen Technologien in der Technologieentwicklung nicht immer gewährleistet werden kann. Es sind systematische und methodische Hilfsmittel zur Bewertungsdurchführung und Unterstützung der Experten notwendig. Insgesamt ist festzustellen, dass die technologiebezogenen Reifegradmodelle bisher kaum kennzahlbasiert den Reifegrad ermitteln und so lediglich eine qualitative Reifegradeinschätzung ermöglichen.

**Ungenügende Komponentenbetrachtung bei der Reifegradermittlung:** Für eine adäquate Entscheidungsfindung in Bezug auf Einsatzfähigkeit und Leistungsfähigkeit von Technologien, ist ein detaillierter Zugang zu den Bewertungsobjekten erforderlich. Hier findet sich ein weiteres Defizit bei den vorliegenden Modellen. Zumeist wird eine Gesamtsystembetrachtung der Bewertungsobjekte vorgenommen, was die Gefahr birgt, wichtige Details unzureichend zu bewerten und ggf. unzureichende Maßnahmen für die Weiterentwicklung abzuleiten. Ein Großteil der hier analysierten Reifegradmodelle basiert lediglich auf Checklisten die technische Aspekte überprüfen und eine einseitige Bewertung hervorrufen. KRÖLL weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass vor allem die bestehenden Wechselwirkungen mit anderen Technologien in die Bewertung und Entscheidungsfindung einzubeziehen sind, um eine adäquate Entscheidung über die Einsatzfähigkeit und Leistungsfähigkeit von Technologien treffen zu können (Kröll 2007, S. 52). Lediglich BLAU et al. sowie MANKINS & LA CROIX greifen den Aspekt in ihren Reifegradmodellen auf und zerlegen das Bewertungsobjekt für eine bessere Bewertbarkeit in Komponenten, vgl. Abb. 12.

**Unbefriedigende multi-dimensionale Reifegradbewertung:** Letztlich wird ein weiteres Defizit der vorliegenden Modelle in deren ungenügenden Abdeckung einer multi-dimensionalen Reifegradbewertung gesehen. Da im Rahmen von Entwicklungstätigkeiten mehrere Unsicherheiten bzw. Risiken wie technische Machbarkeit, Herstellbarkeit oder marktbezogene Anforderungserfüllung zu lösen sind, können die zumeist eindimensionalen Reifegradmodelle kein vollständiges Bild des tatsächlichen Technologiestatus liefern. Eine hinreichende Aussage zur objektiven Technologieentwicklungsreife verlangt vielmehr nach einer multidimensionalen Metrik (La Croix 2008, S. 58). Die existierenden Reifegradmodelle können einer solchen Reifegradermittlung nur bedingt Rechnung tragen. Durch ihre technologiebezogene Bewertung können weder die Einsatz- noch Herstellungsfähigkeit nachgewiesen und folglich kein vollständiges Bild des aktuellen Technologiestatus wiedergegeben werden (vgl. La Croix 2008, S. 58).

Tab. 9: Zusammenfassung von Defiziten und Anforderungen entwicklungsbezogener Reifegradmodelle

Defizite	Anforderungen
[D1] Die Regelkreiseigenschaften (i.S. der Grundstruktur) vorliegender Reifegradmodelle sind nur ungenügend erfüllt. Es werden lediglich einzelne Aspekte einer ganzheitlichen Reifegradermittlung abgedeckt.	[A1] Im Rahmen der Vorgehensweise muss eine ganzheitliche Reifegradbewertung ausgehend von einer Zieldefinition, über Soll-Ist-Vergleiche bis hin zur Maßnahmenableitung garantiert werden.
[D2] Bei den vorliegenden Modellen findet eine methodengestützte und kennzahlbasierte Reifegradermittlung zu wenig Berücksichtigung, indem vorwiegend Checklisten als Bewertungsinstrument Einsatz finden.	[A2] Die zu entwickelnde Vorgehensweise muss eine methodengestützte, kennzahlbasierte Reifegradermittlung in der Technologieentwicklung, durch den Einsatz qualitativer sowie quantitativer Bewertungsmethoden, gewährleisten.
[D3] Die Gesamtsystembetrachtung in den gegenwärtigen Modellen liefert nur unzureichenden Aufschluss über den tatsächlichen Reifegrad von eingesetzten Technologien. Komponentenbetrachtungen finden bei den vorliegenden Reifegradmodellen nur ungenügende Berücksichtigung.	[A3] Eine Komponentenbetrachtung soll in der bewertungsbasierten Vorgehensweise hinreichenden Zugang zur Reifegradbewertung von eingesetzten Technologien gewährleisten und zur Ermittlung des tatsächlichen Reifegrads beitragen.
[D4] Die vorliegenden Modelle gewährleisten in nur ungenügendem Maße eine multidimensionale Reifebewertung von Bewertungsobjekten. Zumeist wird eine technische Betrachtungsweise eingenommen.	[A4] Eine multidimensionale Reifegradbewertung in der Vorgehensweise soll hinreichende Aussagen zur objektiven Technologieentwicklungsreife gewährleisten.

Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass sich in der Wissenschaft und Praxis Ansätze wie bspw. das TRL-Konzept finden, welche checklistenbasiert die Möglichkeit bieten den Reifegrad von Technologien zu bestimmen. Während diese Art von Reifegradmodellen vor allem die Technologie in den Vordergrund stellt und technische Aspekte bewertet, um daraus die Reife zu ermitteln, wird der Aspekt einer ganzheitlichen Bewertung, wie in Kap. 4.3.2 der Technologiebewertungsansätze fokussiert, an dieser Stelle in den Hintergrund gerückt. Eine ganzheitliche Reifegradbewertung kann durch die vorliegenden Modelle nicht gewährleistet werden. Zudem setzen die reifestufenbasierten Ansätze eine sequentielle Steigerung des Reifegrads voraus und können nicht gewährleisten, dass komplexe Komponenten des Bewertungsobjekts aufgrund von entwicklungsbezogenen Änderungen neu bewertet und mit einem entsprechend höheren oder niedrigeren Reifegrad versehen werden können (vgl. Blau 2007, S. 14).

Neben dieser Erkenntnis hat die Analyse der vorliegenden Reifegradmodelle zusätzlich gezeigt, dass eine Reifegradermittlung als kontinuierlicher Prozess gesehen werden kann, welcher sowohl die Definition von Zielsetzungen als auch die Reifegradermittlung und Maßnahmenableitung berücksichtigt. Es hat sich ebenfalls gezeigt, dass eine multidimensionale Reifegradermittlung einen ganzheitlichen Blick auf eine Technologieentwicklung richten kann und für eine operable Reifegradbestimmung eine Dekomposition bzw. Zerlegung von Technologiekonzepten in Komponenten erfolgsversprechend ist. Letztlich zeigte der Reifegradmodellvergleich, dass vorhandene Bewertungs- sowie Analysemethoden zur Technologiebewertung bisher nicht effektiv miteinander kombiniert wurden, um Technologiereifegrade zu bewerten.

## 4.5 Zusammenfassung der Defizite zum Stand des Wissens

Kap. 1 und 3 haben bereits hervorgehoben, dass das Umfeld technologieorientierter Unternehmen immer dynamischer wird und augenblicklich wahrgenommene Innovationen schneller denn je durch leistungsfähigere Produkte am Markt abgelöst werden. Zugrunde liegende Technologien solcher kurzlebigen Produkte gilt es deshalb bestmöglich zu beherrschen, um als Unternehmen schnellstmöglich auf die Veränderungen des Marktes zu reagieren oder frühzeitig Entwicklungsaktivitäten darauf auszurichten. Neben der Ausrichtung auf Veränderungen spielt das Treffen von Entscheidungen in Bezug auf die Einsatzfähigkeit und den Nutzungszeitpunkt von Technologien ebenfalls eine bedeutende Rolle. Die Tauglichkeitsprüfung von einzelnen Technologien wird für Unternehmen aus diesem Grund immer wichtiger und führt zur Notwendigkeit der Nutzung spezifischer Bewertungsinstrumente oder methodischer Ansätze.

Die beleuchteten **tauglichkeitsbezogenen Technologieentwicklungsprozesse (vgl. Kap. 4.1)** zeigen anschaulich, wie unzureichend die Kontrolle und Steuerung als auch die Bewertung von Technologieentwicklungsaktivitäten unterstützt wird. So ziehen die Autoren zwar Kriterienkataloge für eine Bewertung an Entscheidungsgates heran, aber weitergehende Methoden oder Konzepte zur Bewertung von technischen Objekten in der Technologieentwicklung kommen bei ihnen kaum zum Zug. So kann weder eine systematische Kombination von unterschiedlichen Technologien zu einem Gesamtsystem überprüft noch deren Abhängigkeiten zueinander dargestellt werden (vgl. Kap.3.1.4). Zudem besteht ein Defizit in der fehlenden Betrachtung der Leistungsfähigkeit von Technologien in den analysierten Technologieentwicklungsprozessen: Weder werden die Leistungsfähigkeitsgrenzen der zu entwickelnden Technologien getestet noch die Leistungskennwerte zur Überprüfung bereitgestellt. Zusammenfassend bleibt also festzuhalten, dass die vorliegenden Technologieentwicklungsmodelle dem geforderten Objektbezug für technische Systeme nicht nachkommen und eine Tauglichkeitsprüfung von Technologien aufgrund der projektbezogenen Bewertung nicht möglich ist.

Bei den beleuchteten **tauglichkeitsbezogenen Bewertungsmethoden (vgl. Kap. 4.2)**, welche sich der oben genannten Thematik widmen, zeigt sich, dass vorwiegend nur Teilentscheidungen getroffen werden können, da die Bewertungsmethoden in der Regel nur spezifische Bewertungsaspekte, wie bspw. die Wirtschaftlichkeit, adressieren. Kaum Berücksichtigung finden dabei die zur Realisierung von Entwicklungen notwendigen Fertigungsaspekte. Mit der spezifischen Entscheidungsunterstützung zeigt sich zudem ein weiteres Defizit bei den tauglichkeitsbezogenen Bewertungsmethoden. Die einem Produkt zugrunde liegenden und in Wechselwirkung zueinander stehen Technologien werden oft nicht im Detail betrachtet oder gar bewertet. Häufig fehlt den Bewertungsmethoden hierfür ein systematisch, detaillierter Zugang zu den Technologien im Technologiekonzept, was die Güte einer Entscheidungsfindung in Bezug auf die Einsatzfähigkeit und den Nutzungszeitpunkt negativ beeinflussen kann.

Bei den vorliegenden **integrierten Verfahren zur Tauglichkeitsprüfung (vgl. Kap. 4.3)** wird der Bewertung der Einsatzfähigkeit von Technologien ebenfalls zu wenig Rechnung getragen. Die zumeist auf einen Zeitpunkt bezogenen Bewertungen der betrachteten Verfahren lassen die Identifikation von Veränderungen im Entwicklungsverlauf einer Technologieentwicklung kaum zu. Ähnlich den tauglichkeitsbezogenen Bewertungsmethoden, stehen Einzeltechnologiebetrachtungen eher im Hintergrund. Den technischen Faktoren, wie Leistungsparameter oder Leistungsfähigkeit, wird dadurch generell noch zu wenig Bedeutung zugewandt. Kundenbezogene Aspekte werden zwar in der Technologiebewertung berücksichtigt, die Entscheidungsfindung selbst wird jedoch anhand von monetären Größen oder Kennzahlen durchgeführt. Die Einsatzfähigkeit und der Nutzungszeitpunkt werden bei solchen Entscheidungsfindungen als sekundäre Bewertungsgrößen eingestuft. Eine explizite Angliederung an Technologieentwicklungsprozesse der Unternehmenspraxis ist zudem auch nicht gewährleistet.

Den **tauglichkeitsbezogenen Reifegradmodellen (vgl. Kap. 4.4)**, welche zur Prüfung der Einsatzfähigkeit von Technologien einen wesentlichen Beitrag liefern können, liegen ebenfalls Defizite zugrunde. Zumeist sind die analysierten Modelle auf eine Datenbereitstellung unter der Nutzung von Kennzahlen ausgerichtet. Eine sich anschließende Ableitung von Handlungsmaßen bleibt zumeist unberücksichtigt. Ebenfalls fehlt den betrachteten Reifegradmodellen durchweg eine Hilfestellung zur Ermittlung bewertungsrelevanter Größen. Darüber hinaus gewährleisten die vorliegenden Modelle in nur ungenügendem Maße eine multidimensionale Reifebewertung von Bewertungsobjekten. Mehrheitlich wird eine technische Betrachtungsweise eingenommen. Eine ganzheitliche Reifegradbewertung kann durch die vorliegenden Modelle so nicht gewährleistet werden. Zudem setzen die beleuchteten Modelle eine sequentielle Steigerung des Reifegrads voraus und können nicht gewährleisten, dass Komponenten eines Bewertungsobjekts aufgrund von entwicklungsbezogenen Änderungen neu bewertet und mit einem entsprechend höheren bzw. niedrigeren Reifegrad versehen werden können (vgl. Blau 2007, S. 14). Darüber hinaus zeigt der Reifegradmodell-Vergleich, dass vorhandene Bewertungs- und Analysemethoden zur Technologiebewertung bisher nicht effektiv miteinander kombiniert wurden, um Technologiereifegrade zu bewerten.

Die in den vorigen Kapiteln 4.1 bis 4.4 zusammengeführten Defizite der Prozesse, Methoden und Verfahren zur Tauglichkeitsprüfung werden in Tab. 10 nochmals abgebildet und den Zielen der Arbeit gegenübergestellt. Eine qualitative Bewertung (größtenteils erfüllt bis nicht erfüllt) der Instrumente verdeutlicht die vorhandenen Schwächen und Potenziale zur Problemlösung.

Tab. 10: Zusammenfassung von Zielen der Arbeit und Defiziten aus dem Stand des Wissens

Ziele der Arbeit (Kap.2.1)  Instrumente zur Tauglichkeitsprüfung	Berücksichtigung und Überprüfung von Zielvorgaben aus der Technologieplanung bzw. Technologiestrategie	Projekt- und Einzeltechnologiebezogene Bewertung vom Technologiekonzept	Methodengestützte, mehrperspektivische Tauglichkeitsprüfung einzelner Technologien im Technologiekonzept	Ergebnisorientierte Maßnahmenableitung zur Entscheidungsfindung in der Technologieentwicklung	Einsatzfähigkeit und Anschlussfähigkeit an die Technologieentwicklung in der Unternehmenspraxis
Tauglichkeitsbezogene Entwicklungsprozesse (Kap. 4.1)	●	○	○	●	○
Tauglichkeitsbezogene Bewertungsmethoden (Kap. 4.2)	○	○	●	○	●
Integrierte Verfahren zur Tauglichkeitsprüfung (Kap. 4.3)	○	○	●	●	○
Tauglichkeitsbezogene Reifegradmodelle (Kap. 4.4)	○	●	●	○	○

Legende: ● größtenteils erfüllt, ● teilweise erfüllt, ○größtenteils nicht erfüllt,  Problemlösungspotenzial

Sowohl bei der Betrachtung der tauglichkeitsbezogenen Bewertungsmethoden und Verfahren als auch der vorliegenden Reifegradmodelle wird deutlich (vgl. Tab. 10), dass eine Einzeltechnologiebezogene Bewertung und Überprüfung der Einsatzfähigkeit von Produkttechnologien, unter Berücksichtigung strategischer Ziele, in der Technologieentwicklung bislang nur unzureichend abgedeckt ist. So wird bspw. die Technologie in vielen Fällen nicht in ihren notwendigen Wechselwirkungen zu anderen Technologien betrachtet. Stattdessen wird eine Gesamtsystembetrachtung der detaillierten Komponentenbetrachtung vorgezogen. Des Weiteren werden kaum gesamtheitliche Bewertungen für Technologien vorgenommen, vielmehr liegt eine Fokussierung auf Teilaspekten oder auf der monetären Entscheidungsfindung vor.

Die in den vorigen Kap. 4.1 bis 4.4 aufgezeigten Defizite machen es durchaus deutlich, dass die diskutierten Entwicklungsprozesse, Methoden, Verfahren und Reifegradmodelle stets nur Teilaspekte einer zielführenden Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung abdecken. Schwächen sind vor allem bei der Berücksichtigung und Überprüfung von Zielvorgaben aus der Technologieplanung bzw. Technologiestrategie zu sehen. Ebenso zeigen sich große Defizite in der systematischen Ermittlung der Einsatzfähigkeit von Einzeltechnologien im Konzept. Die Unvollständigkeit der einzelnen Methoden und Ansätze kann die vorherrschende Problemstellung aus Kap. 3.4.3 zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht lösen, wodurch eine Verknüpfung der unterschiedlichen Betrachtungsbereiche sinnvoll erscheint. Tab. 10 hebt hierfür die potenziellen Teilaspekte zur Erfüllung einer zielführenden Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung farblich hervor. Auf Basis der vorliegenden Defizite und des identifizierten Handlungsbedarfs wird nachfolgend eine bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung konzipiert.

## 5 Konzeption der Vorgehensweise

Wie die Erläuterungen der vorhergehenden Kapitel zeigen, erfordert die Tauglichkeitsprüfung von Produkttechnologien in Unternehmen eine Systematisierung und Zusammenführung in der Technologieentwicklung. Aus den Gegenüberstellungen existierender Prozesse, Ansätze und Methoden in Kap. 4 wird ersichtlich, dass bisher keine Vorgehensweise existiert, welche sowohl eine Bewertung und Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten in der Technologieentwicklung als auch eine Reifegradbetrachtung sowie Maßnahmenableitung vornimmt und in Form eines operablen Prozesses für die Unternehmenspraxis bereitstellt. Aus diesen Gründen wird nachfolgend eine entsprechende Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung konzipiert und entwickelt.

Die **Tauglichkeitsprüfung**, wie bereits in Kap. 3.4.3 definiert, verfolgt das Ziel anhand festgelegter Bewertungsperspektiven und -kriterien die Erfüllungsgrade eines Technologiekonzepts für ein abgegrenztes Anwendungsfeld zu ermitteln und daraus Handlungsmaßnahmen für die Weiterentwicklung abzuleiten. Basis für diese Tauglichkeitsprüfung sind ein systematisches Vorgehen, qualitative und quantitative Bewertungsmethoden sowie Werkzeuge zur Entscheidungsfindung und Maßnahmenableitung. Bestehende Bewertungsmethoden sowie -ansätze (vgl. Kap. 4.2 & 4.3) werden hierfür aufgegriffen und an die Besonderheiten der Technologieentwicklung angepasst als auch für die Tauglichkeitsprüfung weiterentwickelt. Es werden ebenfalls entsprechende Bewertungsdimensionen definiert, welche die Ziele und Aspekte von Technologieentwicklungen (vgl. Kap. 3.3) aufgreifen und abbilden. Darüber hinaus werden die Ergebnisse durchgeführter Bewertungen durch entsprechende Werkzeuge und Methoden zur Entscheidungsfindung aufbereitet. Für einen durchgängigen und systematischen Bewertungsablauf wird obendrein auf ein bestehendes Vorgehen nach PLESCHAK und SABISCH (vgl. Kap. 3.4.2) zurückgegriffen. Den einzelnen Bewertungsschritten des Vorgehens werden systematische und analytische Bewertungsansätze zu Grunde gelegt, wobei anhand von festgelegten Bewertungsperspektiven die Tauglichkeit quantitativ und dadurch formelbasiert ermittelt wird. Um einen operablen Zugang zum Technologiekonzept zu erhalten und eine vergleichbare sowie belastbare Bewertung der eingesetzten Technologien sicherzustellen, muss darüber hinaus ein entsprechendes Modell zur Untergliederung von Technologiekonzepten definiert werden.

Die bewertungsbasierte Vorgehensweise unterscheidet sich von bestehenden Ansätzen u.a. dadurch, dass nicht nur die Reifegradermittlung sondern auch Zieldefinitionen für die Projektdurchführung und Rahmenbedingungen für die Maßnahmenableitung als expliziter Bestandteil im Vorgehen berücksichtigt werden. Eine neuartige Kombination qualitativer und quantitativer Analyse- und Bewertungsmethoden stützt zudem die ergebnisorientierte Tauglichkeitsprüfung, wobei ein entsprechendes Strukturierungsmodell<sup>30</sup> einen systematischen Zugang zum technologiebezogenen Bewertungsobjekt liefert. Die zu entwickelnde bewertungsbasierte Vorgehensweise stellt hierdurch einen Lösungsansatz bereit, um die bestehenden Probleme der Unternehmenspraxis zu lösen und dadurch ebenfalls die bestehenden Defizite in der Literatur aufzuheben.

Als Grundlage für die Entwicklungen in Kap. 7 wird im nachfolgenden Kap. 5.1 zunächst ein Systemmodell für Technologiekonzepte vorgestellt. Daran angeschlossen folgen in den Kap. 5.2 und 5.3 die Bestandteile als auch eine Strukturierung der bewertungsbasierten Vorgehensweise. Zum Abschluss wird in Kap. 5.4 eine Einordnung und zusammenfassende Charakterisierung der bewertungsbasierten Vorgehensweise vorgenommen.

---

<sup>30</sup> Dem Strukturierungsmodell liegt der Leitgedanke zugrunde, dass komplexe Problemstellungen oder Sachobjekte am effektivsten durch eine hierarchisierende bzw. zerlegende Struktur gelöst werden können, vgl. hierzu: (Koch 1982; Simon 1977 und Akiyama 1994).

## 5.1 Definition eines Systemmodells für Technologiekonzepte

Um die Tauglichkeit von Technologiekonzepten bestimmen zu können, ist zunächst ein entsprechend vertieftes Verständnis für solche Konzepte notwendig und wesentliche Voraussetzung für eine Bewertung:

Ein **Technologiekonzept** wird für die vorliegende Arbeit als technisches System, bestehend aus einer Kombination von einzelnen Technologien zur Lösung einer anwendungsbezogenen Problemstellung, verstanden. Durch den gezielten Verbund von neuen und bestehenden Technologien und deren Funktionalitäten zu einem holistischen System wird eine Gesamtwirkung erzeugt und das Technologiekonzept hierdurch zum Träger aller wichtigen Informationen, charakteristischen Merkmale sowie Eigenschaften gemacht (Spath et al. 2012).

Nachdem ein entsprechendes Verständnis für Technologiekonzepte vorliegt, können weitere Voraussetzungen zur Tauglichkeitsprüfung geschaffen werden. Wie bereits in Kap. 3.1.4 sowie 4.4.3 dargestellt, dürfen eingesetzte Technologien in Konzepten nicht isoliert betrachtet werden, vielmehr müssen Wechselwirkungen mit anderen Technologien des Konzepts in der Bewertung berücksichtigt werden (Lentes 2004, S. 221; Kröll 2007, S. 52). Die Strukturierung von Systemen in weitere Teilsysteme fördert das Erkennen sowie die Offenlegung von Strukturen, Zusammenhängen sowie Wechselwirkungen (VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb, Ausschuß Methodisches Konstruieren Mai 1993, S. 4). Für eine Tauglichkeitsprüfung ist es aus dem genannten Grund zwingend erforderlich Technologiekonzepte detaillierter aufzugliedern und darzustellen. Dem Verständnis zur Hierarchisierung von Sachsystemen<sup>31</sup> ROPOHLS (Ropohl 2009, S. 121) folgend, werden im vorliegenden Fall Technologiekonzepte durch eine systematische Detaillierung und Aufteilung ausgehend vom Gesamtsystem in Subsysteme zerlegt<sup>32</sup>. Erst die Aufteilung in Subsysteme macht die Variabilität, Interaktion als auch Komplexität von eingesetzten Technologien deutlich (vgl. Ropohl 2009, S. 127; La Croix 2008, S. 38). Die Kopplungen haben dadurch einen maßgeblichen Einfluss auf die Gesamtfunktion des Sachsystems (Ropohl 2009, S. 128). Dies ermöglicht auf der einen Seite ein besseres Problem- und Konzeptverständnis zu erhalten. Auf der anderen Seite können Schwachstellen und Optimierungspotentiale im Technologiekonzept systematisch identifizieren werden (Ponn 2008, S.19).

Für ein Technologiekonzept werden eine **Systemebene**, **Subsystemebene** sowie eine **Systemelementebene** als Ordnungs- und Detaillierungsrahmen definiert (vgl. Abb. 13). Darin bildet die Systemebene eine oberste Aggregationsebene und stellt das Technologiekonzept in seinem gesamten Zusammenhang dar. Die Subsystemebene bildet die erste Detaillierungsebene und unterteilt das Technologiekonzept in eine definierte Anzahl von Technologiegruppen. Die Systemelementebene schließlich bildet die zweite Detaillierungsebene und unterteilt die Technologiegruppen aus der Subsystem-Ebene in sogenannte Technologieelemente.

Für das weitere Vorgehen ist neben dem Ordnungsrahmen durch das Systemmodell eine Festlegung der Terminologie für die Begriffe Technologiegruppen sowie Technologieelemente notwendig. Nachfolgend werden diese Begriffe definiert:

---

<sup>31</sup> Sachsysteme stellen technische Gebilde wie Maschinen, Maschinenteile, Apparate oder Baugruppen dar und können definitionsgemäß als technische Systeme verstanden werden (vgl. Ehrlenspiel 2009, S. 24)

<sup>32</sup> Zur Strukturierung von Sachsystemen in Subsysteme sowie Systemelemente siehe bspw. auch: (VDI Richtlinie 2221 S. 4; Hubka 1984; Hubka 1992 und La Croix 2008, S. 38). Ebenfalls finden sich im Bereich der Zuverlässigkeitstechnik von Maschinen und Anlagen Systemelementbetrachtungen zur Ermittlung des Ausfallverhaltens: (Bertsche 2004 und Naunheimer et al. 2007, S. 649)

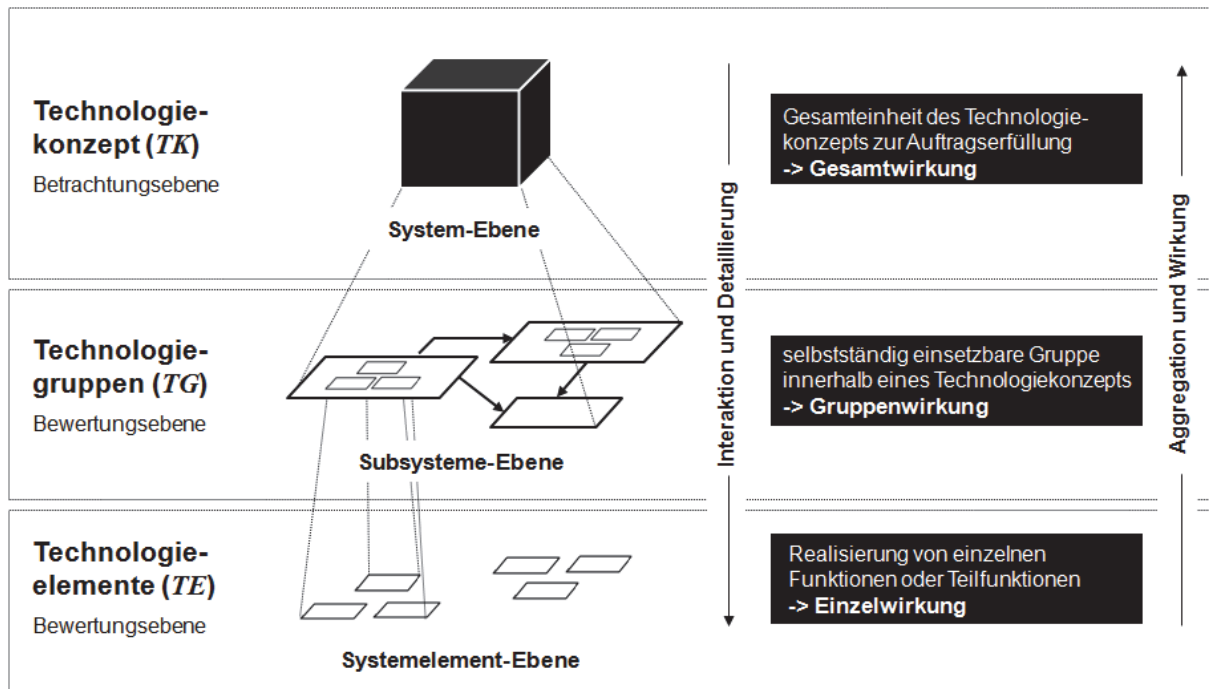


Abb. 13: Systemmodell<sup>33</sup> zur Detaillierung von Technologiekonzepten in der Technologieentwicklung

**Technologiegruppen** – Eine Technologiegruppe besteht mindestens aus einem Technologieelement und fasst mehrere Technologieelemente zu einem Verbund zusammen. Dabei stellt die Technologiegruppe im Technologiekonzept stets ein untergeordnetes Teilsystem dar. Auf der Subsystemebene wird das Technologiekonzept demzufolge durch eine Reihe von untergeordneten Gruppen abgebildet. Mit ihren Teilfunktionen und Eigenschaften erzeugen die Technologiegruppen jeweils eine spezifische Gruppenwirkung im Gesamtsystem. Da erst die Gruppenebene eine Interaktion und Abhängigkeit im Technologiekonzept verdeutlicht, wird hier eine Vergleichbarkeit des Entwicklungsstands innerhalb des Gesamtsystems gewährleistet.

**Technologieelemente** – Technologieelemente stehen in einem Technologiekonzept definitionsgemäß für neue oder beherrschte Technologien und dienen als Bausteine zur Erfüllung von Funktionen bzw. Teilfunktionen (vgl. Lentes 2004, S. 220). Da einzelne Funktionen eines Technologiekonzepts prinzipiell durch eine Reihe unterschiedlicher Technologieelemente realisiert werden können, sind Technologieelemente bei Bedarf substituierbar (vgl. Kröll 2007, S. 71). Die Systemelementebene bietet einen detaillierten Zugang zu den eingesetzten Technologien im Technologiekonzept und ist demzufolge von zentraler Bedeutung für die Tauglichkeitsprüfung.

Mittels dieser festgelegten Abgrenzungen für ein Technologiekonzept ist letztendlich eine Tauglichkeitsprüfung in der zu entwickelnden, bewertungsbasierten Vorgehensweise durchführbar (vgl. Kap. 7). Für die Unterteilung von Technologiekonzepten in der Praxis wird eine Strukturierung anhand von Technologieelementen vorgenommen. Im nachfolgenden Kap. 5.2 werden die Bestandteile der zu entwickelnden Vorgehensweise vorgestellt sowie eine entsprechende Struktur aufgezeigt.

<sup>33</sup> Weitere Modelle zur Detaillierung von Bewertungsobjekten finden sich beispielsweise bei (Nohe 1999, S. 51; Genderka 1994; Blau 2007, S. 8ff; Ehrlenspiel 2009). Die Modelle dieser Autoren fokussieren in der Regel produktorientierte Bewertungsobjekte - auch Produktmodelle genannt - wobei eine Unterteilung in detaillierte Partialmodelle, Teilmodelle oder Komponenten eines Bewertungsobjekts zur Durchführung von Bewertungen vorgenommen wird. Eine technologiebezogene Unterteilung konnte in den betrachteten Ansätzen nicht identifiziert werden.

## 5.2 Bestandteile der Vorgehensweise

Die bewertungsbasierte Vorgehensweise stellt ein Steuerungs- und Kontrollinstrument für Technologiekonzepte dar, durch welches die Kernaufgaben der Technologiebewertung in der Technologieentwicklung realisiert und gewährleistet werden (vgl. Kap. 3.4). Das Ziel der Vorgehensweise besteht insbesondere darin, durch methodengestützte Bewertungen die gegenwärtige Leistungsfähigkeit von Technologiekonzepten in der Technologieentwicklung zu ermitteln und hierdurch ein Instrumentarium zur Entscheidungsfindung unter Unsicherheit für Entscheider bereitzustellen. Die bewertungsbasierte Vorgehensweise beruht im Wesentlichen auf einem zugrunde liegenden systematischen Bewertungsprozess, notwendigen Reifegradkennwerten sowie Werkzeugen zur Bewertung und Entscheidungsvorbereitung als auch einem technologiebezogenen Bewertungsobjekt – dem Technologiekonzept. Im Folgenden werden Reifegradkennwerte zur Entwicklung der Vorgehensweise sowie entsprechende Werkzeuge zur Bewertung vorgestellt.

### 5.2.1 Reifegradkennwerte und Perspektiven der Tauglichkeitsprüfung

Um den Reifegrad technischer Systeme beschreiben zu können, gilt es zunächst einen Satz an spezifischen Bewertungsgrößen festzulegen, um deren Werte anschließend zu jedem Zeitpunkt der Entwicklung vollständig bestimmen zu können (vgl. Knaf 2008, S. 149). Für die Tauglichkeitsprüfung und Reifegradbewertung von Technologiekonzepten wird der in Kap. 4.4 bereits vorgestellte Ansatz zum Reifegradcontrolling von Softwarekomponenten nach BLAU et al. aufgegriffen und für die Technologieentwicklung entsprechend adaptiert. So werden für die Technologieentwicklung die Reifegradbewertung auf Komponentenebene anhand definierter Merkmale und formelbasierter Berechnung genutzt, um Technologiekonzepte zu bewerten. Die Bewertung erfolgt anhand der Überprüfung von Soll-Zielen und Ist-Daten, wobei entsprechende Berechnungsformeln zur Ermittlung der Kennzahlen zugrunde liegen. Die Charakterisierung und Festlegung der Kennzahlen für das Technologiekonzept folgt einem **Scorecard-Ansatz**<sup>34</sup>, indem über festgelegte Perspektiven eine Messung und Überprüfung vordefinierter Ziele vorgenommen wird, vgl. (Abb. 14). Es werden dabei sowohl monetäre als auch nicht-monetäre Indikatoren berücksichtigt. Im Vergleich zur klassischen Balanced Scorecard werden zur Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten die vier Perspektiven **Technik**, **Kunde**, **Fertigung** und **Wirtschaftlichkeit** definiert. Die Wahl dieser Perspektiven begründet sich durch die bereits aus Kap. 3.4.1 diskutierten Kriterien zur Bewertung von Technologien. Dabei ist es Ziel ein zuvor ermitteltes Technologiepotential aus der Technologieplanung in der Technologieentwicklung zu überprüfen, um anhand der ganzheitlichen Betrachtungsweise frühzeitig Marktpotenziale abzuschätzen, den Weiterentwicklungsbedarf aufzudecken und mögliche Risiken in Bezug auf eine spätere Fertigbarkeit zu minimieren. Neben einer rein qualitativen Bewertung wird ebenfalls eine monetäre Bewertung in die Technologieentwicklung mit einbezogen und anhand von Zielerreichungsgraden eine Basis zur Maßnahmenableitung geschaffen.

---

<sup>34</sup> Stellt ein Kennzahlensystem zur Bewertung von physischen Objekten oder Systemen dar und wird anhand vordefinierter Perspektiven zur Kennzahlermittlung durchgeführt. Eng mit dem Controlling verbundenes Kennzahlensystem; weiterführende Literatur siehe bspw.: (Kaplan und Norton 1998).

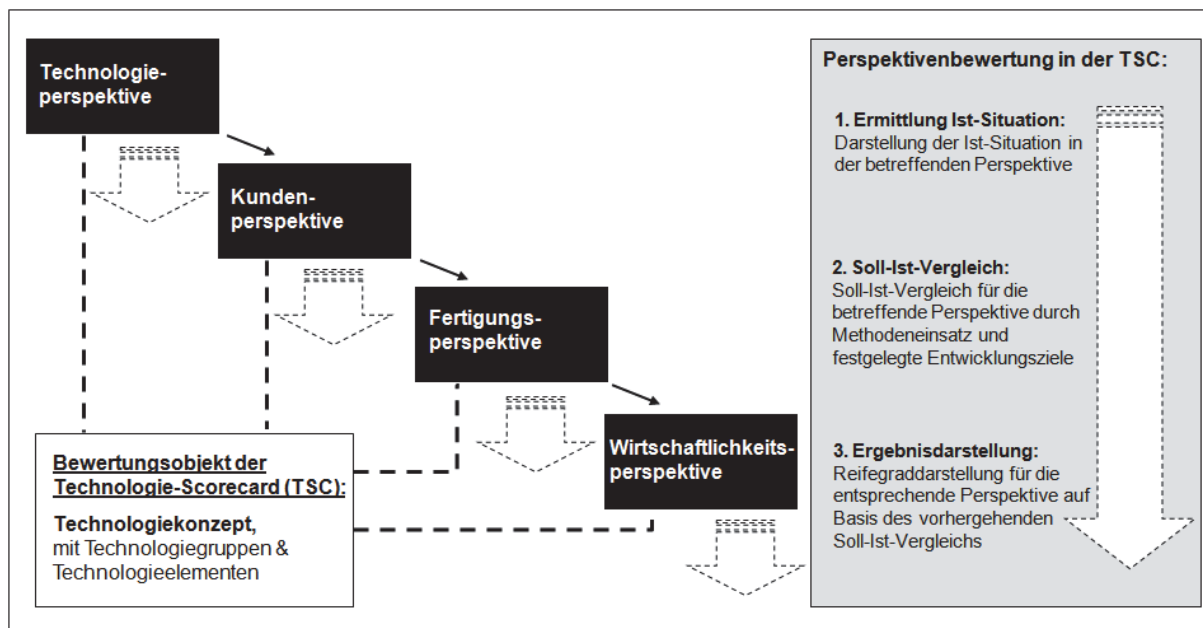


Abb. 14: Scorecard zur Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten inklusive zugehöriger Perspektiven<sup>35</sup>

Durch die Wahl einer mehrperspektivischen Bewertung können oftmals vernachlässigte Sichtweisen oder Problemstellungen aufgedeckt sowie Vorschläge für Problemlösungen erarbeitet werden (Spath und Leyh 2011, S. 21). Die Bereitstellung der entsprechenden Bewertungsinformationen für die Bewertungsperspektiven erfolgt über den Einsatz geeigneter Analyse- und Bewertungsmethoden (vgl. Kap. 4.2.2 sowie Anhang 12.9, 12.12, 12.16 und 12.19).

## 5.2.2 Werkzeug für die Tauglichkeitsprüfung

Die Tauglichkeit wird unter anderem bestimmt aus den eingesetzten Technologien, deren Abhängigkeiten untereinander sowie den zu realisierenden Funktionen im Anwendungszusammenhang. Für die Bewertung der Tauglichkeit ist eine Kopplung dieser Größen zwingend erforderlich. Wie Kap. 4.2.1 bereits gezeigt hat ist das HoT aufgrund seiner Matrixstruktur zur Kopplung technischer wie auch funktionaler Aspekte und weiterer signifikanter Merkmale für Technologiekonzepte geeignet. Das HoT wird aus diesem Grund als expliziter Bestandteil der zu entwickelnden Vorgehensweise festgelegt. Die Methode bildet im Rahmen der bewertungsbasierten Vorgehensweise ein Basiselement zwischen dem Technologiekonzept und den Perspektiven zur Bewertung. Durch die Matrixstruktur des HoT werden für das Technologiekonzept entsprechende Abhängigkeiten und Bedeutungen ermittelt sowie die Möglichkeit zur Identifizierung von Weiterentwicklungspotenzialen und Schwachstellen geschaffen.

Die Bildung des HoT erfolgt auf Basis des in Kap. 5.1 festgelegten Ordnungsrahmens für Technologiekonzepte. Die darin determinierten Technologieelemente und Technologiegruppen werden in der Matrixstruktur des HoT den Funktionen des Konzepts gegenübergestellt. Durch die Erzeugung eines Abhängigkeitsverhältnisses auf Element- und Gruppenebene wird ein notwendiger und detaillierter Zugang für weitere Bewertungsaspekte geschaffen und eine Angliederung von passenden Analyse- und Bewertungsmethoden für die Kunden-, Fertigungs- als auch Wirtschaftlichkeitsperspektive gewährleistet (vgl. Kap. 4.2) Für die Anbin-

<sup>35</sup> Die Begrifflichkeit „Technologie-Scorecard“ wurde in der Literatur bereits als Abwandlung des klassischen „Scorecard-Ansatzes“ zur Beantwortung technologischer Fragestellungen eingesetzt (vgl. bspw. Dahlem 2013). Für die vorliegende Arbeit wurde diese Begrifflichkeit aufgegriffen und entsprechend ihren Inhalten neu definiert.

dung der Tauglichkeitsprüfung an die Technologieentwicklung wird an gängige Technologieentwicklungsprozesse (vgl. Kap. 4.1) angeknüpft und für die Bewertung zugrunde gelegt.

### 5.2.3 Kombinierte Tauglichkeitsprüfung

Nachdem die Reifegradkennwerte Technik, Kunde, Fertigung und Wirtschaftlichkeit zur Tauglichkeitsprüfung definiert sind und ein entsprechendes Werkzeug zur Tauglichkeitsprüfung vorliegt kann durch gezielte Kombination dieser beiden Elemente ein vollumfängliches Bewertungsinstrument für die Technologieentwicklung bereitgestellt werden, vgl. (Abb. 15):

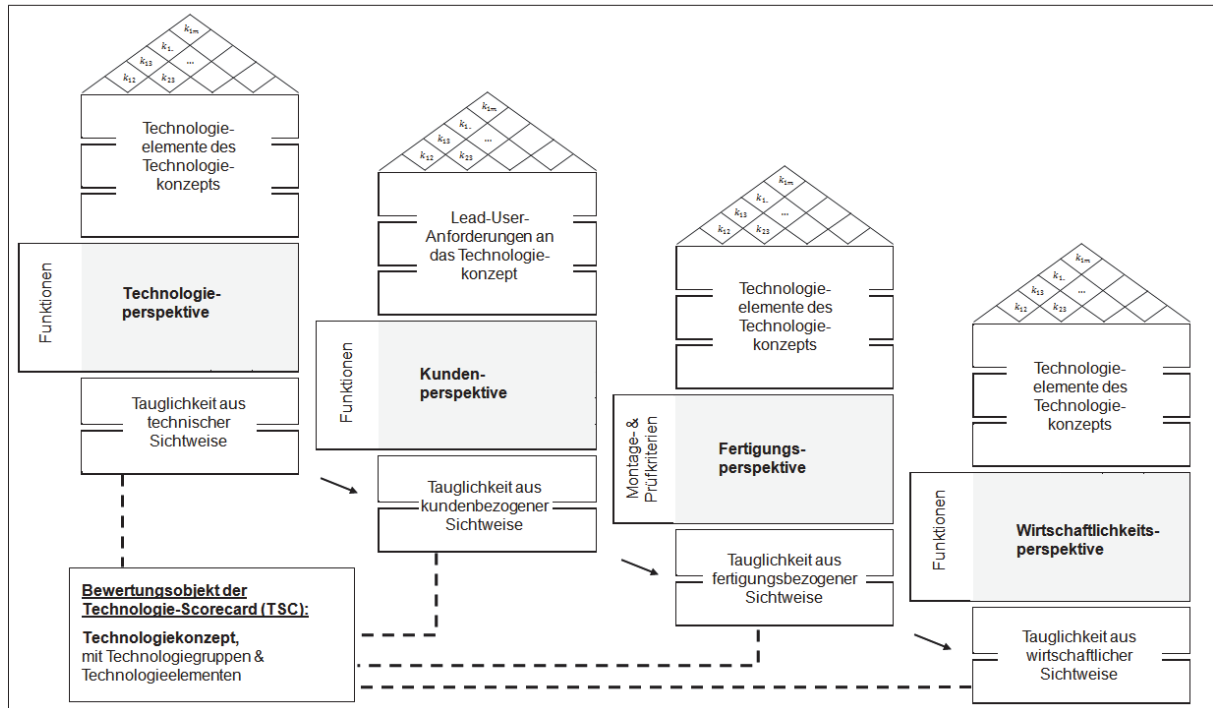


Abb. 15: Scorecard und HoT als Elemente zur Tauglichkeitsprüfung

Die Zusammenführung von Reifegradkennwerten, dem Scorecard-Ansatz, dem HoT als auch zusätzlicher unterstützender Analyse- und Bewertungsmethoden stellt eine Weiterentwicklung bestehender Ansätze dar und führt zu einem neuartigen Bewertungsinstrument für die Technologieentwicklung. So wird auf der einen Seite der detaillierte Zugang zum Technologiekonzept gewährleistet als auch eine auf einzelne Technologien bezogene Bewertung ermöglicht. Auf der anderen Seite bieten vordefinierte Reifegradkennwerte und ein dreistufiges Vorgehen eine wiederholbare wie auch vergleichbare Bewertung an. Mit den so verbundenen Vorteilen der Instrumente aus Kap. 5.2.1 und 5.2.2 wird der Forderung nach einer Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten in der Technologieentwicklung als auch einer ergebnisorientierten Reifegradbetrachtung nachgekommen. Zudem kann unter der Berücksichtigung vordefinierter Ziele eine Steuerung und Kontrolle von Entwicklungsaktivitäten gewährleistet werden.

### 5.3 Strukturierung der Vorgehensweise

Die zu entwickelnde, bewertungsbasierte Vorgehensweise lehnt sich an den Bewertungsprozess nach PLESCHAK und SABISCH sowie bestehenden Regelkreisen von Reifegradmodellen (Christiansen 2010) an. Diese zugrunde gelegten Prozesse finden in der Wissenschaft und Praxis bereits Anwendung, wie Kap. 3.4.2 und 4.4 zeigen, und können demzufolge für die Konzeption der bewertungsbasierten Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung herangezogen werden. Die Überprüfung der Tauglichkeit erfolgt dabei anhand eines systematischen Vorgehens und ist in die nachfolgenden vier Phasen untergliedert (vgl. Abb. 16):

- **Phase 1** - Zielbestimmung des Konzepts (Zieldefinition)
- **Phase 2** - Entwicklung des Konzepts (Ist-Daten Ermittlung)
- **Phase 3** - Bewertung des Konzepts (Soll-Ist-Vergleich) sowie
- **Phase 4** - Ableitung von Maßnahmen (Korrektur)

Im Rahmen von **Phase 1** wird die Bestimmung von Entwicklungszielen vorgenommen. Hierzu ist eine Kategorisierung und Einordnung des Technologiekonzepts notwendig, welche die inhaltliche Abgrenzung sowie die Entwicklungsschwerpunkte festlegt. Darauf aufbauend werden Ziele des Technologiekonzepts definiert und Soll-Kriterien für die Überprüfung von Entwicklungsergebnissen festgelegt.

In **Phase 2** wird die eigentliche Entwicklung des Technologiekonzepts auf Basis eines weiterentwickelten Stage-Gate-Prozesses für Technologieentwicklungen nach HAUDEK et al. (Haudek et al. 2011) vorgenommen. Die in Phase 1 definierten Ziele bilden in dieser Phase die Grundlage für die Entwicklungstätigkeiten.

In **Phase 3** werden die Entwicklungsergebnisse des Technologiekonzepts bewertet. Für eine ganzheitliche Bewertung von Technologiekonzepten ist eine Überprüfung des Projektfortschritts als auch eine Überprüfung des Objektfortschritts notwendig. So wird neben dem Projektfortschritt in Teilphase 3.1 ebenfalls der Objektfortschritt des Technologiekonzepts in Teilphase 3.2 durch die Nutzung der vier Perspektiven Technik, Kunde, Fertigung sowie Wirtschaftlichkeit bewertet. Für die ganzheitliche Bewertung über mehrere Perspektiven hinweg ist eine Kombination sowie Erweiterung von bestehenden Analyse- und Bewertungsmethoden notwendig. Mit Hilfe der durchgeführten Bewertungen aus Teilphase 3.1 sowie 3.2 wird eine Aggregation der Bewertungsergebnisse vorgenommen und dadurch der gegenwärtige Reifegrad der Technologieentwicklung in Teilphase 3.3 ermittelt.

In **Phase 4** werden schließlich mit Hilfe eines Reifegrad-Aufwand-Portfolios Maßnahmen für die weitere Entwicklung des Technologiekonzepts abgeleitet. Der gegenwärtig erreichte Reifegrad des Konzepts sowie die Analyseergebnisse der inhaltlichen Bewertung aus Phase 3 liefern die entsprechenden Daten zum Aufbau des Portfolios.

Abb. 16 verdeutlicht in diesem Zusammenhang nochmals die Phasen der bewertungsbasierten Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung.

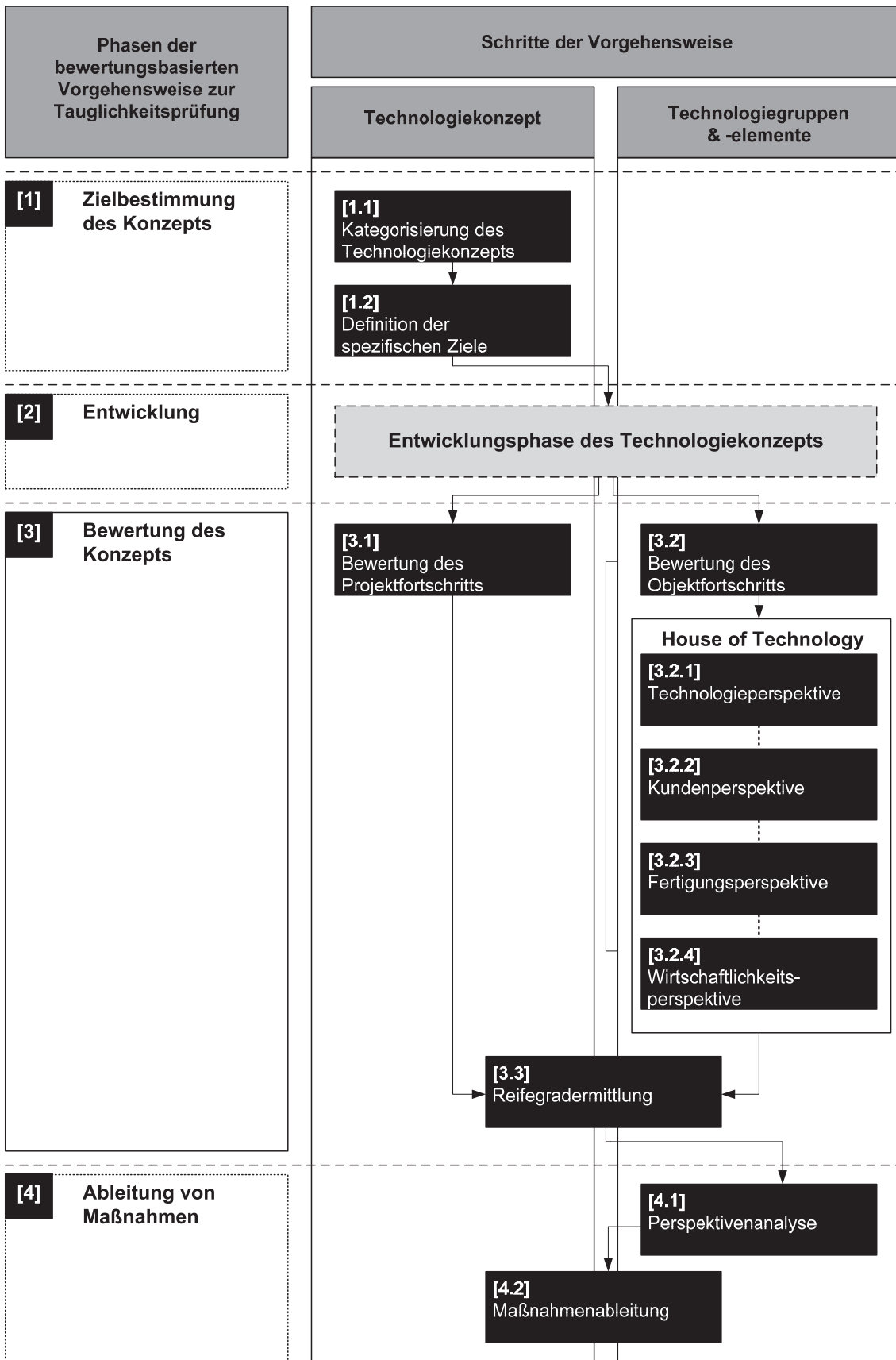


Abb. 16: Konzept der bewertungsbasierten Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung

## 5.4 Charakterisierung und Gruppierung der Vorgehensweise

Die bewertungsbasierte Vorgehensweise ist dem Aufgabenfeld des operativen Technologiemanagements zuzuordnen und darin speziell der Technologieentwicklung. Es werden somit weder die Technologie- noch die Produktplanung bzw. Technologieverwertung als expliziter Bestandteil aufgegriffen. Aus Sicht des strategischen Technologiemanagements wird die Phase „Umsetzung einer Technologiestrategie“ fokussiert, welche die Durchführung von Technologieprojekten beinhaltet. Innerhalb der Technologieentwicklung sollen durch die bewertungsbasierte Vorgehensweise Produkttechnologien auf deren Tauglichkeit hin bewertet, in ihrem Entwicklungsverlauf kontrolliert sowie gesteuert werden, wodurch die Aufgaben der Technologiebewertung expliziter Bestandteil der Vorgehensweise sind. Es werden sowohl neue Technologien als auch Substitutionstechnologien in gleichem Maße berücksichtigt. Die Vorgehensweise stellt hierzu einen neuartigen systematischen und analytischen Ansatz zur Tauglichkeitsprüfung bereit, indem bestehende Analyse- sowie Bewertungsmethoden qualitativer als auch quantitativer Art kombiniert und erweitert werden. Die bewertungsbasierte Vorgehensweise ermöglicht dadurch die Tauglichkeitsprüfung von Technologieentwicklungen anhand unterschiedlicher Bewertungsperspektiven und gestattet darüber hinaus eine Reifegradbetrachtung mit zusätzlicher Aggregation und Verdichtung von Bewertungsergebnissen. Innerhalb der Technologieentwicklung soll eine Bewertung anhand von vordefinierten Zielsetzungen erfolgen und eventuell auftretende Abweichungen frühzeitig gekennzeichnet werden. Hierfür wird Expertenwissen aus dem Unternehmen integriert sowie konzentriert und für Entscheider bereitgestellt. Die bewertungsbasierte Vorgehensweise stellt hierdurch einen Bottom-Up-Ansatz für die Informations- und Ergebniskommunikation bei Entscheidungsprozessen dar und fokussiert auf technologieorientierte Unternehmen mit eigener Technologieentwicklung. Die Tab. 11 verdeutlicht die charakterisierenden Merkmale der bewertungsbasierten Vorgehensweise und deren spezifische Ausprägungen.

Tab. 11: Charakterisierung der bewertungsbasierten Vorgehensweise<sup>36</sup>

Merkmal:	Ausprägung des Merkmals				
	Aufgaben Technologie-management (Kap. 3.2)	Technologie-früherkennung	Technologie-planung	Technologie-entwicklung	Technologie-verwertung
Technologietyp (Kap. 3.1.2)	Neue Technologie	Schrittmachertechnologie	Schlüsseltechnologie	Basistechnologie	Verdrängte Technologie
Technologieart (Kap. 3.1.2)	Produkttechnologien		Fertigungstechnologien		
Entwicklungskontext (Kap. 3.1.2)	Substituierend		Komplementär		Neu
Methodeneinsatz (Kap. 3.4.1)	Qualitativ		Mischformen		Quantitativ
Informationsverarbeitung (Kap.3.2.2)	Bottom-Up			Top-Down	
Bewertungsform (Kap. 3.2.2)	Alternativenvergleich (Auswahlentscheidung)			Soll-Ziel-Erfüllung (Tauglichkeitsentscheidung)	
Reifegradermittlung (Kap. 4.4.1)	kennzahlbasiert			Stufenbasiert	

<sup>36</sup> Charakterisierende Merkmale zusammengestellt aus: (Schuh und Klappert 2011, S. 15; Thudium 2005, S. 141; Bullinger 1994, S.97; Haag 2011, S. 312; König 2007, S. 14; Pleschak 1996, S. 171; Becker 2010, S. 2111).

## 6 Anforderungen an die bewertungsbasierte Vorgehensweise

Basierend auf den bisherigen Erkenntnissen zum Stand des Wissens und den identifizierten Defiziten werden nachfolgend Anforderungen an eine bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten in der Technologieentwicklung abgeleitet. Die benannten Anforderungen sind den Teilzielen der Arbeit (vgl. Kap. 2.1) zuzuordnen und gewährleisten eine Behebung identifizierter Problemstellungen der Unternehmenspraxis, vgl. (Kap. 1.2).

### 6.1 Anforderungen an die Kategorisierung und Initiierung der Tauglichkeitsprüfung

Die Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung bedarf neben allgemein formulierten Kriterien zur Erfolgsmessung auch einer Bezugsbasis zur Initiierung und Überprüfung der Tauglichkeit. Folgende Anforderungen ergeben sich aufgrund dieser Voraussetzungen:

- **Effektive Tauglichkeitsprüfung:** Die Bewertung von Technologiekonzepten soll effektiv und ganzheitlich sein, indem bereits zu Beginn der bewertungsbasierten Vorgehensweise eine Festlegung von strategischen und entwicklungsbezogenen Zielen (sogenannten Soll-Daten) erfolgt, welche für einen anschließenden sowie wiederholbaren Soll-Ist-Datenvergleich in der Tauglichkeitsprüfung notwendig sind. Bereits getroffene Entscheidungen über strategische Ziele aus einer vorausgegangenen Technologieplanung müssen dabei in der bewertungsbasierten Vorgehensweise explizit Berücksichtigung finden (vgl. Gomeringer 2007, S. 65).
- **Kategorisierung von Technologiekonzepten:** Für die Bewertbarkeit von Technologiekonzepten muss als Voraussetzung zur Erfolgsmessung ebenfalls eine Kategorisierung der Entwicklungsart vorliegen. Die bewertungsbasierte Vorgehensweise muss zur Festlegung des Entwicklungsrahmens eine Kategorisierung in Substitutions- als auch Neuentwicklungen gewährleisten können und diese als bewertende Merkmale in der Tauglichkeitsprüfung einsetzen.
- **Entwicklungsprozess als Bezugsbasis:** Zur Initiierung der Tauglichkeitsprüfung und Erhebung von Ist-Daten im Entwicklungsverlauf muss die bewertungsbasierte Vorgehensweise letztlich an einem definierten Ablauf ansetzen. Hierfür ist ein Technologieentwicklungsprozess zugrunde zu legen, durch dessen phasenbasierten Verlauf eine wiederholbare Ist-Datenermittlung und Tauglichkeitsprüfung gewährleistet wird.

### 6.2 Anforderungen an die Tauglichkeitsprüfung sowie Kontrolle von Technologiekonzepten

Für eine ganzheitliche Prüfung von Technologiekonzepten während der Technologieentwicklung ist in der bewertungsbasierten Vorgehensweise eine kontinuierliche Kontrolle des Entwicklungsfortschritts notwendig. Hieraus ergeben sich folgende Anforderungen:

- **Ganzheitlichkeit durch mehrperspektivische Tauglichkeitsprüfung:** Da Technologiekonzepte in ihrer Entwicklung verschiedene Phasen durchlaufen, entstehen technische, markt- wie auch wirtschaftlichkeitsbezogene Fragestellungen, welche es im Rahmen einer Technologieentwicklung zu beantworten gilt. Insbesondere finanzielle sowie nicht-finanzielle Aspekte sind zu berücksichtigen und explizit bei der Entscheidungsfindung in der Technologieentwicklung einzubeziehen. Eine mehrperspektivische Betrachtung in der bewertungsbasierten Vorgehensweise soll hinreichende Aussagen zur Tauglichkeit in der Technologieentwicklung gewährleisten, indem sowohl die Perspektiven Technik, Markt wie auch Fertigungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit bei der Tauglichkeitsprüfung berücksichtigt werden.

- **Unterstützung durch Methodenkombination und -integration:** Für eine effektive und wiederholbare Tauglichkeitsprüfung über die vier Perspektiven Technik, Markt, Fertigungsfähigkeit sowie Wirtschaftlichkeit hinweg, muss die bewertungsbasierte Vorgehensweise durch Methodeneinsatz unterstützt werden und dabei an die Gegebenheiten der Technologieentwicklung anpassbar sein. Vorhandene qualitative sowie quantitative Bewertungsmethoden sind so zu kombinieren bzw. zu ergänzen, dass die Tauglichkeit zu jedem Zeitpunkt der Entwicklung nachweisbar ist und Tauglichkeitsprüfungsergebnisse erzeugt werden können. Insbesondere muss durch die Methodenkombination und -integration eine Kopplung technisch-funktionaler sowie marktrelevanter Aspekte gewährleistet werden.
- **Analytische, ex nunc-Tauglichkeitsprüfung:** Die bewertungsbasierte Vorgehensweise soll Aussagen zur gegenwärtigen Tauglichkeit von Technologiekonzepten liefern, indem ein Vergleich von Sollzielen zu gegenwärtig erreichten Zielen erfolgt. Damit eine Vergleichbarkeit in der Bewertung erreicht werden kann, müssen Soll-Ist-Vergleiche in analytischer Form und unter dem Einsatz von Bewertungsmethoden ermittelt werden.
- **Mehrfachprüfung im Entwicklungsverlauf:** Für die Anwendung der bewertungsbasierten Vorgehensweise im Entwicklungsverlauf muss eine Neueinschätzung der Tauglichkeit erfolgen können. Die zu entwickelnde Vorgehensweise muss an die Entwicklungsphasen einer Technologieentwicklung angepasste Bewertungsvorgänge gewährleisten und wiederholt zur Tauglichkeitsprüfung einsetzbar sein. Dabei sollen speziell der Entwicklungs- sowie Informationsstand pro Entwicklungsphase von Technologiekonzepten berücksichtigt werden.
- **Tauglichkeitsprüfung bei unvollständigem Informationsgehalt:** Die Tauglichkeitsprüfung muss sowohl mit vollständigem als auch unvollständigem Informationsgehalt realisierbar sein und hinreichende Aussagen zum gegenwärtigen Entwicklungsstand von Technologien liefern können.

### 6.3 Anforderungen an die Analyse sowie Verwertung von Tauglichkeitsprüfungsergebnissen

Die bewertungsbasierte Vorgehensweise muss anhand von Bewertungsergebnissen auf Entwicklungsveränderungen reagieren und Maßnahmen zur Weiterentwicklung oder zum Abbruch gewährleisten. Dies führt zu folgenden Anforderungen:

- **Komprimierte Ergebnisdarstellung:** Für eine Ableitung von Handlungsmaßnahmen im Entwicklungsverlauf müssen durchgeführte Bewertungen in aussagekräftiger Form bereitgestellt werden können. Die bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung muss hierfür den Datenoutput durchgeführter Bewertungen so aufbereiten und komprimieren, dass anhand einer sinnvollen sowie überschaubaren Menge an Kennwerten eine Entscheidungsfindung vorgenommen werden kann. Die ermittelten Kennwerte sind dabei für Entscheider verständlich sowie eindeutig darzustellen und müssen für weitere Bewertungen aktualisiert werden können (vgl. Rush 1997, S. 422; Granig 2007, S. 56).
- **Ergebnisbasierte Maßnahmenableitung:** Letztlich muss die bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung gewährleisten, dass vorliegende Bewertungsergebnisse zur Maßnahmenableitung und Weiterentwicklung in der Technologieentwicklung führen. Dabei sollen leistungssteigernde Maßnahmen anhand vordefinierter Handlungsempfehlungen eingeleitet werden können bei gleichzeitiger Berücksichtigung mehrperspektivischer Bewertungsaspekte.

## 6.4 Anforderungen an die Betrachtung von Technologien in der Tauglichkeitsprüfung

- **Methodenbasierter Zugang:** Die bewertungsbasierte Vorgehensweise muss durch gezielten Methodeneinsatz einen hinreichend detaillierten Zugang zu den eingesetzten Technologien für die Tauglichkeitsprüfung ermöglichen. Hierbei sind insbesondere Technologien und deren Wechselwirkungen zueinander zu berücksichtigen und in systematischer Weise darzustellen.
- **Objektbezug und Komponentenbetrachtung:** Die bewertungsbasierte Vorgehensweise soll zur detaillierten und besseren Bestimmung von Schwachstellen und Defiziten in der Technologieentwicklung nicht nur auf Systemebene, sondern auf Subsystem- oder Komponentenebene Tauglichkeitsprüfungen vornehmen. Hierbei ist eine systematische Dekomposition sowie Aufgliederung des Bewertungsobjekts zielführend.

## 6.5 Allgemeine Anforderungen an das bewertungsbasierte Vorgehen zur Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung

Für den Einsatz als Entscheidungsfindungsmethode in der Technologieentwicklung ergeben sich nachfolgende und als allgemeingültig zu verstehende Anforderungen an das bewertungsbasierte Vorgehen:

- **Konsistenz:** Im Rahmen der bewertungsbasierten Vorgehensweise muss eine ganzheitliche Tauglichkeitsprüfung ausgehend von einer Zieldefinition, über Soll-Ist-Vergleiche bis hin zur Maßnahmenableitung garantiert werden. Die bewertungsbasierte Vorgehensweise soll dabei in systematisch-logischer Weise durchführbar sein und weder Diskrepanzen noch Redundanzen bei der Informationsgewinnung oder Ergebnisverwertung aufweisen (vgl. Heubach 2008, S. 86).
- **Anschlussfähigkeit:** Die bewertungsbasierte Vorgehensweise soll anschlussfähig an bestehende Prozesse in der Unternehmenspraxis sein (vgl. Granig 2007, S. 56) und dabei vor- als auch nachgelagerte Schnittstellenbereiche – wie eine Technologieplanung oder Produktplanung- einbinden.
- **Eindeutigkeit:** Für eine wiederholbare und zielführende Tauglichkeitsprüfung muss die bewertungsbasierte Vorgehensweise gewährleisten, dass sich keine methodischen Schwierigkeiten ergeben aufgrund der Verschiedenartigkeit von Maßstäben, Messgrößen und deren jeweiliger Aussagekraft (Rapp 1999, S. 244). Zudem dürfen keine Aggregationsprobleme bei der Dekomposition sowie Zusammenführung der objektbezogenen Bewertung entstehen (vgl. Rapp 1999, S. 244).
- **Verständlichkeit:** Schließlich muss die bewertungsbasierte Vorgehensweise in ihrer Anwendung verständlich und nachvollziehbar sein (vgl. Granig 2007, S. 56). Sowohl für Projektleiter wie auch Entscheider müssen die generierten Tauglichkeitsnachweise verständlich und verwechslungsfrei darstellbar sein, um entsprechende Maßnahmen für die weiteren Entwicklungsaktivitäten ableiten zu können.

Auf Basis der vorliegenden Anforderungen aus Kap. 6 wird im nachfolgenden Kapitel eine bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten entwickelt, welche den Bedarf nach Bewertungsinstrumenten für die Technologieentwicklung und Reifegradermittlung decken soll. Hierfür werden bestehende Methoden und Instrumente gezielt adaptiert und neu kombiniert, um die Entscheidungsfindung für technologische Entwicklungen zu unterstützen.

## 7 Entwicklung der Vorgehensweise

In diesem Kapitel wird die bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung vorgestellt. Wesentliche Grundlagen für die Entwicklung bilden der bereits in Kap. 5 beschriebene Ansatz zur Tauglichkeitsprüfung und die in Kap. 6 benannten Anforderungen an das Vorgehen.

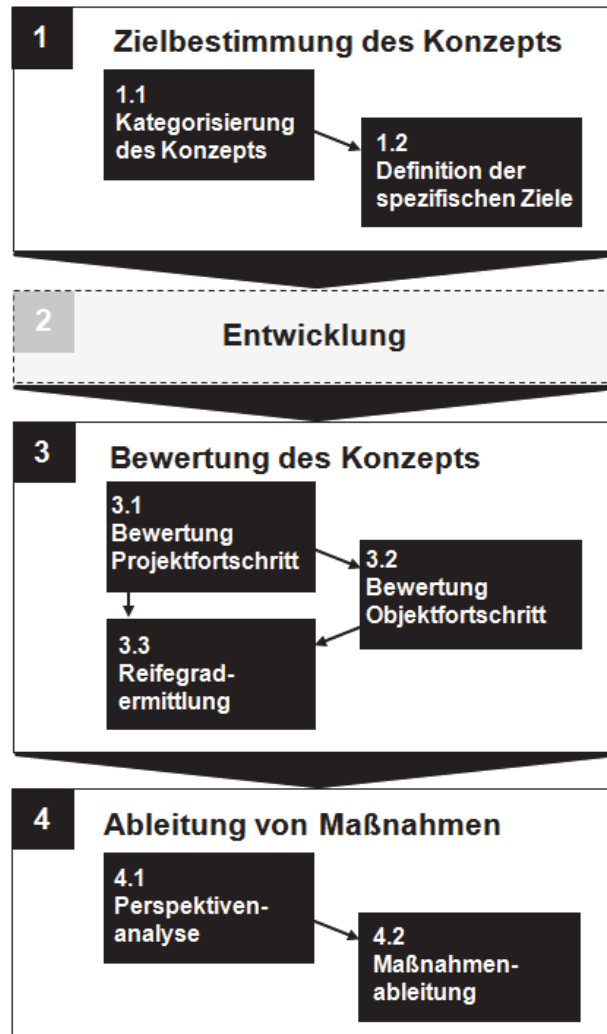


Abb. 17: bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung

Die bewertungsbasierte Vorgehensweise ist in vier Phasen unterteilt und kann als Regelkreis, mit mehrmaliger Anwendung während der Technologieentwicklung, verstanden werden (vgl. Abb. 17). Nachfolgend werden die Grundzüge des Vorgehens vorgestellt:

- 1) Die Vorgehensweise beginnt mit einer Analyse der Ausgangssituation zur Kategorisierung des Technologiekonzepts. Hier wird unter anderem definiert, um welche Art von Technologieentwicklung es sich handelt (vgl. Kap. 3.1.2). Anschließend folgt eine Festlegung spezifischer Ziele für das Technologiekonzept nach technologiebezogenen, kundenbezogenen, fertigungsbezogenen und wirtschaftlichkeitsbezogenen Zieldimensionen (vgl. Kap. 7.1). Diese spezifischen Ziele sind an den Entwicklungszielen des Konzepts ausgerichtet und dienen im Vorgehen als spezifische Sollgrößen für die Bewertung und Maßnahmenableitung.
- 2) Da die Festlegung von spezifischen Zielen allein noch keine Aussage zum gegenwärtigen Entwicklungsstatus des Technologiekonzepts liefert, werden zur Erhebung bewertungsrelevanter Daten eine oder ggf. auch mehrere Technologieentwicklungsphasen in einem Stage-Gate-Prozess durchlaufen (vgl. Kap. 7.2). Die aus dem Prozess

generierten Entwicklungsergebnisse werden als Basis zur anschließenden Bewertung bzw. Tauglichkeitsprüfung herangezogen und sind in der bewertungsbasierten Vorgehensweise als Istgrößen zu verstehen.

- 3) Die eigentliche Bewertung für das Technologiekonzept erfolgt in Form eines Soll-Ist-Vergleichs unter der Nutzung qualitativer wie auch quantitativer Bewertungsmethoden (vgl. Kap. 4.2). Für eine ganzheitliche Bewertung des Technologiekonzepts ist sowohl eine Überprüfung des Projektfortschritts als auch eine Überprüfung des Bewertungsobjekts notwendig, was sich in einer geteilten Bewertung äußert. Die anschließende Zusammenführung der separaten Evaluierungen führt zur eigentlichen Reifegradbetrachtung des Technologiekonzepts (vgl. Kap. 7.3).
- 4) Die Analyse von Bewertungsergebnissen und die Gesamteinschätzung des Technologiekonzepts mit der Ableitung von Maßnahmen beenden schließlich die systematische Vorgehensweise (vgl. Kap. 7.4). Der Anstoß zur erneuten Tauglichkeitsprüfung und Entscheidungsfindung für die Weiterentwicklung oder den Abbruch des Technologiekonzepts sind an dieser Stelle ebenfalls berücksichtigt.

Aufgrund von Steuerungs- und Kontrollaufgaben als auch steigendem Informationsgehalt während der Technologieentwicklung werden Phasen oder Schritte der oben abgebildeten Vorgehensweise wiederholt durlaufen oder übersprungen. Detaillierte Erläuterungen zu einzelnen Phasen und Schritten finden sich in den anschließenden Kapiteln (Kap. 7.1 bis 7.4).

Für den effektiven Einsatz der bewertungsbasierten Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung ist zunächst die Benennung eines Bewertungsverantwortlichen im Unternehmen empfehlenswert. Dieser Verantwortliche muss sowohl markt- wie auch technologiebezogen denken können und aufgrund seiner interdisziplinären Tätigkeit mit unternehmensinternen Forschungs- und Entwicklungsmitarbeitern, Technologieexperten sowie Markt- und Fertigungsexperten im ständigen Austausch stehen. Grundsätzlich gewährleistet er die Aufarbeitung bewertungsrelevanter Informationen und nimmt darüber hinaus die Bewertungen gemeinsam mit den beteiligten Experten der Technologieentwicklung vor. Er kommuniziert Bewertungsergebnisse an Entscheidungsträger und überwacht den Entwicklungsverlauf in Technologiekonzepten als auch den daraus abgeleiteten Maßnahmen. In dieser Funktion agiert er als Schnittstelle zwischen Entscheidungsträgern und Technologieentwicklungsteams. Der Bewertungsverantwortliche muss des Weiteren von Fall zu Fall entscheiden, inwieweit eine von den Bewertungsschritten abhängige Vernachlässigung oder Ermittlung von Bewertungsgrößen unter Abwägung des damit verbundenen Risikos vertretbar ist (Breiing 1997, S. 227).

## **7.1 Phase 1: Zielbestimmung des Vorhabens**

Bevor mit einer Tauglichkeitsprüfung begonnen werden kann, sind zunächst die Ziele und Anforderungen an ein solches Technologiekonzept zu definieren als auch zu spezifizieren. Hierfür sind konkrete Anforderungen oder Vorgaben aus der Technologiestrategie bzw. der Unternehmensstrategie, Forderungen des Marktes oder Trends im Unternehmensumfeld aufzunehmen und zu spezifizieren sowie zu erreichende Entwicklungsziele für ein Technologiekonzept zu formulieren.

Die Phase 1 „Zielbestimmung des Vorhabens“ besteht aus zwei Schritten. Mit Hilfe einer Kategorisierung (Kap. 7.1.1) wird das Technologiekonzept zunächst in Schritt 1.1, unter Berücksichtigung strategischer Vorgaben, inhaltlich abgegrenzt. Darauf aufbauend werden in Schritt 1.2 die tauglichkeitsbezogenen Ziele (Kap. 7.1.2) des Technologiekonzepts bestimmt und zu erreichende Sollgrößen für die Technologieentwicklung definiert. Mit den definierten Zielen und den festgelegten Entwicklungsschwerpunkten kann in Phase 2 die Entwicklung des Technologiekonzepts erfolgen und darüber hinaus in Phase 4 eine Überprüfung der Entwicklungsergebnisse als auch eine Maßnahmenableitung vorgenommen werden. Nachfolgend werden die beiden Schritte 1.1 und 1.2 zur Zielbestimmung des Konzepts erläutert.

### 7.1.1 Schritt 1.1: Kategorisierung des Technologiekonzepts

Mit der Kategorisierung werden zunächst die Entwicklungsschwerpunkte für das Technologiekonzept festgelegt und dargestellt. Anschließend werden deren Erkenntnisse aufgegriffen und zur Spezifizierung von Zielen in Schritt 1.2 genutzt. Für die Kategorisierung werden strategiebezogene (AZ<sub>1</sub>), inhaltsbezogene (AZ<sub>2</sub>) und projektbezogene Ziele (AZ<sub>3</sub>) festgelegt (vgl. Tab. 12):

Zunächst sind die strategiebezogenen Ziele (AZ<sub>1</sub>), mit denen das Konzept realisiert wird zu formulieren. Strategiebezogene Ziele sind in diesem Zusammenhang als kurz bis mittelfristige und allgemein gehaltene Aussagen zur Umsetzung eines Technologiekonzepts zu verstehen. Die Aussagen stehen in Bezug zur Technologiestrategie, Wettbewerbsstrategie und ggf. Markteintrittsstrategie und sind aufgrund ihrer Spezifika pro Technologieentwicklungsprojekt neu zu definieren (vgl. Gerpott 1999, S. 165,166). Konkret gilt es festzulegen, ob es sich beim Technologiekonzept um eine Entwicklung in Richtung Technologieführerschaft bzw. Technologiefolgerschaft, um eine Leistungsführerschaft oder Kostenführerschaft sowie um eine Wettbewerbsdifferenzierung oder Spezialisierung handelt. Mit Hilfe dieser ersten Einordnung sollen, die sich anschließenden Ziele (AZ<sub>2</sub> und AZ<sub>3</sub>) ausgehend vom strategischen Standpunkt (AZ<sub>1</sub>) systematisch und wenn möglich vollständig formuliert werden können. Für die Formulierung der strategischen Ziele (AZ<sub>1</sub>) kann beispielsweise die Technologiestrategie des Unternehmens unterstützend herangezogen werden, worin Informationen zu Technologieprogrammen beschrieben und entsprechende Entwicklungsziele formuliert sind.

Anschließend sind die inhaltsbezogenen Ziele (AZ<sub>2</sub>) zu definieren. Hierfür ist die Frage zu beantworten „*Um welche Art von Entwicklung handelt es sich?*“, die durch das Technologiekonzept realisiert werden soll. In der Unternehmenspraxis werden für gewöhnlich Substitutions- als auch Neuentwicklungen unterschieden und durchgeführt (vgl. Kap. 3.1.2). Eine Neuentwicklung muss nicht als die Entwicklung einer neuen Technologie am Markt verstanden werden. Neu kann die Entwicklung auch lediglich für ein Unternehmen sein, das bisher keine oder nur geringe Kompetenzen in den betreffenden Technologien aufweist. Zudem ist der Frage nachzugehen „*Wo soll die technologische Entwicklung eingesetzt werden?*“, also welche Problemstellung damit gelöst und welches Anwendungsfeld favorisiert werden sollen. Um die relevanten Anwendungsfelder festzulegen, ist es zweckmäßig, auf bereits durchgeführte Analysen wie Technologiestudien, Forschungsprojekte oder Marktstudien zurückzugreifen. Hierbei kann es zu additiven, substituierenden wie auch integrierenden Technologie-Kombinationsmöglichkeiten bei der Technologieentwicklung kommen, (vgl. Kap.3.1.4). Die Technologiearchitektur sowie die Bestimmung des Technologieeinsatzes beschreiben das Technologiekonzept in einer detaillierten Form. Eine Festlegung der inhaltsbezogenen Ziele (AZ<sub>2</sub>) ergibt sich somit aus dem Anwendungsfeld sowie den Technologiekombinationen des Konzepts.

Letztlich sind die projektbezogenen Ziele (AZ<sub>3</sub>) für das Technologiekonzept zu bestimmen. Hier gilt es, Projektziele und –laufzeit festzulegen. Ebenfalls ist es notwendig Ressourcen und Budgetverteilungen für die Technologieentwicklung festzusetzen und für die Tauglichkeitsprüfung bereitzustellen (vgl. Kap. 7.3.1). Die Bestimmung von Projektrisiken und Abbruchkriterien ist ein weiterer Aspekt zur Formulierung projektbezogener Ziele. Für die Bestimmung der projektbezogenen Ziele (AZ<sub>3</sub>) können Roadmaps aus der Technologieplanung bzw. der Technologiestrategie herangezogen oder Informationen eines vorhergehenden Technologiemonitorings genutzt werden (vgl. Haag 2011, S. 310). Weiter dienen bereits erstellte Projektpläne oder vergleichbare Projekte als Basis zur Formulierung der AZ<sub>3</sub>. Bei den projektbezogenen Zielen gilt es ebenfalls festzulegen, welche Entwicklungsphasen im Rahmen der Tauglichkeitsprüfung durchschritten werden (vgl. Kap. 7.2), um eine zielgerichtete Bewertung zu ermöglichen.

Tab. 12: Kategorisierung von Technologiekonzepten in der Technologieentwicklung

Einordnung	Bezugsobjekt	Erläuterung bzw. Detaillierung der Kategorie
<b>Strategie-bezogene Ziele</b> <b>AZ<sub>1</sub></b>	Technologie-konzept	Konkretisierung, ob es sich, bei der Technologieentwicklung um: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologieführer- /Technologiefolgerschaft</li> <li>• Leistungsführerschaft/Kostenführerschaft</li> <li>• Wettbewerbsdifferenzierung/Spezialisierung</li> </ul> handelt.
<b>Inhalts-bezogene Ziele</b> (Entwicklungsart) <b>AZ<sub>2</sub></b>	Technologie-konzept	Festlegung, ob es sich bei der Technologieentwicklung um: <ul style="list-style-type: none"> <li>• eine Substitutionsentwicklung</li> <li>• eine Neuentwicklung</li> <li>• einen Kompetenzaufbau/eine Kompetenzerweiterung</li> </ul> handelt und welche(s) Anwendungsfeld(er) favorisiert wird/werden.
<b>Projekt-bezogene Ziele</b> <b>AZ<sub>3</sub></b>	Technologie-konzept	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestimmung der Projektziele und -laufzeit, Festlegung von Ressourcen und Budgets für die Technologieentwicklung</li> <li>• Bestimmung von Abbruchkriterien und Projektrisiken in Bezug auf das die Technologieentwicklung</li> <li>• Definition von Zielapplikationen</li> </ul>

Die Kategorisierung des Technologiekonzepts ist im Rahmen der bewertungsbasierten Vorgehensweise für gewöhnlich einmalig durchzuführen. Diese Kategorisierung sollte durch den Projektleiter für das Technologiekonzept und den Bewertungsverantwortlichen unter Rücksprache und Abstimmung mit entsprechenden Entscheidern im Unternehmen erfolgen. Diese Aufnahme von Informationen und Festlegungen zum Technologiekonzept sichert im Anschluss eine effiziente Formulierung von tauglichkeitsbezogenen Zielen in Schritt 1.2 der bewertungsbasierten Vorgehensweise.

### 7.1.2 Schritt 1.2: Definition der spezifischen Ziele

Nach der Kategorisierung des Technologiekonzepts erfolgt an dieser Stelle die Festlegung der spezifischen Ziele. Diese werden anhand von technologie-, kunden-, fertigungs- und wirtschaftlichkeitsbezogenen Zieldimensionen für das Technologiekonzept formuliert und kommen im Verlauf der Technologieentwicklung sowohl zur Bewertung des Technologiekonzepts in Phase 3 als auch zur Überprüfung von Entwicklungsergebnissen in Phase 4 zum Tragen. Die Ziele werden in qualitativer sowie quantitativer Form beschrieben und sind im Entwicklungsverlauf erweiterbar. Die Festlegung der tauglichkeitsbezogenen Ziele erfolgt unter Berücksichtigung der bereits vorgenommenen Kategorisierung des Technologiekonzepts in Schritt 1.1.

Die genannten Zieldimensionen technologie-, kunden-, fertigungs- und wirtschaftlichkeitsbezogen fokussieren das Technologiekonzept und stellen die Überprüfung der Tauglichkeit sicher. Beispiele für die tauglichkeitsbezogene Zieldimension wären Formulierungen wie: „Substitutionsentwicklung  $\alpha$  muss die Leistungsparameter des Vorgängerprodukts erreichen“ oder „für Substitutionsentwicklung  $\beta$  ist ein Ziel-Herstellkostenwert von 250 € zu erreichen“. Durch die vorgestellten Zieldimensionen werden die Entwicklungsschwerpunkte für das Technologiekonzept spezifiziert und gleichzeitig gewährleistet, dass Sollgrößen zur Bewertung vorliegen und mit der Strategie des Unternehmens übereinstimmen (vgl. Gelbmann und Vorbach 2007, S. 162).

Tab. 13 zeigt die vier tauglichkeitsbezogenen Zieldimensionen für Technologiekonzepte in der Technologieentwicklung nochmals auf.

Tab. 13: tauglichkeitsbezogene Zieldimensionen (TZ) für Technologiekonzepte in der Technologieentwicklung<sup>37</sup>

Zieldimension	Bezugsobjekt	Erläuterung bzw. Detaillierung der Zieldimension
<b>Technologie-bezogen</b> <i>TZ<sub>1</sub></i>	Technologie-konzept	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition funktioneller, restriktiver sowie systembeschreibender Leistungsparameter</li> <li>• Nennung und Spezifizierung einzelner Technologien aus der Technologiekombination</li> <li>• Angaben zur Technologiearchitektur</li> </ul>
<b>Kunden-bezogen</b> <i>TZ<sub>2</sub></i>	Technologie-konzept	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zu adressierende potentielle Lead-User bzw. Märkte oder Zielbranchen; wenn möglich, Formulierung von Lead-User-Anforderungen</li> <li>• Darstellung von Nutzen und Zielen des Technologiekonzepts im Kundenumfeld</li> <li>• Angabe potenzieller Stückzahlen bei Substitutionsentwicklung; Formulierung von Markteintrittsmöglichkeiten</li> </ul>
<b>Fertigungs-bezogen</b> <i>TZ<sub>3</sub></i>	Technologie-konzept	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Festlegung von Eigen- oder Fremdfertigungsmöglichkeiten</li> <li>• Festlegung von Investitionsumfang bei Aufbau von Eigenfertigungskompetenz</li> </ul>
<b>Wirtschaftlich-keitsbezogen</b> <i>TZ<sub>4</sub></i>	Technologie-konzept	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grenzerstellkosten (maximal zulässige Herstellkosten aus Sicht des Markts) in € bei Substitutionsentwicklung oder Neuentwicklung (falls ermittelbar)</li> <li>• Definition von Alleinstellungsmerkmalen, welche langfristig die Wirtschaftlichkeit beeinflussen</li> </ul>

Die tauglichkeitsbezogenen Ziele (*TZ<sub>1</sub>* bis *TZ<sub>4</sub>*) entstehen auf Basis der kategorisierenden Zieldimensionen *AZ<sub>1</sub>*, *AZ<sub>2</sub>*, *AZ<sub>3</sub>*. Dafür sind besonders die strategische Zielrichtung der Technologieentwicklung wie eine Technologieführerschaft oder Wettbewerbsdifferenzierung (vgl. Tab. 12) als auch die Art der Technologieentwicklung (Substitutions- oder Neuentwicklung) bestimmend. Diese definieren die tauglichkeitsbezogenen Ziele und grenzen sie schließlich ein. Bei einer Substitutionsentwicklung können bspw. für die wirtschaftlichkeitsbezogene Zieldimension (*TZ<sub>4</sub>*) Grenzerstellkosten durch Vorgänger- oder Substitutionsentwicklungen herangezogen werden. Bei Neuentwicklungen ist es denkbar, dass Marktuntersuchungen zu ersten Kostenschätzungen geführt haben und an dieser Stelle als erste Bezugsbasis Anwendung finden. Für die Bestimmung von *TZ<sub>1</sub>* bis *TZ<sub>4</sub>* bietet sich ein moderierter Zieldefinitions-Workshop unter der Leitung des Bewertungsverantwortlichen und Einbezug eines Technologieentwicklungsteams an. Von den kategorisierenden Zielen *AZ<sub>1</sub>*, *AZ<sub>2</sub>* und *AZ<sub>3</sub>* ausgehend, erfolgt im Workshop die Definition der tauglichkeitsbezogenen Zielgrößen. Sie sollten so eindeutig und spezifisch wie möglich formuliert und ggf. auch quantifiziert werden. Sie müssen für ihre Eindeutigkeit in direktem Bezug zur Technologieentwicklung und der fokussierten Problemlösung stehen. Die Ziele werden einheitlich in einem Zielstellungs-Template (vgl. Anhang 12.6) festgehalten und beim anschließenden Soll-Ist-Vergleich in Phase 3 und zur Maßnahmenableitung in Phase 4 eingesetzt. Das Ergebnis des Zieldefinitions-Workshops sind qualitativ und quantitativ formulierte tauglichkeitsbezogene Ziele, welche einen Zielkorridor vorgegeben, indem sich das zu entwickelnde Technologiekonzept bewegen soll. Bei einer Abweichung des Konzepts vom Zielkorridor müssen entsprechende Maß-

<sup>37</sup> Eine Differenzierung von Zielen bzw. Zielsystemen für Objekte (Produkte oder Bauteile) findet sich beispielsweise bei: (Heubach 2008, S. 96). Für die Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung wurde die Differenzierung von Zielen gedanklich aufgegriffen und neue spezifische Zieldimensionen für Technologiekonzepte definiert.

nahmen zur Gegensteuerung definiert werden. Die definierten Sollgrößen müssen im Verlauf der Technologieentwicklung immer wieder geprüft, ergänzt oder eventuell neu formuliert werden (vgl. Christiansen 2010, S. 345). Bestimmend für diese Überprüfung, Ergänzung oder Neueinschätzung sind die Ergebnisse aus der operativen Entwicklung des Technologiekonzepts in Phase 2 und der sich anschließenden Bewertung (Soll-Ist-Vergleich) in Phase 3. So kann es bei den tauglichkeitsbezogenen Zielen (TZ<sub>1</sub> bis TZ<sub>4</sub>) zu Ergänzungen oder Neuformulieren bzw. Anpassungen kommen.

Beispielhaft sind an dieser Stelle die Leistungsparameter eines Technologiekonzepts für die technologiebezogene Zieldimension (TZ<sub>1</sub>) zu nennen. Sie sind zum einen durch die eingesetzten Technologien und zum anderen durch das Anwendungsfeld vorbestimmt, in dem das Konzept eingesetzt werden soll (vgl. Gomeringer 2007, S.102). Um die spezifischen Parameter für das Anwendungsfeld des Technologiekonzepts durch Kennwerte zu überprüfen, ist zunächst deren Definition notwendig. Die Leistungsparameter sind dabei immer individuell je Anwendungsfeld zu definieren und können keinen vorgegeben Kategorien entnommen werden. Dafür ermittelt das Expertenteam anhand des Technologiekonzepts die charakteristischen Leistungsparameter<sup>38</sup>. Zur besseren Übersicht können die Leistungsparameter in funktionelle, restriktive sowie systembeschreibende Parameter gruppiert werden (vgl. Krause 2000, S. 61). Für ein Technologiekonzept sind vor allem die funktionellen Parameter, wie beispielsweise Kräfte, Momente, Temperaturen oder Drehzahlen von Bedeutung. Restriktive oder systembeschreibende Parameter, die Lebensdauern, Abmessungen oder Werkstoffkenngrößen beschreiben und einen großen Produktbezug aufweisen, sind ebenfalls von Bedeutung. Die identifizierten Leistungsparameter finden bei der Festlegung der technologiebezogenen Zieldimension TZ<sub>1</sub> explizite Berücksichtigung. Die anderen tauglichkeitsbezogenen Zieldimensionen TZ<sub>2</sub>, TZ<sub>3</sub> und TZ<sub>4</sub> werden in analoger Form (durch Experteneinbindung) ermittelt und bereitgestellt. Im Anhang 12.7 finden sich diesbezüglich weitere beispielhafte Erläuterungen.

Als Ergebnis der Phase 1 liegen kategorisierende als auch tauglichkeitsbezogene Ziele für die Kontrolle und Steuerung der Technologieentwicklung in Phase 3 und 4 vor. Im Folgenden können jetzt die eigentlichen Entwicklungstätigkeiten für das Technologiekonzept durchgeführt werden.

## 7.2 Phase 2: Entwicklung des Zielvorhabens

Nachdem in der vorhergehenden Phase 1 die Zielbestimmung des Konzepts erfolgt ist, fokussiert diese Phase auf die operative Entwicklung des Technologiekonzepts. Als Referenzprozess wird der Technologieentwicklungsprozess nach HAUDEK et al. (Haudek et al. 2011) herangezogen. Dieser Prozess basiert auf Stage-Gate-basierten Ansätzen (vgl. bspw. Cooper 2006, S. 23-31; Cooper 1988, S. 243; Farrukh 2004, S. 39-46) und ist speziell an die Gegebenheiten einer Technologieentwicklung angepasst. Im Rahmen der bewertungsbasierten Vorgehensweise dient dieser Technologieentwicklungsprozess sowohl als Basis für die operative Durchführung von Technologieentwicklungsprojekten als auch zur Generierung bewertungsrelevanter Daten für die Phasen Bewertung (vgl. Kap. 7.3) und Maßnahmenableitung (vgl. Kap. 7.4) in der Vorgehensweise. Prinzipiell sind auch andere Technologieentwicklungsprozesse oder projektmanagementbasierte Ansätze für die vorliegende Phase 2 nutzbar. Vorausgesetzt, diese alternativen Ansätze oder Prozesse gewährleisten eine ergebnisorientierte Technologieentwicklung für Produkttechnologien mit direktem Anwendungsbezug.

---

<sup>38</sup> bei der Findung von technischen Parametern kann als Unterstützung die Widerspruchsmatrix von Altschuller mit ihren 39 definierten technischen Parametern aufgegriffen werden, siehe bspw.: [http://www.triz-online.de/fileadmin/triz-online/downloads/Widerspruchsmatrix\\_Format\\_A3.pdf](http://www.triz-online.de/fileadmin/triz-online/downloads/Widerspruchsmatrix_Format_A3.pdf)

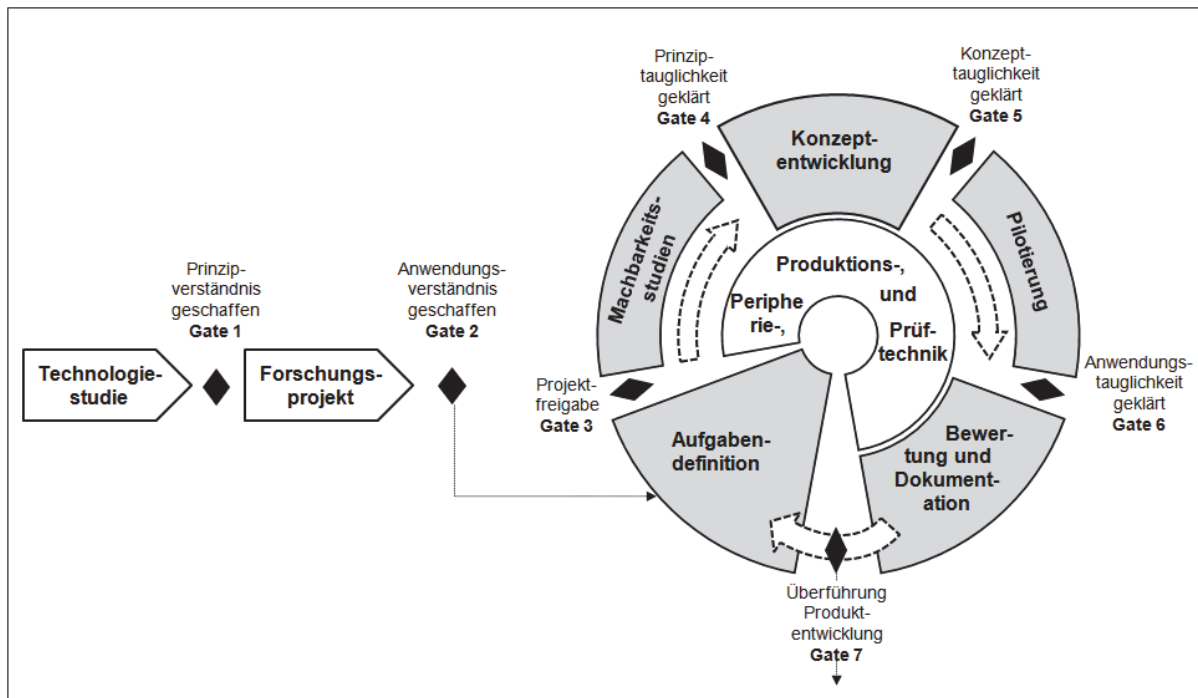


Abb. 18: iterativer Stage-Gate Prozess zur Durchführung von Technologieentwicklungsprojekten

Nachfolgend wird das methodische Prinzip des Technologieentwicklungsprozesses anhand von Abb. 18 vorgestellt<sup>39</sup>. Die ersten beiden Phasen, „Technologiestudie“ und „Forschungsprojekt“ sind darauf ausgerichtet, ein entsprechendes Prinzip- (Gate 1) und Anwendungsverständnis (Gate 2) für Technologiekombinationen zu schaffen, indem ihre prinzipiellen Leistungsgrenzen bestimmt und die Anwendungsmöglichkeiten in Produkten ermittelt werden. Angesichts des geschaffenen Grundverständnisses kann in den sich anschließenden Phasen die Tauglichkeit der Technologien geklärt werden. Hierzu ist es erforderlich in der dritten Phase die Ziele, Aufgaben und organisatorischen Rahmenbedingungen festzulegen, um zielgerichtet Technologieentwicklungsprojekte durchzuführen (Gate 3). Daraufhin kann in der vierten Phase „Machbarkeitsstudie“ geklärt werden, ob das zugrunde liegende Wirkprinzip für Produktanwendungen (Gate 4) zweckmäßig ist. Im Anschluss an die „Machbarkeitsstudie“ werden in der „Konzeptentwicklung“ verschiedene Funktionsmuster und Alternativen entwickelt (Gate 5). Gleichzeitig wird geprüft, welche der entwickelten Alternativen am besten für eine spätere Anwendung geeignet ist (vgl. Knospe et al. 2011, S.17). Im Rahmen der sechsten Phase „Pilotierung“ ist der interne oder externe Technologieeinsatz vorgesehen (Gate 6). Dies kann in Form eines einsatzfähigen Prototyps innerhalb des Unternehmens oder bei ausgewählten Kunden erfolgen (vgl. Knospe et al. 2011, S.17). Am Ende der Stage-Gate basierten Vorgehensweise erfolgt in der siebten Phase die Dokumentation von Projektergebnissen, so dass ein Lastenheft für eine nachgelagerte Produktentwicklung (Gate 7) erstellt werden kann (vgl. Haudek et al. 2011, S.131-154). In Begleitung zur Tauglichkeitsprüfung werden zusätzlich Aktivitäten zur Absicherung der Peripherie-, Produktions- und Prüftechnik durchgeführt. Zudem stehen für eine zweckmäßige Nutzung entwicklungs-spezifische Checklisten für jedes Entscheidungs-Gate bereit (vgl. Anhang 12.8).

Je nach Zielstellung und gegenwärtigem Entwicklungsstand des Technologiekonzepts wird eine entsprechende Phase des Technologieentwicklungsprozesses nach (Haudek et al. 2011) durchlaufen. Die Entwicklungsaktivitäten basieren auf den allgemeinen sowie tauglichkeitsbezogenen Zielen aus Phase 1 (vgl. Kap. 7.1) und werden vom verantwortlichen Technologieentwicklungs-Teams vorgenommen. Die aus den jeweiligen Entwicklungsphasen er-

<sup>39</sup> Weitere Inhalte zum Prozess finden sich bei: (Haudek et al. 2011, S.131-154; Knospe et al. 2011, S.16-17, Spath et al. 2010).

haltenen Erkenntnisse oder Zwischenergebnisse werden durch das Technologieentwicklungs-Team kommuniziert bzw. für die anschließende Bewertung in Phase 3 als auch für die Maßnahmenableitung in Phase 4 der bewertungsbasierten Vorgehensweise bereitgestellt. Die Ergebnisse aus den Entwicklungsphasen stellen qualitative und quantitative Entwicklungsergebnisse dar, die zum Fortschritt des Technologiekonzepts beitragen bzw. dieses verifizieren. Dabei muss eine Entwicklungsphase für die Bewertung nicht bis zum Entscheidungsgate durchlaufen werden, es kann auch während der Entwicklungsphasen eine tauglichkeitsbezogene Bewertung erfolgen. Basis für die Bewertung bilden dann die vorliegenden Zwischenergebnisse. Die bewertungsbasierte Vorgehensweise und der Technologieentwicklungsprozess schaffen schlussendlich anhand ihrer Eigenschaften eine orthogonale Verbindung für die Technologieentwicklung auf Projektebene und gewährleisten dadurch eine gemeinsame Kommunikationsbasis für Entscheider und Entwicklungsteams im Unternehmen.

Das Ergebnis der Phase 2 sind gegenwärtige Entwicklungsergebnisse aus der Technologieentwicklung bzw. der Projektstatus zum Ende einer jeden Entwicklungsphase. Auf Basis der Datengenerierung durch den Technologieentwicklungsprozess kann nun im Anschluss die Bewertung des Technologiekonzepts in Phase 3 erfolgen.

### **7.3 Phase 3: Bewertung des Zielvorhabens**

Ziel dieser Phase ist es, das zu entwickelnde Technologiekonzept auf Basis von definierten Sollzielen zu bewerten. Darüber hinaus dient diese Phase dazu Schwachstellen oder Weiterentwicklungsrichtungen des betrachteten Technologiekonzepts aus unterschiedlichen Perspektiven zu identifizieren, um anschließend eine Entscheidungsvorbereitung auf Basis einer Reifegradbetrachtung vorzunehmen. Die Phase 3 umfasst sowohl eine „projektbezogene“ als auch „objektbezogene Bewertung“ des Technologiekonzepts mit integrierter Reifegradbetrachtung. Wesentlicher Bestandteil dieser Phase ist es, auf Basis der gegenwärtigen Entwicklungsergebnisse des Technologiekonzepts (vgl. Kap. 7.2), die Entscheidungsvorbereitung zur Maßnahmenableitung in Phase 4 (vgl. Kap. 7.4) durch eine methoden- und formelbasierte Bewertung vorzunehmen.

Zur Erreichung dieser Zielsetzung wird ein zweigeteilter Ansatz gewählt, mit dem zum einen die projektbezogene Sichtweise in Schritt 3.1 und zum anderen die objektbezogene Sichtweise in Schritt 3.2 verfolgt und bewertet werden. Dabei ist die projektbezogene Sichtweise auf die Quality-Gates des Technologieentwicklungsprozess fokussiert. Wohingegen die objektbezogene Sichtweise durch eine Perspektivenbetrachtung, gleichsam einer Balanced Scorecard, differenziert ist und Wechselwirkungen einzelner Komponenten des Technologiekonzepts berücksichtigt. Der zweigeteilte Ansatz endet in einer Zusammenführung von Bewertungen als Reifegradermittlung im Schritt 3.3. Nachfolgend werden der zweigeteilte Ansatz sowie die Ermittlung von Reifegraden vorgestellt.

#### **7.3.1 Schritt 3.1: Bewertung des Projektfortschritts**

Bevor das Technologiekonzept einer inhaltlichen Bewertung in Schritt 3.2 unterzogen werden kann, ist es zunächst notwendig in Schritt 3.1 dessen gegenwärtigen Projektstatus zu ermitteln. Die hierfür notwendigen Kategorien zur Bewertung sind an die Gegebenheiten von Technologieentwicklungsprojekten für Produkttechnologien angepasst (vgl. Cooper 2006, S. 24-25). Der Schritt 3.1 umfasst folgende fünf Bewertungskategorien, anhand derer der projektbezogene Fortschritt von Technologiekonzepten ermittelt wird:

- Technischer Status und Qualität,
- Patente,
- Markt und Wettbewerb,
- Prototypen sowie
- Projektmanagement.

Diese Kategorien werden im Verlauf der Technologieentwicklung ausschließlich zur projektbezogenen Fortschrittsmessung herangezogen und in Schritt 3.3 bei der Bewertung und Überprüfung von Entwicklungsergebnissen des Technologiekonzepts berücksichtigt. Charakterisierend ist in diesem Zusammenhang die Zunahme des Informationsgehalts sowie die Verfügbarkeit quantitativer Daten über die einzelnen Technologieentwicklungsphasen hinweg (Koch 2010, S.14). Den Kategorien sind wiederum Kriterien untergeordnet, welche sich über den Zeitverlauf der Technologieentwicklungsphasen hinweg schärfen und immer detailliertere und genauere Informationen von den Technologieentwicklungsvorhaben erfordern (vgl. Haudek et al. 2011).

Mit der Kategorie „Technischer Status und Qualität“ können Aussagen bzgl. des Tauglichkeitsnachweises anhand von Versuchen oder Berechnungen ermittelt werden. Die Kategorie „Patente“ hingegen stellt sicher, dass während einer Technologieentwicklung patentrelevanten und -rechtlichen Fragestellungen nachgekommen wird. Für den Einbezug von marktrelevanten Aspekten wird die Kategorie „Markt und Wettbewerb“ herangezogen. Darüber hinaus stellt die Kategorie „Prototypen“ sicher, dass die Entwicklungstätigkeiten über reine Berechnungen oder Simulationen hinaus gehen und entsprechende Demonstratoren zum Nachweis der Tauglichkeit erstellt werden. Schließlich gewährleistet die Kategorie „Projektmanagement“, dass projektbezogene Aspekte wie Meilensteine, Abbruchkriterien, Ressourcenverfügbarkeit und Weitere analysiert und überprüft werden.

Der projektbezogene Fortschritt ist immer dann zu überprüfen, wenn die inhaltliche Bewertung vorgesehen ist. Die Bewertung des Projektfortschritts erfolgt durch den Projektleiter des Technologiekonzepts. Dieser nutzt für die gegenwärtig zu durchlaufende Entwicklungsphase die entsprechend vorgesehenen Kriterienlisten (vgl. Anhang 12.7) und ermittelt, ausgehend von existierenden Erkenntnissen, qualitativ den Projektfortschritt. Die Ergebnisse der Projektfortschrittsbewertung aus der Kriterienliste werden anschließend dem Bewertungsverantwortlichen bereitgestellt. Neben der Visualisierung des projektbezogenen Fortschritts für den Bewertungsverantwortlichen, dient die Kriterienliste ebenfalls dem Projektleiter der Technologieentwicklung als Hilfestellung zur besseren Einschätzung seines Projekts.

Durch den Einsatz solcher Kriterienkataloge (vgl. Anhang 12.8) wird eine erste Gesamtsicht auf das Projekt erzeugt und der Projektstatus des Technologiekonzepts eingeschätzt. Anhand solcher Analysen können bereits erste Abweichungen vom geplanten Entwicklungsziel ermittelt werden, welche auch für die sich anschließende Phase 4 der bewertungsbasierten Vorgehensweise (vgl. Kap. 7.4.1) von Relevanz sind.

Wie zuvor bereits dargelegt, ist eine Betrachtung von Projektaktivitäten aber nicht allein ausreichend zur Tauglichkeitsprüfung, es müssen neben der Ermittlung des Projektfortschritts weitergehende Analysen und Bewertungen durchgeführt werden (vgl. Blau 2007). Eine detaillierte und inhaltliche Bewertung des Technologiekonzepts bietet der nachfolgende Bewertungsschritt 3.2.

### **7.3.2 Schritt 3.2: Bewertung des Objektfortschritts**

Nachdem die Bewertung in Schritt 3.1 Informationen über den Projektstatus des Technologiekonzepts liefert, ist es das Ziel des Schritts 3.2 den Nutzen und die Tauglichkeit (vgl. Kap.3.4.3) des Konzepts zu ermitteln. Diese Art der Bewertung ermöglicht eine differenzierte Aussage über die Attraktivität, den Nutzen sowie die Erfolgswahrscheinlichkeit von Technologiekonzepten während der Entwicklung und bietet wesentliche Entscheidungsgrundlagen für Entscheider im Unternehmen. Um solch eine Bewertung des objektbezogenen Fortschritts durchzuführen, wird ein mehrperspektivischer Ansatz zur Bewertung gewählt, welcher eine gesamtheitliche Aussage bezüglich Attraktivität und Nutzen eines Technologiekonzepts auf Ebene der Technologieelemente sowie –gruppen, vgl. bspw. BLAU et al. sowie PFEIFFER-SILBERBACH, liefert.

Konkret wird im Schritt 3.2 eine neuentwickelte „Technologie-Scorecard“ als Controllingsystem zur Bewertung genutzt, um die Tauglichkeit des zugrunde liegenden

Technologiekonzepts über Soll-Ist-Vergleiche darzustellen. Die Kernelemente der Technologie-Scorecard sind vier Perspektiven für die Durchführung der Bewertung. Für die Unterteilung der Scorecard werden eine Technologieperspektive, Kundenperspektive, Fertigungsperspektive sowie eine Wirtschaftlichkeitsperspektive zugrunde gelegt, vgl. Abb. 19. Mit der Nutzung eines solchen mehrperspektivischen Controllingssystems wird der Einseitigkeit monetärer Entscheidungsfindungen (vgl. Kap. 4.3.3) entgegengetreten, indem technische, kunden-, fertigungs- wie auch wirtschaftlichkeitsbezogene Aspekte in gleicher Weise einfließen. Darüber hinaus dient die Technologie-Scorecard mit ihren zeitlich veränderbaren Werten auch der systematischen Steuerung und Kontrolle von Technologieentwicklungstätigkeiten. Gegenseitige Wechselwirkungen und Abhängigkeiten einzelner Perspektiven sind dabei nicht ausgeschlossen, sondern sogar notwendig. Darüber hinaus bietet der Scorecard-Ansatz die Möglichkeit interne wie auch externe Wissensträger (im Sinne von Lead Usern und Fachexperten) in die Bewertung mit einzubinden.

In der Technologieperspektive werden spezifische Leistungsparameter des Konzepts auf deren gegenwärtige Erfüllung hin überprüft. Für die Überprüfung der Parameter erweist sich die systematische Einbindung von Technologieexperten, insbesondere Forscher und Entwickler als sinnvoll.

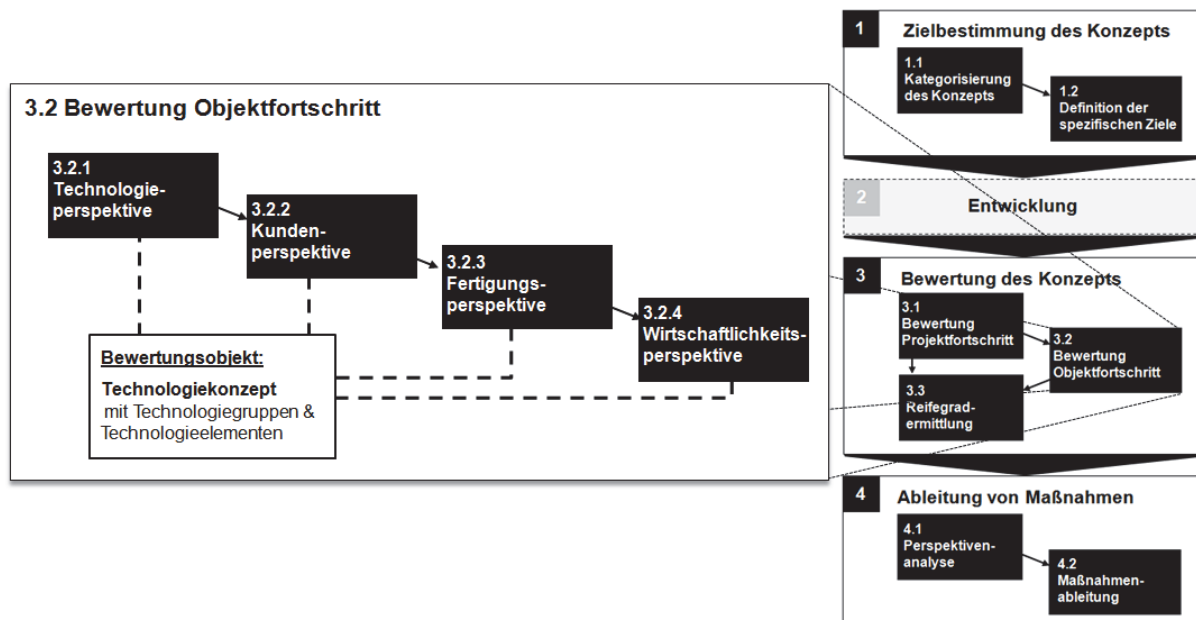


Abb. 19: Die Technologie-Scorecard (TSC) zur Bewertung des Objektfortschritts

In der Kundenperspektive werden Kundenpräferenzen den gegenwärtigen Funktionalitäten des Technologiekonzepts gegenübergestellt, um die Wirksamkeit des Konzepts aus Anwendersicht nachzuweisen. In der Fertigungsperspektive werden Daten potenzieller Fertigungsschritte, Montagemöglichkeiten als auch Prüfmöglichkeiten bereitgestellt, um eine Abschätzung der Fertigungsfähigkeit vorzunehmen. Schließlich wird unter Berücksichtigung von Kundenpräferenzen sowie Fertigungsmöglichkeiten die wirtschaftliche Attraktivität in der Wirtschaftlichkeitsperspektive nachgewiesen. Die gewonnenen Erkenntnisse über Wechselwirkungen zwischen den Technologien aus der Phase 2 finden in der mehrperspektivischen Bewertung stets Berücksichtigung. Zum Ende der Phase 3 liegen pro Perspektive Reifegradkennwerte (Soll-Ist-Vergleich) auf Technologieelement- sowie gruppenebene vor, welche eine zentrale Grundlage für die Maßnahmenableitung in Phase 4 darstellen.

In der Technologie-Scorecard (TSC) verfügt jede der vier vorgestellten Perspektiven über ein eigenes Vorgehen zur Bewertung. Dieses Vorgehen basiert auf den folgenden drei Vorgängen:

- Schaffung bzw. Ermittlung einer Bewertungsbasis
- Soll-Ist-Vergleich gegenüber Entwicklungszielen
- Ergebnisdarstellung

In jeder Perspektive werden zunächst notwendige Voraussetzungen zur Bewertung durch Analysemethoden geschaffen. Anschließend wird der jeweils ermittelte Nutzen innerhalb des zweiten Vorgangs in Bezug zu den tauglichkeitsbezogenen Zielen aus Schritt 1.2 gesetzt. Innerhalb dieses Vergleichs wird ermittelt inwieweit die geplanten Zielstellungen durch den gegenwärtigen Entwicklungsstand des Technologiekonzepts in der jeweiligen Perspektive bereits erfüllt wurden. Die Ergebnisse des jeweiligen Soll-Ist-Vergleichs werden formelbasiert dargestellt, aggregiert und für die sich anschließende Maßnahmenableitung in Phase 4 genutzt. Dabei ist zu beachten, dass die Zielerreichungsgrade der Technologie-Scorecard stets einen Zahlenwert zwischen 0 und 100 Prozent annehmen.

### 7.3.2.1 Teilschritt 3.2.1: Technologieperspektive

Ziel der Technologieperspektive ist es, die gegenwärtig erreichbare Leistungsfähigkeit von Technologiekonzepten aus der Phase 2 (vgl. Kap. 7.2) zu ermitteln, um deren Tauglichkeit aus technischer Sichtweise nachzuweisen. Hierfür ist es notwendig ein grundlegendes Verständnis für die Abhängigkeiten zwischen den eingesetzten Technologien zu schaffen und deren Leistungsfähigkeit im Anwendungszusammenhang aufzuzeigen als auch zu bewerten. Durch die Bildung einer zweckdienlichen Bewertungsstruktur innerhalb der Technologieperspektive wird zusätzlich eine Basis für die sich anschließende kunden-, fertigungs- und wirtschaftsspezifische Bewertung geschaffen. Aufgabe des Teilschritts 3.2.1 ist es demzufolge, die kombinierten Technologien des Technologiekonzepts in deren Wechselwirkungen zueinander darzustellen, deren Leistungsfähigkeit zu ermitteln und vorherrschende Schwachstellen oder erfolgskritische Technologien zu identifizieren. Mit den gewonnenen Erkenntnissen sollen dann weitere Bewertungs- sowie Analysevorgänge angestoßen werden, um die Tauglichkeit nachzuweisen.

Um die Bewertungsaufgaben der Technologieperspektive zu erfüllen, wird ein Vorgehen bestehend aus drei Methodenbausteinen gewählt. Erster Methodenbaustein im Vorgehen ist das House of Technology (vgl. Lentos 2004; Bullinger 2003 sowie Kap. 4.2.1). Die Methode bietet durch ihre technisch-funktionale Kopplung den geforderten detaillierten Zugang zu Bewertungsobjekten und deren Subsysteme. Die vorgegebene Matrixstruktur und zugrundeliegende Bewertungssystematik ermöglichen zudem eine Ermittlung von Bedeutungsgraden und Wechselwirkungen eingesetzter Technologien im Technologiekonzept. Das HoT wird in der vorliegenden Arbeit, wie bereits in Kap. 5.2.2 festgelegt, für die Identifikation der Wechselwirkungen zwischen Technologien und der Ermittlung von Einzelbedeutungen im System eines Technologiekonzepts eingesetzt.

Zweiter Methodenbaustein im Vorgehen ist die Funktionsanalyse nach VDI 2803 (vgl. VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Gestaltung Oktober 1996 sowie Kap. 4.2.1). Ihr Ziel ist es, Funktionen von technischen Objekten zu ermitteln, um letztlich Wirkungen und Zwecke darzustellen. Der Begriff Funktion ist in diesem Zusammenhang als eine abstrakte und lösungsneutrale Formulierung der Aufgabe eines technischen Systems aufzufassen (Pahl 2007; Colani et al. 2011). Dieser Methodenbaustein wurde gewählt, um technische Objekte in deren Vollständigkeit darstellbar zu machen als auch eine systematische und vollständige Erstellung des HoT zu gewährleisten.

Dritter Methodenbaustein ist schließlich ein neuartiges Technologieportfolio. Es dient in seiner systematischen Form der Zusammenführung relevanter Bewertungsgrößen und der Bestimmung der gegenwärtigen Tauglichkeit aus technischer Sichtweise heraus. Im konkreten Fall handelt es sich hier um ein Leistungsfähigkeits-Bedeutungs-Portfolio, welches durch die Gegenüberstellung von relativer Bedeutung und gegenwärtiger Leistungsfähigkeit von Technologieelementen den technischen Reifegrad bestimmt.

In ihrer Kombination tragen letztlich diese drei Methodenbausteine zur Ermittlung der Systemabhängigkeiten zwischen eingesetzten Technologien, Technologiegruppen sowie deren Funktionen und gegenwärtigen Leistungsfähigkeiten bei, wodurch eine Ermittlung des technischen Reifegrads ermöglicht wird. Andere für die Technologieperspektive analysierte Methoden konnten aufgrund ihres fehlenden Objekt- oder Technologieentwicklungsbezugs als auch fehlender Kombinierbarkeit mit dem HoT ausgeschlossen werden (vgl. Anhang 12.9).

Das Vorgehen für die Technologieperspektive (vgl. Abb. 20) umfasst die Funktions-Technologie-Kombination (Unterschritt 3.2.1.1), die Ermittlung der gegenwärtigen Leistungsfähigkeit (Unterschritt 3.2.1.2) sowie die Bestimmung des technischen Reifegrads (Unterschritt 3.2.1.3):

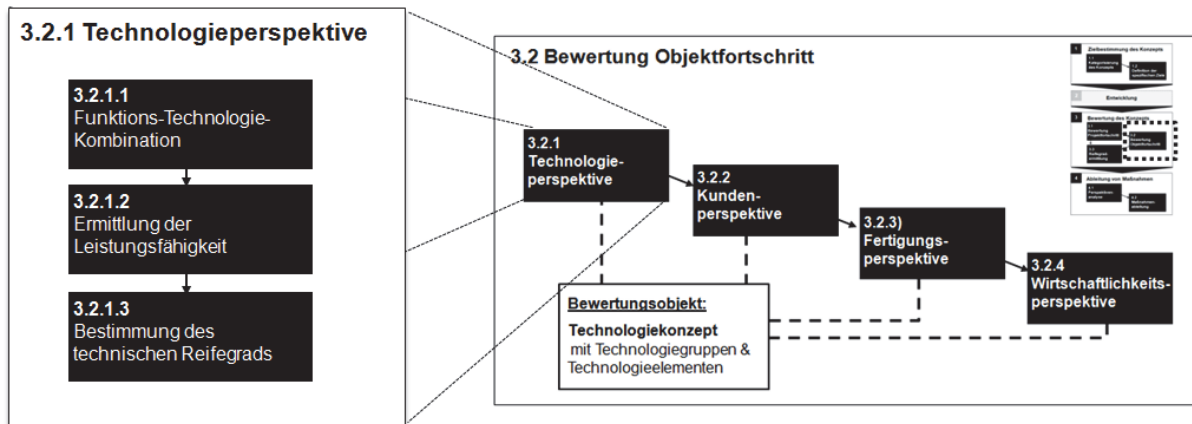


Abb. 20: Vorgehen in der Technologieperspektive

Um ein Technologiekonzept bewerten zu können, ist es notwendig die zugrundeliegenden Funktionen darzustellen sowie die eingesetzten Technologien in deren Abhängigkeit zueinander abzubilden. Dies erfolgt innerhalb der Funktions-Technologie-Kombination in Unterschritt 3.2.1.1. Hierfür wird das Technologiekonzept aus Phase 2 in Komponenten und Funktionen zerlegt und in seinen Abhängigkeiten zueinander abgebildet sowie die Bedeutung der einzelnen Technologieelemente im Technologiekonzept durch das HoT bestimmt. Für die Bestimmung von Funktionen wird die Funktionsanalyse eingesetzt. An die Funktions-Technologie-Kombination schließt die Ermittlung der Leistungsfähigkeit in Unterschritt 3.2.1.2 an. Zur Identifikation der gegenwärtigen Leistungsfähigkeit werden die eingesetzten Technologien aus Unterschritt 3.2.1.1 anhand ihrer definierten Leistungsparameter bewertet. Die dabei gesammelten Informationen werden letztlich für die Bestimmung des technischen Reifegrads in Unterschritt 3.2.1.3 ausgewertet, um sowohl erfolgskritische Technologien herauszufiltern als auch den technischen Reifegrad des Technologiekonzepts zu ermitteln. Nachfolgend werden die Unterschritte der Technologieperspektive im Einzelnen vorgestellt.

#### 7.3.2.1.1 Unterschritt 3.2.1.1: Funktions-Technologie-Kombination

Um ein Technologiekonzept hinsichtlich seiner technischen Leistungsfähigkeit bewerten zu können, muss dafür zunächst eine Basis zur Bewertung geschaffen werden. Aus diesem Grund wird eine Funktions-Technologie-Kombination durchgeführt. Ziel dieser Kombination ist es, zum einen die Bedeutung der eingesetzten Technologien im Technologiekonzept zu ermitteln. Zum anderen ist es Ziel, den Zusammenhang der eingesetzten Technologien mit Funktionen darzustellen. Die Funktions-Technologie-Kombination umfasst hierfür eine Technologiegruppen- und Einzeltechnologiebetrachtung, eine Funktionsbeschreibung sowie eine Bedeutungsermittlung durch das House of Technology.

Bei der nachfolgenden Kombination von Funktionen und Technologien ist im Rahmen der bewertungsbasierten Vorgehensweise von einem einmaligen Vorgang auszugehen. Grund ist die Annahme, dass innerhalb einer Technologieentwicklung aufgrund des direkten Anwendungsbezugs (vgl. Kap. 3.3) ein Technologiekonzept favorisiert ist und entwickelt wird. Eine erneute Funktions-Technologie-Ermittlung ist nicht notwendig. Die Durchführung der nachfolgenden Schritte erfolgt im Team, bestehend aus dem Bewertungs-Verantwortlichen und dem Technologieentwicklungs-Team.

#### Technologiegruppen- und Technologieelementidentifikation

An dieser Stelle ist es notwendig innerhalb der Technologiegruppen- und Technologieelementbetrachtung das Technologiekonzept in seine Bestandteile zu zerlegen bzw. eine Dekomposition vorzunehmen, um die zugrunde liegenden Technologien in deren Wechselwirkungen und Abhängigkeiten darstellen zu können, (vgl. Kap.3.1.4). Hierfür werden zunächst aus dem Technologiekonzept die Technologiegruppen  $TG_{\varepsilon}$  gebildet (vgl. Abb. 21). Eine

Technologiegruppe, ist - wie bereits in Kap. 5.1 erläutert - in diesem Zusammenhang als eine Komponente des Technologiekonzepts zu verstehen. Bei nicht-Existenz oder Fehlen dieser Komponente ist das Konzept nur eingeschränkt oder nicht funktionsfähig. Daneben weist eine solche Technologiegruppe mindestens ein Technologieelement  $TE_\alpha$  auf, welches zur Realisierung von Funktionen eingesetzt wird. Die Definition bzw. Festlegung der Gruppen ist vom Technologieentwicklungs-Team durchzuführen, welches sowohl mit dem Technologiekonzept als auch mit den eingesetzten Technologien vertraut ist. Ergebnis der Dekomposition ist eine definierte Anzahl an Technologiegruppen  $TG_\varepsilon$  einschließlich der zugehörigen Technologieelemente  $TE_\alpha$ , die das Technologiekonzept in einer detaillierteren Form darstellen. Abb. 21 zeigt beispielhaft die Aufgliederung von Technologiegruppen und deren Elemente am Beispiel einer Mikrowellensensoreinheit auf.

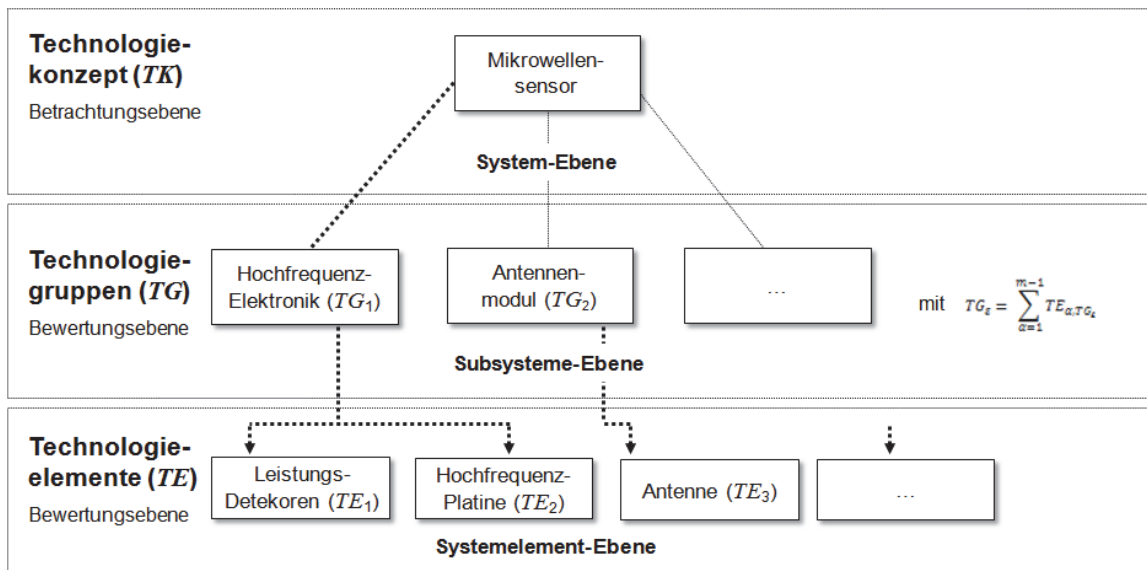
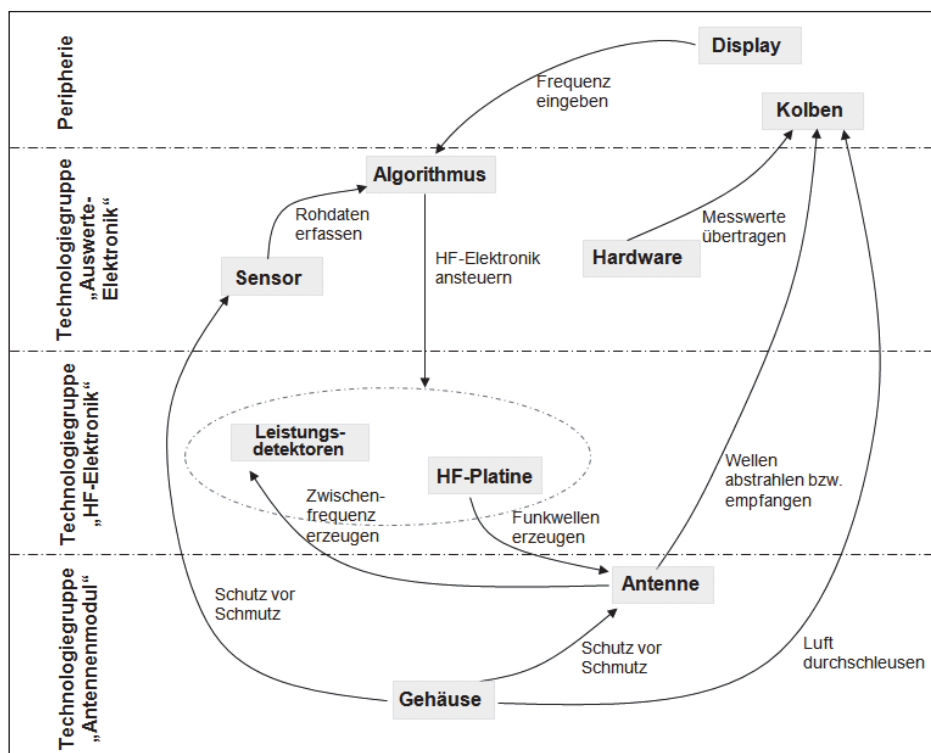


Abb. 21: Differenzierung von Technologiegruppen und Technologieelementen im Technologiekonzept

Neben der Identifikation ist ebenfalls eine Beschreibung der eingesetzten Technologieelemente, mit Hilfe eines Technologiesteckbriefs, notwendig (vgl. Anhang 12.10). Im Steckbrief werden alle verwendeten Technologieelemente  $TE_\alpha$  aufgeführt, die im Technologiekonzept eingesetzt werden. Die Auflistung dieser Elemente umfasst die Angabe von spezifischen Leistungsparametern im Anwendungsfall, potentiellen Einsatzgebieten sowie charakteristischen Eigenschaften. Die Charakterisierung der Technologieelemente kann, je nach Entwicklungsstand, durch eine qualitative oder quantitative Beschreibung erfolgen. Die entsprechenden Informationen zu den Technologieelementen können z.B. aus Versuchsberichten, Studien oder Forschungsberichten des Unternehmens zusammengetragen oder bei neuen Technologieelementen, durch Versuche experimentell ermittelt werden. Ziel des Technologiesteckbriefs ist es, das generierte Wissen transparent anhand von Informationen über Leistungsparameter, Versuchsergebnissen, erkannten Potenzialen sowie Schwachstellen zu dokumentieren und in entsprechenden Datenbanken frei zugänglich abzulegen. Zudem sind die generierten Informationen für die sich anschließende kunden- und fertigungsbezogene Bewertung notwendig (vgl. Kap. 7.3.2.2 und 7.3.2.3). Die Generierung des Steckbriefs ist dann sinnvoll, wenn mit der Dekomposition des Technologiekonzepts begonnen wird, zumal hier eine explizite Auseinandersetzung mit den einzusetzenden Technologien erfolgt.

## Funktionsidentifizierung & -beschreibung

Im Rahmen der Beschreibung und Analyse technischer Systeme ist es nach ROPOHL (Ropohl 2009) wie auch BADER (Bader 1991) erforderlich, neben den Systemgrenzen und –elementen auch die relevanten Funktionen dieses Systems zu beschreiben. Aus diesem Grund folgt nach der Technologiegruppen- und Technologieelementbetrachtung, nun eine Funktionsbeschreibung für das Technologiekonzept. Bei dieser Beschreibung werden das Technologiekonzept und dessen Technologiegruppen in ihrem funktionalen Zusammenhang abgebildet. Für die Ermittlung der Funktionen  $F_{\beta}$  wird die Funktionsanalyse (vgl. Kap 4.2.1), wie in der VDI 2803 (1996) als auch bei AKIYAMA (Akiyama 1994, S. 165f) dargestellt, aufgegriffen. Diese Analysemethode, die im Total Quality Management und der Wertanalyse ihren Ursprung findet, verfolgt hier das Ziel die Funktionen des Technologiekonzepts zu definieren und dessen Wirkzusammenhänge aufzuzeigen. Ausgehend vom Technologiekonzept und dessen Technologiegruppen erfolgt eine systematische Betrachtung sowie Aufgliederung. Das Vorgehen bei der Zerlegung orientiert sich an den Fragestellungen „*welche Funktionen hat das Konzept und durch welche Technologieelemente oder -gruppen werden diese erzeugt?*“ und ermöglicht damit die Analyse von Wirkungen und Zwecken des Technologiekonzepts. Dabei kann eine Technologiegruppe oder ein Technologieelement auch mehrere Funktionen erzeugen. Um die durch Fragen ermittelten Funktionen in eine strukturierbare und darstellbare Form zu bringen, wird auf ein Wirkdiagramm (vgl. Abb. 22) aus der Systemtechnik zurückgegriffen (vgl. Haberfellner 1999; Nonn 2009, S. 73ff). Angesichts der Tatsache, dass eine Hierarchisierung von Funktionen nicht immer eindeutig und zu vertretbarem Aufwand erfolgen kann, wird eine Abbildung direkter Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen Funktionen und Elementen anhand des Wirkdiagramms bevorzugt. Abb. 22 zeigt beispielhaft die Wirkbeziehungen von Technologieelementen und -gruppen eines Konzepts für hochfrequente Anwendungen auf.



Legende:   Technologieelement einer Technologiegruppe;  $\rightarrow$  Wirkrichtung eines Technologieelements

Abb. 22: Wirkdiagramm, beispielhaft dargestellt an einem Technologiekonzept für hochfrequente Anwendungen

## Bedeutungsermittlung von Technologieelementen

Nachdem sowohl die Funktionen als auch die eingesetzten Technologieelemente des Technologiekonzepts beschrieben sind, erfolgt an dieser Stelle die Bedeutungsermittlung der zugrundeliegenden Technologieelemente. Durch den Einsatz des House of Technology nach BULLINGER (Bullinger 2003) können die funktionalen Abhängigkeiten, Beziehungen und Bedeutungen der eingesetzten Technologieelemente dargestellt werden. Jedes Technologieelement wird dabei ins Verhältnis zu den identifizierten Funktionen gesetzt und dadurch der jeweilige Abhängigkeitsgrad ermittelt. Ergebnis der Bewertung ist die Bedeutung  $BE_{TE_\alpha}$  der Technologieelemente im Technologiekonzept. Das House of Technology (HoT) ist hierbei folgendermaßen aufgebaut, (vgl. Abb. 23): die Zeilen der Matrix bilden die Funktionen des Technologiekonzepts ab. In der ersten Spalte sind die Gewichtungen  $g_{F_\beta}$  der Funktionen aufgetragen, welche über die Methode des paarweisen Vergleichs<sup>40</sup> ermittelt werden. In den restlichen Spalten der Matrix sind die Technologieelemente  $TE_\alpha$  abgetragen.

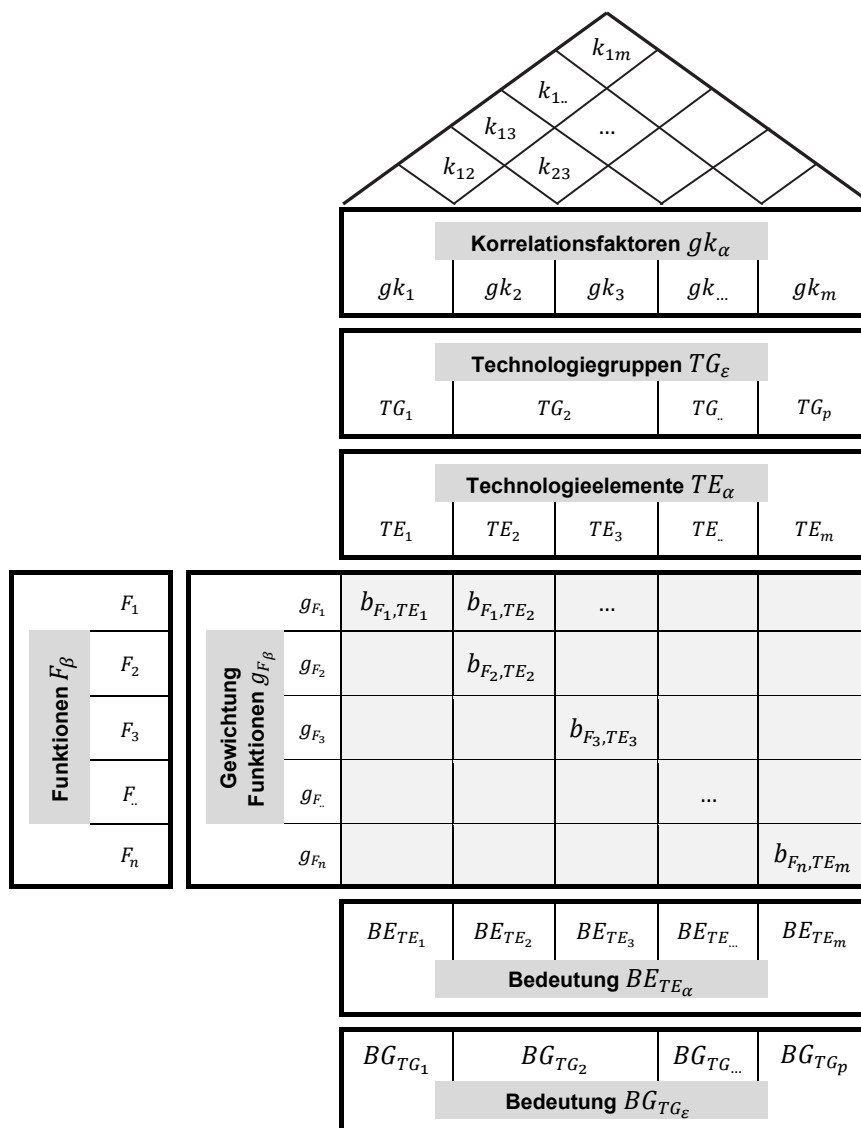


Abb. 23: Das House of Technology zur Bedeutungsermittlung von Technologieelementen

<sup>40</sup> Methodenbeschreibung siehe beispielsweise bei: (Ophey 2005). Bei der Anwendung des paarweisen Vergleichs im HoT ist zu beachten, dass die durch den Vergleich ermittelten Gewichtungen normiert werden und in Summe den Wert 1 nicht überschreiten.

Die Beziehung  $b_{F\beta,TE\alpha}$  im Kern der Matrix errechnet sich durch die Verknüpfung einer Funktion (Zeile) und eines Technologieelements (Spalte), indem eine starke, bedingte oder schwache Beziehung zwischen den jeweiligen Verknüpfungen identifiziert wird. Über den Technologieelementen sind die Technologiegruppen  $TG_\varepsilon$  angeordnet. Jede Technologiegruppe besteht dabei aus mindestens einem Technologieelement.

Im Dach des HoT wird die gegenseitige Beeinflussung einzelner Technologieelemente zueinander aufgezeigt, indem die Korrelation<sup>41</sup>  $k_{ij}$  zwischen den Technologieelementen  $TE_\alpha$  ermittelt wird. Die Korrelation ergibt sich durch den Vergleich von jeweils zwei Technologieelementen miteinander und deren Bewertung durch eine stark positive, positive, negative oder stark negative Korrelation. Der daraus ermittelte Korrelationsfaktor  $gk_\alpha$  wird ins Korrelations-Feld des HoT abgetragen. Auf Basis der ermittelten Beziehungen wird nun für jedes Technologieelement die Bedeutung  $BE_{TE\alpha}$  berechnet. Der Korrelationsfaktor  $gk_\alpha$  eines jeden Technologieelements aus dem Dach des HoT fließt indes in die Berechnung der Bedeutung mit ein:

$$BE_{TE\alpha} = gk_\alpha \left( \sum_{\beta=1}^n b_{F\beta,TE\alpha} \cdot g_{F\beta} \right)$$

(mit  $BE_{TE\alpha}$ : Bedeutung eines Technologieelements,  $gk_\alpha$ : Korrelationsfaktor eines Technologieelements,  $b_{F\beta,TE\alpha}$ : Beziehung zwischen Funktion & Technologieelement,  $g_{F\beta}$ : Gewichtungsfaktor einer Funktion)

**Formel 4: Ermittlung der Bedeutung eines Technologieelements**

$BE_{TE\alpha}$  ergibt sich somit durch das aufsummierte Produkt der Einzelbeziehung  $b_{F\beta,TE\alpha}$  und der Funktionsgewichtung  $g_{F\beta}$ , multipliziert mit dem Korrelationsfaktor  $gk_\alpha$  pro Technologieelement. Dieser Bewertungsschritt wird für alle Technologieelemente des Technologiekonzepts durchgeführt. Mit Hilfe der ermittelten Bedeutung pro Technologieelement kann im Anschluss die Bedeutung  $BG_{TG_\varepsilon}$  für die entsprechenden Technologiegruppen gebildet werden. Hierzu gilt folgende Formel:

$$BG_{TG_\varepsilon} = \frac{1}{s_\varepsilon} \left( \sum_{\alpha=1}^{s_\varepsilon} BE_{TE\alpha} \right)$$

(mit  $BG_{TG_\varepsilon}$ : Bedeutung einer Technologiegruppe,  $s_\varepsilon$ : Anzahl an Technologieelementen in einer Technologiegruppe,  $BE_{TE\alpha}$ : Bedeutung eines Technologieelements)

**Formel 5: Ermittlung der Bedeutung einer Technologiegruppe**

Die Bedeutung der Technologiegruppe  $BG_{TG_\varepsilon}$  errechnet sich durch die Mittelwertbildung der Bedeutungen zugehöriger Technologieelemente  $BE_{TE\alpha}$  und der Anzahl an Technologieelementen pro Technologiegruppe  $s_\varepsilon$ , (vgl. Formel 5). Im Anhang 12.20 findet sich eine zusätzliche Zusammenfassung des Berechnungsmodells für die Technologieperspektive.

---

<sup>41</sup> Eine Berechnung von Korrelationswerten für das HoT findet sich beispielsweise bei: (Kröll 2007, S. 87).

### 7.3.2.1.2 Unterschritt 3.2.1.2: Ermittlung der Leistungsfähigkeit

Mit der aufgestellten Matrixstruktur des HoT werden nun die relevanten Leistungsparameter für das Technologiekonzept bestimmt, um Aussagen zur gegenwärtigen Leistungsfähigkeit pro Technologieelement sowie zu potenziellen Schwachstellen im Konzept machen zu können. Der Unterschritt umfasst hierfür die Leistungsparameterermittlung, die Gegenüberstellung der gegenwärtigen zur idealen Leistungsfähigkeit und die Leistungsfähigkeitsberechnung pro Technologieelement.

Die rechnerische Ermittlung der gegenwärtigen Leistungsfähigkeit pro Technologieelement erfolgt auf Basis einer Modifikation des HoT, vgl. Abb. 24. Für die Leistungsfähigkeitsermittlung gilt folgendes Vorgehen: Zunächst werden die das Technologiekonzept bestimmenden Leistungsparameter  $LP_\mu$  bereitgestellt (vgl. Kap. 7.1.2). Die ermittelten Parameter (auch „Soll-Parameter“ genannt) samt Kennwerte werden hierfür im rechten Teil der Matrix aufgelistet. Zudem ermittelt das verantwortliche Technologieentwicklungs-Team durch Ausschlussverfahren welche Beziehung zwischen den Leistungsparametern und Technologieelementen des Technologiekonzepts besteht. Bestehende Beziehungen werden in der Matrix farblich markiert. Anschließend werden die während der Entwicklungsphase experimentell bestimmten oder simulierten Ausprägungen  $A_\mu$  der Leistungsparameter („Ist-Parameter“ genannt) des Technologiekonzepts aufgenommen und im linken Teil der Matrix in quantitativer Form hinterlegt. Ebenso ist die Gewichtung  $q_{LP_\mu}$  der einzelnen Leistungsparameter im modifizierten HoT aufzunehmen. Anschließend führt das verantwortliche Technologieentwicklungs-Team den Soll-Ist-Vergleich durch, indem für die einzelnen Leistungsparameter  $LP_\mu$  deren Beitrag zur gegenwärtigen Leistungsfähigkeit  $l_{LP_\mu, TE_\alpha}$  in den Matrixfeldern abgetragen wird. Zum Abschluss wird im unteren Teil der Matrix (vgl. Abb. 24) die gegenwärtige Leistungsfähigkeit pro Technologieelement  $LE_{TE_\alpha}$  ermittelt und daraus schließlich die Bestimmung der gegenwärtigen Leistungsfähigkeit pro Technologiegruppe  $LG_{TG_\epsilon}$  ermöglicht.

		Technologieguppen $TG_\epsilon$						
		$TG_1$	$TG_2$	$TG_{\dots}$	$TG_p$			
		Technologieelemente $TE_\alpha$						
		$TE_1$	$TE_2$	$TE_3$	$TE_{\dots}$	$TE_m$		
Ausprägung von $A_\mu$	$A_1$	$q_{LP_1}$	$l_{LP_1, TE_1}$	$l_{LP_1, TE_2}$	...		Leistungsparameter 1	Leistungsparameter $LP_\mu$
	$A_2$	$q_{LP_2}$		$l_{LP_2, TE_2}$			Leistungsparameter 2	
	$A_3$	$q_{LP_3}$			$l_{LP_3, TE_3}$		Leistungsparameter 3	
	$A_{\dots}$	$q_{LP_{\dots}}$				...	...	
	$A_r$	$q_{LP_r}$					Leistungsparameter $r$	
							$l_{LP_\mu, TE_\alpha}$	
		$LE_{TE_1}$	$LE_{TE_2}$	$LE_{TE_3}$	$LE_{TE_{\dots}}$	$LE_{TE_m}$	Leistungsfähigkeit $LE_{TE_\alpha}$	
		$LG_{TG_1}$	$LG_2$	$LG_{TG_{\dots}}$	$LG_{TG_p}$	Leistungsfähigkeit $LG_{TG_\epsilon}$		

Abb. 24: gegenwärtige Leistungsfähigkeit von Technologiegruppen

Formal lässt sich die gegenwärtige Leistungsfähigkeit  $LE_{TE_\alpha}$  eines Technologieelements wie folgt bestimmen:

$$LE_{TE_\alpha} = \left( \sum_{\mu=1}^r l_{LP_\mu, TE_\alpha} \cdot q_{LP_\mu} \right)$$

(mit  $LE_{TE_\alpha}$ : gegenwärtige Leistungsfähigkeit eines Technologieelements,  $l_{LP_\mu, TE_\alpha}$ : Leistungsfähigkeitsfähigkeitsfaktor eines Leistungsparameters in Bezug auf ein Technologieelement,  $q_{LP_\mu}$ : Gewichtung eines Leistungsparameters)

**Formel 6: Ermittlung gegenwärtiger Leistungsfähigkeit eines Technologieelements**

Für die Ermittlung der gegenwärtigen Leistungsfähigkeit eines Technologieelements werden die gewichteten Leistungsfähigkeitsfaktoren  $l_{LP_\mu, TE_\alpha}$  aufsummiert und durch die Anzahl  $r$  an Leistungsparametern geteilt. Dies führt zu einer Mittelwert-Bildung aus den für ein Technologieelement relevanten Parametern. Mit Hilfe der ermittelten Leistungsfähigkeit pro Technologieelement, kann nachfolgend die gegenwärtige Leistungsfähigkeit pro Technologiegruppe bestimmt werden. Hierzu gilt folgende Formel:

$$LG_{TG_\varepsilon} = \frac{1}{s_\varepsilon} \left( \sum_{\alpha=1}^{s_\varepsilon} LE_{TE_\alpha} \right)$$

(mit  $LG_{TG_\varepsilon}$ : gegenwärtige Leistungsfähigkeit einer Technologiegruppe,  $s_\varepsilon$ : Anzahl an Technologieelementen in einer Technologiegruppe,  $LE_{TE_\alpha}$ : Leistungsfähigkeit eines Technologieelements)

**Formel 7: Ermittlung gegenwärtiger Leistungsfähigkeit einer Technologiegruppe**

Die Leistungsfähigkeit einer Technologiegruppe  $LG_{TG_\varepsilon}$  wird ermittelt durch den Mittelwert der Leistungsfähigkeit  $LE_{TE_\alpha}$  von Technologieelementen im Verhältnis zur Gesamtanzahl an Technologieelementen in einer Technologiegruppe. Tab. 14 fasst die wesentlichen Größen zur Bedeutungs- und Leistungsfähigkeitsermittlung nochmals zusammen.

Tab. 14: Berechnungsmodell für die Technologieperspektive

Bezeichnung	Formelzeichen und Berechnung	Erläuterung
Funktion	$F_\beta$	mit $\beta = 1, \dots, n$ $n =$ Anzahl der Funktionen
Technologieelement	$TE_\alpha$	mit $\alpha = 1, \dots, m$ $m =$ Anzahl der Technologieelemente
Bedeutung Technologieelement	$BE_{TE_\alpha}$	mit $BE_{TE_\alpha} \in IR_0^+$
Technologiegruppe	$TG_\varepsilon = \sum_{\alpha=1}^{m-1} TE_{\alpha, TG_\varepsilon}$	mit $\varepsilon = 1, \dots, p$ $p =$ Anzahl der Technologiegruppen
Korrelation zwischen Technologieelementen	$k_{ij}$	mit $k_{ij} \in \{0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1\}$
Korrelationsfaktor pro Technologieelement	$gk_\alpha = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m \sum_{j=i+1}^m k_{ij} \cdot h_{ij}$	$h_{ij} = \begin{cases} 1, & i = \alpha \text{ oder } j = \alpha \\ 0, & \text{ansonsten} \end{cases}$
Bedeutung Technologiegruppe	$BG_{TG_\varepsilon}$	mit $BE_{TG_\varepsilon} \in IR_0^+$ wobei $\varepsilon = 1, \dots, p$ $p =$ Anzahl der Technologiegruppen
Gewichtung pro Funktion $F_\beta$ (normiert)	$gF_\beta$	$\{g_{F_\beta} \in IR \mid 0 < g_{F_\beta} \leq 1\} \wedge \sum_{\beta=1}^n g_{F_\beta} = 1$ mit $\beta = 1, \dots, n$
Beziehung zwischen Funktion & Technologieelement	$b_{F_\beta, TE_\alpha}$	mit $b_{F_\beta, TE_\alpha} \in \{0; 1; 3; 10\}$
Anzahl an Technologie- elementen pro $TG_\varepsilon$	$s_\varepsilon$	mit $s_\varepsilon \in \mathbb{N}$
Leistungsparameter	$LP_\mu$	mit $\mu = 1, \dots, r$ $r =$ Anzahl der Leistungsparameter
Leistungsfähigkeitsfaktor pro Leistungsparameter $LP_\mu$ und $TE_\alpha$	$l_{LP_\mu, TE_\alpha}$	mit $l_{LP_\mu, TE_\alpha} \in \{0; 1; 3; 10\}$
Leistungsfähigkeit eines Technologieelements	$LE_{TE_\alpha}$	mit $LE_{TE_\alpha} \in IR_0^+$
Leistungsfähigkeit einer Technologiegruppe	$LG_{TG_\varepsilon}$	mit $LG_{TG_\varepsilon} \in IR_0^+$
Ausprägung des Leistungs- parameters $LP_\mu$	$A_\mu$	mit $\mu = 1, \dots, r$ $r =$ Anzahl der Leistungsparameter
Gewichtung des Leistungs- parameters $LP_\mu$ (normiert)	$q_{LP_\mu}$	$\{q_{LP_\mu} \in IR \mid 0 < q_{LP_\mu} \leq 1\} \wedge \sum_{\mu=1}^r q_{LP_\mu} = 1$ mit $\mu = 1, \dots, r$
Reifegrad eines $TE_\alpha$ aus techn. Sichtweise	$RGT_{TE_\alpha}$	[%]
Reifegrad einer $TG_\varepsilon$ aus techn. Sichtweise	$RGT_{TG_\varepsilon}$	[%]

### 7.3.2.1.3 Unterschritt 3.2.1.3: Bestimmung des technischen Reifegrads

Für die Bestimmung des technischen Reifegrads wird ein Leistungsfähigkeits-Bedeutungs-Portfolio eingesetzt, vgl. Abb. 25. Die Bedeutung von Technologieelementen steht dabei im logarithmischen Verhältnis zur Leistungsfähigkeit (angelehnt an S-Kurvenkonzepte der Literatur, vgl. Kap.3.1.3). Dieses logarithmische Verhältnis wird durch die entsprechenden Kennwerte aus Kap. 7.3.2.1.1 sowie Kap. 7.3.2.1.2 erzeugt und im Diagramm abgebildet. Eine Herleitung dieses logarithmischen Verhältnisses zwischen Bedeutung und Leistungsfähigkeit ist dem Anhang 12.11 zu entnehmen.

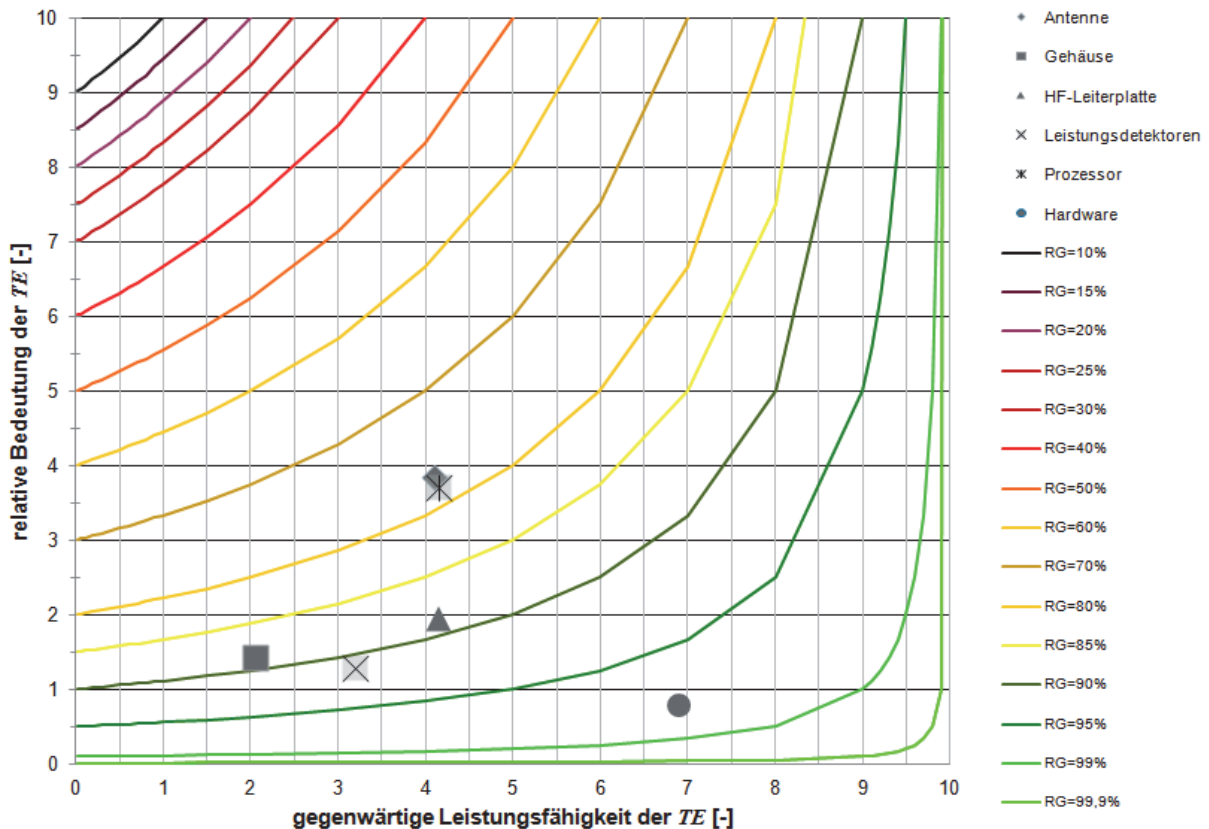


Abb. 25: Leistungsfähigkeits-Bedeutungs-Portfolio für die Bewertung von Technologieelementen

Formal kann der Reifegrad für Technologieelemente  $RGT_{TE_\alpha}$  aus der gegenwärtigen Leistungsfähigkeit und ihrer jeweiligen Bedeutung im Gesamtsystem ermittelt werden. Hierzu gilt folgende Formel:

$$RGT_{TE_\alpha} = 100 - BE_{TE_\alpha} \cdot (10 - LE_{TE_\alpha}) \text{ bzw.}$$

$$RGT_{TE_\alpha} = 100 - gk_\alpha \left( \sum_{\beta=1}^n b_{F_\beta, TE_\alpha} \cdot g_{F_\beta} \right) \cdot \left( 10 - \frac{1}{r} \left( \sum_{\mu=1}^r l_{LP_\mu, TE_\alpha} \cdot q_{LP_\mu} \right) \right)$$

(mit  $RGT_{TE_\alpha}$ : Reifegrad eines Technologieelements aus technischer Perspektive in [%],  $BE_{TE_\alpha}$ : Bedeutung eines Technologieelements im Technologieverbund,  $LE_{TE_\alpha}$ : gegenwärtige Leistungsfähigkeit eines Technologieelements im Technologieverbund)

#### Formel 8: Reifegrad eines Technologieelements aus technischer Sicht

Der gegenwärtige technologiebezogene Reifegrad eines Technologieelements lässt sich ermitteln als Differenz vollständiger Reife und dem Produkt aus der Bedeutung  $BE_{TE_\alpha}$  sowie der gegenwärtigen Leistungsfähigkeit  $LE_{TE_\alpha}$  eines Technologieelements. Dabei stehen die beiden und das Technologieelement charakterisierenden Größen  $BE_{TE_\alpha}$  und  $LE_{TE_\alpha}$  in direkter Abhängigkeit zueinander, (vgl. Anhang 12.11). Mit dem ermittelten Reifegrad eines Techno-

logieelements lässt sich auch der gegenwärtige Reifegrad pro Technologiegruppe anhand von Formel 9 ermitteln:

$$RGT_{TG_\varepsilon} = \frac{1}{s_\varepsilon} \left( \sum_{\alpha=1}^{s_\varepsilon} RGT_{TE_\alpha} \right)$$

(mit  $RGT_{TG_\varepsilon}$ : Reifegrad einer Technologiegruppe aus technischer Perspektive in [%],  $s_\varepsilon$ : Anzahl an Technologieelementen in einer Technologiegruppe,  $RGT_{TE_\alpha}$ : Reifegrad eines Technologieelements aus techn. Perspektive)

**Formel 9: Reifegrad einer Technologiegruppe aus technischer Sicht**

Letztlich wird der Reifegrad einer Technologiegruppe  $RGT_{TG_\varepsilon}$  durch Mittelwertbildung der einzelnen Reifegrade  $RGT_{TE_\alpha}$  der Technologieelemente sowie der Anzahl an Technologieelementen pro Technologiegruppe  $s_\varepsilon$  ermittelt.

Als Ergebnis der Technologieperspektive liegen identifizierte Technologiegruppen samt zugeordneten Technologieelementen sowie deren Leistungsfähigkeit und Reifegrad aus technischer Sichtweise vor. Die gewonnenen Ergebnisse aus den verwendeten Methodenbausteinen der Technologieperspektive fließen in alle nachgelagerten Perspektiven ein. Im speziellen fließen aus dem HoT die Funktionen als auch die entsprechenden Technologieelemente des Technologiekonzepts in die Kundenperspektive ein. Dort werden sie zur Attraktivitätsmessung aus Kundensicht aufgegriffen. Das HoT mit seinen Technologieelementen speist zudem die fertigungsbezogene Bedarfsanalyse aus Unterschritt 7.3.2.3.1 innerhalb der Fertigungsperspektive als auch die HK-Schätzung in der Wirtschaftlichkeitsperspektive.

### 7.3.2.2 Teilschritt 3.2.2: Kundenperspektive

Ziel der Kundenperspektive ist es, die Technologieentwicklung mit ihren Technologiekonzepten frühzeitig an den Bedürfnissen des Marktes auszurichten und hierdurch die Tauglichkeit aus marktbezogener Sichtweise nachzuweisen. Dabei müssen über potenzielle Anwender Anforderungen an das Technologiekonzept erhoben und deren Erfüllungsgrad gemessen werden. Konkret soll der vom Technologiekonzept erzeugte Kundennutzen ermittelt und somit die Tauglichkeit aus Kundensicht nachgewiesen werden. Neben der technischen Tauglichkeit wird so auch ein marktbezogener Tauglichkeitsnachweis unter Einbezug von potenziellen Kunden erbracht. Die Kundenperspektive schafft zudem eine wechselseitige Abhängigkeit zur Fertigungs- und Wirtschaftlichkeitsperspektive, indem für die weiteren Tauglichkeitsnachweise notwendige marktbezogene Kennwerte (wie bspw. potenzielle Stückzahlen) ermittelt und für diese Perspektiven bereitgestellt werden. Aufgabe des Teilschritts 3.2.2 ist es somit die kombinierten Technologien des Technologiekonzepts und deren Wechselwirkungen den potenziellen Kundenanforderungen gegenüberzustellen, um die gegenwärtige marktbezogene Akzeptanz und somit Tauglichkeit nachzuweisen.

Für die Durchführung der Kundenperspektive wird ein Vorgehensmodell konzipiert, welches durch direkte Einbindung potenzieller Anwender qualitative Kundenbedürfnisse erfasst und auf deren Erfüllung hin analysiert. Dem Vorgehensmodell werden zu diesem Zweck drei Methodenbausteine zugrunde gelegt. Erster Methodenbaustein, stellt wie in der Technologieperspektive bereits auch eingesetzt, das House of Technology dar (vgl. Kap.5.2.2). Es bietet auch hier wieder den notwendigen Zugang zu den eingesetzten Technologien und schafft gleichzeitig eine direkte Verbindung zum Technologiekonzept in der Kundenperspektive. Durch den Matrixaufbau können potenzielle Kundenanforderungen eingebunden und analog zum House of Quality (HoQ) in einer Gegenüberstellung bewertet werden.

Damit es zu einer Gegenüberstellung von Kundenanforderungen und dem Technologiekonzept kommen kann, wird als zweiter Methodenbaustein eine modifizierte Form der Lead-User-Methode herangezogen. Ihr Ziel ist es, relevante Akteure bzw. Technologieanwender zu identifizieren, in den Entwicklungsprozess einzubinden sowie ausgehend von deren Problemlösungsbedarf potenzielle Kundenanforderungen aufzunehmen und somit Unternehmen zu einer möglichst zielgerichteten Technologieentwicklung zu verhelfen (Herstatt 2000, S. 18). Die Methode wird hier verwendet, da sie im Vergleich zu vielen anderen analysierten Marktforschungsmethoden (vgl. Anhang 12.12) neben ihrer Fokussierung auf den Industriegüterbereich, zukunftsgerichtet und dadurch an Kunden und Märkten von morgen orientiert ist (Herstatt 2000, S. 8-9). Zudem gewährleistet die Lead-User-Methode die für Technologie-Push-Entwicklungen notwendigen und kontinuierlichen Überprüfungen von Entwicklungsaktivitäten bei gleichzeitiger Kundeninteraktion<sup>42</sup>, vgl. Kap.3.1.4 sowie (Achatz 2012, S. 347). Vergleichbare Kundenintegrationsmethoden, wie die Conjoint-Analyse oder das Kano-Modell (vgl. Tab. 37), lassen es demgegenüber nicht zu bekannte Produkt-Markträume für völlig neue Anwendungsfelder zu verlassen, um potenzielle Technologieanwender aktiv in den Entwicklungsprozess einzubinden (vgl. Herstatt 2000, S. 6). HALL hat in seiner Arbeit festgestellt, dass gerade die Conjoint-Analyse ein umfangreiches sowie komplexes Instrument zur Ermittlung von Kundenpräferenzen darstellt und deshalb auf den Einsatz einfacher Kriteriengewichtungen verwiesen (Hall 2002, S. 110). Die Einsatzfähigkeit der Conjoint-Analyse sowie des Kano-Modells zur Tauglichkeitsprüfung in der Kundenperspektive ist daher ausgeschlossen.

Dritter Methodenbaustein in der Kundenperspektive ist schließlich die Präferenzmatrix. Sie dient der Ermittlung der Wichtigkeit genannter Kundenanforderungen sowie der Bildung einer

---

<sup>42</sup> Hier kann es sich auch um Experten mit Wissen aus analogen Fragestellungen oder Fachgebieten handeln (vgl. Herstatt 2000, S. 18), welche als Lead-User agieren können und Anforderungen in die Technologieentwicklung einbringen.

Rangfolge. Schließlich ermöglicht sie zusammen mit den funktionsabhängigen Technologieelementen die Bestimmung des kundenbezogenen Reifegrads (vgl. Unterschritt 3.2.2.4).

Die Anwendung der nachfolgend beschriebenen Kundenperspektive setzt die prinzipielle Bereitschaft von Unternehmen voraus, Kunden (i.S.v. Extremanwendern oder Experten aus anderen Fachgebieten) in die Technologieentwicklung einzubinden und den unternehmerischen Entwicklungsprozess, im Sinne eines Open Innovation-Ansatzes, für externe Wissens-träger zu öffnen, vgl. (Gassmann 2006, S. 133).

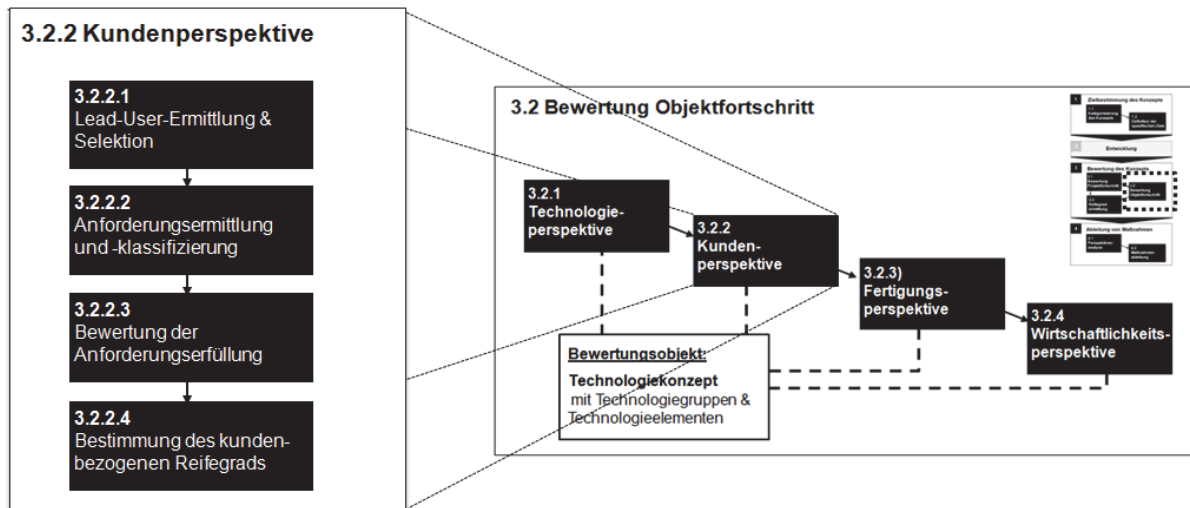


Abb. 26: Vorgehen in der Kundenperspektive

Zur Bestimmung einer kundenbezogenen Tauglichkeit in der Technologieentwicklung wird ein Vorgehen mit vier Schritten durchlaufen, vgl. Abb. 26. Der erste Schritt umfasst die Bestimmung von Lead-Usern (Unterschritt 3.2.2.1), gefolgt von der Ermittlung und Klassifizierung ihrer Anforderungen (Unterschritt 3.2.2.2). Anschließend erfolgt die Bewertung der gegenwärtigen Bedeutung und Erfüllung von Anforderungen (Unterschritt 3.2.2.3) sowie der Bestimmung des kundenbezogenen Reifegrads (Unterschritt 3.2.2.4). Methodisch wird das Vorgehen, wie bereits im vorigen Abschnitt erläutert, durch die Technology-Push-Lead-User-Methode, Kundenworkshops, den Einsatz einer Präferenzmatrix sowie dem House of Technology unterstützt. Die Ermittlung von Lead-Usern (Unterschritt 3.2.2.1) sowie deren Anforderungen (Unterschritt 3.2.2.2) stellen im Rahmen der bewertungsbasierten Vorgehensweise zumeist einen einmaligen Vorgang dar (vgl. Abb. 26). Dies ist mit dem erheblichen Zeitaufwand für die Identifikation von Lead-Usern sowie der damit verbundenen Aufnahmefähigkeit zu begründen. Die anschließende Überprüfung von Lead-User-Anforderungen sowie die Ermittlung gegenwärtiger Erfüllungsgrade (Unterschritt 3.2.2.3) hingegen sind im Rahmen der Technologieentwicklung mehrmals durchführbar.

#### 7.3.2.2.1 Unterschritt 3.2.1.1: Ermittlung der Lead-User

Zur Bestimmung der kundenbezogenen Tauglichkeit ist es zunächst notwendig die entsprechenden Anwender, sogenannte Lead-User<sup>43</sup>, zu identifizieren. Hierfür wird der von HENKEL & JUNG entwickelte T-PLUC-Ansatz (vgl. Henkel 2009; Jell 2010 und siehe Anhang 12.13) aufgegriffen. Dieser Ansatz wurde in Anlehnung an die klassische Lead-User-Methode von HIPPEL entwickelt, um Marktpotenziale und Applikationsfelder von Technologien bereits in

<sup>43</sup> Lead User können durch folgende Merkmale charakterisiert werden: Innovatoren, die Marktbedürfnisse früher identifizieren als andere Marktteilnehmer; verfügen über eine hohe Problemlösungsorientierung bzw. weisen eine hohe Eigeninitiative in Bezug auf deren Problemlösung auf (vgl. Hemetsberger 2009). Es ist an dieser Stelle aber auch darauf hinzuweisen, dass die mit Hilfe der Lead-User-Methode identifizierten Anwender zumeist keine direkten Anwender der späteren Produkte sind und oft analogen Industrien entstammen (vgl. Piller 2011, S.10). Für gewöhnlich haben solche Lead-User die gleichen Grundbedürfnisse wie ein Hersteller, aber zu einem höheren Nutzen oder extremeren Bedingungen (vgl. Piller 2011, S.10).

den frühen Phasen identifizieren zu können (vgl. Henkel 2009). Ausgehend von einer Technologie werden interessante Anwendungsfelder selektiert und daraus potenzielle Lead-User identifiziert, siehe Anhang 12.13. Im Vergleich zur klassischen Lead-User-Methode können hier die potenziellen Anwender direkt mit dem Technologiekonzept konfrontiert werden.

Für den Unterschritt 3.2.1.1 sind konkret die Identifikation von Trends und Anwendungsbereichen, die Selektion vielversprechender Segmente sowie die Identifikation von Lead-Usern aus dem T-PLUC-Ansatz von Bedeutung. Ziel ist es mit Hilfe des genannten Ansatzes von HENKEL & JUNG, potenzielle Anwender anhand von Leistungsmerkmalen des Technologiekonzepts zu identifizieren, deren Bedarfe aufzunehmen und in einer Tauglichkeitsprüfung zu beleuchten. Hierfür ist zunächst die Analyse und Auswahl relevanter Branchen für das Technologiekonzept notwendig. Anschließend erfolgt die Bestimmung von repräsentativen Anwendern (Lead-Usern) in diesen Branchen.

### **Analyse und Auswahl relevanter Branchen**

In diesem Teil des Vorgehens wird festgelegt, für welche Branchen das zu entwickelnde Technologiekonzept von Relevanz ist und welche potenziellen Anwender davon profitieren werden. Um die relevanten Branchen identifizieren zu können, müssen unter anderem Informationen bzgl. Funktionen, prinzipieller Aufbau und entsprechende Leistungsparameter zum Technologiekonzept vorliegen. Die notwendige Informationsbasis liefert hierfür die Funktions-Technologiekombination aus Kap. 7.3.2.1 oder erstellte Technologiesteckbriefe (vgl. Anhang 12.10). In Form eines Experten-Workshops (Markt- und Technologieexperten) wird unter der Leitung des Bewertungs-Verantwortlichen die Branchenidentifikation durchgeführt. Der Teilnehmerkreis kann zusätzlich noch um Experten aus der Entwicklung erweitert werden. Die Experten liefern Antworten zu technischen Fragestellungen. Im Experten-Workshop sind folgende Teilschritte für die Identifikation von Bedeutung: Zunächst sind für eine zielgerichtete Branchenidentifikation die möglichen Ausprägungen der Leistungsparameter des Technologiekonzepts zu diskutieren und ein gemeinsames Verständnis im Expertenkreis zu schaffen, siehe Kap. 7.3.2.1. Daraufhin wird zur einfacheren Identifikation von Anwendungsbereichen bzw. Branchen, das Technologiekonzept einer Analogiebetrachtung mit ähnlichen Technologien, Anwendungen oder Problemlösungen unterzogen. Aus den Analogiebetrachtungen angelehnt an (Henkel 2009) wird auf potenzielle Branchen geschlossen, woraus schließlich die gegenwärtig vielversprechendsten selektiert werden. Um die spätere Erfolgswahrscheinlichkeit des Technologiekonzepts am Markt zu erhöhen, sollten im Workshop mehrere Branchen berücksichtigt werden. Entsprechende Branchenkenntnisse müssen im Workshop durch Experten (bspw. Marktexperten, Produktmanager oder Experten aus dem Vertrieb) gewährleistet sein. Bei unzureichender Kenntnis von Branchen, kann zur Unterstützung auf die Branchenzuordnung<sup>44</sup> des Statistischen Bundesamtes, weitere externe Branchenexperten oder Verbände zurückgegriffen werden. Zusätzlich kann der Experten-Workshop durch den Einsatz von Kreativitätstechniken<sup>45</sup> unterstützt werden. Ergebnis des Experten-Workshops ist eine Liste mit relevanten Branchen und deren jeweilige Bedeutung fürs Unternehmen. Anhand dieser Liste werden im darauf folgenden Unterschritt repräsentative Lead-User ermittelt. Diese Anwendergruppen sind dadurch charakterisiert, dass sie ihre neuen Bedarfe früher artikulieren und erläutern können, als andere Kunden am Markt (vgl. Lorenzi 2003, S. 130).

---

<sup>44</sup> Eine Branchenzuordnung wird vom statistischen Bundesamt vorgenommen und beruht auf den Bestimmungen der statistischen Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft, genannt NACE. Siehe [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/nace\\_rev2/introduction](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/nace_rev2/introduction)

<sup>45</sup> Für die Identifikation von Branchen eignen sich sowohl diskursive als auch intuitive Methoden. Zum Einstieg kann beispielsweise das Brainstorming, Brainwriting oder die Synektik als intuitive Ideenfindungsmethode verwendet werden (vgl. Großklaus 2008, S. 119). Durch den Einsatz solcher Kreativitätstechniken soll verhindert werden, dass bereits bei der Branchenidentifikation eine zu enge und einschränkende Auswahl potentieller Branchen getroffen wird.

## Bestimmung von Lead-Usern in relevanten Branchen

Für die identifizierten Branchen werden an dieser Stelle repräsentative Lead-User ermittelt. Hierfür wird der Screening-Ansatz (vgl. Herstatt 2003, S. 7) herangezogen und zur Bestimmung potenzieller Anwender genutzt. Bei diesem Ansatz werden aus den bereits identifizierten Branchen potenzielle Lead-User pro Branche ermittelt, kontaktiert sowie anschließend anhand von festgelegten Faktoren selektiert. Für die Validität der Kundenperspektive sind in der Regel mehrere Lead-User zu berücksichtigen (vgl. Herrmann 2009, S.141). Im Unternehmen kann die Lead-User-Ermittlung durch die Nutzung von Kunden-Datenbanken, Informationen aus dem Vertrieb oder über persönliche Kontakte erfolgen. Des Weiteren können bereits während der Branchen-Identifikation (Unterschritt 3.2.2.1) potenzielle Lead-User genannt worden sein, die nun in die Bestimmung mit einfließen. Sind die potenziellen Anwender definiert, erfolgt deren Befragung durch persönliche Gespräche oder über Telefoninterviews sowie unter dem Einsatz standardisierter Fragen. Um die Suche nach passenden Lead-Usern zu erleichtern, kann der im Anhang 12.14 aufgeführte Fragebogen um Spezifikationen des zu entwickelnden Technologiekonzepts erweitert werden, wobei diese Erweiterung von Experten mit technischen Fachkenntnissen und zusätzlichen Branchenkenntnissen erfolgen sollte. Nach der Befragung der potenziellen Lead-User werden die ermittelten Daten aus den Gesprächen sowie des eingesetzten Fragebogens aus Anhang 12.14 entsprechend den Faktoren Problemlösungsbewusstsein sowie Technologieadaptionfähigkeit ausgewertet<sup>46</sup>. Das Ergebnis dieser Auswertung ist eine begrenzte Anzahl von Lead-Usern aus unterschiedlichen Branchen, bei welchen:

- ein hoher Grad an Problemlösungsbewusstsein vorhanden ist,
- ein indirekter oder direkter Nutzen durch den Einsatz des Technologiekonzepts gesehen wird,
- bereits erste Erfahrungen im Themenfeld vorliegen oder
- bereits Anforderungen aus Anwendersicht formuliert wurden.

Im Unternehmen ist vor einer weiteren Kontaktierung zu entscheiden, welche der befragten Lead-User für die Einbindung in die Technologieentwicklung informiert sowie zu einem entsprechenden Lead-User-Workshop eingeladen werden. Zudem empfiehlt es sich rechtliche Fragestellungen im Vorfeld der Lead-User-Einbindung unternehmensintern abzustimmen.

### 7.3.2.2.2 Unterschritt 3.2.2.2: Ermittlung und Klassifizierung von Anforderungen

Mit Hilfe der identifizierten Branchen und deren Lead-User werden jetzt die kundenseitigen Anforderungen an das Technologiekonzept ermittelt. Dabei ist es nicht das Ziel, zusammen mit den Lead-Usern ein neues Produktkonzept zu generieren. Vielmehr soll mit Hilfe von anwendungs- und einsatzbezogenen Anforderungen der zukünftigen Anwender die Tauglichkeit bewertet werden. Hierfür werden zunächst in gemeinsamen Workshops Anforderungen von den identifizierten Lead-Usern aufgenommen. Anschließend wird jeweils die Bedeutung und der Zufriedenheitsgrad für diese Anforderungen aus Lead-User-Sicht bestimmt.

## Ermittlung von Anforderungen

Die Ermittlung von Lead-User-Anforderungen wird im Rahmen eines Workshops unter Einbezug eines ausgewählten Lead-Users sowie Experten der Entwicklung und des Vertriebs vorgenommen. Auch hier sollte der Bewertungs-Verantwortliche eingebunden sein, bspw. durch die Moderation des Workshops. Auf Basis der vorliegenden Technologiebeschreibung (vgl. Unterschritt 3.2.1.1 und Kap. 7.3.2.1) sowie, im Idealfall, durch den Einsatz eines Technologie-Demonstrators werden im Rahmen des Workshops Anforderungen definiert. Idealerweise sollte bereits im Vorfeld zum Arbeitstreffen ein Testeinsatz des Technologie-Demonstrators beim Lead-User erfolgen. Im Workshop selbst sind sowohl das Einsatzfeld

---

<sup>46</sup> Für die Auswertung kann beispielsweise eine Clusteranalyse (siehe Bacher 2010) genutzt werden.

des Technologiekonzepts, potenzielle Probleme im Einsatz als auch die angrenzenden Schnittstellenbereiche (wie angrenzende Anlagen, Softwareschnittstellen, ...) im Einsatzumfeld zum Konzept mit dem Lead User zu diskutieren. Bei der Identifikation von Anforderungen sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Detaillierte Abklärung von Funktionsweise und Einsatzmöglichkeiten des Technologiekonzepts mit dem Lead-User.
- Diskussion des Technologiekonzeptes im Einsatzumfeld des Lead-Users und Klärung offener Fragen.
- Ungeordnete und wertneutrale Aufnahme von quantifizierbaren Lead-User-Anforderungen (wie bspw. Oberfläche, Gestalt, Leistungsgrenzen,...).

Das im Lead-User-Workshop generierte Feedback kann dazu führen, dass neben der Nennung von Anforderungen auch erste Schätzungen bzgl. Stückzahlen genannt werden. Diese Schätzungen und Forderungen bilden eine notwendige Informationsbasis für die fertigungsbezogene (Teilschritt 3.2.3) und wirtschaftlichkeitsbezogene (Teilschritt 3.2.4) Bewertung. Relevante Forderungen fließen in die Perspektiven mit ein bzw. werden dort berücksichtigt. Mit der ungeordneten Aufnahme von Anforderungen ist eine wesentliche Diskussionsbasis für die nachfolgenden Schritte der Kundenperspektive gelegt.

Wurden im Rahmen von Unterschritt 3.2.2.1 für mehrere Branchen Lead-User identifiziert, so ist die im vorigen Abschnitt beschriebene Workshop-Vorgehensweise wiederholt für die anderen Branchen durchzuführen. Ein gemeinsamer Workshop mit Lead-User-Gruppen aus unterschiedlichen Branchen, sollte aufgrund der Unterschiedlichkeit von Anforderungen vermieden werden. Eine Zusammenführung der Ergebnisse erfolgt am Anschluss an die Workshops und kann durch eine Mittelwertbildung von Anforderungserfüllung pro Technologiegruppe erfolgen.

### **Bedeutung und Erfüllungsgrad der Anforderungen**

Nachdem die Anforderungen des Lead-Users aufgenommen wurden, werden im selben Workshop Bedeutung und Erfüllungsgrad ermittelt. Dies ist notwendig, um die Präferenzen der Anforderungen zu identifizieren und eine Klassifikation vorzunehmen. Dabei werden gemeinsam mit dem Lead-User im Workshop, unter Einsatz einer abgewandelten Präferenzmatrix (vgl. Anhang 12.15), der entsprechende Bedeutungsgrad für die jeweiligen Anforderungen ermittelt. Durch die Präferenzmatrix lässt sich die Bedeutung jeder Anforderung durch Gegenüberstellung aufwandsreduziert ermitteln und quantitativ in Form eines Bedeutungsgrads darstellen. Diese Form der Bedeutungsermittlung<sup>47</sup> wird als Alternative zum bekannten Kano-Modell oder der Conjoint-Analyse (vgl. Schuh und Klappert 2011, S. 184) genutzt, da direkt im Rahmen des Workshops gemeinsam mit den Lead-Usern die Ermittlung der Bedeutung ihrer Anforderungen erfolgen kann. Es wird kein weiterer Interviewleitfaden mit komplexer Fragetechnik zur Aufnahme von Anforderungspräferenzen benötigt und vereinfacht auf die Unterscheidung in hinreichende und notwendige Anforderungen zurückgegriffen. Um die weiteren Entwicklungstätigkeiten des Technologiekonzepts darüber hinaus besser auf Marktbedürfnisse auszurichten, ist die Ermittlung eines Ideal-Erfüllungsgrad von Anforderungen notwendig. Für diese Ermittlung wird jede vom Lead-User genannte Anforderung im Intervall von 0 bis 10 bewertet. Dabei müssen nicht alle Anforderungen mit 10 bewertet werden, um Funktionen und Eigenschaften zu realisieren. Bereits eine niedrigere Bewertung kann dazu führen, dass die Anforderung aus Sicht eines Lead-Users als erfüllt gilt. Die Ermittlung der Anforderungsbedingungen erfolgt ebenfalls im Workshop unter Einbezug

---

<sup>47</sup> Über die reine Bedeutungsmessung von Kundenanforderungen hinaus finden sich in der Literatur weitergehende Ansätze und Modelle zur Akzeptanzmessung neuer Technologien (vgl. bspw. Quiring 2006; Schönecker 1980; Köllmann 1998). Eine explizite Einbindung von Einzelmethoden oder Kriterien ist in der vorliegenden Arbeit nicht erfolgt, vielmehr wurde eine Eingrenzung auf die Lead-User-Methode vorgenommen.

des verantwortlichen Technologieentwicklungs-Teams. Die Anforderungsbedingungen liefern dem Entwicklungsteam relevante Hinweise, wie viel Entwicklungsaufwand in die Entwicklung aus Kundensicht zu investieren ist.

### 7.3.2.2.3 Unterschritt 3.2.2.3: Bewertung der Anforderungserfüllung

Die Bewertung der Anforderungs-Erfüllung ist im Rahmen der Kundenperspektive entscheidend. An dieser Stelle wird für die identifizierten Anforderungen  $AN_\theta$  und deren Bedeutung  $h_{AN_\theta}$  jeweils ein gegenwärtiger Erfüllungsgrad ermittelt. Dabei wird unter Einbezug des HoT und den darin aufgeführten Technologieelementen  $TE_\alpha$  und Funktionen  $F_\beta$  der gegenwärtige Erfüllungsgrad von Lead-User-Anforderungen ermittelt und formal abgebildet, vgl. Abb. 27. So ist jeder Funktion im HoT eine Kombination aus Technologieelementen zugeordnet. Diese Zuordnung wurde bereits im Unterschritt 3.2.1.1 der Technologieperspektive vorgenommen, wobei die Kombination von Technologieelementen im Technologiekonzept die Erfüllung von Funktionen bewirkt. Im Unterschritt 3.2.2.3 wird diese Kombination wieder aufgegriffen und zur Bewertung der Erfüllung von Lead-User-Anforderungen eingesetzt (vgl. Abb. 27). Jede Funktion wird durch ihre zugeordneten Technologieelemente  $TE_{TE_\alpha, F_\beta}$  abgebildet und in Bezug auf die Erfüllung von Anforderungen bewertet<sup>48</sup>.

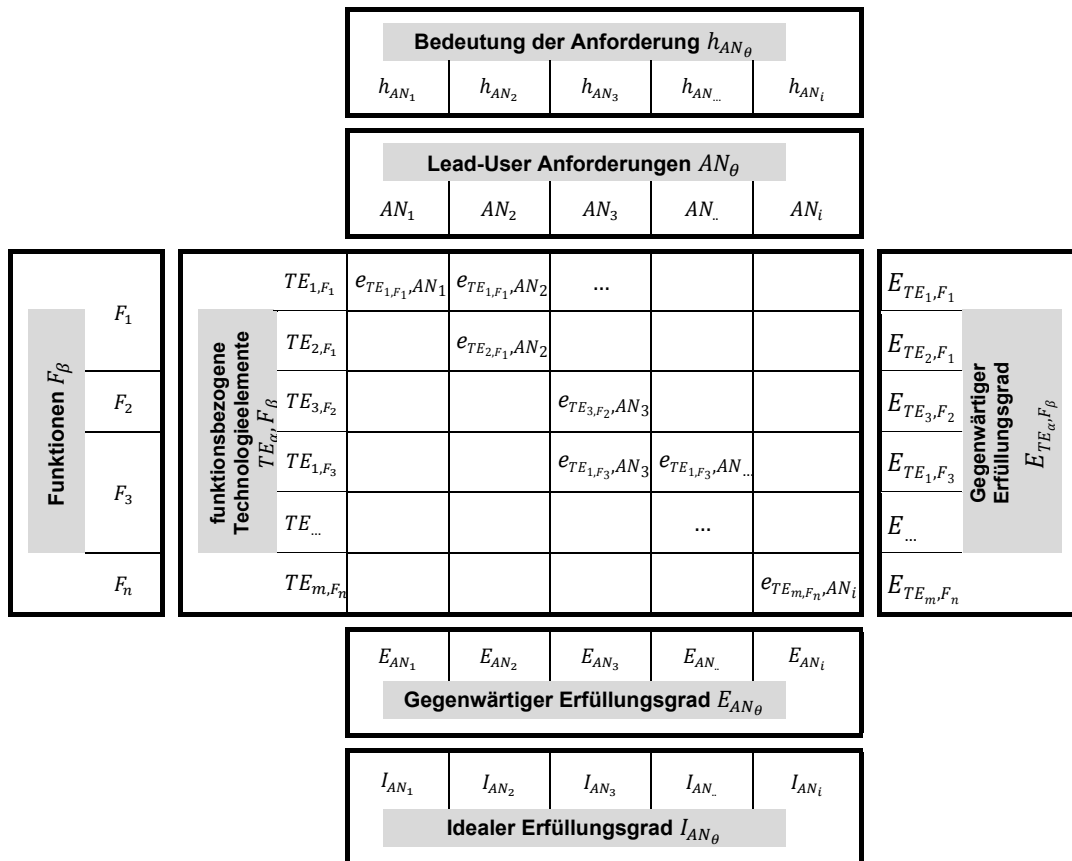


Abb. 27: Prinzip zur Bewertung von Lead-User-Anforderungen und Erfüllungsgraden

Die Durchführung der Bewertung von Erfüllungsgraden wird im Unternehmen unter der Leitung des Bewertung-Verantwortlichen in Zusammenarbeit mit dem Technologie-Entwicklungsteam vorgenommen. Mit Hilfe der Fachkompetenz der Technologieexperten im Team kann eingeschätzt werden, ob und wie gut die vorliegenden Technologie-Funktions-

<sup>48</sup> Eine vergleichbare Gegenüberstellung von Funktions-Technologie-Kombinationen sowie Anforderungen findet sich bspw. bei LAIB (Laib 2006, S. 65). Ebenfalls nimmt HALL (Hall 2002, S. 67) in seiner Arbeit eine Gegenüberstellung von Kundenanforderungen sowie Technologiemerkmalen einer Technologie zur Bewertung der Anforderungserfüllung vor.

Kombinationen bereits Lead-User-Anforderungen erfüllen. Für die Ermittlung des gegenwärtigen Erfüllungsgrads  $E_{TE_{\alpha},F_{\beta}}$  von Lead-User-Anforderungen durch ein Technologieelement gilt folgendes Vorgehen: Zunächst werden die Technologieelemente zeilenweise den Funktionen des Technologiekonzepts, unter Berücksichtigung der bereits ermittelten Abhängigkeiten aus der Technologieperspektive, zugeordnet. Zudem werden die durch Lead-User formulierten Anforderungen  $AN_{\theta}$  spaltenweise in das HoT aufgenommen. Anschließend sind die ermittelten Bedeutungen  $h_{AN_{\theta}}$  der Anforderungen aus der Präferenzmatrix im Anhang 12.15 in die Matrix aufzunehmen. Mit Hilfe der übertragenen Daten kann dann zeilenweise der gegenwärtige Erfüllungsgrad  $e_{TE_{\alpha},F_{\beta},AN_{\theta}}$  jeder Anforderung durch ein funktionsbezogenes Technologieelement im Kern der Matrix ermittelt werden. Das bedeutet, es ist zeilenweise pro funktionsbezogenem Technologieelement zu prüfen, in welchem Umfang die vom Lead-User formulierten Anforderungen  $AN_{\theta}$  bereits erfüllt werden können. Dabei kann im Intervall von 0 bis 10 bewertet werden. Der durch die Experten ermittelte Erfüllungsgrad  $e_{TE_{\alpha},F_{\beta},AN_{\theta}}$  ist in den Matrixkern aufzunehmen. Schließlich lässt sich, unter Berücksichtigung der Bedeutung  $h_{AN_{\theta}}$  von Lead-User-Anforderungen, zeilenweise der gegenwärtige technologieelementbezogene Erfüllungsgrad  $E_{TE_{\alpha},F_{\beta}}$  ermitteln.

Neben der Ermittlung des gegenwärtigen Erfüllungsgrads  $E_{TE_{\alpha},F_{\beta}}$  durch die Technologieelemente bietet das HoT an dieser Stelle zusätzlich die Möglichkeit den weiteren Entwicklungsbedarf aus Kundensicht aufzuzeigen. Hierfür muss ein Vergleich von idealem Erfüllungsgrad  $I_{AN_{\theta}}$  der Lead-User-Anforderungen und gegenwärtigem Erfüllungsgrad  $E_{AN_{\theta}}$  der Lead-User-Anforderungen vorgenommen werden, vgl. Abb. 27. Der ideale Erfüllungsgrad  $I_{AN_{\theta}}$  wird im Dialog mit den potenziellen Anwendern ermittelt und als zusätzliche Größe im HoT aufgenommen. Die sich daraus ergebende Gegenüberstellung von idealen und gegenwärtigen Anforderungen führt zu einer Identifikation des Weiterentwicklungsbedarfs aus Kundensicht. Die Gegenüberstellung an sich fließt aber nicht in die Bestimmung des kundenbezogenen Reifegrads ein, sondern soll als Indikator Hinweise liefern, wann die Entwicklungsaktivitäten oder Verbesserungsmaßnahmen für einzelne Anforderungen abgeschlossen werden können. Die gewonnenen Informationen lassen sich in der anschließenden Maßnahmenableitung als zusätzliche Indikatoren nutzen (siehe Kap. 7.4.2). Zum besseren Verständnis und zur Verdeutlichung wird in Tab. 15 ein entsprechendes Berechnungsmodell aufgeführt.

Tab. 15: Berechnungsmodell Lead-User-Anforderungen

Bezeichnung	Bezeichnung und Berechnung	Erläuterung
Lead-User-Anforderungen	$AN_{\theta}$	mit $\theta = 1, \dots, i$ $i = \text{Anzahl der Anforderungen}$
Bedeutung einer Lead-User-Anforderung (normiert)	$h_{AN_{\theta}}$	mit $\{h_{AN_{\theta}} \in \mathbb{R} \mid 0 < h_{AN_{\theta}} \leq 1\}$
Gegenwärtiger Erfüllungsgrad einer Anforderung $AN_{\theta}$ durch ein Technologieelement	$e_{TE_{\alpha},F_{\beta},AN_{\theta}}$	mit $\{e_{TE_{\alpha},F_{\beta},AN_{\theta}} \in \mathbb{N} \mid 0 \leq e_{TE_{\alpha},F_{\beta},AN_{\theta}} \leq 10\}$
Gegenwärtiger Erfüllungsgrad einer Lead-User-Anforderung	$E_{AN_{\theta}} = \overline{AN_{\theta}}$	Mittelwert der jeweiligen Spaltenwerte $e_{TE_{\alpha},F_{\beta},AN_{\theta}}$ pro $AN_{\theta}$ mit $E_{AN_{\theta}} \in \mathbb{R}^+$
Gegenwärtiger Erfüllungsgrad von Anforderungen durch ein Technologieelement	$E_{TE_{\alpha},F_{\beta}} = \frac{1}{e_{TE_{\alpha},F_{\beta},AN_{\theta},\max}} \left( \sum_{\theta=1}^i h_{AN_{\theta}} \cdot e_{TE_{\alpha},F_{\beta},AN_{\theta}} \right)$	mit $\theta = 1, \dots, i$
Idealer Erfüllungsgrad einer Lead-User-Anforderung	$I_{AN_{\theta}}$	mit $\{I_{AN_{\theta}} \in \mathbb{N} \mid 0 \leq I_{AN_{\theta}} \leq 10\}$

#### 7.3.2.2.4 Unterschritt 3.2.2.4: Bestimmung des kundenbezogenen Reifegrads

Die ermittelten Daten aus Unterschritt 3.2.2.3 werden an dieser Stelle herangezogen, um den kundenbezogenen Reifegrad zu bestimmen. Zunächst erfolgt die Ermittlung für Technologieelemente. Der Reifegrad pro Technologieelement ergibt sich durch die gewichtete Summe der gegenwärtigen Erfüllungsgrade  $E_{TE_\alpha, F_\beta}$  von Anforderungen im Verhältnis zur Anzahl an Beziehungen  $b_{F_\beta, TE_\alpha}$ :

$$RGK_{TE_\alpha} = \frac{1}{\sum_{\beta=1}^{z_\beta} b_{F_\beta, TE_\alpha}} \left( \sum_{\beta=1}^{z_\beta} b_{F_\beta, TE_\alpha} \cdot E_{TE_\alpha, F_\beta} \right) \cdot 100$$

( $RGK_{TE_\alpha}$ : kundenbezogener Reifegrad eines Technologieelements in [%],  $b_{F_\beta, TE_\alpha}$ : Beziehung zwischen einer Funktion und einem Technologieelement,  $E_{TE_\alpha, F_\beta}$ : Gegenwärtiger Erfüllungsgrad von Anforderungen durch ein funktionsbezogenes Technologieelement)

##### Formel 10: Reifegrad eines Technologieelements aus Kundensicht

Nachdem für die Technologieelemente des Technologiekonzepts der jeweilige Reifegrad  $RGK_{TE_\alpha}$  der Lead-User-Anforderungen ermittelt ist, können diese nun zu einem Reifegrad pro Technologiegruppe zusammengefasst werden. Hierfür sind die bewerteten Anforderungen des Lead-Users pro Technologiegruppe aufzusummieren und deren Mittelwert zu bilden. Dies führt zum Reifegrad einer Technologiegruppe aus Kundensicht  $RGK_{TG_\varepsilon}$ , vgl. hierzu Formel 11:

$$RGK_{TG_\varepsilon} = \frac{1}{s_\varepsilon} \left( \sum_{\alpha=1}^{s_\varepsilon} RGK_{TE_\alpha} \right)$$

(mit  $RGK_{TG_\varepsilon}$ : kundenbezogener Reifegrad einer Technologiegruppe in [%],  $s_\varepsilon$ : Anzahl an Technologieelementen einer Technologiegruppe,  $RGK_{TE_\alpha}$ : Reifegrad eines Technologieelements aus kundenbezogener Perspektive)

##### Formel 11: Reifegrad einer Technologiegruppe aus Kundensicht

Der Reifegrad  $RGK_{TG_\varepsilon}$  gibt schließlich an, wie gut die einzelnen Lead-User-Anforderungen durch das Technologiekonzept bzw. die eingesetzten Technologieelemente gegenwärtig erfüllt werden können. Zur besseren Übersicht findet sich in im Anhang 12.20 (vgl. Tab. 45) nochmals eine Zusammenfassung aller relevanten Berechnungsgrößen für die Kundenperspektive wieder.

Das Ergebnis der Kundenperspektive sind neben Kundenanforderungen aus Lead-User Workshops ebenfalls Erfüllungsgrade sowie der Reifegrad aus Sicht der Kunden. Die gewonnenen Ergebnisse der verwendeten Methodenbausteine der Kundenperspektive finden in der nachgelagerten Fertigungs- und Wirtschaftlichkeitsperspektive Berücksichtigung. Insbesondere werden Informationen durch die Lead-User-Methode in nachfolgenden Bewertungsschritten erneut aufgegriffen bzw. berücksichtigt.

### 7.3.2.3 Teilschritt 3.2.3: Fertigungsperspektive

Ziel der Fertigungsperspektive ist es, möglichst frühzeitig die Fertigungsmöglichkeiten im Rahmen der Technologieentwicklung zu betrachten, um weitere Entwicklungsaufwände und Verzögerungen bei der Technologieeinführung als auch Produktentwicklung zu vermeiden. Konkret wird ermittelt, ob das Technologiekonzept durch bestehende oder neue Fertigungsverfahren herstellbar ist. Es wird ferner betrachtet, welche potenziellen Kosten durch die Fertigung eines solchen Technologiekonzepts entstehen können. Hierzu werden die Technologiegruppen des Technologiekonzepts in Einzelteile zerlegt, deren Prozessablauf abgeschätzt sowie eine „Grobbewertung“ der montage- und prüftechnischen Möglichkeiten vorgenommen. Ziel ist es nicht, eine detaillierte Planung der Fertigungsfolgen vorzunehmen, Lieferanten festzulegen oder Werkzeugmaschinen auszuwählen, sondern einen prinzipiellen Nachweis der Fertigbarkeit von Technologiekonzepten zu erbringen, vgl. Abb. 28.

Für die Einschätzung der fertigungsbezogenen Tauglichkeit von Technologiekonzepten ist zunächst die grundsätzliche Fragestellung bezüglich der Fertigungsfähigkeit maßgeblich und zu beantworten. Hierfür wird für das Technologiekonzept eine fertigungstechnische Bedarfsanalyse (Unterschritt 3.2.3.1) durchgeführt. An die Bedarfsanalyse schließt die Ermittlung möglicher Fertigungsverfahren an, indem Technologiegruppen bis in ihre Einzelteile zerlegt und hierfür die entsprechenden Fertigungsschritte ermittelt werden (Unterschritt 3.2.3.2). Mit den entsprechenden Informationen über die Fertigungsmöglichkeiten von Technologiegruppen und deren Einzelteile wird eine Nutzwertanalyse als auch eine Überprüfung von Montage- und Prüffähigkeit anhand des HoT durchgeführt (Unterschritt 3.2.3.3). Mit den gewonnenen Informationen der vorangegangenen Schritte wird schließlich ein fertigungstechnischer Reifegrad pro Technologiegruppe ermittelt (Unterschritt 3.2.3.4).

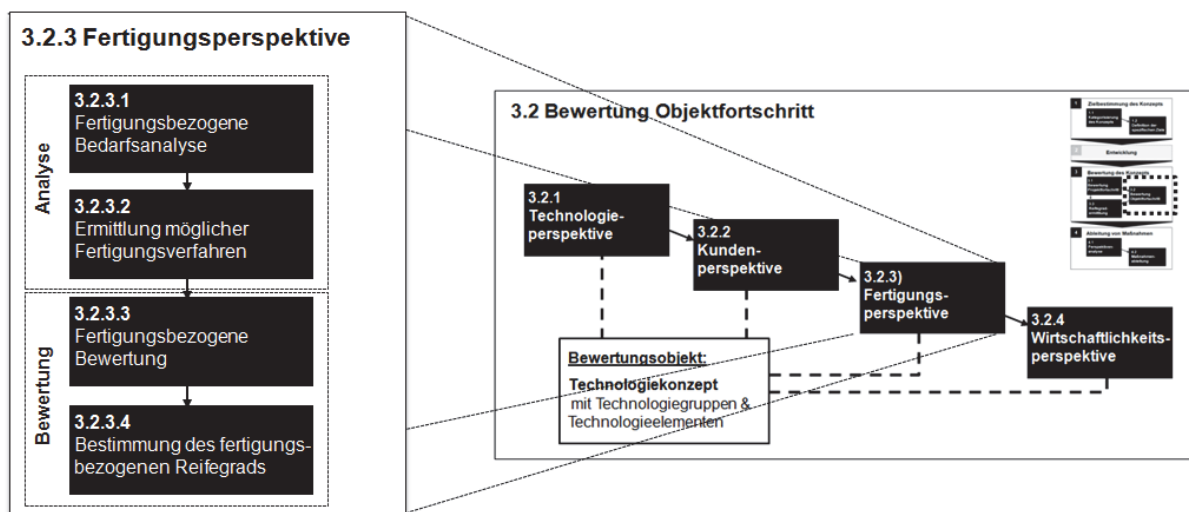


Abb. 28: Vorgehen in der Fertigungsperspektive

Die Fertigungsanalyse mit ihren Unterschritten 3.2.3.1 sowie 3.2.3.2, vgl. Abb. 28, stellt im Rahmen der Fertigungsperspektive einen einmaligen Vorgang dar, wohingegen die Fertigungsbewertung mit den zugehörigen Unterschritten 3.2.3.3 sowie 3.2.3.4 mehrmals ermittelt werden kann. Die in Abb. 28 aufgezeigte Vorgehensweise ist gedanklich an die Fertigungsplanung<sup>49</sup> der Produktentwicklung angelehnt, wo es die Aufgabe ist passende Fertigungsverfahren für zu entwickelnde Produkte auszuwählen und bereitzustellen. Es ist an dieser Stelle aber nicht das Ziel die optimalen Fertigungsschritte und damit die Planung und Auslegung der Fertigung vorzunehmen, sondern einen prinzipiellen Nachweis über die Fertigungsfähigkeit des Technologiekonzepts zu erreichen und daraus resultierende Entwicklungsaufwände für Fertigungstechnologien aufzuzeigen. Es werden weder

<sup>49</sup> Weiterführende Literatur zum Thema Fertigungsplanung findet sich beispielsweise bei: (Eversheim und Schuh 2005; Eversheim 1989; Moryson 2004; Fallböhrer 2000).

Prozessoptimierungen noch Werkzeugoptimierungen betrachtet. In vereinfachter Form soll eine Aussage über die fertigungstechnischen Möglichkeiten innerhalb der Technologieentwicklung getroffen werden. Hierfür werden als Methodenbausteine die Fertigungstechnologiekettenbildung nach FALLBÖHMER (Fallböhrmer 2000) und abermals das HoT aufgegriffen.

### 7.3.2.3.1 Unterschritt 3.2.3.1: Fertigungsbezogene Bedarfsanalyse

Das Technologiekonzept wird an dieser Stelle einer fertigungsbezogenen Bedarfsanalyse unterzogen, um anhand von Einzelteilbetrachtungen Standardteile sowie Nicht-Standardteile zu identifizieren. Die Identifikation der Teile erfolgt anhand der bereits aus Unterschritt 3.2.1.1 (vgl. Kap. 7.3.2.1) vorliegenden Technologiegruppenbetrachtung, indem für jede Technologiegruppe bzw. deren Technologieelemente die zugehörigen Einzelteile ermittelt und daraus Standard-Teile sowie Nicht-Standardteile identifiziert werden.

Die Einzelteile einer jeden Technologiegruppe werden zunächst wertneutral aufgelistet. Unterstützend kann dazu ein Template, wie in Abb. 29 dargestellt, eingesetzt werden. Anschließend sind aus den Einzelteilen Standardteile sowie Nicht-Standardteile zu identifizieren. Standardteile stellen in diesem Zusammenhang Einzelteile, wie Schrauben, Dichtungsringe o.ä. dar und werden in der Regel als Zukaufteile in Großmengen bezogen.

Technologiegruppe: „Antennenmodul“		
Technologieelemente:	Einzelteile:	Stück:
Antenne	Insert	1
	Koppelsonde (Trichter)	1
	Hülse	2
	O-Ring	4
	Spannstift	8
Gehäuse	Abschlussdeckel	2
	O-Ring	4
	Zylinderschrauben	8
	...	...



Legende: Nicht-Standardteile:  Standardteile: 

Abb. 29: Template zur Aufnahme von Technologiegruppen und Einzelteilen

Relevant für den nachfolgenden Unterschritt 3.2.3.2 sind nur solche Einzelteile, die Nicht-Standardteile sind und deren Fertigbarkeit es zu überprüfen gilt, da im Rahmen einer Technologieentwicklung davon auszugehen ist, dass aufgrund neu eingesetzter Technologien auch eine Reihe von Nicht-Standardteilen auftreten werden.

Die Identifikation der Einzelteile sowie (Nicht-)Standardteile erfolgt unter der Voraussetzung, dass das Technologiekonzept bereits so detailliert geplant bzw. ausgestaltet ist, dass eine Auflistung wesentlicher Einzelteile erfolgen kann. Basis für diese Detaillierung und Ausgestaltung bilden in der Regel Demonstratoren zur Darstellung der Konzeptfunktionen. Der Aufbau von solchen Demonstratoren führt zu realitätsnahen Baugrößen, Teileangaben, ersten Geometrieabmessungen sowie Werkstoffeigenschaften und liefert dadurch grundlegende Informationen über Einzelteile und Technologiegruppen. Ist das Template in Abb. 29 gefüllt, liegt eine Liste mit allen Einzelteilen des Technologiekonzepts vor. Die Standardteile bzw. Zukaufteile werden erst wieder in Schritt 3.2.3.3 berücksichtigt.

### 7.3.2.3.2 Unterschritt 3.2.3.2: Ermittlung möglicher Fertigungsverfahren

Im Allgemeinen richtet sich die Auswahl von möglichen Fertigungsverfahren für Bauteile in der Produktentwicklung nach geforderten Maßtoleranzen, Oberflächengüten, verfügbaren Produktionsmitteln sowie Stückzahlen (vgl. Westkämper 2005, S.11). In der Technologieentwicklung liegen solche Anforderungen und Spezifikationen zumeist nicht vor oder werden erst sukzessive ermittelt. Eine vereinfachte Auswahl möglicher Fertigungsverfahren kann trotzdem vorgenommen werden, wenn erste Abschätzungen aufgrund von Demonstratoren oder Erfahrungswerte mit ähnlichen Bauteilen vorliegen.

Um Aussagen über die Fertigbarkeit des Technologiekonzepts treffen zu können, müssen für die Nicht-Standardteile aus Unterschritt 3.2.3.1 (vgl. Abb. 29) prinzipielle Fertigungsverfahren ermittelt werden. In Diskussion mit Experten aus Produktions- und Entwicklungsbereichen werden diese prinzipiellen Fertigungsverfahren bestimmt. Diese Bestimmung von Fertigungsverfahren für Einzelteilbetrachtungen lehnt gedanklich an die Fertigungstechnologieketten-Bildung von FALLBÖHMER an (vgl. Fallböhrer 2000). Bei diesem Ansatz wird in systematischer Form ermittelt, welche Fertigungsschritte notwendig sind, um ausgehend von einem Rohteil zu einem fertigen Einzelteil zu gelangen. Im vorliegenden Fall wird unter einer Technologiekette eine sequentielle Verknüpfung von produktionsmittelunabhängigen Fertigungstechnologien zur Erstellung eines Bauteils verstanden, wobei die Herstellung von Einzelteilen durch eine schrittweise Veränderung der Form bzw. Stoffeigenschaften, vom Rohzustand zum definierten Endzustand erfolgt (vgl. Moryson 2004, S. 43). Als Hilfestellung für die Identifikation der Fertigungsverfahren werden die definierten Technologiegruppen aus Unterschritt 3.2.1.1 der Technologieperspektive sowie Informationen bzgl. Werkstoffanforderungen oder potentieller Stückzahlen aus der Kundenperspektive (Kap.7.3.2.2) genutzt. Darüber hinaus werden, falls verfügbar, bei der Auswahl Angaben zu möglichen Werkstoffen, Form- und Geometrieangaben oder Anforderungen an Gestalt und Größe berücksichtigt. Um die Möglichkeiten potenzieller Fertigungsverfahren nicht bereits im Vorfeld der fertigungsbezogenen Bewertung in Unterschritt 3.2.3.3 einzuschränken, ist die Ermittlung dieser Verfahren zunächst ohne Unternehmensbezug – also wertneutral - durchzuführen. Es empfiehlt sich die in einer Expertendiskussion ermittelten Fertigungstechnologieketten und deren Alternativen je Einzelteil in eine vergleichbare sowie wieder einsetzbare Form zu bringen, vgl. Tab. 16.

### 7.3.2.3.3 Unterschritt 3.2.3.3: „Fertigungsbezogene“ Bewertung

Die fertigungsbezogene Bewertung verfolgt das Ziel sowohl die identifizierten Fertigungsverfahren pro Einzelteil zu bewerten als auch die Prüf- und Montagefähigkeit<sup>50</sup> der Technologiegruppen des Technologiekonzepts nachzuweisen. Hierfür wird eine dreistufige Bewertung vorgeschlagen:

#### **1) Bewertung der Fertigungsfähigkeit pro Technologiegruppe**

Mit Hilfe der Einzelteilliste (vgl. Abb. 29) aus Unterschritt 3.2.3.1 und den ausgewählten Fertigungsalternativen aus Unterschritt 3.2.3.2 kann an dieser Stelle eine vereinfachte Form der Nutzwertanalyse nach ZANGEMEISTER (vgl. Breiing 1997, S. 241ff) durchgeführt und somit die Bewertung der Fertigungsfähigkeit pro Technologiegruppe vorgenommen werden. Für die Durchführung der Nutzwertanalyse werden die vier Kriterien<sup>51</sup> Verfügbarkeit, Fertigbarkeit, Prozessqualität sowie Wirtschaftlichkeit zugrunde gelegt. Ebenfalls wird ein Maßzahlbereich von 0 bis 4 Bewertungspunkte eingeführt.

---

<sup>50</sup> Hinweise zur montage- und prüfgerechten Gestaltung von Systemen und Anlagen finden sich bspw. bei: (Wegener 2003 S. 390f; Ebert 2002 S. 212).

<sup>51</sup> Die Kriterien wurden für die Nutzwertanalyse ausgewählt, um sowohl unter technischen wie auch wirtschaftlichen Bedingungen die optimale Fertigbarkeit von Einzelteilen abzu prüfen; beispielhaft dargestellt an einer Wegmessenheit.

Dabei werden alle Fertigungsalternativen der Einzelteile aus Unterschritt 3.2.3.2 in die Nutzwertmatrix übertragen und deren Realisierbarkeit entsprechend bewertet.

Im Anhang 12.17 findet sich zur Verdeutlichung des Maßzahlbereichs eine entsprechende Bewertungstabelle. Jede Fertigungs-Technologieketten wird hierfür einer qualitativen Bewertung unterzogen. Ein hoher Bewertungswert der Fertigungsfähigkeit liegt vor, wenn für die Fertigung eines Einzelteils entsprechende Anlagen im Unternehmen oder bei Lieferanten zur Verfügung stehen. Gering hingegen ist der Bewertungswert der Fertigungsfähigkeit pro Fertigungs-Technologieketten, wenn die Fertigung eines Einzelteils nur über die Beschaffung von Maschinen oder Fertigungsanlagen erfolgen kann. Hervorzuheben ist, dass hier lediglich überprüft wird, ob das Unternehmen über die entsprechenden Anlagen verfügt. Es wird nicht betrachtet welche Anlage aufgrund von geometrischen Vorgaben o.ä. auszuwählen ist oder welches Werkzeug in der Anlage benötigt wird. Dem methodischen Vorgehen der Nutzwertanalyse folgend, wird die Fertigungsfähigkeit pro Einzelteil als Mittelwert aus der gewichteten Summe der Bewertungskriterien und der maximalen Kriterienausprägung bestimmt, vgl. Tab. 16. Anhand der berechneten Fertigungsfähigkeitskennwerte je Fertigungs-Technologieketten und Einzelteil können schließlich jene Alternativen mit dem höchsten Nutzwert selektiert und hierdurch die Fertigungsfähigkeit der Technologieelemente  $FF_{TE_\alpha}$  bestimmt werden.

Tab. 16: Nutzwertanalyse zur Ermittlung der Fertigungsfähigkeit FF pro Technologieelement<sup>52</sup>

Vereinfachte Nutzwertanalyse zur Ermittlung der Fertigungsfähigkeit	$TE_\alpha$	Antenne							Gehäuse				HF-Leiterplatte				
	Fragestellung: Wie gut sind die Einzelteile [Spalte] pro Technologieelement fertigbar [Zeile]?	Insert A1= Spritzgussverfahren, A2= ...		Koppelsonde A1= CNC-Bearbeitung, A2= Spritzgussverfahren & ...		Hülse A1= Spritzgussverfahren A2= Rohteil + Nachbearbeitung		Sonstiges	Abschlussdeckel A1= CNC-Verfahren A2= ...			Sonstiges	Einzelteil 1 A1= Fertigungskette xy A2= ... ...				
Bewertungsskala: 0 bis 4, keine Erfüllung bis vollständige Erfüllung	Einzelteil $E_\pi$																
Nutzwertkennziffer	G	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A1	A2	A3	A1	A1	A2	A1		
Verfügbarkeit	0,3	4	2	4	2	2	0	4		3	2	4	4		2	...	...
Fertigbarkeit	0,25	3	3	2	2	1	3	3		4	3	3	3		4	...	
Prozessqualität	0,25	4	4	3	3	3	4	3		4	4	2	4		3	...	
Wirtschaftlichkeit	0,2	2	4	2	4	3	2	2		3	4	3	2		1	...	
Summe	1	3,4	3,1	2,9	2,7	2,2	2,1	3,1		3,5	3,2	3,0	3,4		...	...	
Fertigungsfähigkeit $E_\pi$	$FF_{E_\pi}$	0,85	0,78	0,73	0,68	0,55	0,53	0,78		0,88	0,80	0,75	0,85		...	...	
Fertigungsfähigkeit $TE_\alpha$	$FF_{TE_\alpha}$	0,73 (73%)								0,87 (87%)					... (... %)		

Am Beispiel des Technologieelements „Antenne“ (vgl. Tab. 16) soll verdeutlicht werden, dass zur Fertigung der Koppelsonde das CNC-Verfahren aufgrund des höheren Nutzwerts ausgewählt werden sollte. Die Berechnung der Fertigungsfähigkeit für Technologieelemente  $FF_{TE_\alpha}$  ist nachstehend formal abgebildet:

<sup>52</sup> In der Nutzwertanalyse werden alle Einzelteile je Technologieelement aufgeführt, unabhängig davon, ob es sich um ein Standard- oder Nichtstandardteil handelt. Bei Standardteilen gibt es folglich keine Verfahrensalternativen.

$$FF_{TE_\alpha} = \frac{1}{e_\alpha} \left( \sum_{\pi=1}^{e_\alpha} FF_{E_\pi} \right)$$

(mit  $FF_{TE_\alpha}$ : gegenwärtige Fertigungsfähigkeit eines Technologieelements,  $e_\alpha$ : Anzahl an Einzelteilen in einem Technologieelement,  $FF_{E_\pi}$ : Fertigungsfähigkeit eines Einzelteils)

**Formel 12: Fertigungsfähigkeit pro Technologieelement**

Die Fertigungsfähigkeit pro Technologieelement ergibt sich demnach (vgl. Formel 12 und siehe Tab. 16) als Summe der Fertigungsfähigkeitswerte aller Einzelteile im Verhältnis zur Anzahl an Einzelteilen in einem Technologieelement. Mit diesem Ergebnis lässt sich nun auch die gegenwärtige Fertigungsfähigkeit pro Technologiegruppe darstellen. Hierzu gilt folgende Formel:

$$FF_{TG_\varepsilon} = \frac{1}{s_\varepsilon} \left( \sum_{\alpha=1}^{s_\varepsilon} FF_{TE_\alpha} \right)$$

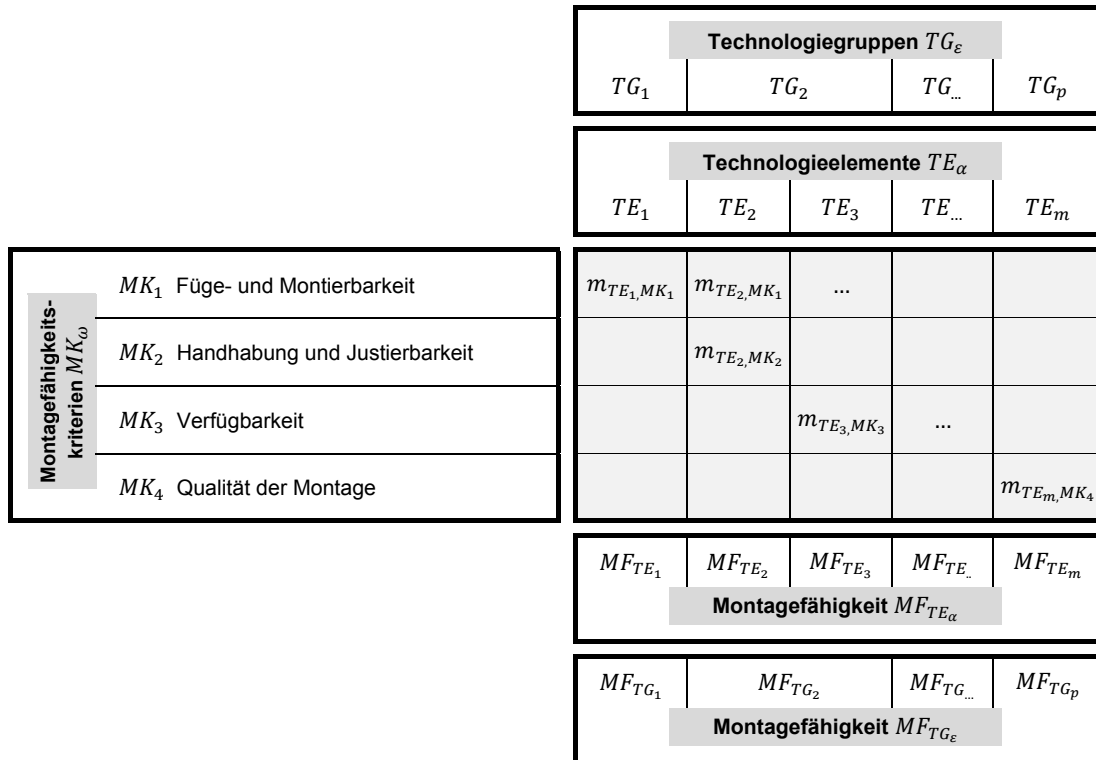
(mit  $FF_{TG_\varepsilon}$ : gegenwärtige Fertigungsfähigkeit einer Technologiegruppe,  $s_\varepsilon$ : Anzahl an Technologieelementen in einer Technologiegruppe,  $FF_{TE_\alpha}$ : Fertigungsfähigkeit eines Technologieelements)

**Formel 13: Fertigungsfähigkeit pro Technologiegruppe**

Die Fertigungsfähigkeit pro Technologiegruppe kann durch die Mittelwertbildung der Fertigungsfähigkeitskennwerte zugehöriger Technologieelemente sowie der Anzahl an Technologieelementen pro Technologiegruppe ermittelt werden. Bei Änderungen in Bezug auf Fertigungsverfahren kann die vorgestellte Nutzwertanalyse wiederholt durchgeführt und eine erneute Berechnung der Fertigungsfähigkeit pro Technologiegruppe vorgenommen werden.

**2) Bewertung der Montagefähigkeit pro Technologiegruppe**

In Erweiterung zur Fertigungsfähigkeit folgt an dieser Stelle die Bewertung der Montagefähigkeit für Technologiegruppen. Ziel ist es im Rahmen der Fertigungsperspektive zu ermitteln, welche Montagemöglichkeiten sich für die Technologiegruppen des Technologiekonzepts bieten bzw. welche Schritte unternommen werden sollten, um die Montagefähigkeit für eine spätere Produktentwicklung zu steigern. Als Montagefähigkeit ist im vorliegenden Fall die prinzipielle Montierbarkeit als auch Handhabbarkeit der Technologiegruppen eines Technologiekonzepts unter Berücksichtigung bekannter Montageschritte oder –systeme zu verstehen. Zur Bestimmung der Montagefähigkeit pro Technologiegruppe wird abermals auf das HoT zurückgegriffen. Im Matrixaufbau sind die Technologieelemente bzw. Technologiegruppen für die Bewertung den vier definierten Kriterien Füge- und Montierbarkeit, Handhabungs-, Justier- und Kontrollfunktionen, Verfügbarkeit und schließlich Qualität gegenübergestellt, vgl. Abb. 30. Im Dialog mit Experten aus der Fertigung und ggf. mit Hilfe von Ideenfindungsmethoden werden die Montagemöglichkeiten der einzelnen Technologiegruppen zunächst diskutiert und dadurch eine Basis zur Bewertung geschaffen. Für die sich anschließende Beurteilung nutzen die Fertigungsexperten qualitative Kriterien einer vordefinierten Bewertungstabelle (vgl. Anhang 12.17) mit einem Maßzahlbereich von 0 bis 4 Bewertungspunkte. Die aus der Tabelle ermittelten Montagefähigkeitsfaktoren  $m_{TE_\alpha, MK_\omega}$  je Technologieelement und Bewertungskriterium werden in den Matrixaufbau übertragen, um letztlich die Montagefähigkeit je Technologieelement  $MF_{TE_\alpha}$  bzw. je Technologiegruppe  $MF_{TG_\varepsilon}$  zu ermitteln.



**Abb. 30: Prinzip zur Bewertung der Montagefähigkeit pro Technologiegruppe**

Die Berechnung der Montagefähigkeit für Technologieelemente  $MF_{TE_\alpha}$  in Bezug auf Abb. 30 ist formal abgebildet durch:

$$MF_{TE_\alpha} = \frac{1}{\sum m_{TE_\alpha, MK_\omega, max}} \left( \sum_{\omega=1}^4 m_{TE_\alpha, MK_\omega} \right)$$

(mit  $MF_{TE_\alpha}$ : Montagefähigkeit eines Technologieelements,  $m_{TE_\alpha, MK_\omega}$ : Montagefähigkeitsfaktor pro Montagefähigkeitskriterium,  $m_{TE_\alpha, MK_\omega, max}$ : maximaler Montagefähigkeitsfaktor pro Montagefähigkeitskriterium)

**Formel 14: Berechnung der Montagefähigkeit pro Technologieelement**

Die Montagefähigkeit pro Technologieelement berechnet sich demnach aus dem Mittelwert der Montagefähigkeitsfaktoren  $m_{TE_\alpha, MK_\omega}$  je Kriterium sowie den Maximalwerten der Montagefähigkeitsfaktoren  $m_{TE_\alpha, MK_\omega, max}$ . Auf dieser Basis kann schließlich wiederum eine Aggregation zu den Technologiegruppen vorgenommen werden. Hierzu gilt nachfolgende Formel:

$$MF_{TG_\varepsilon} = \frac{1}{s_\varepsilon} \left( \sum_{\alpha=1}^{s_\varepsilon} MF_{TE_\alpha} \right)$$

(mit  $MF_{TG_\varepsilon}$ : Montagefähigkeit einer Technologiegruppe,  $s_\varepsilon$ : Anzahl an Technologieelementen einer Technologiegruppe,  $MF_{TE_\alpha}$ : Montagefähigkeit eines Technologieelements)

**Formel 15: Berechnung der Montagefähigkeit pro Technologiegruppe**

Die Montagefähigkeit einer Technologiegruppe wird durch die Summe an Montagefähigkeitsgrößen zugehöriger Technologieelemente im Verhältnis zur Anzahl an Technologieelementen einer Technologiegruppe errechnet. Analog dem Vorgehen bei der Nutzwertanalyse des vorigen Abschnitts kann auch hier nach Bedarf eine erneute Berechnung der Montagefähigkeit je Technologiegruppe erfolgen. Basis für die Bewertung bildet die vordefinierte Bewertungstabelle aus Anhang 12.20 sowie Tab. 17.

### 3) Bewertung der Prüffähigkeit pro Technologiegruppe

Neben der Montagefähigkeit soll letztlich ebenfalls bewertet werden, welche Herausforderungen in Bezug auf die Prüffähigkeit von Technologiegruppen eines Technologiekonzepts entstehen können. An dieser Stelle ist hervorzuheben, dass die Bewertung der Prüffähigkeit für Technologiegruppen bewusst - aufgrund möglicher organisatorischer Unterschiedlichkeiten von Versuch und Fertigung in Unternehmen - von der Montagefähigkeitsbewertung getrennt wurde, in der Bewertung aber analog zu verstehen ist. Aus diesem Grund wird ebenfalls im Austausch mit Experten aus dem Versuch unter Nutzung des HoT ermittelt, welche Peripherie und Prüftechnik für Versuche bereitzustellen sind. Die Prüffähigkeit im Matrixaufbau des HoT berechnet sich aus den Kriterien Verfügbarkeit, Know-How, Besorgbarkeit und Qualität, vgl. Abb. 31. Auch hier liegt wie bei den vorigen beiden Schritten bereits auch ein vordefinierter Maßzahlbereich von 0 bis 4 Punkte sowie eine Bewertungstabelle zur qualitativen Bewertung zugrunde, vgl. Anhang 12.17. Eine hohe Prüffähigkeit ist zu erwarten, wenn die Technologiegruppen des Technologiekonzepts mit bestehenden Mess-Systemen geprüft werden und die Messungen zuverlässige Ergebnisse liefern können. Dahingegen ist eine geringe Prüffähigkeit zu erwarten, wenn komplexe Messverfahren zur Prüfung beschafft und beherrscht werden müssen.

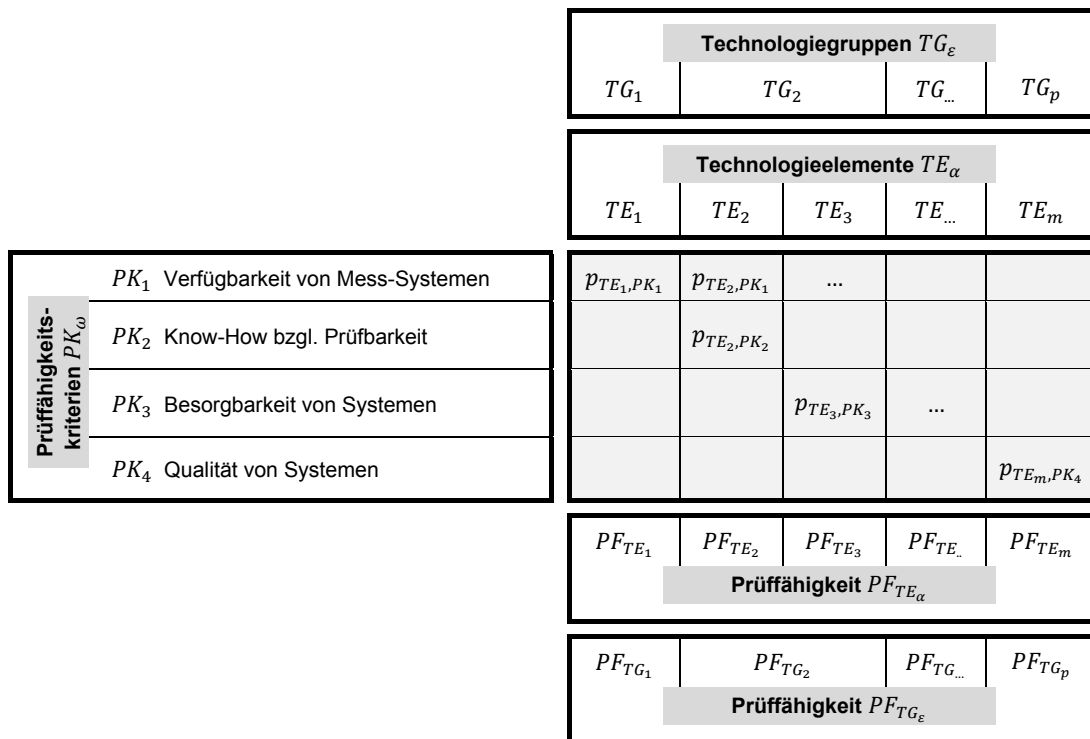


Abb. 31: Prinzip zur Bewertung der Prüffähigkeit pro Technologiegruppe

Formal kann die Prüffähigkeit für Technologieelemente  $PF_{TE_\alpha}$ , unter Berücksichtigung von Abb. 31, wie folgt dargestellt werden:

$$PF_{TE_\alpha} = \frac{1}{\sum_{\omega=1}^4 p_{TE_\alpha, PK_\omega, max}} \left( \sum_{\omega=1}^4 p_{TE_\alpha, PK_\omega} \right)$$

(mit  $PF_{TE_\alpha}$ : Prüffähigkeit eines Technologieelements,  $p_{TE_\alpha, PK_\omega}$ : Prüffähigkeitsfaktor pro Prüffähigkeitskriterium,  $p_{TE_\alpha, PK_\omega, max}$ : maximaler Prüffähigkeitsfaktor pro Prüffähigkeitskriterium)

#### Formel 16: Berechnung der Prüffähigkeit pro Technologieelement

Die Prüffähigkeit pro Technologieelement ergibt sich demnach (vgl. Formel 16) als Summe der Prüffähigkeitsfaktoren  $p_{TE_\alpha, PK_\omega}$  aller Kriterien pro Technologieelement im Verhältnis zu maximalen Prüffähigkeitsfaktoren  $p_{TE_\alpha, PK_\omega, max}$ . Mit diesem Ergebnis lässt sich nun abschlie-

ßend die gegenwärtige Prüffähigkeit pro Technologiegruppe  $PF_{TG_\varepsilon}$  darstellen. Hierzu gilt folgende Formel:

$$PF_{TG_\varepsilon} = \frac{1}{s_\varepsilon} \left( \sum_{\alpha=1}^{s_\varepsilon} PF_{TE_\alpha} \right)$$

(mit  $PF_{TG_\varepsilon}$ : Prüffähigkeit einer Technologiegruppe,  $s_\varepsilon$ : Anzahl an Technologieelementen einer Technologiegruppe,  $PF_{TE_\alpha}$ : Prüffähigkeit eines Technologieelements)

**Formel 17: Berechnung der Prüffähigkeit pro Technologiegruppe**

Im Rahmen der fertigungsbezogenen Tauglichkeitsprüfung ist davon auszugehen, dass in der Technologieentwicklung nur die wesentlichen Grundaspekte der Prüffähigkeit ermittelt werden können. Weitergehende Betrachtungen oder Überprüfungen sollten letztlich im Rahmen einer Produktentwicklung erfolgen. Für eine wiederholbare Ermittlung der Prüffähigkeit im Entwicklungsverlauf kann auf die zusammenfassende Bewertungstabelle aus Anhang 12.20 oder zur Betrachtung von Gültigkeitsgrenzen auf Tab. 17 zurückgegriffen werden.

**Tab. 17: Berechnungsmodell für die Fertigungsperspektive**

Bezeichnung	Formelzeichen und Berechnung	Erläuterung
Einzelteil	$E_\pi$	mit $\pi = 1, \dots, t$ $t =$ Anzahl der Einzelteile
Anzahl an Einzelteilen pro Technologieelement	$e_\alpha$	mit $e_\alpha \in \mathbb{N}$
Fertigungsfähigkeit eines Einzelteils $E_\pi$	$FF_{E_\pi}$	mit $FF_{E_\pi} \in \mathbb{R}_0^+$
Fertigungsfähigkeit eines Technologieelements	$FF_{TE_\alpha}$	mit $\{FF_{TE_\alpha} \in \mathbb{R}   0 \leq FF_{TE_\alpha} \leq 1\}$
Fertigungsfähigkeit einer Technologiegruppe	$FF_{TG_\varepsilon}$	mit $\{FF_{TG_\varepsilon} \in \mathbb{R}   0 \leq FF_{TG_\varepsilon} \leq 1\}$
Montagefähigkeitsfaktor	$m_{TE_\alpha, MK_\omega}$	mit $m_{TE_\alpha, MK_\omega} \in \{0; 1; 2; 3; 4\}$
Montagefähigkeit eines Technologieelements	$MF_{TE_\alpha}$	mit $\{MF_{TE_\alpha} \in \mathbb{R}   0 \leq MF_{TE_\alpha} \leq 1\}$
Montagefähigkeit einer Technologiegruppe	$MF_{TG_\varepsilon}$	mit $\{MF_{TG_\varepsilon} \in \mathbb{R}   0 \leq MF_{TG_\varepsilon} \leq 1\}$
Prüffähigkeitsfaktor	$p_{TE_\alpha, PK_\omega}$	mit $p_{TE_\alpha, PK_\omega} \in \{0; 1; 2; 3; 4\}$
Prüffähigkeit eines Technologieelements	$PF_{TE_\alpha}$	mit $\{PF_{TE_\alpha} \in \mathbb{R}   0 \leq PF_{TE_\alpha} \leq 1\}$
Prüffähigkeit einer Technologiegruppe	$PF_{TG_\varepsilon}$	mit $\{PF_{TG_\varepsilon} \in \mathbb{R}   0 \leq PF_{TG_\varepsilon} \leq 1\}$

#### 7.3.2.3.4 Unterschritt 3.2.3.4: Fertigungsbezogene Reifegradbewertung

An dieser Stelle werden, unter Berücksichtigung der vorhergehenden Schritte 3.2.3.1 bis 3.2.3.3, die Fähigkeitsgrade der Fertigungs-, Montage- sowie Prüffähigkeit zusammengeführt, um schließlich einen fertigungsbezogenen Reifegrad für die Fertigungsperspektive zu ermitteln. Für die Berechnung wird die nachfolgende Formel 18 herangezogen:

$$RGF_{TG_\varepsilon} = \frac{FF_{TG_\varepsilon} + MF_{TG_\varepsilon} + PF_{TG_\varepsilon}}{3} \cdot 100$$

(mit  $RGF_{TG_\varepsilon}$ : fertigungsbezogener Reifegrad einer Technologiegruppe in [%],  $FF_{TG_\varepsilon}$ : Fertigungsfähigkeit einer Technologiegruppe,  $MF_{TG_\varepsilon}$ : Montagefähigkeit einer Technologiegruppe,  $PF_{TG_\varepsilon}$ : Prüffähigkeit einer Technologiegruppe)

##### Formel 18: Reifegrad einer Technologiegruppe aus fertigungsbezogener Sichtweise

So berechnet sich die fertigungsbezogene Reife  $RGF_{TG_\varepsilon}$  pro Technologiegruppe anteilig aus ihrer Fertigungsfähigkeit  $FF_{TG_\varepsilon}$ , Montagefähigkeit  $MF_{TG_\varepsilon}$  sowie Prüffähigkeit  $PF_{TG_\varepsilon}$ . Eine hohe fertigungstechnische Reife ist damit gleichzusetzen, dass entsprechende Fertigungsverfahren für Einzelteile verfügbar und beherrscht werden sowie deren Montage- und Prüffähigkeit gesichert ist. Ein niedriger fertigungstechnischer Reifegrad bedeutet, dass entsprechende Fertigungsverfahren nicht verfügbar sind, eventuell Kompetenzen im Bereich der Prüftechnik aufzubauen sind oder gegenwärtig die Montagefähigkeit nicht gewährleistet werden kann. Tab. 17 bietet für die Reifegradberechnung in der Fertigungsperspektive nochmals eine entsprechende Übersicht.

Ergebnis der Fertigungsperspektive sind ausgewählte Fertigungsverfahren zur Herstellung der Technologiegruppen, eine Überprüfung der Montage- und Prüffähigkeit sowie eine fertigungsbezogene Reifegradschätzung pro Technologiegruppe. Input erhält die Perspektive durch die Technologieperspektive sowie Kundenperspektive. Aus dem HoT der Technologieperspektive fließen Informationen bzgl. eingesetzter Technologiegruppen an die fertigungstechnische Bedarfsanalyse (Unterschritt 3.2.3.1). Aus der Kundenperspektive können Anforderungen in die Fertigungsperspektive fließen und dort Informationen über mögliche Werkstoffanforderungen, Oberflächenbeschaffenheiten o.ä. liefern. Diese Anforderungen sind als zusätzliche Eingangsinformationen aufzufassen und keine notwendige Bedingung für die Bewertung innerhalb der Fertigungsperspektive. Eine Bewertung kann also auch ohne ein Vorliegen von Lead-User-Anforderungen oder das Vorliegen von Marktdaten erfolgen. Die Ergebnisse der Fertigungsperspektive liefern sowohl wichtige Eingangsinformationen für die Wirtschaftlichkeitsperspektive als auch Rückkopplungen an die Technologieperspektive. Die Ergebnisse der fertigungstechnischen Bedarfsanalyse liefern insbesondere Basisinformationen für eine Kapitalwertermittlung in Kap. 7.3.2.4.4 der Wirtschaftlichkeitsperspektive.

#### 7.3.2.4 Teilschritt 3.2.4: Wirtschaftlichkeitsperspektive

Ziel der Wirtschaftlichkeitsperspektive ist es die wirtschaftliche Attraktivität von Technologiekonzepten für Technologieanbieter zu ermitteln, um dadurch einen wirtschaftlichkeitsbezogenen Tauglichkeitsnachweis zu erbringen. Für die Ermittlung sind neben Preisforderungen des Marktes oder potenzieller Kunden auch Aufwendungen und Herstellkosten des Unternehmens in gleicher Weise zu berücksichtigen. Aus diesem Grund wird die Wirtschaftlichkeitsperspektive in eine markt- und unternehmensbezogene Betrachtung differenziert. In der marktbezogenen Betrachtung sind Preisvorstellungen bzw. maximale Preise für Applikationen oder Anwendungen zu berücksichtigen. Wohingegen in der unternehmensbezogenen Betrachtung die tatsächlich entstehenden Kosten und Investitionen für Technologiekonzepte zu berücksichtigen sind.

Um die Bewertungsaufgaben der Wirtschaftlichkeitsperspektive zu erfüllen, wird ein Vorgehen aus fünf Schritten unter Nutzung des House of Technology sowie des Target-Costing<sup>53</sup> als Methodenbausteine gewählt. Wie bereits in Kap. 5.2.2 gezeigt, bietet gerade das House of Technology notwendigen Detaillierungsgrad für die eingesetzten Technologien eines Technologiekonzepts und sichert durch seine Matrixstruktur einen bewertungsbasierten Zugang. An dieser Stelle wird das House of Technology genutzt, um Technologiekonzepte auf deren funktionale Kosten hin zu untersuchen. Als zweiter Methodenbaustein wird das Target Costing (i.S. einer Zielkostenbestimmung für Technologiekonzepte) eingesetzt, da es als market-pull getriebener Ansatz das Ziel verfolgt in einem systematisch-funktionalen Vorgehen die Kostenstrukturen zu entwickelnder Produkte an Marktanforderungen sowie Kundenwünschen auszurichten (Schmeisser und Solte 2010b, S. 64; Dinger 2002, S. 7). Das Target Costing wird an dieser Stelle eingesetzt, um die durch Lead-User ermittelten Anforderungen hinsichtlich Funktionalitäten und Kosten in eine Preisbereitschaft für Technologiekonzepte zu übersetzen und schließlich durch eine Gegenüberstellung ermittelter markt- wie auch unternehmensbezogener Kosten einen wirtschaftlichkeitsbezogenen Reifegrad zu bestimmen. Das Target Costing bietet als eines der wenigen analysierten Verfahren (vgl. Anhang 12.19) die Möglichkeit einer direkten Angliederung an das House of Technology. Andere für die Wirtschaftlichkeitsperspektive analysierte Wirtschaftlichkeitsmethoden wurden aufgrund ihres fehlenden Funktionsbezugs sowie fehlender Kombinierbarkeit mit dem HoT ausgeschlossen.

Die Wirtschaftlichkeitsperspektive umfasst für die marktbezogene Betrachtung eine kundenbezogene Kostenschätzung für das Technologiekonzept (Unterschritt 3.2.4.1) sowie eine Kostenschätzung auf Technologiegruppenebene (Unterschritt 3.2.4.2). Demgegenüber steht die unternehmensbezogene Betrachtung mit einer Kostenermittlung auf Technologiegruppenebene zum gegenwärtigen Entwicklungszeitpunkt (Unterschritt 3.2.4.3) sowie einer Kapitalwertbetrachtung (Unterschritt 3.2.4.4) für das Technologiekonzept. Auf Basis dieser ermittelten Markt- und Unternehmensgrößen erfolgt ein Kostenvergleich (Unterschritt 3.2.4.5) sowie eine Bestimmung des wirtschaftlichkeitsbezogenen Reifegrads. Die Vorgehensweise für die Wirtschaftlichkeitsperspektive ist in der nachfolgenden Abb. 32 dargestellt.

---

<sup>53</sup> Der Methodenbaustein „Target Costing“ wird für die Wirtschaftlichkeitsperspektive so genutzt, dass die Vorgehensweise zur Zielkostenbestimmung herausgegriffen wird, um ausgehend von einem Zielpreis die funktionsbezogenen Kosten aufzuspalten und in deren Erfüllung zu überprüfen (vgl. Kap. 4.2).

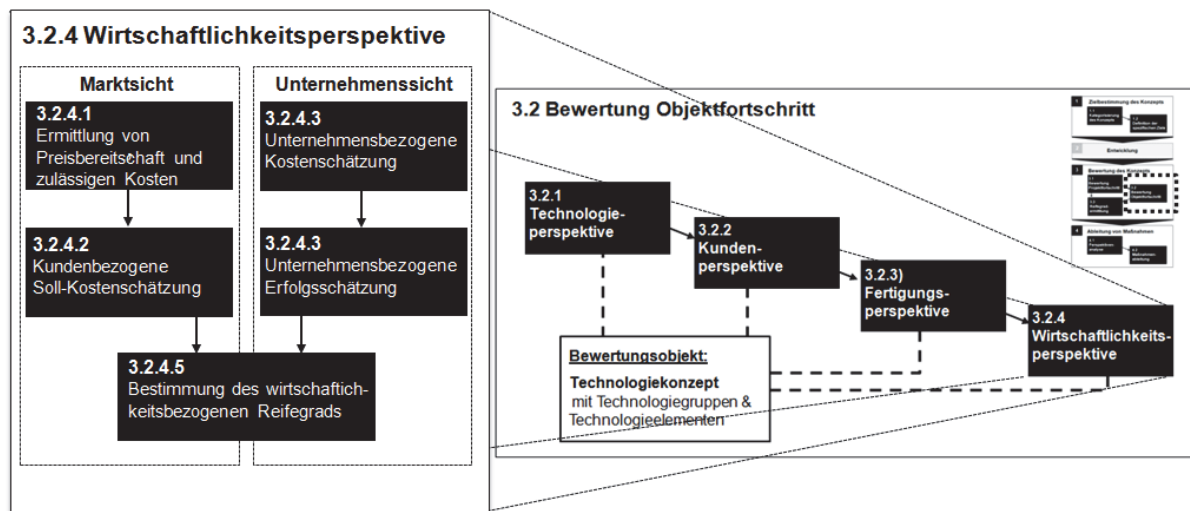


Abb. 32: Vorgehen in der Wirtschaftlichkeitsperspektive

#### 7.3.2.4.1 Unterschritt 3.2.4.1: Ermittlung von Preisbereitschaft und zulässigen Kosten

Um die Wirtschaftlichkeit eines Technologiekonzepts einzuschätzen ist es notwendig, die Preisbereitschaft<sup>54</sup> aus Marktsicht zu ermitteln (Unterschritt 3.2.4.1) und auf Technologiegruppen zu übertragen (Unterschritt 3.2.4.2). Die bereits in der Kundenperspektive (vgl. Kap. 7.3.2.2) einbezogenen Lead-User werden an dieser Stelle auf ihre Preisbereitschaft hin befragt. Im Rahmen dieser Befragung wird unter Einbezug von Experten<sup>55</sup> des Unternehmens gemeinsam mit den Lead-Usern eine Preisgrenze für das Technologiekonzept formuliert. Die definierte Preisgrenze<sup>56</sup> wird anschließend durch die Experten in eine Kostengrenze, an dieser Stelle als Herstellkosten  $HKM_{TK}$  des Marktes zu verstehen, übersetzt. Bei der Übersetzung der Preisgrenze ist darauf zu achten, dass:

- die Preisbereitschaft der Lead-User als Kaufpreis aufgefasst wird,
- Fertigungs- und Montagekosten berücksichtigt werden,
- Investitionen aufgrund von Fertigungsanlagen einberechnet werden sowie
- aufgrund von Unsicherheiten und Risiken einer Technologieentwicklung auch die Einschätzung der Preisgrenze durch die Kunden schwanken kann.

Bei der Übersetzung werden überschlägig ermittelte Abzüge in Form einer retrograden Kalkulation - basierend auf dem Target Costing Ansatz - von der Preisgrenze abgezogen. Gleichzeitig werden dabei Unsicherheiten über Preisauskunft und Preisbereitschaft berücksichtigt. Die überschlägigen Abzüge können durch Analogiebetrachtungen, der Nutzung von Kostenformeln oder empirischen Auswertungen von vorhandenen Daten und Informationen zum Technologiekonzept und unter Einbezug von Expertenmeinungen ermittelt werden. Die Expertenschätzung ist ein in der Praxis häufig eingesetztes Schätzverfahren (vgl. Moløkken und Jørgensen 2003). Die retrograde Kalkulation ermöglicht es, ausgehend von der Preisgrenze der Lead-User die zulässigen Kosten für ein Technologiekonzept zu ermitteln und so bereits frühzeitig die marktbezogene Sichtweise in der Technologieentwicklung einzubeziehen. Hierbei wird im Vergleich zu progressiven Kalkulationsverfahren von der marktbezoge-

<sup>54</sup> Dieser Grenzwert zur Wirtschaftlichkeitsbeurteilung soll eine maximale Preisgrenze darstellen, welcher durch Lead-User Befragungen oder bereits bekannte Markt- und Kundenbedürfnisse definiert wurde.

<sup>55</sup> Für die Ermittlung der Kostengrenze sollten sowohl Marktexperten als auch Experten aus der Entwicklung eingebunden werden.

<sup>56</sup> Die Preisgrenze stellt den maximalen Preis dar, welche potenzielle Kunden bereit sind für eine Technologieentwicklung zu bezahlen (vergleichbar mit dem Target Costing-Ansatz).

nen Preisgrenze die Gewinnmarge abgezogen, um einen marktbezogenen Herstellkostenwert zu erhalten. Handelt es sich beim betrachteten Technologiekonzept um eine Substitutionsentwicklung (vgl. Kap. 3.1.2), wird keine Befragung der Preisbereitschaft von Lead-Usern durchgeführt. Da bei einer Substitutionsentwicklung eine marktbezogene Kostengrenze (Herstellkosten des Substituts) bereits durch die Substitutionsanwendung vorgegeben ist und im Rahmen der Zielsetzung, siehe Teilschritt 1.2 und vgl. Kap. 7.1.2, für das Technologiekonzept definiert wurde. Die Herstellkosten des Substituts sind dann mit den Soll-Herstellkosten aus Marktsicht gleichzusetzen.

Durch die Ermittlung solcher Kostengrenzen wird ein erster Referenzwert für die Wirtschaftlichkeit geschaffen und dieser im Unterschritt 3.2.4.5 für einen Kostenvergleich herangezogen. Ergebnis dieses Unterschritts sind ermittelte Soll-Herstellkosten  $HKM_{TK}$  für das Technologiekonzept aus Sicht des Marktes.

#### 7.3.2.4.2 Unterschritt 3.2.4.2: Kundenbezogene Soll-Kostenschätzung für $TG_\varepsilon$

Nachdem eine Kostengrenze aus Marktsicht für das Technologiekonzept ermittelt ist, wird an dieser Stelle eine Aufspaltung der Herstellkosten  $HKM_{TG_\varepsilon}$  auf Technologiegruppenebene<sup>57</sup> vorgenommen. Diese Kostenaufspaltung wird vorzugsweise von Experten des Unternehmens vorgenommen. Sie verfügen über Fachkenntnisse in Bezug auf Kostenverteilung und Kostentreiber im Technologiekonzept und sind mit Einzelheiten wie Technologiegruppen- und Einzelteilaufgliederung betraut. Unterstützend wird für die Kostenaufspaltung erneut ein House of Technology eingesetzt. Dieser Einsatz des HoT, vgl. Abb. 33 ermöglicht den Experten einen direkten Bezug zwischen gewichteten Funktionen, Technologieelementen und Kosten herzustellen und vereinfacht dadurch die Ermittlung der kundenbezogenen Kostenschätzung, welche im Wesentlichen auf einem Funktionskostenansatz basiert.

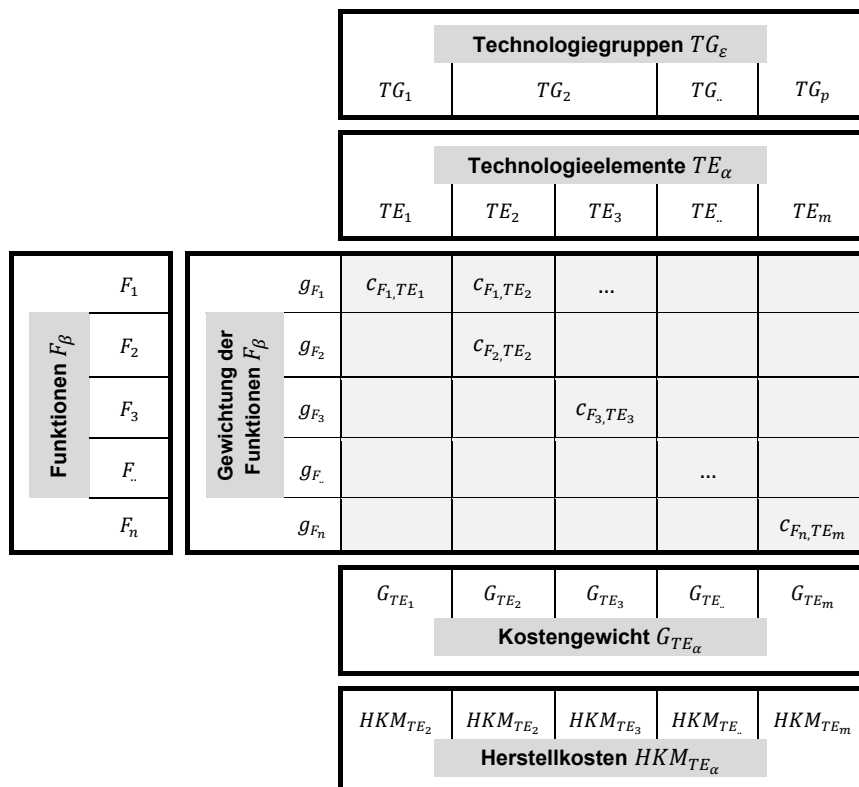


Abb. 33: Prinzip zur Ermittlung von Herstellkosten aus Marktsicht

<sup>57</sup> Eine Abschätzung von Herstellkosten auf Technologiegruppenebene ist unabhängig vom Entwicklungsschwerpunkt (Neuentwicklung oder Substitutionsentwicklung) und daher in gleicher Weise durchzuführen.

Für die Ermittlung der Herstellkosten auf Technologiegruppenebene wird das HoT aus Abb. 33 herangezogen und parallel dazu das Berechnungsmodell nach Tab. 18 angewendet. So berechnet sich der gegenwärtige Herstellkostenwert  $HKM_{TG_\varepsilon}$  einer Technologiegruppe aus der Summe der Herstellkosten zugehöriger Technologieelemente  $HKM_{TE_\alpha}$ . Zur Ermittlung der Größen und Kostenwerte werden die bereits festgelegten Funktionen  $F_\beta$  sowie Gewichtungen der Funktionen  $g_{F_\beta}$  als auch die Beziehungen  $b_{F_\beta, TE_\alpha}$  aus dem HoT der Technologieperspektive entnommen, vgl. Kap. 7.3.2.1.1, und für die Funktionskostenermittlung zugrunde gelegt. Zunächst ist im Kern der Matrix der jeweilige Kostengewichtungsfaktor  $c_{F_\beta, TE_\alpha}$  je Funktion und Technologieelement rechnerisch zu ermitteln und aufzunehmen. Basis für die Berechnung bilden die Funktionsgewichtungen  $g_{F_\beta}$  und die jeweilige Beziehung  $b_{F_\beta, TE_\alpha}$  zwischen der betrachteten Funktion und dem einflussnehmenden Technologieelement. Mit Hilfe der übertragenen Daten kann hinterher spaltenweise die Kostengewichtung  $G_{TE_\alpha}$  pro Technologieelement ermittelt und normiert werden. Anhand dieser Werte lassen sich dann spaltenweise die Herstellkosten  $HKM_{TE_\alpha}$  je Technologieelement berechnen, indem ein von Experten ermittelter Herstellkostenwert  $HKM_{TK}$  für das Technologiekonzept mit dem Kostengewichtungswert  $G'_{TE_\alpha}$  des jeweiligen Technologieelements multipliziert wird. Schließlich kann auf Basis der Herstellkosten je Technologieelement eine Kostenberechnung der Technologiegruppen  $HKM_{TG_\varepsilon}$  gewährleistet werden, vgl. Abb. 33 sowie Tab. 18.

Tab. 18: Berechnungsmodell zur wirtschaftlichkeitsbezogenen Kostenschätzung

Bezeichnung	Formelzeichen und Berechnung	Erläuterung
Technologiekonzept	$TK$	[-]
Herstellkosten des Markts für das Technologiekonzept	$HKM_{TK}$	[€]
Kostengewichtungsfaktor	$c_{F_\beta, TE_\alpha} = g_{F_\beta} \cdot b_{F_\beta, TE_\alpha}$	mit $c_{F_\beta, TE_\alpha} \in IR_0^+$
Kostengewichtung eines Technologieelements	$G_{TE_\alpha} = \sum_{\beta=1}^n c_{F_\beta, TE_\alpha}$	mit $G_{TE_\alpha} \in IR$ und $n = \text{Anzahl der Funktionen}$
Normierte Kostengewichtung eines Technologieelements	$G'_{TE_\alpha} = \frac{G_{TE_\alpha}}{\sum_{\alpha=1}^m G_{TE_\alpha}}$	mit $G'_{TE_\alpha} \in IR_0^+$
Marktbezogene Herstellkosten eines Technologieelements	$HKM_{TE_\alpha} = G'_{TE_\alpha} \cdot HKM_{TK}$	[€]
Marktbezogene Herstellkosten einer Technologiegruppe	$HKM_{TG_\varepsilon} = \sum_{\alpha=1}^{s_\varepsilon} HKM_{TE_\alpha}$	mit $s_\varepsilon = \text{Anzahl an Technologieelementen pro Technologiegruppe}$

An dieser Stelle sei noch darauf hingewiesen, dass die im HoT (vgl. Abb. 33) durchgeführte Kostenaufspaltung unabhängig von den real entstandenen Herstellkosten im Unternehmen ist und lediglich die Sicht des Marktes und dessen Kostenbereitschaft für die Technologiegruppen widerspiegeln soll. Als Ergebnis der Kostenaufspaltung sind übertragene Herstellkosten auf Technologiegruppen (Marktbezogene Herstellkosten einer Technologiegruppe)  $HKM_{TG_\varepsilon}$  aus Sicht des Markts festzuhalten. Die  $HKM_{TG_\varepsilon}$  werden für eine anschließende Gegenüberstellung in Unterschritt 3.2.4.5 wieder aufgegriffen. Die marktbezogene Kostenschätzung (Unterschritt 3.2.4.1 sowie 3.2.4.2) wird im Rahmen dieser Vorgehensweise einmalig durchgeführt. Grund ist die Annahme, dass sich die Kostenvorstellungen von Kunden während einer so frühen Entwicklungsphase zunächst nicht ändern.

#### 7.3.2.4.3 Unterschritt 3.2.4.3: Unternehmensbezogene Kostenschätzung

Nachdem die marktbezogenen Preisvorstellungen und Herstellkosten ermittelt wurden, folgt in diesem Unterschritt eine unternehmensbezogene Kostenschätzung. Ziel ist es, die tatsächlich entstehenden Herstell- und Montagekosten für die Technologiegruppen des Technologiekonzepts zu ermitteln. Für die unternehmensbezogene Kostenschätzung werden die Herstellkosten für Technologiegruppen mit gegenwärtig vorliegenden Fertigungsinformationen (siehe Kap. 7.3.2.3) und zum momentanen Entwicklungszeitpunkt ermittelt. Die entsprechenden Fertigungsinformationen, wie mögliche Fertigungsverfahren und –schritte werden hierfür aus Schritt 3.2.3 (vgl. Kap. 7.3.2.3) aufgegriffen. Des Weiteren liefern die gebildeten Fertigungsketten Auskunft über die Einzelteile und Anzahl einer Technologiegruppe. Für jede Technologiegruppe wird ein Herstellkostenwert anhand nachstehender Formel 19 berechnet, vgl. hierzu beispielsweise (Hans 2002, S. 186). Dabei beschränkt sich die Kostenermittlung auf eine reine Herstellkostenbetrachtung der Produktion, es werden weder Entwicklungskosten noch Bestandsminderungen oder –mehrun-gen<sup>58</sup> sowie Verwaltungskosten in Form von Selbstkosten berücksichtigt.

$$HKU_{TG_\epsilon} = FE_{TG_\epsilon} + FA_{TG_\epsilon} + ME_{TG_\epsilon} + MG_{TG_\epsilon}$$

(mit  $HKU_{TG_\epsilon}$ : unternehmensbezogener Herstellkostenwert einer Technologiegruppe,  $FE_{TG_\epsilon}$ : Fertigungseinzelkosten,  $FA_{TG_\epsilon}$ : Fertigungsgemeinkosten,  $ME_{TG_\epsilon}$ : Materialeinzelkosten,  $MG_{TG_\epsilon}$ : Materialgemeinkosten)

#### Formel 19: Berechnung des Herstellkostenwerts einer Technologiegruppe

Die Herstellkostenermittlung auf Technologiegruppenebene ist nur dann sinnvoll durchführbar, wenn innerhalb des Schritts 3.2.3 wesentliche Angaben zu Fertigungsschritten und Anlagen vorliegen. Andernfalls ist auf die entwickelte Wirtschaftlichkeits-Checkliste im Anhang 12.18 zurückzugreifen und eine qualitative Wirtschaftlichkeitsermittlung durchzuführen<sup>59</sup>. Nachfolgend wird das Vorgehen zur quantitativen Ermittlung der Wirtschaftlichkeitskenngrößen beschrieben.

Bei Vorlage aller Fertigungsinformationen nehmen Experten des Unternehmens die Herstellkostenermittlung anhand oben aufgeführter Formel 19 vor. Dabei werden ebenfalls Fremdbezugsteile mit ihren anfallenden Kosten zugerechnet bzw. formal berücksichtigt.

Neben den Herstellkosten sind auch anfallende Montagekosten für die Erstellung der betrachteten Technologiegruppe mit einzurechnen. Diese Zurechnung von Montagekosten wird mit Hilfe des Stufenkalkulationsverfahrens (vgl. Fandel 2004, S. 195) durchgeführt. Mit diesem Verfahren lassen sich Herstell- und Montagekosten mehrteiliger Produkte berechnen. Im Vergleich zu anderen Kalkulationsverfahren wird hier eine mehrstufige Fertigung von Eigen- und Fremdbezugsteilen sowie unterschiedlichen Subsystemen technischer Objekte berücksichtigt (vgl. Fandel 2004, S. 194). Im vorliegenden Fall wird die Stufenkalkulation zur Bewertung von Technologiegruppen herangezogen. Die entsprechenden Abschätzungen und Informationen über Montagekosten werden dem Teilschritt 3.2.3 entnommen bzw. im Austausch mit Experten der Fertigung Montageschritte sowie –aufwand pro Technologiegruppe abgeschätzt. Somit ergeben sich unter Berücksichtigung der Montage die unternehmensbezogenen Kosten pro Technologiegruppe, durch Formel 20:

---

<sup>58</sup> Bestandsmehrun-gen und –minderungen sind nur dann zu berücksichtigen, wenn es sich um eine Produktentwicklung handelt und die Voraussetzungen für Bestandsänderungen gegeben sind. Bei der Tauglichkeitsprüfung von Technologieentwicklungen ist eine sich anschließende Produktentwicklung nicht gewährleistet, daher werden auch keine Bestandsänderungen berücksichtigt.

<sup>59</sup> Im Falle der Nutzung der Wirtschaftlichkeits-Checkliste bei qualitativer Datenlage entfallen die Unterschritte 3.2.4.4 und 3.2.4.5 sowie entsprechende Berechnungsschritte. Es gelten dann lediglich die Checklisten-ergebnisse als wirtschaftlichkeitsbezogener Reifegrad in der Wirtschaftlichkeitsperspektive.

$$HKU'_{TG_\epsilon} = HKU_{TG_\epsilon} + MK_{TG_\epsilon}$$

(mit  $HKU'_{TG_\epsilon}$ : korrigierter unternehmensbezogener Herstellkostenwert einer Technologiegruppe,  
 $MK_{TG_\epsilon}$ : Montagekosten einer Technologiegruppe)

**Formel 20: Berechnung der unternehmensbezogenen Kosten pro Technologiegruppe**

Im Vergleich zur marktbezogenen Soll-Kostenschätzung ist die unternehmensbezogene Kostenschätzung ein sich wiederholender Vorgang in der vorliegenden Vorgehensweise. Es ist davon auszugehen, dass sich die real entstehenden Herstellkosten im Verlaufe einer Technologieentwicklung, aufgrund zunehmend detaillierter Informationen und Kenntnisse einer Technologiegruppe wie beispielsweise Oberflächengestalt, Werkstoffwahl und Stückzahl-schätzungen, konkretisieren. Diese Konkretisierung führt wiederum zu einer Veränderung des Herstellkostenwertes pro Technologiegruppe  $HKU'_{TG_\epsilon}$ . Aufgrund dieser Veränderungen, ist im Verlauf einer Technologieentwicklung eine wiederholte Ermittlung der unternehmensbezogenen Kostenschätzung zu unterschiedlichen Entwicklungszeitpunkten zweckmäßig.

Als Ergebnis dieses Teilschritts sind die unternehmensbezogenen Kosten  $HKU'_{TG_\epsilon}$  für jede Technologiegruppe des Technologiekonzepts zum aktuellen Entwicklungszeitpunkt ermittelt. Neben den reinen Herstellkosten sind ebenfalls anfallende Montagekosten berücksichtigt.

**7.3.2.4.4 Unterschritt 3.2.4.4: Unternehmensbezogene Erfolgsschätzung**

Um zusätzlich eine Aussage über die wirtschaftliche Attraktivität von Technologiekonzepten aus Unternehmenssicht zu erhalten ist, wie bereits in Kap. 4.2 dargestellt, die Ermittlung eines Kapitalwerts<sup>60</sup> zweckmäßig. Diese Ermittlung liefert aus Unternehmenssicht wichtige Informationen über den ökonomischen Wert einer Technologieentwicklung bzw. deren wirtschaftlichen Erfolgchancen (Schäfer 2005, S. 114ff; Haag 2011, S. 345). So gibt der Kapitalwert beispielsweise wieder, ob die zu tätigen Investitionen in Technologiekonzepte im Verhältnis zu zukünftigen Bedarfsdeckungen erfolgsversprechend sind. Vereinfacht wird nachfolgendes Vorgehen zur Ermittlung des Kapitalwerts gewählt (vgl. Götze 2008, S.77): Der Kapitalwert<sup>61</sup> eines Technologiekonzepts  $K_{TK}$  wird mit der Summe von Investitionen in das Technologiekonzept und Zahlungsströmen im Betrachtungszeitraum gebildet, vgl. Formel 21. Ist der gebildete Kapitalwert positiv oder Null, so sind die Investitionen in die Technologieentwicklung vorteilhaft und zum gegenwärtigen Betrachtungszeitpunkt erfolgsversprechend. Ist der gebildete Wert dahingegen negativ ist die Technologieentwicklung ökonomisch gesehen nicht wirtschaftlich.

$$K_{TK} = -I_{TK} + \sum_{t=1}^z (e_t - a_t) \cdot (1 + i)^{-t} = -I_{TK} + \sum_{t=1}^z \frac{(e_t - a_t)}{(1 + i)^t}$$

(mit  $K_{TK}$ : Kapitalwert des Technologiekonzepts,  $I_{TK}$ : Investitionen für das Technologiekonzept,  $e_t$ : erwartete kumulierte Einzahlungen pro Periode t,  $a_t$ : erwartete kumulierte Auszahlungen pro Periode t,  $i$ : Kalkulationszinssatz,  $z$ : Anzahl der Perioden/Betrachtungszeitraum )

**Formel 21: Berechnung des Kapitalwerts für ein Technologiekonzept<sup>62</sup>**

Für die Berechnung des Kapitalwerts sind relevante Daten aus den vorherigen Perspektiven aufzunehmen. Dazu gehören potenzielle Stückzahlerwartungen, Investitionen durch den

<sup>60</sup> Vgl. hierzu beispielsweise KÖNIG & VOLKER (König und Völker 2002, S. 3) wo die Kapitalwertermittlung als wertorientierte Beurteilung von Technologien in der Technologieentwicklung aufgefasst wird.

<sup>61</sup> Es wird aufgrund der frühen Entwicklungsphasen auf eine vereinfachte Berechnung zurückgegriffen, in welcher keine Ergänzungsinvestitionen o.ä. weiterführende Investitions- und Finanzierungsaktivitäten berücksichtigt werden.

<sup>62</sup> Nach HAAG (Haag 2011, S. 345) kann für den Kalkulationszinssatz bei Technologieinvestitionen ein gewichteter durchschnittlicher Kapitalkostensatz (genannt WACC) herangezogen werden.

Kauf von Anlagen, die Einschätzung des Markteintritts und daraus folgende positive Rückflüsse.

Für die Bestimmung notwendiger Investitionen in die Technologieentwicklung dienen Fertigungsbetrachtungen aus Teilschritt 3.2.3 (vgl. Kap. 7.3.2.3) als Basis zur Investitionsbestimmung. Die Zahlungsströme zur Kapitalwertberechnung ergeben sich aus den erwarteten Erträgen aus zukünftig verkauften Produkten mit den Technologien aus dem Technologiekonzept sowie erwarteten Aufwendungen im Zusammenhang mit dem Technologiekonzept. Zur Ermittlung dieser Zahlungsströme dienen die Preisbereitschaft der Lead-User aus Unterschritt 3.2.4.1 (vgl. Kap. 7.3.2.4.1) sowie die unternehmensbezogenen Kosten pro Technologiegruppe  $HKU'_{TG_\varepsilon}$  aus Unterschritt 3.2.4.3 (vgl. Kap. 7.3.2.4.3) als Grundlage. Im Falle einer Substitutionsentwicklung sind diese Stückzahlen in der Regel bereits bekannt. Für den Betrachtungszeitraum sind neben dem erwarteten Markteintritt zumindest die ersten drei bis fünf Jahre in der Kapitalwertrechnung zu berücksichtigen, da dieser Zeitraum nach Markteintritt einen wesentlichen Indikator für den Markterfolg einer Technologieentwicklung liefert. Bestimmend für den Betrachtungszeitraum sind vorliegende Informationen aus Unterschritt 3.2.2.

Zur weiteren Berücksichtigung der ökonomischen Wertigkeit des Technologiekonzepts wird für den berechneten Kapitalwert aus Formel 21 ein Wirtschaftlichkeitsfaktor  $f$  eingeführt und als eigene Größe definiert. Der Faktor  $f$  wird auf Basis des Kapitalwertergebnisses festgelegt. Bei einem positiven Kapitalwert des Technologiekonzepts ist der Wirtschaftlichkeitsfaktor mit  $f = 1$  anzunehmen. Bei einem unwirtschaftlichen Technologiekonzept – und somit negativem Kapitalwert – ist  $f$  mit dem Wert 0 in den nachfolgenden Unterschritt 3.2.4.5 und darin in den wirtschaftlichkeitsbezogenen Reifegrad einzubeziehen.

Mit diesem Teilschritt wurde der ökonomische Wert des Technologiekonzepts ermittelt. Im Anschluss kann jetzt, unter Berücksichtigung dieser Vorteilhaftigkeit, ein Vergleich von markt- und unternehmensbezogenen Kosten für Technologiegruppen vorgenommen werden.

#### 7.3.2.4.5 Unterschritt 3.2.4.5: Bestimmung des wirtschaftlichkeitsbezogenen Reifegrads

An dieser Stelle wird ein Kostenvergleich durch die Gegenüberstellung der Kostenbereitschaft des Markts und den Herstellkosten des Unternehmens erzeugt, um schließlich einen wirtschaftlichkeitsbezogenen Reifegrad für die Wirtschaftlichkeitsperspektive zu ermitteln. Die Kosten für den Vergleich wurden in den vorhergehenden Unterschritten 3.2.4.2 sowie 3.2.3.4 ermittelt. Formal lässt sich der Kostenvergleich  $r_{TG_\varepsilon}$  pro Technologiegruppe anhand nachfolgender Formel 22 darstellen:

$$r_{TG_\varepsilon} = \frac{HKU'_{TG_\varepsilon} - HKM_{TG_\varepsilon}}{HKU'_{TG_\varepsilon}}$$

(mit  $r_{TG_\varepsilon}$ : Kostenvergleichsquotient einer Technologiegruppe,  $HKU'_{TG_\varepsilon}$ : reale Herstellkosten einer Technologiegruppe,  $HKM_{TG_\varepsilon}$ : Herstellkosten einer Technologiegruppe aus Marktsicht)

#### Formel 22: Kostenvergleichswert für eine Technologiegruppe

Durch den Vergleich von Markt- und Unternehmenssicht in Bezug auf Kosten kann für die Technologiegruppen als auch das Technologiekonzept ein valider Wert für die wirtschaftliche Attraktivität geschaffen werden. Eine große Attraktivität liegt dann vor, wenn die Differenz zwischen dem gegenwärtigen Ist-Wert ( $HKU'_{TG_\varepsilon}$ ) und dem gewünschten Soll-Wert ( $HKM_{TG_\varepsilon}$ ) relativ gering ist. Der Unterschritt endet mit einer Berechnung des wirtschaftlichkeitsbezogenen Reifegrads  $RGW_{TG_\varepsilon}$  pro Technologiegruppe. Dieser Reifegrad pro Technologiegruppe wird unter Berücksichtigung des Wirtschaftlichkeitsfaktors  $f$  nach Formel 23 berechnet:

$$RGW_{TG_\varepsilon} = (1 - r_{TG_\varepsilon}) \cdot f \cdot 100$$

(mit  $RGW_{TG_\varepsilon}$ : Reifegrad einer Technologiegruppe aus wirtschaftlicher Perspektive [%],  $r_{TG_\varepsilon}$ : Kostenvergleichsquotient einer Technologiegruppe,  $f$ : Wirtschaftlichkeitsfaktor des Technologiekonzepts)

**Formel 23: Reifegrad einer Technologiegruppe aus wirtschaftlicher Sichtweise**

Das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsperspektive umfasst eine technologiegruppenbezogene Kostenschätzung, Abschätzungen hinsichtlich zu tätiger Investitionen sowie ein ermittelter Reifegrad aus wirtschaftlicher Sichtweise für die Technologiegruppen. Zur besseren Nachvollziehbarkeit zeigt Tab. 47 (Anhang 12.20) nochmals die wesentlichen Berechnungsschritte dieser Perspektive auf. Die gewonnenen Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsperspektive basieren auf dem Zusammenwirken der technischen, kunden- sowie fertigungsbezogenen Perspektiven sowie der Methodenbausteine „Target Costing“ und „HoT“.

### 7.3.3 Schritt 3.3: Reifegradermittlung

In diesem Schritt werden die zuvor ermittelten Teilergebnisse aus der bewertungsbasierten Vorgehensweise zusammengeführt und für jede Perspektive als auch Technologiegruppe ein Gesamtreifegradwert berechnet. Die Reifegradermittlung nutzt hierzu die Ergebnisse der projektbezogenen sowie inhaltlichen Bewertung aus den Schritten 3.1 und 3.2 für die Berechnung der aggregierten Gesamtwerte. Durch diese Zusammenführung von Bewertungsergebnissen ist der Entwicklungsverlauf des Technologiekonzepts zum gegenwärtigen Zeitpunkt formal abbildbar und für die nachfolgende Maßnahmenableitung (vgl. Phase 4, Kap. 7.4) als eine objektive Entscheidungsgrundlage nutzbar.

#### Reifegrad einer Perspektive

Die bisher vorliegenden Bewertungsergebnisse für Technologiegruppen können aufgrund ihres Detaillierungsgrads zunächst nicht für einen direkten Vergleich mit den festgelegten Entwicklungszielen aus Schritt 1.2 (vgl. Kap. 7.1.2) genutzt werden. Aus diesem Grund ist die Zusammenführung der Bewertungsergebnisse zu einem aggregierten Reifegrad – dem Perspektivenreifegrad – notwendig. Nach Tab. 19 berechnen sich die vier Perspektivenreifegrade als Mittelwert aus den perspektivenbezogenen Reifegraden pro Technologiegruppe ( $RGT_{TG_\varepsilon}$ ,  $RGK_{TG_\varepsilon}$ ,  $RGF_{TG_\varepsilon}$  und  $RGW_{TG_\varepsilon}$ ) sowie der Anzahl an Technologiegruppen  $p$  in einem Technologiekonzept  $TK$ . Die entstehenden Reifegrade werden dabei als Wert zwischen  $0\% \leq RG_{TK} \leq 100\%$  angegeben.

Tab. 19: Berechnungsmodell zum perspektivenbezogenen Reifegrad eines Technologiekonzepts

Bezeichnung	Formelzeichen und Berechnung	Erläuterung
Reifegrad des Konzepts aus technischer Sichtweise $RGT_{TK}$	$RGT_{TK} = \frac{1}{p} \left( \sum_{\varepsilon=1}^p RGT_{TG_\varepsilon} \right) \cdot z_{RGT}$	$p$ = Anzahl Technologiegruppen im Technologiekonzept für $RGT_{TG_\varepsilon}$ vgl. Kap. 7.3.2.1.3 oder Anhang 12.20
Reifegrad des Konzepts aus kundenbezogener Sichtweise $RGK_{TK}$	$RGK_{TK} = \frac{1}{p} \left( \sum_{\varepsilon=1}^p RGK_{TG_\varepsilon} \right) \cdot z_{RGK}$	$p$ = Anzahl Technologiegruppen im Technologiekonzept für $RGK_{TG_\varepsilon}$ vgl. Kap. 7.3.2.2.4 oder Anhang 12.20
Reifegrad des Konzepts aus fertigungsbezogener Sichtweise $RGF_{TK}$	$RGF_{TK} = \frac{1}{p} \left( \sum_{\varepsilon=1}^p RGF_{TG_\varepsilon} \right) \cdot z_{RGF}$	$p$ = Anzahl Technologiegruppen im Technologiekonzept für $RGF_{TG_\varepsilon}$ vgl. Kap. 7.3.2.3.4 oder Anhang 12.20
Reifegrad des Konzepts aus wirtschaftlicher Sichtweise $RGW_{TK}$	$RGW_{TK} = \frac{1}{p} \left( \sum_{\varepsilon=1}^p RGW_{TG_\varepsilon} \right) \cdot z_{RGW}$	$p$ = Anzahl Technologiegruppen im Technologiekonzept für $RGW_{TG_\varepsilon}$ vgl. Kap. 7.3.2.4.5 oder Anhang 12.20

Zusätzlich kann das Projektteam aus einer projektbezogenen Sichtweise Einfluss auf die perspektivenbezogenen Reifegrade nehmen, indem  $z$  als zusätzlicher Projektindikator in die Perspektivenreifegrade einfließt. Für den Projektindikator stehen drei Indikatorwerte zur Verfügung, welche vorzugsweise vom Projektleiter unter Berücksichtigung des Projektverlaufs und pro Perspektive einzeln zu vergeben sind. Projektaufgaben mit geringen Verzögerungen bzw. lösbarer Problemstellungen werden mit 1 bewertet, wohingegen Projektaufgaben welche große Verzögerungen verursachen und nicht direkt lösbarer Problemstellungen einen Indikatorwert mit 0,9 erhalten sollen. Der Projektindikator 0,7 gibt letztlich Aufschluss darüber, dass Projektaufgaben zu ernsthaften Verzögerungen führen oder gar den Projekterfolg, wenn der Lösungsweg nicht direkt bekannt ist, gefährden. Die Vergabe der Indikatorwerte liegt letztlich im Ermessen des Projektleiters und dessen Kenntnisstand zum Projekt und sollte deshalb auch nur von diesem Personenkreis vergeben werden<sup>63</sup>. Die aus Tab. 19 er-

<sup>63</sup> Eine wahllose Vergabe der Indikatorwerte  $z$  kann zu einer gravierenden Verschlechterung von ermittelten Reifegraden führen. Die Wertevergabe beeinflusst in direktem Maße die Ergebnisinterpretation wie auch Maßnahmenableitung für die weitere Technologieentwicklung.

zeugten Reifegrade bilden den gegenwärtigen Entwicklungsstand einer jeden Perspektive ab und vermitteln Entscheidungsträgern ein aussagekräftiges Ergebnis über ein Technologiekonzept in der Technologieentwicklung. Mit Hilfe dieser Werte kann in der nachfolgenden Phase 4 (vgl. Kap. 7.4) ein Vergleich zwischen gegenwärtigen Reifegraden und Entwicklungszielen erfolgen als auch letztlich Maßnahmen für eine Weiterentwicklung oder einen Abbruch abgeleitet werden.

### Reifegrad einer Technologiegruppe

Um die Entwicklung einzelner Komponenten im Systemverbund überhaupt vergleichen zu können und um darüber hinaus die gegenwärtige Entwicklungsreife neu eingesetzter Technologien hervorzuheben, ist an dieser Stelle die zusätzliche Berechnung eines Technologiegruppen-Reifegrads zweckmäßig. Dieser Reifegrad kann als Ergänzung zum Perspektivenreifegrad gesehen und in der sich anschließenden Maßnahmenableitung eingesetzt werden, um Verbundproblematiken (vgl. Kap. 3.1.4) zwischen Technologiegruppen aufzuzeigen und somit erforderliche Entwicklungsaktivitäten zur Weiterentwicklung des Technologiekonzepts zu identifizieren und priorisieren.

Für den Reifegrad je Technologiegruppe wird ein gewichteter Quotient aus den aufsummierten perspektivenbezogenen Einzelreifegraden und der Anzahl an berechneten Perspektiven gebildet. Die Ergebnisse  $RG_{TG_\epsilon}$ ,  $RGK_{TG_\epsilon}$ ,  $RGF_{TG_\epsilon}$  sowie  $RGW_{TG_\epsilon}$  werden hierfür aus den Unterschritten 3.2.1.3, 3.2.2.4, 3.2.3.4 sowie 3.2.4.5 für die Berechnung eingesetzt und der Reifegrad pro Technologiegruppe  $RG_{TG_\epsilon}$  gebildet:

$$RG_{TG_\epsilon} = \left( \frac{RG_{TG_\epsilon} + RGK_{TG_\epsilon} + RGF_{TG_\epsilon} + RGW_{TG_\epsilon}}{v} \right) \cdot 100$$

bzw.

$$RG_{TG_\epsilon} = \left( \frac{\frac{1}{s_\epsilon} \left( \sum_{\alpha=1}^{s_\epsilon} RGT_{TE\alpha} \right) + \frac{1}{s_\epsilon} \left( \sum_{\alpha=1}^{s_\epsilon} RGK_{TE\alpha} \right) + \frac{1}{3} (FF_{TG_\epsilon} + MF_{TG_\epsilon} + PF_{TG_\epsilon}) + (1 - r_{TG_\epsilon}) \cdot f}{v} \right) \cdot 100$$

( $RG_{TG_\epsilon}$ : Reifegrad einer Technologiegruppe (insgesamt) in [%],  $RG_{TG_\epsilon}$ : Reifegrad einer Technologiegruppe in der Technologieperspektive,  $RGK_{TG_\epsilon}$ : Reifegrad einer Technologiegruppe in der Kundenperspektive,  $RGF_{TG_\epsilon}$ : Reifegrad einer Technologiegruppe in der Fertigungsperspektive,  $RGW_{TG_\epsilon}$ : Reifegrad einer Technologiegruppe in der Wirtschaftlichkeitsperspektive,  $v$ : Anzahl der berechneten Perspektiven eines Technologiekonzepts)

#### Formel 24: Gesamtreifegrad einer Technologiegruppe

Der mit Hilfe von Formel 24 berechnete Gesamtreifegrad einer Technologiegruppe ist analog für alle Technologiegruppen eines Technologiekonzepts durchzuführen, um letztendlich eine Vergleichbarkeit zwischen den Gruppen zu erzeugen.

Durch die Reifegradaggregationen pro Perspektive (vgl. Tab. 19) und pro Technologiegruppe (vgl. Formel 25) sind die Einzelbewertungsergebnisse der Schritte 3.1 (Kap. 7.3.1) und 3.2 (Kap. 7.3.2) schließlich zu aussagekräftigen als auch entscheidungsfähigen Bewertungsdaten verdichtet, was es nun zu visualisieren gilt. Methodisch wird hierfür wieder auf die Technologie-Scorecard aus Schritt 3.2 (vgl. Kap. 7.3.2) zurück gegriffen. Darin werden ausgehend von den Technologiegruppen die Bewertungsergebnisse pro Perspektive zusammengetragen und den Entwicklungszielen aus Schritt 1.2 gegenübergestellt. Der Matrixaufbau verdeutlicht insbesondere, wie aus den Tauglichkeitswerten der jeweiligen Technologiegruppen in den vier Perspektiven ein gesamthafte Bild zur Tauglichkeit entsteht (vgl. Abb. 34). Grundlage<sup>64</sup> für die Inhalte bilden das Berechnungsmodell aus Tab. 19 und die Formel 24.

<sup>64</sup> Für die Werteberechnung kann zusätzlich die zusammenfassende Formelsammlung des Anhangs 12.20 eingesetzt werden. Diese gibt einen detaillierten Einblick in die einzelnen Berechnungsschritte der bewertungs-basierten Vorgehensweise.

	Technologieperspektive	Kundenperspektive	Fertigungsperspektive	Wirtschaftlichkeitsperspektive	$RG_{TG_\epsilon}$
Antennenmodul ( $TG_1$ )	74 %	79 %	89 %	72 %	79 %
HF-Elektronik ( $TG_2$ )	81 %	...	$RGF_{TG_2}$	$RGW_{TG_2}$	$RG_{TG_2}$
Auswertelektronik ( $TG_3$ )	71 %	$RGK_{TG_3}$	$RGF_{TG_3}$	$RGW_{TG_3}$	$RG_{TG_3}$
<b>RG pro Perspektive</b>	75 %	$RGK_{TK}$	$RGF_{TK}$	$RGW_{TK}$	
<b>Entwicklungsziele</b>	100 %	$TZ_2$	$TZ_3$	$TZ_4$	

Abb. 34: Technologie-Scorecard eines Technologiekonzepts

Im Anschluss kann jetzt in der letzten Phase unter Berücksichtigung der aggregierten Entwicklungsergebnisse eine kritische Perspektivenanalyse (vgl. Kap. 7.4.1) und Maßnahmenableitung (vgl. Kap. 7.4.2) vorgenommen werden.

## 7.4 Phase 4: Ableitung von Maßnahmen

Ziel der letzten Phase ist es, aus den Entwicklungsergebnissen Handlungsmaßnahmen für das Technologiekonzept abzuleiten. Hierzu sind die vorliegenden Bewertungsdaten aus Unterschnitt 3.3 aufzugreifen und hinsichtlich zielverändernder Abweichungen zu untersuchen, um letztlich auf Basis vorliegender Informationen eine gezielte Steuerung des Technologiekonzepts vorzunehmen (vgl. Berg 2002). Die Phase 4 ist hierfür in die beiden Schritte Perspektivenanalyse und Maßnahmenableitung unterteilt, welche nachfolgend erläutert sind.

### 7.4.1 Schritt 4.1: Perspektivenanalyse

Mit der Perspektivenanalyse wird durch eine systematische Gegenüberstellung von festgelegten Entwicklungszielen und vorliegenden Bewertungsergebnissen die notwendige Grundlage zur Ableitung von Handlungsmaßnahmen für das Technologiekonzept geschaffen.

Die tauglichkeitsbezogenen Ziele  $TZ_1$  bis  $TZ_4$  aus Schritt 1.2 (vgl. Kap. 7.1.2) und die Ergebnisse  $RG_{TK}$ ,  $RGK_{TK}$ ,  $RGF_{TK}$ ,  $RGW_{TK}$  der Technologie-Scorecard aus Schritt 3.3 (vgl. Kap. 7.3) müssen zu diesem Zweck aufgegriffen werden. Unter Berücksichtigung aller Daten wird zunächst in einer Übertragung ein Säulendiagramm erzeugt, vgl. Abb. 35. Mit den übertragenen Daten entsteht ein Datenverlauf über die Technologie-, Kunden-, Fertigungs- und Wirtschaftlichkeitsperspektive hinweg, wobei die Säulen des Diagramms die gegenwärtig erreichten Tauglichkeitsgrade je Perspektive prozentual visualisieren und hierdurch eine methodische Basis zur Identifikation von gegenwärtigen Stärken und Schwächen des Technologiekonzepts bieten. Anschließend sind die vorliegenden Säulen in ihren Ausprägungen zu interpretieren und Rückschlüsse auf die Weiterentwicklung oder Beendigung des Technologiekonzepts zu ziehen. Zur Interpretation des Säulendiagramms (vgl. Abb. 35) können die in Anhang 12.21 und 12.22 entwickelten Handlungsoptionen eine Unterstützung sein. Die Optionen sind in Abhängigkeit von der jeweiligen Entwicklungsart - Neuentwicklung oder Substitutionsentwicklung - des Technologiekonzepts und den gegenwärtig erreichten perspektivenbezogenen Reifegraden  $RG_{TK}$ ,  $RGK_{TK}$ ,  $RGF_{TK}$  oder  $RGW_{TK}$  auszuwählen. Die bereitgestellten Optionen können die Steigerung einzelner Perspektiven in ihrem Tauglichkeitsgrad bis hin zur Modifikation von Zielanwendungen umfassen oder gar zum Abbruch von Technologieentwicklungsprojekten führen. Das Kap. 8 soll mit der Anwendung der bewertungs-basierten Vorgehensweise die richtige Auswahl solcher Handlungsoptionen (Anhang 12.21 und 12.22) für Technologiekonzepte nochmals verdeutlichen.

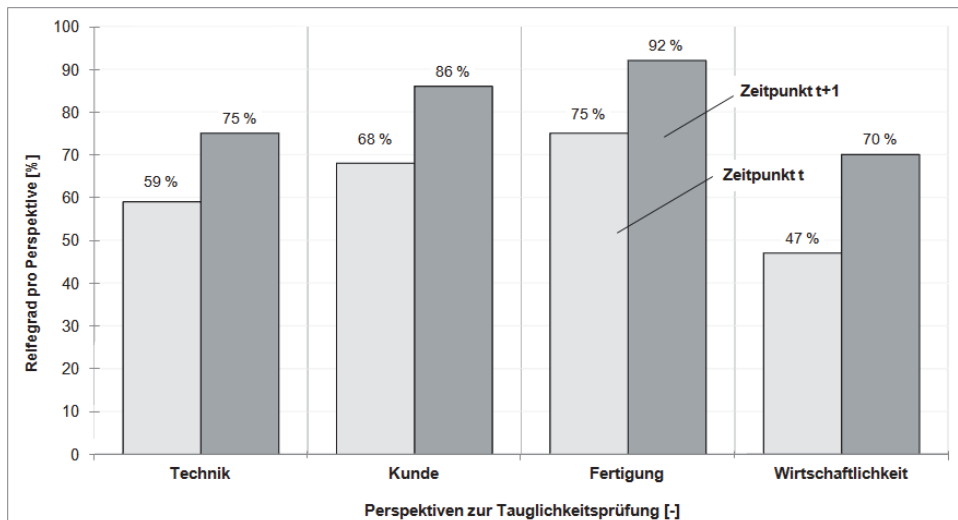


Abb. 35: Säulendiagrammanalyse eines Technologiekonzepts<sup>65</sup>

Durch den Einsatz des Säulendiagramms und den bereitgestellten Handlungsoptionen zur Ergebnisinterpretation werden Entscheider nach den umfangreichen Bewertungsvorgängen der Phase 3 nun in die Lage versetzt, mit den quantitativ ermittelten Daten prinzipielle Weiterentwicklungsaktivitäten für einzelne Perspektiven zu favorisieren und diese dann in Schritt 4.2 anhand konkreter Maßnahmen zu planen. Neben Entscheidern wird es auch dem verantwortlichen Technologieentwicklungsteam ermöglicht eine bessere Einschätzung zum gegenwärtigen Entwicklungsstand des Technologiekonzepts zu erhalten. Gerade bei komplexen Technologieentwicklungsprojekten, in die aufgrund unterschiedlicher Kompetenzen eine Vielzahl an Spezialisten eingebunden ist, bietet die Zusammenführung und Visualisierung von Bewertungsergebnissen Vorteile in Bezug auf eine Maßnahmenableitung und Planung nächster Schritte.

#### 7.4.2 Schritt 4.2: Maßnahmenableitung

Als letzten Schritt gilt es, die identifizierten Handlungsoptionen des Perspektivenvergleichs aufzugreifen und daraus in Übereinkunft mit den Entscheidern konkrete Handlungsmaßnahmen abzuleiten.

Die Maßnahmenableitung selbst wird im Rahmen eines gemeinsamen Workshops mit Entscheidern, dem Bewertungs-Verantwortlichen und dem verantwortlichen Technologieentwicklungsteam durchgeführt. Zur Planung der weiteren Schritte und Entscheidungsfindung wird im Workshop ein entwickeltes Reifegrad-Aufwands-Portfolio eingesetzt, vgl. Abb. 36. Die beiden Portfolio-Achsen werden durch die gegenwärtigen Reifegradwerte aus Schritt 3.3. als auch durch festzulegende Weiterentwicklungsaufwände gebildet, wodurch das Portfolio als Entscheidungsfindungs-Instrument bei der Vergabe von Ressourcen und Prioritäten agiert. Die Maßnahmenableitung wird nicht wie zuvor durch die vier Perspektiven „Technik“, „Kunde“, „Fertigung“ und „Wirtschaftlichkeit“ gewährleistet, sondern anhand der zugrunde liegenden Technologiegruppen des Technologiekonzepts vorgenommen. Diese beeinflussen aufgrund ihrer Teilfunktionen und Eigenschaften die Einsatzfähigkeit im Gesamtsystem wie auch der einzelnen Perspektiven und führen dementsprechend zu einem veränderlichen Tauglichkeitsgrad, vgl. Kap. 5.2.2. Eine Initiierung von Maßnahmen sollte infolgedessen über die Technologiegruppen erfolgen, da diese in direktem Bezug zur jeweiligen Perspektive stehen und den jeweiligen Reifegrad erzeugen bzw. wesentlich beeinflussen.

<sup>65</sup> Veränderungen von einer Bewertungsperiode zur anderen lassen sich im Säulendiagramm ebenfalls graphisch anhand von Vergleichssäulen veranschaulichen

Für die Erstellung des Portfolios sind zunächst die Weiterentwicklungsaufwände pro Technologiegruppe abzuschätzen und entsprechend Tab. 20 zu normieren. Anschließend sind die ermittelten Weiterentwicklungsaufwände dem ebenfalls normierten Gesamtreifegrad der jeweils betrachteten Technologiegruppe aus Schritt 3.3 (vgl. Kap. 7.3.3) gegenüberzustellen, wobei sich daraus die Position im Reifegrad-Aufwands-Portfolio ergibt, vgl. Abb. 36.

Tab. 20: Ausprägung der Dimensionen im Reifegrad-Aufwand-Portfolio

Zieldimension	gering	mittel	hoch	Sehr hoch
<b>Entwicklungsaufwand</b>	0 bis 6 Monate Entwicklungsaufwand	6 bis 18 Monate Entwicklungsaufwand	18 bis 24 Monate Entwicklungsaufwand	24 bis 36 Monate Entwicklungsaufwand
<b>Reifegrad <math>RG_{TG_e}</math></b>	0 bis 40 %	40 bis 60 %	60 bis 80 %	80 bis 100 %

Zur besseren Unterscheidung und letztlich auch zur zweckdienlichen Maßnahmenenergreifung ist das Reifegrad-Aufwands-Portfolio in die Felder „Quick wins“, „Must haves“, „Lucky strike“, „Waste of ressource“ als auch „Hidden stars“ unterteilt und anhand von Kurzbeschreibungen für die Maßnahmenableitung charakterisiert, vgl. Anhang 12.23.

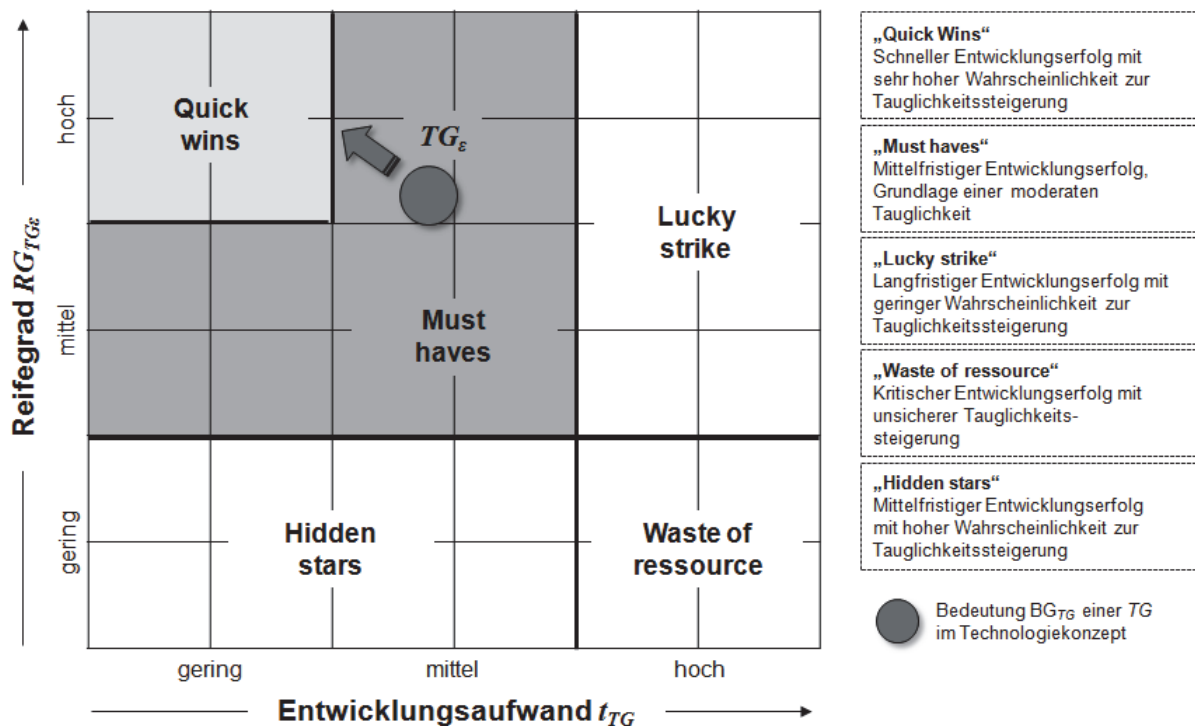


Abb. 36: Reifegrad-Aufwands-Portfolio<sup>66</sup>

In Bezug auf das Portfolio führen für gewöhnlich Technologiegruppen im Feld „Quick wins“ dazu, dass es mit niedrigen Entwicklungsaufwänden und bereits moderatem Reifegrad zu schnellen Erfolgen im Technologiekonzept kommen kann. Demgegenüber neigen Technologiegruppen im Feld „Lucky strike“ aufgrund von hohen Entwicklungsaufwänden eher zu geringen Tauglichkeitssteigerungen. Für schnelle Tauglichkeitssteigerungen mit hoher Erfolgswahrscheinlichkeit sollten die Entwicklungsaktivitäten auf Technologiegruppen in den Feldern „Quick wins“ und „Must have“ gerichtet werden. Bei überwiegender Verteilung von Technologiegruppen in den Feldern „Lucky strike“ oder „Waste of ressource“ ist hingegen

<sup>66</sup> Begrifflichkeiten wie „quick wins“, „lucky strike“ oder „hidden stars“ wurden in der Literatur und Praxis (vgl. Reichmayr 2003, S. 109; Beuther 2012, S. 26) bereits mehrfach zur Charakterisierung von Portfoliofeldern eingesetzt. Für das vorliegende Reifegrad-Aufwands-Portfolio der bewertungs-basierten Vorgehensweise wurden diese Begrifflichkeiten aufgegriffen und entsprechend ihren Inhalten adaptiert.

eine kritische Prüfung der grundsätzlichen Einsatzfähigkeit der Gruppen ratsam und mit einer langfristigen, eher unwahrscheinlichen Tauglichkeitssteigerung zu rechnen.

Die Umsetzung von Maßnahmen verantworten letztlich die Entscheider. Sie entscheiden auf Basis vorliegender Bewertungsergebnisse aus der Perspektivenanalyse und identifizierter Handlungsmaßnahmen (vgl. Anhang 12.23) über den weiteren Entwicklungsverlauf. Das ihnen zur Verfügung gestellte Entscheidungs-Instrument in Form eines Reifegrad-Aufwands-Portfolio soll zu einer objektiven Maßnahmenableitung verhelfen und die Weiterentwicklung des Technologiekonzepts an seinen Technologiegruppen ausrichten. Eine Anpassung der projektbezogenen Ziele und eine Zuweisung von zusätzlichen Ressourcen muss bei der Maßnahmenableitung jedoch separat bedacht und im Rahmen des Workshops diskutiert werden.

Das Reifegrad-Aufwands-Portfolio lässt sich bei einer späteren Neueinschätzung der Tauglichkeit als Vergleichsprofil einsetzen und die Entwicklung einzelner Technologiegruppen im Technologiekonzept dadurch verfolgen.

## **7.5 Zusammenfassung der bewertungsbasierten Vorgehensweise**

Durch die in dieser Arbeit entwickelte und aus vier Phasen aufgebaute bewertungsbasierte Vorgehensweise können Technologiekonzepte in der Technologieentwicklung in systematisierter und quantifizierter Form auf deren Tauglichkeit hin überprüft werden. Ziel des entwickelten Vorgehens ist es, die Entscheidungsfindung unter Unsicherheit während der Technologieentwicklung durch die Integration entsprechender Bewertungsinstrumente und -systematiken zu unterstützen und als Ergebnis bewertete Technologiegruppen mit mehrperspektivischen Tauglichkeitskennwerten und identifizierten Handlungsoptionen als auch abgeleiteten Maßnahmen zur Umsetzung für technologieorientierte Unternehmen bereitzustellen.

In Phase 1 wird die Ermittlung übergeordneter und tauglichkeitsbezogener Ziele anhand von Leitlinien durchgeführt und hierdurch eine erste Basis zur Bewertung geschaffen. In Phase 2 wird die Technologieentwicklung auf operativer Ebene durch den Einsatz eines Stage-Gate-basierten Technologieentwicklungsprozesses gewährleistet. Die eigentliche Bewertung der Entwicklungsergebnisse erfolgt in Phase 3. Zunächst wird durch den Einsatz von Checklisten eine projektbezogene Bewertung vorgenommen. Anschließend folgt anhand einer Technologie-Scorecard eine mehrperspektivische Bewertung des Technologiekonzepts und dessen zugehörigen Technologiegruppen. Die Ermittlung von Perspektivenwerten wird methodisch durch den Einsatz eines House of Technology wie auch einer Funktionsanalyse in der Technologieperspektive unterstützt. Zudem wird über die Lead-User-Methode eine systematische Öffnung des Technologieentwicklungsprozesses zur Aufnahme von marktbezogenen Anforderungen ermöglicht. Durch die Nutzung von Technologieketten und einer Nutzwertanalyse können in der Fertigungsperspektive die prinzipiellen Fertigungsmöglichkeiten ermittelt werden. Schließlich führt das Target Costing im Zusammenspiel mit der Kapitalwertmethode zu einer Bewertung der wirtschaftlichen Sichtweise.

In Phase 4 werden die generierten Bewertungsergebnisse über die Technologie-Scorecard wieder zusammengetragen und mittels eines Säulendiagramms deren Abweichungen vom Soll-Zustand visualisiert. Ebenfalls werden prinzipielle Handlungsoptionen für die Weiterentwicklung ermittelt. Schließlich wird mit Hilfe eines Reifegrad-Aufwand-Portfolios die Ableitung von Handlungsmaßnahmen für die weiteren Entwicklungsaktivitäten durchgeführt und der Regelkreis der bewertungsbasierten Vorgehensweise damit geschlossen.

In Tab. 21 findet sich zur besseren Übersicht nochmals eine zusammenfassende Darstellung von Phasen, Schritten und charakterisierenden Aufgaben der bewertungsbasierten Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung.

Tab. 21: methodenbasierte Übersicht der bewertungsbasierten Vorgehensweise

Phase	Schritt	Aufgabe	Methodeneinsatz
1. Zielbestimmung des Konzepts	1.1 Kategorisierung des Konzepts	Primäre Einordnung der Technologieentwicklung anhand vordefinierter Kategorien	– Leitlinie
	1.2 Definition der spezifischen Ziele	Spezifizierung des Konzepts anhand von vordefinierten Zieldimensionen	– Leitlinie
<i>Output Phase 1: tauglichkeitsbezogene Zieldimensionen <math>TZ_1</math> bis <math>TZ_4</math> (Soll-Ziele)</i>			
2. Entwicklung	2. operative Entwicklung	Operative Durchführung eines Technologieentwicklungsprojekts durch Nutzung eines speziellen Stage-Gate-Prozesses	– Stage-Gate-Prozess
<i>Output Phase 2: Entwicklungsergebnisse zum Technologiekonzept (Ist-Daten)</i>			
3. Bewertung des Konzepts	3.1 Bewertung Projektfortschritt	Bewertung der projektbezogenen Zielerfüllung durch Checklisten Einsatz	– Checklisten
	3.2 Bewertung Objektfortschritt	mehrperspektivische Bewertung des Technologiekonzepts anhand einer Technologie-Scorecard	– Technologie-Scorecard – House of Technology
	3.2.1 Technologieperspektive	Bewertung der technischen Funktionsfähigkeit durch Leistungsfähigkeitsbetrachtungen	– Funktionsanalyse – Leistungsfähigkeits-Bedeutungs-Portfolio
	3.2.2 Kundenperspektive	Bewertung von Anwenderpräferenzen durch direkte Lead-User-Einbindung	– Lead-User-Methode
	3.2.3 Fertigungsperspektive	Bewertung der Fertigungsmöglichkeiten durch Technologiekettenbildung	– Technologieketten – Nutzwertanalyse
	3.2.4 Wirtschaftlichkeitsperspektive	Bewertung der Wirtschaftlichkeit durch die Betrachtung von Funktionskosten	– Target Costing – Kapitalwertmethode
	3.3 Reifegradermittlung	Aggregation von Bewertungsergebnissen der vorhergehenden Schritte 3.1 und 3.2 zum Perspektivenreifegrad und Technologiegruppenreifegrad	– Technologie-Scorecard
<i>Output Phase 3: berechnete Reifegrade <math>RGT_{TG}</math>, <math>RGK_{TG}</math>, <math>RGF_{TG}</math>, <math>RGW_{TG}</math> für das Technologiekonzept (Soll-Ist-Vergleich)</i>			
4. Ableitung von Maßnahmen	4.1 Perspektivenanalyse	Soll-Ist-Vergleich von Bewertungsergebnissen der Phase 3 und Zielen der Phase 1	– Säulendiagramm
	4.2 Maßnahmenableitung	Ableitung von Maßnahmen auf Basis von Bewertungsergebnissen aus der Phase 3 und Abweichungsanalysen aus Schritt 4.1	– Reifegrad-Aufwands-Portfolio
<i>Output Phase 4: anhand von Technologiegruppen und Perspektiven abgeleitete Handlungsmaßnahmen (Korrektur)</i>			

## 8 Anwendung der bewertungsbasierten Vorgehensweise

Nach einer vorhergehenden Konzeptions- und Entwicklungsphase wird die bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten in der Technologieentwicklung an einem Unternehmen der Automatisierungsindustrie angewendet. Im Folgenden werden sowohl die Ausgangssituation im Unternehmen als auch die Anwendung der Vorgehensweise beschrieben und letztlich eine Zusammenfassung vorgenommen<sup>67</sup>.

### 8.1 Ausgangssituation

Das betrachtete Unternehmen ist ein führender Anbieter pneumatischer und elektrischer Antriebstechnik in der Industrie- und Prozessautomatisierung. Das Produktspektrum des Unternehmens unterteilt sich in 4 Hauptproduktgruppen und umfasst derzeit ca. 30.000 Katalogprodukte sowie mehrere tausend Varianten aus denen durch vielfältige Baukastensysteme kundenspezifische Lösungen hergestellt werden können. Neben Einzelprodukten bietet das Unternehmen seinen Kunden ebenfalls komplette Systemlösungen an. Zum Programm zählen ferner einbaufertige Subsysteme wie auch abgestimmte Branchenlösungen sowie spezialisierte Lösungen für regionale Märkte und individuelle Lösungen für Einzelkunden. Gerade die Entwicklung spezifischer Kundenlösungen hat für das Unternehmen in der Vergangenheit eine hohe Bedeutung erlangt und führt durch die kontinuierliche Entwicklung technologischer Innovationen seit vielen Jahren zur Wettbewerbsdifferenzierung im Bereich der Automatisierungstechnik.

Die zunehmende Dynamik an den Märkten, sich verändernde Kundenanforderungen und das unternehmerische Ziel, Innovationsführer im Feld der Automatisierungstechnik zu sein, veranlassten das Unternehmen, sich intensiv mit Technologiemanagement-Aktivitäten und insbesondere mit der Entwicklung neuer Technologien auseinanderzusetzen. Um die Entwicklung innovativer Lösungen zu gewährleisten und dabei neue technologische Wege zu beschreiten, werden bereits seit Jahren eigene Technologieentwicklungen im Unternehmen durchgeführt. Dabei ist die Eigenentwicklung neuer Technologien oft mit einer hohen Komplexität, nicht vorhersehbaren Unsicherheiten sowie Risiken verbunden, die im Rahmen der unternehmerischen Entwicklungstätigkeiten systematisch beseitigt oder beherrscht werden wollen. Bisher wurden laufende Technologieentwicklungsprojekte im Unternehmen bereits durch den Einsatz eines stage-gate-basierten Technologieentwicklungsprozesses unterstützt. Für die Abschätzung der Einsatzfähigkeit wurden seitens des Unternehmens aber keine weiteren Bewertungsinstrumente zur Entscheidungsfindung in der Technologieentwicklung eingesetzt. Tauglichkeitsentscheidungen wurden bislang zumeist aufgrund von qualitativ formulierten Einschätzungen oder „Erfahrungswissen“ vorgenommen. Eine bewertungsbasierte Reifegradermittlung sowie verbindliche Verwertungsentscheidung anhand von Kennzahlen war nicht möglich. Um die Synchronisierung zwischen Technologie- und Produktroadmaps sowie die Entscheidungsfindung bei risikoreichen Technologieprojekten zu verbessern, wurde der Bedarf für eine reifegradbezogene Bewertung gesehen. Die entwickelte Vorgehensweise wurde aus diesem Grund im Unternehmen angewendet. Konkret wurde die Tauglichkeitsprüfung an einem neuartigen Mikrowellensensor-Konzept durchgeführt.

### 8.2 Beschreibung der Anwendung

Vor der eigentlichen Durchführung der Bewertung wurde im Unternehmen ein Projektteam bestehend aus Experten der Entwicklung sowie der Kostenrechnung zusammengestellt, welches die Tauglichkeitsprüfung des Mikrowellensensor-Konzepts begleitete und in Teilen selbst durchführte.

---

<sup>67</sup> Die vorgestellten Daten und Analyseergebnisse wurden verfremdet und anonymisiert.

## 8.2.1 Umsetzung der Phase 1: Zielbestimmung des Konzepts

Für die Durchführung der Tauglichkeitsprüfung wurde das Mikrowellensensor-Konzept zunächst gemeinsam mit dem Expertenteam beschrieben und durch charakterisierende Entwicklungsziele spezifiziert. Ziel war die Entwicklung eines Sensorkonzepts, bei dem mittels Radartechnik die Kolbenposition eines pneumatischen Zylinders unabhängig von dessen Länge bestimmt und gleichzeitig die Funktionalität von pneumatischen Aktoren erhöht wird. Durch solch eine Entwicklung lassen sich wichtige Funktionalitäten wie Diagnose, Prozessüberwachung oder Plug&Work durchführen und die Grenzen herkömmlicher Pneumatikzylinder systematisch erweitern (Richter 2006, S. 17). Zur Realisierung des Mikrowellensensors wurde nachfolgend beschriebenes Technologiekonzept favorisiert:

Zur Erfassung der Kolbenposition in einem Zylinder, unabhängig von der Länge, wurde die Mikrowellen-Antennenanordnung stirnseitig in den Zylinderdeckel integriert, vgl. Abb. 37. Die Antenne besteht aus monopolartigen Koppelsonden, die im Gleichtakt gespeist werden und in entgegengesetzte Richtungen zeigen. Diesen Sonden kommt die Aufgabe zu, eine Hohlleiterwelle in den angrenzenden Zylinderraum einzukoppeln, sodass die Mikrowellen in den Bewegungsraum zum Kolben hingeleitet werden. Die eingekoppelten Wellen werden am Kolben reflektiert und gelangen anschließend wieder zu den Koppelsonden zurück. Die beiden Fußpunkte der monopolartigen Sonden sind an einem Steg über Leitungen angeschlossen und befinden sich jeweils in einem Dielektrikum. Das Dielektrikum soll die Koppelsonden mechanisch schützen und insbesondere die Druckluft von den Kavitäten der Antenne fernhalten. Die beiden Dielektrika sind zwischen dem mittleren Steg und dem äußeren Rand im Zylinderdeckel angeordnet. Die metallische Abschirmung des Zylinders verhindert eine Abstrahlung an die Umgebung.

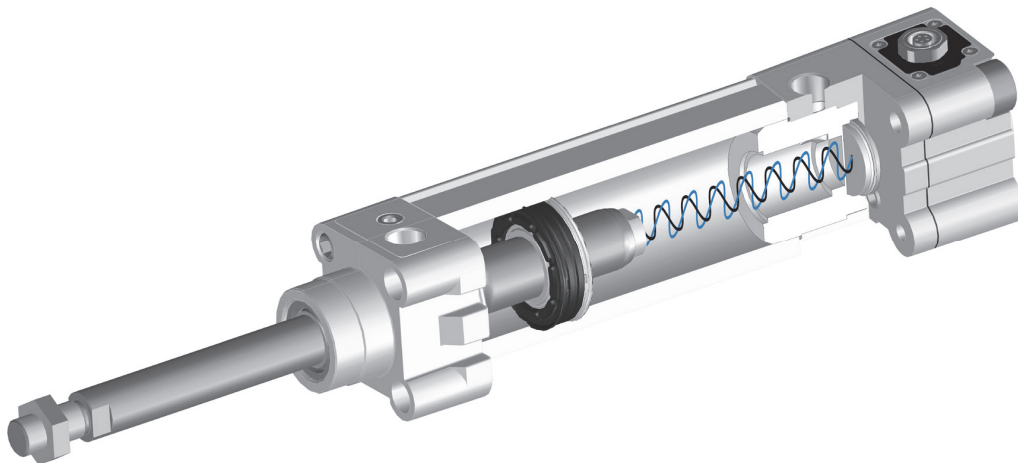


Abb. 37: 3D-Modell der Mikrowellensensor-Einheit (inklusive Zylinder)<sup>68</sup>

Im Deckel sind des Weiteren eine Hochfrequenz-Elektronik sowie eine Auswerte-Elektronik integriert. Die Hochfrequenz-Elektronik (HF) ist aus Hochfrequenzleiterplatten zur Funkwellenerzeugung sowie Leistungsdetektoren zur Wellenwandlung aufgebaut und über Koaxialleitungen mit den Monopolen verbunden. Der Auswerte-Elektronik liegen schließlich ein Prozessor mit spezifiziertem Algorithmus zur Datenverarbeitung (über Spannungsänderung) sowie weitere Hardwareteile zugrunde.

### Definition der Zielsetzung

In Bezug auf das Technologiekonzept wurde mit den Experten zunächst die strategie-, inhalts- sowie projektbezogenen Ziele formuliert. So verfolgt das Unternehmen mit dieser

---

<sup>68</sup> Blaue Wellen im 3D-Modell: von der Mikrowellensensor-Einheit abgestrahlte Wellen; schwarze Wellen im 3D-Modell: zur Mikrowellensensor-Einheit rücklaufende Wellen

Technologieentwicklung zunächst einmal das Ziel, sich durch technologische Neuerungen wie der Mikrowellensensor-Technologie vom Wettbewerb zu differenzieren und dabei gleichzeitig als Spezialist innovative Lösungen anzubieten. Für das Unternehmen handelt es sich um eine Neuentwicklung und demzufolge um einen systematischen Kompetenzaufbau im Feld der Mikrowellensensortechnik. Als projektbezogene Ziele wurde der Nachweis der Anwendbarkeit ebenso wie die Ziel-Applikation festgelegt. Für die Technologieentwicklung wurde auf einen Zylinder mit kombinierter Mikrowellentechnik zurückgegriffen (die Mikrowellenanordnung befindet sich im Abschlussdeckel). Der Entwicklungsfokus wurde auf das Mikrowellensensor-Konzept und nicht auf das Standardprodukt Zylinder gelegt.

Parallel dazu wurden gemeinsam mit den Experten des Unternehmens die tauglichkeitsbezogenen Entwicklungsziele für die Mikrowellensensor-Einheit festgelegt und anhand der Dimensionen „Technologie“, „Kunde“, „Fertigung“ und „Wirtschaftlichkeit“ Ziele in qualitativer sowie quantitativer Form formuliert, vgl. Tab. 22.

Tab. 22: tauglichkeitsbezogene Zieldimensionen der „Mikrowellensensor-Einheit“

Zieldimension	Erläuterung der Entwicklungsziele
<b>Technologie-bezogen</b> TZ <sub>1</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau von Know-How und Kompetenz für die neue Technologie</li> <li>• Aufbau eines kontinuierlichen, hubunabhängigen, integrierten Wegmess-Systems zur Messung und Positionsbestimmung des Zylinderkolbens</li> <li>• Anforderungen bestehender bzw. vergleichbarer Vollwegmesssysteme erfüllen und systematisch durch Mikrowellentechnologie erweitern, insbesondere: Wiederholgenauigkeit von 0,1mm +/-; Linearität 0,3mm; Abtastrate 3ms; Messung unabhängig vom Druck 0,5 bis 10 bar; ...</li> </ul>
<b>Kunden-bezogen</b> TZ <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akzeptanzschaffung bei Kunden für die neue Technologie, daher Wahl von Zylinderfamilie mit geringen Stückzahlen zur Etablierung neuer Technologie</li> <li>• Erfüllung geforderter Kundenanforderungen einbezogener Lead-User (bspw. Grenzfrequenz &gt; 180Hz, ...) sowie Gewinnung neuer Kundengruppen</li> <li>• Stückzahlen von 5000 in den ersten 5 Jahren</li> </ul>
<b>Fertigungs-bezogen</b> TZ <sub>3</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermeidung von Fremdfertigung der Mikrowellensensor-Einheit, jedoch Berücksichtigung von Zukauf notwendiger Einzelteile</li> <li>• Kauf und Inbetriebnahme neuer Anlagen, wie Kalibrierungsanlage</li> </ul>
<b>Wirtschaftlichkeitsbezogen</b> TZ <sub>4</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monetäres Ziel: Soll-HK der Mikrowellensensor-Einheit von 287 € (Richtwert vergleichbarer Wegmess-Systeme auf Basis von Marktanalysen)</li> <li>• Nicht monetäres Ziel: Alleinstellungsmerkmal für das Unternehmen</li> </ul>

Aus Unternehmenssicht wurde insbesondere der Know-How-Aufbau sowie die sichere Realisierung des kontinuierlichen, hubunabhängigen, integrierten Wegmesssystems zur Messung und Positionsbestimmung des Zylinderkolbens aus technischer Sichtweise fokussiert. In Bezug auf Markt- und Kundenaspekte standen für das Unternehmen die Erfüllung von Lead-User-Anforderungen sowie die Gewinnung neuer Kunden für technologische Innovationen bei Stückzahlen von 5000 in den ersten 5 Jahren im Vordergrund. So soll das Mikrowellensensor-Konzept bei Kunden eingesetzt werden, um neben der Positionserkennung Stillstandzeiten in Anlagen durch Überwachung zu reduzieren. Aus Fertigungssicht wurde vom Unternehmen eine Eigenfertigung für das Konzept favorisiert. Bezüglich Montagefähigkeit wurde bereits die Anschaffung entsprechender Anlagen, wie bspw. einer Kalibrieranlage seitens des Unternehmens berücksichtigt und auch an die Einbeziehung neuer Lieferanten für Elektronikbauteile eingeplant. In Bezug auf Wirtschaftlichkeitsaspekte konnte auf Basis durchgeführter Marktanalysen ein Soll-Herstellkostenwert von 287 € für das Mikrowellensensor-Konzept inklusive Zylinder ermittelt werden.

## **8.2.2 Umsetzung der Phase 2: Entwicklung**

Für die Tauglichkeitsprüfung wurde das laufende Technologieentwicklungsprojekt für einen festgelegten Zeitraum im Unternehmen begleitet und die qualitativen sowie quantitativen Zwischenergebnisse der durchlaufenen Entwicklungsphasen zusammengetragen. Die Mikrowellensensor-Einheit hat hierfür den im Unternehmen etablierten Technologieentwicklungsprozess durchlaufen.

## **8.2.3 Umsetzung der Phase 3: Bewertung des Konzepts**

### **8.2.3.1 Bewertung Projektfortschritt**

Zu Beginn der Bewertungsphase wurde der Projektfortschritt des Mikrowellensensor-Konzepts betrachtet. Der im Unternehmen eingesetzte Technologieentwicklungsprozess bietet neben fest definierten Gates auch vordefinierte Checklisten pro Technologieentwicklungsphase zur Überprüfung des Projektfortschritts an, vgl. (Haudek et al. 2011). Eine mit den Experten durchgeführte Checklistenüberprüfung ergab, dass die entsprechend vorgesehene Kriterienliste unter Berücksichtigung der Zwischenergebnisse bereits in großen Teilen erfüllt werden konnte. Sowohl markt-, patent- wie auch projektbezogene Kriterien konnten zum Bewertungszeitpunkt zufriedenstellend erfüllt und die optionalen Projektindikatoren mit einem Wert von 1 angenommen werden.

### **8.2.3.2 Bewertung Objektfortschritt**

Basierend auf den formulierten Entwicklungszielen (vgl. Tab. 22) und dem gegenwärtigen Entwicklungsstand wurde eine mehrperspektivische Bewertung zur Reifegradbestimmung unter Einbezug der Experten in Form eines mehrstündigen Workshops vorgenommen. Versuche mit Demonstratoren lieferten wichtige Erkenntnisse in Bezug auf die gegenwärtige technische Leistungsfähigkeit des Mikrowellensensor-Konzepts. Ein vom Unternehmen identifizierter Lead-User wurde zudem in den Entwicklungsprozess eingebunden und hinsichtlich potenzieller Kundenanforderungen befragt. Die ermittelten Kundenpräferenzen wurden dabei den Funktionen und Technologieelementen des Mikrowellensensor-Konzepts gegenübergestellt und der gegenwärtige Erfüllungsgrad von Anforderungen prozentual ermittelt. Darüber hinaus wurden Experten aus dem Bereich der Fertigung zur Ermittlung von Fertigungsmöglichkeiten sowie –anlagen befragt. Hier wurde ebenfalls die Matrixstruktur des HoT zur Datenerhebung herangezogen und die Erkenntnisse prozentual festgehalten. Außerdem wurde der Bereich Kostenrechnung als Teil des Expertenteams für die Ermittlung der Wirtschaftlichkeit pro Technologiegruppe und Technologieelemente eingebunden und in Zusammenarbeit der Erreichungsgrad in Bezug auf Herstellkosten prozentual ermittelt.

Nachfolgend werden die über vier Perspektiven hinweg vorgenommenen Tauglichkeitsprüfungen für das Mikrowellensensor-Konzept dargestellt.

### **Technologieperspektive**

Anhand des beschriebenen Mikrowellensensor-Konzepts wurden in der Technologieperspektive zunächst die Technologiegruppen und Technologieelemente definiert als auch eine Funktionsanalyse unter Berücksichtigung eines paarweisen Vergleichs vorgenommen. Das Mikrowellensensor-Konzept wurde dabei in die nachfolgenden drei Technologiegruppen und zugehörigen Technologieelemente unterteilt: Antennenmodul (Antenne & Gehäuse), HF-Elektronik (HF-Leiterplatte und Leistungsdetektoren) sowie Auswerte-Elektronik (Prozessor und Hardware). Zudem wurden folgende zentrale Funktionen für das Konzept identifiziert: Wellen abstrahlen und empfangen, Funkwellen erzeugen und empfangen sowie Rohdaten auswerten<sup>69</sup>. Basierend auf den ermittelten Technologiegruppen und Funktionen wurde gemeinsam mit den Experten ein House of Technology zur Bestimmung der Bedeutung einzel-

---

<sup>69</sup> Die Aufzählung berücksichtigt nur eine Auswahl der wichtigsten Funktionen.

ner Technologiegruppen im Gesamtsystem erstellt, vgl. Abb. 38 und siehe Anhang 12.24 für die Ermittlung von Gewichtungsfaktoren.

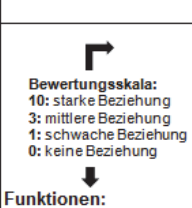
 <b>Bewertungsskala:</b> 10: starke Beziehung 3: mittlere Beziehung 1: schwache Beziehung 0: keine Beziehung  <b>Funktionen:</b>	Technologie- elemente:	Korrelationsfaktoren:						
		Gewichtung (normiert)	0,98		0,98	1,02	0,98	
			Antennenmodul	HF-Elektronik		Auswerte-Elektronik		
		Antenne(n)	Gehäuse	HF-Leiterplatte	Leistungs- detektoren	Prozessor	Hardware	
Wellen (elektromagnetisch) abstrahlen/empfangen	0,16	10		3	1			
Übergang zum Kolbenraum herstellen	0,12	10	3					
Reflexionen vermeiden	0,10	10	3					
Luft durchschleusen	0,08		10					
Funkwellen erzeugen/empfangen	0,13			10	1	3		
in Gleichspannung umwandeln/ Zwischenfrequenz erzeugen	0,07			3	10			
Rohdaten erfassen (Sensorsignal empfangen)	0,09				3	10		
Rohdaten auswerten	0,12	1				10		
Messwerte übertragen	0,08					10	10	
HF-Elektronik ansteuern	0,05					10		
Bedeutung der Technologieelemente		3,9	1,5	2,0	1,3	3,8	0,8	
Bedeutung (korrigiert)		3,8	1,4	2,0	1,3	3,7	0,8	
Bedeutung der Technologiegruppen		2,6		1,6		2,2		

Abb. 38: House of Technology der Mikrowellensensor-Einheit

Die Ermittlung der Technologiegruppen-Bedeutung ergab, dass sowohl das Antennenmodul als auch die Auswerte-Elektronik im Gesamtsystem eine hohe Bedeutung aufweisen und für den Großteil der Funktionsgewährleistung verantwortlich sind. Unter Berücksichtigung des aufgestellten HoT (vgl. Abb. 38) wurden auch relevante Leistungsparameter wie Wiederholgenauigkeit, Linearität, Langzeitstabilität, Temperaturabhängigkeit und die Abtastrate des Mikrowellensensor-Konzepts überprüft. Die Überprüfung der Parametererfüllung erfolgte anhand einer Leistungsfähigkeitsberechnung pro Technologieelement. Vor allem bei der „Wiederholgenauigkeit“ zeigten sich größere Abweichungen vom gegenwärtigen Parameterwert zum Sollwert (vgl. Anhang 12.24). Ebenso ergaben sich Abweichungen beim Leistungsparameter „Temperaturabhängigkeit“.

Mit den vorliegenden Erkenntnissen zur Technologiegruppenbedeutung und Parametererfüllung konnte schließlich für den definierten Betrachtungszeitraum rechnerisch der technologiebezogene Reifegrad pro Technologiegruppe bestimmt werden. Hierzu wurden die Bedeutungen der Technologieelemente ins Verhältnis zu deren gegenwärtiger Leistungsfähigkeit gesetzt.

Tab. 23: technologiebezogener Reifegrad der Mikrowellensensor-Einheit (prozentual)

TG	Antennen- modul ( $TG_1$ )	HF- Elektronik ( $TG_2$ )	Auswerte- Elektronik ( $TG_3$ )
Perspektive			
<b>Technologie- perspektive</b>	83 %	90 %	88 %

Die technikbezogene Reifegradbetrachtung zeigte, dass das Mikrowellensensor-Konzept als Ganzes bereits einen hohen Reifegrad aufweist und insbesondere die Hochfrequenz-Elektronik geforderte Leistungsparameter bereits zu 90% abdeckt.

## Kundenperspektive

Das Mikrowellensensor-Konzept wurde auch einer kundenbezogenen Tauglichkeitsprüfung unterzogen. Ein Lead-User, den das Unternehmen identifiziert hatte, wurde zu seinen Wünschen befragt und dabei Anforderungen zum Technologiekonzept generiert. Aus den gesammelten Informationen wurde eine Anforderungsliste erstellt, anhand derer eine Klassifizierung vorgenommen wurde. Zur Klassifizierung der Anforderungen wurde eine Präferenzmatrix herangezogen. Mit den Informationen konnte das Expertenteam anschließend eine Gegenüberstellung von marktseitigen Anforderungen und Funktionalitäten des Mikrowellensensor-Konzepts vornehmen. Hierfür musste der Erfüllungsgrad jeder Funktion in Bezug auf die genannten Anforderungen ermittelt werden. Das Expertenteam hatte zu diesem Zweck zunächst jeder Funktion die auf sie wirkenden Technologieelemente zugeordnet und anschließend aus Expertensicht die Bewertung der gegenwärtigen Erfüllung von Lead-User-Anforderungen vorgenommen. Notwendige Informationen zur funktional-technischen Kopplung entnahmen die Experten dem bereits in der Technologieperspektive erstellten HoT.

		Bedeutung einer Anforderung:													
Anforderungen:	Technologielelemente	0,09	0,08	0,04	0,02	0,1		0,02	0,08	0,04	0,04	0,03	0,01		
		Wegmessbereich bis zu xxx mm	Betriebsdruck von 0, x bis yy bar	Umgebungstemp.: von xx°C bis +yy°C	Mediumentemp.: von 0 bis xx°C	Abtastrate: x ms		hohe Auflösung des Weges	Integriert in den Antrieb	x-Längen tauglich	hohe Langzeitstabilität	schnelle und einfache Installation	geringe Kosten	Summe	Gegenwärtiger Erfüllungsgrad
Funktionen:															
Wellen (elektromagnetisch) abstrahlen/empfangen	Antenne (TE <sub>1</sub> )	7	10	8	9	10	...	9	10	8	6	10	4	8,0	0,80
	HF-Leiterplatte (TE <sub>3</sub> )	6	10	3	10	3	...	5	10	6	6	10	4	6,4	0,64
	Leistungsdetektoren (TE <sub>4</sub> )	5	10	10	10	6	...	4	10	3	4	8	6	7,6	0,76
Symmetriefeld bereitstellen	Antenne (TE <sub>1</sub> )	7	10	7	10	10	...	9	10	7	6	9	2	8,7	0,87
	Gehäuse (TE <sub>2</sub> )	8	8	8	10	10	...	10	5	10	7	10	4	8,4	0,84
Reflexionen vermeiden	Antenne (TE <sub>1</sub> )	7	10	7	9	10	...	6	10	8	4	8	10	8,3	0,83
	Gehäuse (TE <sub>2</sub> )	9	6	7	9	8	...	7	8	10	4	9	8	8,1	0,81
Luft durchschleusen	Gehäuse (TE <sub>2</sub> )	9	8	8	9	10	...	8	10	10	7	10	4	8,9	0,89
in Gleichspannung umwandeln/ Zwischenfrequenz erzeugen	HF-Leiterplatte (TE <sub>3</sub> )	10	8	10	10	10	...	10	10	10	6	10	4	9,0	0,90
	Leistungsdetektoren (TE <sub>4</sub> )	10	10	10	10	10	...	10	10	10	4	10	6	8,9	0,89
Funkwellen erzeugen/empfangen	HF-Leiterplatte (TE <sub>3</sub> )	8	10	6	10	10	...	4	10	9	10	10	4	8,9	0,89
	Leistungsdetektoren (TE <sub>4</sub> )	6	10	10	9	10	...	10	8	10	8	9	3	8,7	0,87
	Prozessor (TE <sub>5</sub> )	10	8	10	5	8	...	7	6	4	10	9	7	7,9	0,79
Rohdaten erfassen (Sensorsignal empfangen)	Leistungsdetektoren (TE <sub>4</sub> )	10	10	10	10	7	...	10	10	6	8	10	6	8,7	0,87
	Prozessor (TE <sub>5</sub> )	10	10	10	9	10	...	8	10	7	10	9	10	9,6	0,96
Rohdaten auswerten	Prozessor (TE <sub>5</sub> )	10	10	9	10	4	...	10	10	10	1	10	10	8,4	0,84
	Antenne (TE <sub>1</sub> )	8	7	7	8	8	...	9	4	7	3	8	10	7,4	0,74
Messwerte übertragen	Prozessor (TE <sub>5</sub> )	10	5	10	7	10	...	6	10	10	9	10	10	9,2	0,92
	Hardware (TE <sub>6</sub> )	10	10	10	10	10	...	8	10	10	8	8	6	9,1	0,91
HF-Elektronik ansteuern	Prozessor (TE <sub>5</sub> )	8	10	10	8	8	...	10	9	7	8	7	10	8,7	0,87
Gegenwärtiger Erfüllungsgrad einer Lead-User-Anforderung		8,4	9,0	8,5	9,1	8,6	...	8,0	9,0	8,1	6,5	9,2	6,4		
Idealer Erfüllungsgrad einer Lead-User-Anforderung		6	8	10	8	5		7	8	9	10	7	5		
Reifegrad Antenne:		82,9 %		Reifegrad HF-Leiterplatte:		84,7 %		Reifegrad Prozessor:		89,0 %					
Reifegrad Gehäuse:		86,3 %		Reifegrad Leistungsdetektoren:		86,7 %		Reifegrad Hardware:		90,8 %					

Abb. 39: Bewertung von Lead-User-Anforderungen und Erfüllungsgraden der Mikrowellensensor-Einheit (Auszug)

Zur Bestimmung des Erfüllungsgrads musste pro Lead-User-Anforderung geprüft werden, inwiefern das einer Funktion zugeordnete Technologieelement zur gegenwärtigen Funktionserfüllung beitragen kann, vgl. Abb. 39. Das Produkt aus Erfüllungsgrad pro Zelle und Bedeutungsgrad der Anforderung wurde in jeder Zeile aufsummiert. Anschließend wurde die Summe durch die jeweilige Maximalausprägung dividiert, vgl. Anhang 12.24. Die durchgeführte Bewertung ergab Erfüllungsgrade zwischen 60% und 100% für die jeweiligen Technologieelemente und ermöglichte so dem Expertenteam einen ersten Vergleich, vgl. Abb. 55. Zusätzlich führten die Experten des Mikrowellensensor-Konzepts eine Überprüfung einzelner Lead-User-Anforderungen in Bezug auf deren Anforderungserfüllung durch. Dafür wurden

spaltenweise Summen aus den Erfüllungsgraden gebildet, was dem Expertenteam einen zusätzlichen Eindruck der marktbezogenen Sichtweise verleihen sollte.

Schließlich konnte mit den vorliegenden Informationen auf Technologiegruppenebene eine Bestimmung des kundenbezogenen Reifegrads für das Konzept vorgenommen werden. Für die rechnerische Ermittlung des Reifegrads pro Technologiegruppe hat das Expertenteam die zeilenweise ermittelten Erfüllungsgrade der einzelnen Technologieelemente aus Abb. 39 aggregiert bzw. wieder zusammengeführt. Tab. 24 zeigt die rechnerisch ermittelten kundenbezogenen Reifegrade pro Technologiegruppe auf.

Tab. 24: kundenbezogener Reifegrad der Mikrowellensensor-Einheit (prozentual)

TG \ Perspektive	Antennenmodul ( $TG_1$ )	HF-Elektronik ( $TG_2$ )	Auswerte-Elektronik ( $TG_3$ )
Kundenperspektive	85 %	86 %	91 %

Die kundenbezogene Reifegradbetrachtung zeigte, dass die vom Lead-User formulierten Anforderungen einen hohen Reifegrad aufweisen und insbesondere die Auswerte-Elektronik geforderte Anforderungen bereits zu 91% abdeckt.

### Fertigungsperspektive

Ebenso wurde eine fertigungsbezogene Reifegradbetrachtung vorgenommen. Ziel war es, die Fertigungsmöglichkeiten des Mikrowellensensor-Konzepts bereits in der Technologieentwicklung zu betrachten. Konkret wurde mithilfe ermittelt, ob das Technologiekonzept durch bestehende oder neue Fertigungsverfahren herstellbar und somit machbar ist. Hierzu wurden die Technologiegruppen des Mikrowellensensor-Konzepts in Einzelteile oder sinnvolle Teilegruppen zerlegt. So besteht bspw. das Antennenmodul aus Einzelteilen wie einem Insert, einer Koppelsonde, einer Hülse und Standardteilen zur Befestigung. Das Expertenteam nutzte für die Datenaufnahme vordefinierte Templates, vgl. Abb. 29. Basierend auf der Einzelteilzerlegung wurden in einem anschließenden Schritt Fertigungs-Technologieketten für die jeweiligen Fertigungsschritte gebildet. Zur Herstellung der Koppelsonde wurden zwei Fertigungsverfahren vorgeschlagen (vgl. Abb. 40): CNC-Bearbeitung oder Spritzguss-Verfahren mit anschließender Metallisierung.

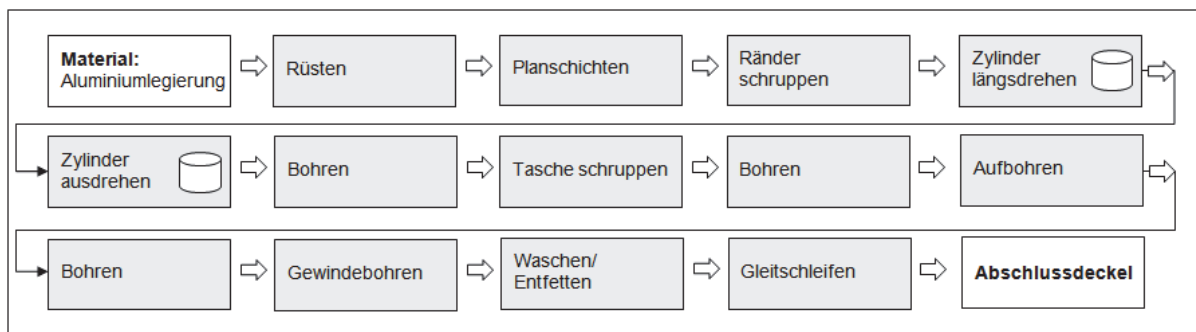


Abb. 40: Fertigungs-Technologiekette zur Herstellung einer Koppelsonde

Nach der Ermittlung potenzieller Fertigungsverfahren anhand von Fertigungs-Technologieketten, wurde durch die Experten der Fertigung eine Bewertung der relevanten Verfahren als auch eine Überprüfung der Prüf- und Montagefähigkeit vorgenommen (vgl. Abb. 56 und Abb. 57). Bei der Fertigungsfähigkeit wurden die Einzelteile oder Teilegruppen entsprechend der Kriterien Verfügbarkeit, Fertigbarkeit, Prozessqualität und Wirtschaftlichkeit bewertet (vgl. Abb. 41). Als Hilfestellung zur Bewertung dienten den Experten vordefinierte Leitlinien, vgl. Anhang 12.17. Zum gegenwärtigen Bewertungszeitpunkt zeigte die Bewertung der Fertigungsfähigkeit, dass die Technologieelemente des Mikrowellensensor-Konzepts bereits eine sehr hohe Fertigungsfähigkeit aufwiesen.

Technologieelemente:		Antenne						Ant.-Gehäuse		HF-Platte		L.-D.	Prozessor	Auswerte-Elektronik											
Einzelteile:	Gewichtung (normiert)	Insert A1: Spritzgußverfahren		Kopplende A1: CNC-Bearbeitung A2: Spritzgußverfahren & Metallisierung		Hülse A1: Spritzgußverfahren A2: Rohteil inkl. Nachbearbeitung		Sonstiges		Abschlussdeckel A1: CNC-Verfahren		Sonstiges		Platine HF-Leiterplatte A1: SMD-Bestückung, ...		Sonstige Einzelteile		Leistungsdetektoren (Zukauf)		Prozessor (Zukauf)		Platine Auswerte-Elektronik A1: SMD-Bestückung, ...		Sonstige Einzelteile	
		G	A1	A1	A2	A1	A2	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1
<b>Nutzwerte:</b>																									
Verfügbarkeit	0,30	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3
Fertigbarkeit	0,25	3	3	4	4	4	4	3	4	3	3	3	4	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3
Prozessqualität	0,25	4	4	3	4	3	3	3	4	3	3	4	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	3
Wirtschaftlichkeit	0,20	3	2	3	4	3	2	3	3	2	3	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Summe	1	3,3	3,1	3,3	3,7	3,0	2,8	3,5	3,0	3,4	3,7	3,8	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	
Fertigungsfähigkeit pro Einzelteil		0,81	0,76	0,81	0,93	0,74	0,70	0,88	0,75	0,84	0,93	0,94	0,86	0,88	0,86	0,88	0,86	0,88	0,86	0,88	0,86	0,88	0,86	0,86	
Fertigungsfähigkeit pro Technologieelement		0,81						0,82		0,89		0,94	0,86	0,87											

Abb. 41: Fertigungsbezogene Bewertung der Mikrowellensensor-Einheit

Die weiterführenden Bewertungsschritte (Prüfung der Montage- und Prüffähigkeit) wurden von den Experten analog dem Vorgehen in Kap. 7.3.2.3.3 durchgeführt. Mit Hilfe der aus den Bewertungen gewonnen Erkenntnisse konnten schließlich der fertigungsbezogene Reifegrad für die drei Technologiegruppen Antennenmodul, HF-Elektronik und Auswerte-Elektronik ermittelt werden. Tab. 25 zeigt hierzu die von den Experten aus Fertigung und Kostenrechnung generierten und rechnerisch ermittelten fertigungsbezogenen Reifegrade für das Mikrowellensensor-Konzept auf. Die Betrachtung ergab, dass alle drei Technologiegruppen bereits einen sehr hohen Reifegrad aufweisen und hinsichtlich Fertigungs- sowie Montagmöglichkeiten keine größeren Problemstellungen vorliegen.

Tab. 25: fertigungsbezogener Reifegrad der Mikrowellensensor-Einheit (prozentual)

Perspektive \ TG	Antennenmodul ( $TG_1$ )	HF-Elektronik ( $TG_2$ )	Auswerte-Elektronik ( $TG_3$ )
	<b>Fertigungsperspektive</b>	82 %	86 %

### Wirtschaftlichkeitsperspektive

Zuletzt wurde das Mikrowellensensor-Konzept aus wirtschaftlicher Sichtweise bewertet. Für die Ermittlung mussten neben Preisforderungen des Marktes oder potenzieller Kunden auch die Aufwendungen und Herstellkosten des Unternehmens in gleicher Weise berücksichtigt werden. Zunächst war es notwendig, eine marktbezogene Kostenschätzung für das Mikrowellensensor-Konzept vorzunehmen. Aufgrund der bereits im Vorfeld zur Bewertung durchgeführten Marktanalyse und der als Entwicklungsziel festgelegten Herstellkostengrenze von 287 € (vgl. Kap. 8.2.1), konnte eine explizite Befragung von Lead-Usern entfallen. Die Experten konnten mit diesem marktbezogenen Herstellkostenwert eine funktionsbezogene Kostenaufteilung (vgl. Abb. 58) vornehmen. Abb. 42 verdeutlicht die vorgenommene Kostenaufteilung pro Technologiegruppe und weiterer Bestandteile des Mikrowellensensor-Konzepts. Nach Abzug des Zylinders ergab sich eine Kostenverteilung zwischen 17 € und 101 € für die Technologiegruppen.

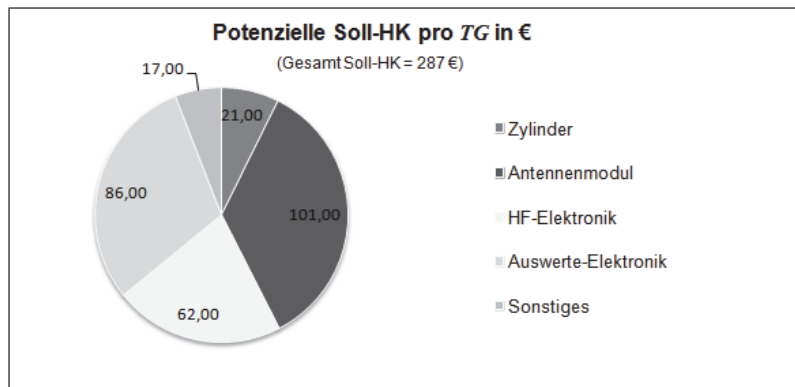


Abb. 42: Marktbezogene Herstellkostendarstellung der Mikrowellensensor-Einheit

Zusätzlich zur marktbezogenen Kostenbetrachtung wurde gemeinsam mit Experten der Kostenrechnung, analog dem Vorgehen aus Kap. 7.3.2.4.3 sowie 7.3.2.4.4, eine unternehmensbezogene Kostenschätzung für das Mikrowellensensor-Konzept vorgenommen. Hierfür wurden die Informationen zu ausgewählten Fertigungsverfahren für einzelne Bauteile aus der vorhergehenden Fertigungsperspektive herangezogen. Aus den Einzelkosten für die Bauteile wurden dann die Kosten für die Technologieelemente und für die Technologiegruppen bestimmt. Eine Gegenüberstellung der markt- und unternehmensbezogenen Kosten (inklusive Kapitalwertberechnung) führte schließlich zur Ermittlung des wirtschaftlichkeitsbezogenen Reifegrads pro Technologiegruppe.

Tab. 26 zeigt die rechnerisch ermittelten wirtschaftlichkeitsbezogenen Reifegrade pro Technologiegruppe auf. Im Vergleich zu den vorgehenden Tauglichkeitsnachweisen in der Technologie-, Kunden- wie auch Fertigungsperspektive hatte sich in der Wirtschaftlichkeitsperspektive eine größere Abweichung ergeben.

Tab. 26: wirtschaftlichkeitsbezogener Reifegrad der Mikrowellensensor-Einheit (prozentual)

Perspektive \ TG	Antennenmodul ( $TG_1$ )	HF-Elektronik ( $TG_2$ )	Auswerte-Elektronik ( $TG_3$ )
Wirtschaftlichkeitsperspektive	72 %	69 %	68 %

Die Technologiegruppen wiesen hier im Durchschnitt einen wirtschaftlichkeitsbezogenen Reifegrad von 70% auf und lagen wahrnehmbar unter den durchgeführten Berechnungen der vorhergehenden Reifegradbetrachtungen.

### Reifegradermittlung

Auf Basis der vorgenommenen Bewertungen konnten mit der Reifegradermittlung die zuvor ermittelten Teilergebnisse zusammengeführt und für jede Perspektive als auch Technologiegruppe ein Gesamtreifegradwert berechnet werden. Das Expertenteam hatte hierfür die ermittelten Werte in einer anschaulichen Bewertungsmatrix zusammengetragen, vgl. Abb. 43 und für die sich anschließende Maßnahmenableitung eine objektive Entscheidungsbasis geschaffen.

Perspektive TG	Technologie- perspektive	Kunden- perspektive	Fertigungs- perspektive	Wirtschaftlich- keitsperspektive	$RG_{TG_\varepsilon}$
Antennenmodul ( $TG_1$ )	83 %	85 %	82 %	72 %	81 %
HF-Elektronik ( $TG_2$ )	90 %	86 %	86 %	69 %	83 %
Auswerte- elektronik ( $TG_3$ )	88 %	91 %	84 %	68 %	83 %
<b>RG pro Perspektive</b>	87 %	87 %	84 %	70 %	
<b>Entwicklungs- ziele</b>	100 %	100 %	100 %	100 %	

Abb. 43: zusammenfassende Reifegradermittlung zum Mikrowellensensor-Konzept

## 8.2.4 Umsetzung der Phase 4: Ableitung von Maßnahmen

Die Reifegradbewertung des Mikrowellensensor-Konzepts hatte ergeben, dass sich unter Berücksichtigung der vordefinierten Ziele aus Phase 1 (vgl. Kap. 8.2.1) vor allem die fertigungsbezogene wie auch die wirtschaftliche Perspektive in Bezug auf ihre Leistungsfähigkeit steigern lassen. In der Abb. 44 sind die einzelnen Reifegrade pro Perspektive für das Mikrowellensensor-Konzept abgebildet.

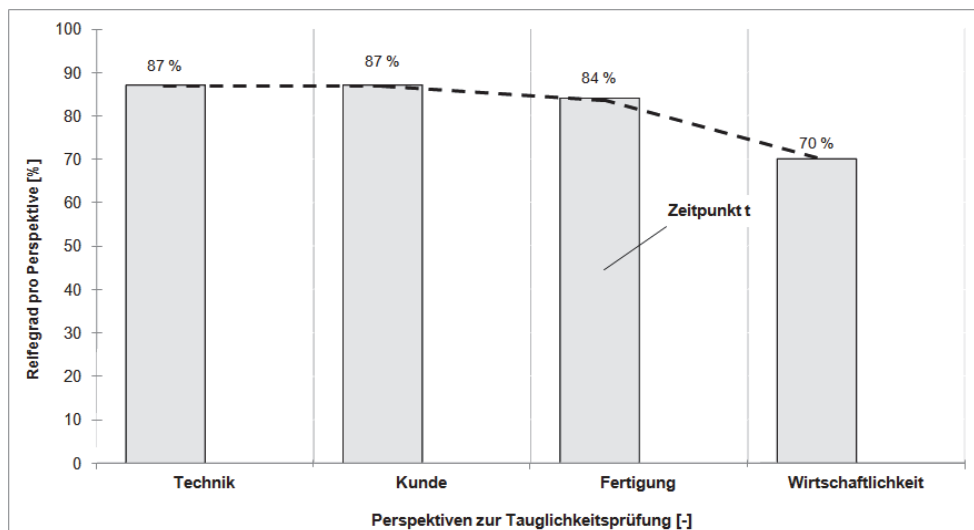


Abb. 44: Abweichungsanalyse – Mikrowellensensor-Konzept

Die Tauglichkeit pro Perspektive wurde aus dem Mittelwert der drei Technologiegruppen Antennenmodul, HF-Elektronik und Auswerte-Elektronik errechnet. Bei der mehrperspektivischen Bewertung konnte gezeigt werden, dass die Technologiegruppen des Mikrowellensensor-Konzepts die definierten Entwicklungsziele partiell bereits sehr gut erreichen, gleichzeitig aber konnten Verbesserungspotenziale für einzelne Perspektiven von bis zu 30% identifiziert werden. Besonders die Wirtschaftlichkeitsperspektive zeigt zum gewählten Bewertungszeitpunkt einen Reifegrad von 70%. Die Ergebniszusammenführung und Abweichungsanalyse zeigte ferner, dass weitere Entwicklungsaktivitäten notwendig sind, um die Tauglichkeit des Mikrowellensensor-Konzepts hinsichtlich technischer Anforderungen und eingebrachter Anwenderpräferenzen potenzieller Kunden zu erfüllen. Die Reifegradbewertung in Phase 3 zeigte aber auch, dass eine entsprechende Infrastruktur sowie Fertigungsanlagen zur Eigenfertigung mit großer Sicherheit bereitgestellt und für die Fertigung des

Sensorkonzepts einsetzbar sind, vgl. Abb. 44. Um die Leistungsfähigkeit des Technologiekonzepts jedoch insgesamt zu steigern, wurden weitere Entwicklungsaktivitäten sowie Aufwände insbesondere für das Antennenmodul (RG: 81%) und die Auswertelektronik (RG: 83%) identifiziert, vgl. Abb. 45. Die eingebundenen Experten schätzten für die Leistungssteigerung der Technologiegruppen zum damaligen Bewertungszeitpunkt Umsetzungsaufwände im Umfang von weiteren 20 bis 30 Monaten.

Basierend auf der mit den Experten durchgeführten Abweichungsanalyse wurde in einem letzten Schritt eine Maßnahmenableitung zur Weiterentwicklung des Mikrowellensensor-Konzepts vorgenommen. Hierfür wurden die Bewertungsergebnisse der einzelnen Technologiegruppen in ein Reifegrad-Aufwand-Portfolio übertragen und ins Verhältnis zu deren weiteren Entwicklungsaufwänden gesetzt. Die Reife pro Technologiegruppe wurde über eine Mittelwertbildung aus den einzelnen Perspektiven der Abb. 43 ermittelt. Unter Berücksichtigung der identifizierten Abweichungen sowie der gegenwärtigen Tauglichkeitswerte hatten die Experten notwendige Entwicklungsaufwände für die Auswerte-Elektronik in Höhe von weiteren 30 Monaten identifiziert. Für die HF-Elektronik veranschlagten die Experten weitere Entwicklungsaufwände in Höhe von 24 Monaten und für das Antennenmodul in Höhe von zusätzlichen 12 Monaten.

Für die Technologiegruppe Antennenmodul konnte festgestellt werden, dass die von Lead-Usern geforderten Anforderungen derzeit noch nicht zufriedenstellend erfüllt werden können. Zudem zeigte das Antennenmodul hinsichtlich technischer Leistungsparameter ebenfalls Schwächen auf. Hierfür wurden durch Modifikationen am Modul weitere Tests zur Steigerung der Leistungsfähigkeit veranlasst. Bezüglich Fertigungsmöglichkeiten wurden aufgrund des bereits sehr hohen Reifegrads zum damaligen Bewertungszeitpunkt keine weiteren Maßnahmen ergriffen.

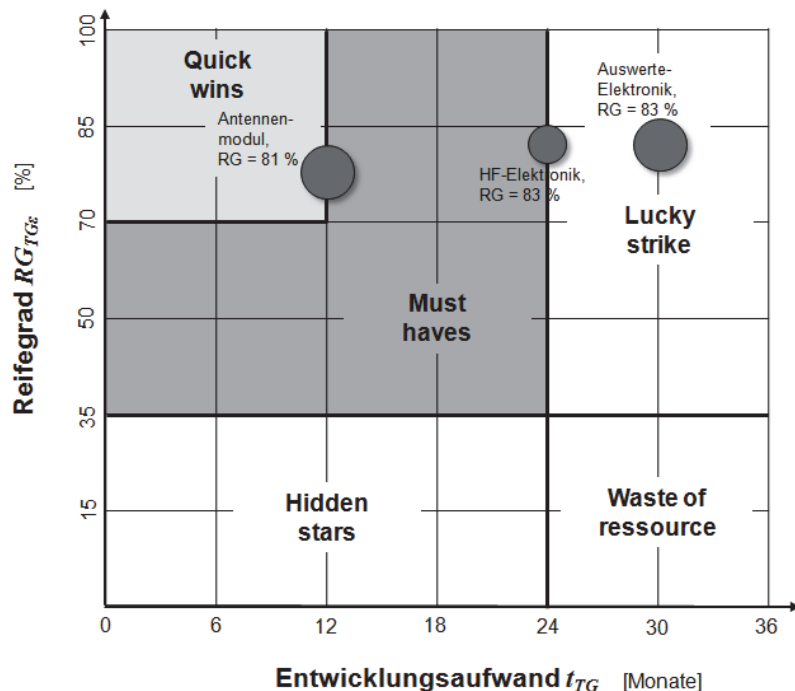


Abb. 45: Reifegrad-Aufwands-Portfolio zum Mikrowellensensor-Konzept

Bei der HF-Elektronik zeigte die Abweichungsanalyse, dass die technischen Leistungsparameter bereits im Wesentlichen gewährleistet werden können. Zur weiteren Steigerung wurden bereits vorgesehene Entwicklungsaktivitäten sowie Demonstrator-Versuche eingeplant. Hinsichtlich Fertigungsmöglichkeiten wurden ebenfalls keine Maßnahmen zum Bewertungszeitpunkt ergriffen. Für die Auswerte-Elektronik zeigte sich schließlich, dass der zu entwickelnde Algorithmus im Verbund mit anderen Technologiegruppen noch Schwachstellen aufweist und demzufolge die technische Leistungsfähigkeit im Verhältnis zu der Technolo-

giegruppe HF-Elektronik (vgl. Abb. 42) geringer bewertet wurde. Die weiteren Entwicklungstätigkeiten wurden daher ausschließlich auf die Verbesserung der Verbundwirkung und Steigerung der technischen Leistungsfähigkeit ausgerichtet.

Mit Hilfe der Bewertung sowie Ergebnisanalyse zum Mikrowellensensor-Konzept konnte gezeigt werden, dass eine Überführung in Produktentwicklungsprojekte aufgrund der noch vorherrschenden Schwachstellen im Konzept nicht gewährleistet werden kann. Für eine sichere Realisierung des kontinuierlichen, hubunabhängigen und integrierten Wegmesssystems sind weitere Entwicklungsaufwände zu initiieren und durchzuführen. Unter Berücksichtigung des Reifegrad-Aufwand-Portfolios wurde gemeinsam mit den Entscheidern und Experten im Unternehmen das weitere Vorgehen im Technologieentwicklungsprojekt abgestimmt. Hierbei wurden für die leistungssteigernden Aktivitäten unterschiedliche Prioritäten vergeben.

### **8.3 Zusammenfassung der Anwendung der Vorgehensweise**

Mit dem Einsatz der bewertungsbasierten Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten konnten im Unternehmen sowohl die gegenwärtige Einsatzfähigkeit als auch noch vorherrschende Schwachstellen eines laufenden Technologieentwicklungsprojekts aufgezeigt werden. Die systematische Zielbestimmung und der Methodeinsatz während der Bewertungen ermöglichten, bisher subjektiv getroffene Entscheidungen in der Technologieentwicklung durch methodischen Einsatz zu unterstützen und zu objektivieren. Durch die Einbindung von Experten aus unterschiedlichen Unternehmensbereichen konnte vorhandenes Know-How in die Bewertungen einfließen und die Ergebnisqualität wesentlich verbessern. Die systematische Einbeziehung von Lead-Usern führte zudem zu einer bewussten Öffnung des Technologieentwicklungsprozesses im Sinne eines Open Innovation Ansatzes und der Ausrichtung von Entwicklungstätigkeiten an Marktforderungen. Auch die Betrachtung von Wirtschaftlichkeitsaspekten in einer Technologieentwicklung konnte ergebnisorientiert eingesetzt und monetäre Aspekte zum Technologiekonzept ausgewiesen werden. Vor allem aber ermöglichte die systematische Aufgliederung und Unterteilung des Mikrowellensensor-Konzepts in Subsysteme und Technologieelemente den Experten im Unternehmen ein vordefiniertes Rahmengerüst für inhaltliche Diskussionen.

Der Einsatz der bewertungsbasierten Vorgehensweise erwies sich somit als sinnvoll und wirksam. Das entwickelte Vorgehen konnte den bereits im Unternehmen eingesetzten Technologieentwicklungsprozess in systematischer Form unterstützen und laufende Entwicklungen in Bezug auf deren Einsatzfähigkeit hin einordnen. Durch zugrundegelegte Templates, festgelegte Bewertungsperspektiven und Berechnungslogiken als auch vordefinierten Handlungsoptionen für die Maßnahmenableitung konnten Experten wie auch Entscheidungsträger bei der Diskussion ihres Technologiekonzepts sowie der Planung weiterer Schritte im Entwicklungsverlauf wesentlich unterstützt werden. Dem bisherigen subjektiven Eindruck des „technologischen Reifegrads“ des Mikrowellensensor-Konzepts konnten ein objektives Bewertungsergebnis gegenübergestellt und bisher qualitativ formulierte Stärken wie auch Verbesserungspotenziale des Technologiekonzepts anhand von quantitativen Daten belegt werden.

Mit dem entwickelten Vorgehen könnte bei flächendeckender Implementierung und Nutzung im Unternehmen ein bereichsübergreifendes Technologiecontrolling zur besseren Steuerung und Kontrolle technologischer Entwicklungen aufgebaut werden. Ebenfalls ist die Nutzung der bewertungsbasierten Vorgehensweise zur Priorisierung und Ressourcenplanung innerhalb der Technologieentwicklung einsetzbar. Letztlich kann der Einsatz eines solchen Bewertungsinstruments auch zur Steigerung der Planungssicherheit - insbesondere bei Technologieroadmaps – führen.

## 9 Evaluation und Diskussion

In diesem Teil der Arbeit folgt nach einer vorhergehenden Entwicklung und Anwendung der bewertungsbasierten Vorgehensweise schließlich eine kritische Betrachtung der erreichten Ergebnisse wie auch Diskussion zu den Grenzen einer Tauglichkeitsprüfung in der Unternehmenspraxis. Zunächst sei das Augenmerk auf die Evaluation der bewertungsbasierten Vorgehensweise in Kap. 9.1 gerichtet.

### 9.1 Evaluation

Mit dem Einsatz der bewertungsbasierten Vorgehensweise in einem Unternehmen der Automatisierungsindustrie konnte die Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten auf deren zielführende und zweckmäßige Eignungsfähigkeit hin getestet werden. Für eine kritische Würdigung dieser Anwendung soll nun die Erfüllung der formulierten Anforderungen (vgl. Kap. 6) überprüft werden. Die gewonnenen Erfahrungen aus der Anwendung (vgl. Kap. 8) werden zu diesem Zweck nachfolgend anhand der einzelnen und für diese Arbeit definierten Anforderungsklassen abgebildet.

#### **A1: Anforderungen an die Kategorisierung und Initiierung der Tauglichkeitsprüfung**

Durch die Anwendung der bewertungsbasierten Vorgehensweise in der Unternehmenspraxis konnte gezeigt werden, dass die Klärung und korrekte Formulierung von Entwicklungszielen eine essentielle Grundlage zur zielführenden Tauglichkeitsprüfung bilden. Im Anwendungsfall konnten die formulierten technologiebezogenen, kundenbezogenen, fertigungsbezogenen und wirtschaftlichkeitsbezogenen Zieldimensionen innerhalb der Vorgehensweise als spezifische Sollgrößen erfolgreich zur Bewertung genutzt werden. Als besonders hilfreich erschien hierfür die in zwei Schritte aufgeteilte Zielbestimmungs-Phase. Durch die Technologiekonzept-Kategorisierung konnten die inhaltlichen Diskussionen mit den Anwendern zunächst auf eine „Neuentwicklung“ fokussiert sowie anschließend deren generierte Anforderungen über tauglichkeitsbezogene Ziele zweckdienlich festgehalten und schließlich zur zielführenden Bewertung verwendet werden. Neben der Festlegung von Sollgrößen konnte durch die Anwendung ebenfalls gezeigt werden, dass zur Erhebung bewertungsrelevanter Daten (i.S.v. Istgrößen) und zur Darstellung des gegenwärtigen Entwicklungsstatus von Technologiekonzepten gewisse Standards zur Projektdurchführung in Form eines Entwicklungsprozesses essentiell wichtig sind. Im Anwendungsfall konnte im applizierten Stage-Gate-Prozess für Technologieentwicklungen eine konkrete Entwicklungsphase zur Tauglichkeitsprüfung betrachtet und zur Ermittlung der Sollgrößen verwendet werden.

#### **A2: Anforderungen an die Tauglichkeitsprüfung und Kontrolle**

Mit der Nutzung der bewertungsbasierten Vorgehensweise wurde die Einsatzfähigkeit der kombinierten und integrierenden Bewertungsmethoden zur Steuerung und Kontrolle von Technologiekonzepten in der Unternehmenspraxis erfolgreich nachgewiesen. Für die vergleichbare und zielführende Tauglichkeitsprüfung stehen ausgewählte qualitative wie auch quantitative Bewertungsmethoden zur Verfügung. Deren Einsatzfähigkeit und Qualität hat sich im Anwendungsfall bestätigt. Sowohl die Zielsetzung der Einzelmethoden als auch deren Anwendung zur Tauglichkeitsprüfung konnten im unternehmerischen Umfeld bestätigt werden. Die herangezogenen qualitativen Methoden stützten vor allem die Informationsgewinnung in den Perspektiven, wohingegen die quantitativen Methoden eine Bewertung direkter Zusammenhänge gewährleisten konnten. Mit Hilfe dieser Methodenkombinationen ließen sich so nicht nur technische Aspekte des vom Unternehmen favorisierten Technologiekonzepts bewerten; vielmehr konnte die Möglichkeit genutzt werden, neben Lead-User-Anforderungen auch den fertigungsbezogenen Aspekten einer Technologieentwicklung nachzugehen und deren Nutzwerte zu betrachten. Die von der bewertungsbasierten Vorgehensweise vorgeschlagenen Bewertungsperspektiven haben sich in diesem Zusammenhang als überaus zweckdienlich erwiesen. Die im Anwendungsfall eingebundenen Experten konnten die von der bewertungsbasierten Vorgehensweise bereitgestellten Methoden in den jeweiligen Perspektiven zufriedenstellend nutzen. Die über alle Perspektiven hinweg gültige

Methodenbasis „House of Technology“ bot zudem eine direkte Verbindung zwischen den einzelnen Perspektiven und den darin genutzten Bewertungsmethoden. Es hat sich ferner bewährt, auf bekannte Methoden aus der Unternehmenspraxis zurückzugreifen wie bspw. Technologie-Portfolien oder dem Target Costing Ansatz. Diese Methodennutzung führte bei den Anwendern zu einem methodischen Wiedererkennungseffekt, wodurch sich die Anwendung intuitiver gestaltete und sich die Systematik der Bewertungsperspektiven schnell nachvollziehen ließ. Der Forderung nach einer Mehrfachprüfung im Entwicklungsverlauf wurde in der bewertungsbasierten Vorgehensweise ebenfalls nachgekommen. Für die wiederholbare Tauglichkeitsprüfung stehen zahlreiche methodische Hilfsmittel wie vordefinierte Templates (z.B. zur Festlegung von Sollgrößen), Fragebögen (z.B. für Lead-User-Befragungen), alternative Bewertungsschritte als auch vordefinierte Handlungsoptionen bereit.

### **A3: Anforderungen an die Analyse und Verwertung von Prüfungsergebnissen**

In der Anwendung konnte zudem gezeigt werden, dass die generierten Bewertungsergebnisse in aussagekräftiger Form und auf wenige Werte begrenzt dargestellt werden. Hilfreich war in diesem Zusammenhang, dass je Perspektive Zwischenergebnisse erzeugt und diese zum Ende der Bewertungsphase in einer zentralen Reifegradbetrachtung zusammengeführt wurden. Dieses schrittweise Vorgehen ermöglichte den einbezogenen Experten bereits erste Stärken und Schwächen pro Technologiegruppe zu identifizieren als auch die Erreichbarkeit tauglichkeitsbezogener Ziele einzuschätzen. Durch die aggregierte Wertedarstellung zum Ende der Bewertungsphase konnte die gegenwärtige Tauglichkeit des Technologiekonzepts intuitiv abgelesen und zielorientiert Maßnahmen für eine Weiterentwicklung abgeleitet werden. Bei der Maßnahmenableitung wurde im Anwendungsfall nicht nur die Tauglichkeit in den einzelnen Perspektiven berücksichtigt, ebenfalls fanden die Tauglichkeitswerte je Technologiegruppe Berücksichtigung. Mit der Einbeziehung der Technologiegruppen in die Maßnahmenableitung wurde indes eine explizite Möglichkeit zur objektbezogenen Betrachtung geschaffen und dadurch die Ermittlung von Entwicklungsaufwänden begünstigt. Die bewertungsbasierte Vorgehensweise stellt zur Verwertung der Bewertungsergebnisse und ermittelten Aufwände ein Reifegrad-Aufwands-Portfolio mit verallgemeinerten Handlungsempfehlungen bereit. Dieses Portfolio besitzt unabhängig von den im Anwendungsfall zugrunde gelegten Technologiegruppen des Technologiekonzepts Gültigkeit. Dem Anspruch nach Allgemeingültigkeit und Ergebnisorientierung wird durch ein derartiges Portfolio bewusst nachgekommen. Die Einbeziehung von Expertenmeinungen ermöglichte letztlich auch die sinngemäße und zielorientierte Verwertung von Tauglichkeitsprüfungsergebnissen aus dem bereitgestellten Reifegrad-Aufwands-Portfolio. Im Anwendungsfall wurden Entwicklungsaufwände von mehreren Monaten zur Steigerung der Leistungsfähigkeit vor allem für die HF-Elektronik und Auswerte-Elektronik festgestellt. Die erzeugten Bewertungsergebnisse haben objektiv und kennzahlbasiert verdeutlicht, dass eine Beendigung des Projekts und ein Transfer in eine Produktentwicklung bei der noch unzureichenden technischen wie auch kundenbezogenen Tauglichkeit als nicht sinnvoll erscheint (vgl. Kap. 8.2.4). Dadurch wurde der Forderung nach einer systematischen Entscheidungsunterstützung im technologischen Entwicklungsverlauf erfolgreich nachgekommen.

### **A4: Anforderungen an die Betrachtung von Technologien in der Tauglichkeitsprüfung**

Die Umsetzung der bewertungsbasierten Vorgehensweise zeigte ferner, dass durch den methodenbasierten Zugang zum Technologiekonzept eine hinreichende Detaillierung in der Bewertung erreicht werden konnte. Die bewertungsbasierte Vorgehensweise unterstützte durch den Einsatz der Analysemethode „House of Technology“ die systematische Dekomposition des Technologiekonzepts. Im Anwendungsfall konnte so nachgewiesen werden, dass die Dekomposition des Technologiekonzepts die Schwachstellen und Wechselwirkungen zwischen einzelnen Technologien erst hinreichend detailliert verdeutlicht und auch deren gegenwärtige Leistungsfähigkeit abbildet. Dabei erwies sich das bereitgestellte Systemmodell in Ergänzung zum House of Technology in der bewertungsbasierten Vorgehensweise als besonders hilfreich, indem es den Anwendern eine Orientierungshilfe für die Dekomposition bot. Mit Hilfe der Zerlegung konnten im Anwendungsfall sogar explizite Schwachstellen zwi-

schen der HF-Elektronik und anderen Technologiegruppen des Konzepts verdeutlicht werden. Für die Dekomposition des Technologiekonzepts hat es sich obendrein als zweckdienlich erwiesen, mit dem Expertenteam vorab intensiv und ganzheitlich über die Objektabgrenzung zu diskutieren, um anschließend mit dessen Zustimmung eine sinnvolle Aufteilung des Konzepts vornehmen zu können. Größere Diskrepanzen bei der Unterteilung des Technologiekonzepts konnten im Anwendungsfall nicht identifiziert werden. Somit war eine zielführende Methodenunterstützung über den gesamten Einsatz der bewertungs-basierten Vorgehensweise hinweg gegeben. Die grundsätzlichen Voraussetzungen für eine detaillierte Vergleichbarkeit von alternativen Technologiekonzepten konnten hierdurch ebenfalls bestätigt werden.

#### **A5: Allgemeine Anforderungen an das bewertungs-basierte Vorgehen**

Die grundsätzliche Einsatzfähigkeit der bewertungs-basierten Vorgehensweise konnte durch die Anwendung im Beispielunternehmen belegt werden. Sowohl das strukturierte Vorgehen als auch die generierten Bewertungsergebnisse erwiesen sich für die Unternehmenspraxis als operabel. Im Besonderen konnte die entwickelte Vorgehensweise gewährleisten, dass die für eine Bewertung notwendigen Schritte konsistent und systematisch durchlaufen wurden. So wurden nicht nur eine umfängliche Zieldefinition und ein detaillierter Soll-Ist-Vergleich vorgenommen, sondern auch eine Ergebnisanalyse und Maßnahmenableitung für das vom Beispielunternehmen favorisierte Technologiekonzept durchgeführt. Sowohl die Datenermittlung und Formulierung von Zielen als auch die Verarbeitung von Informationen während des Bewertungsprozesses ließen sich problemlos durchführen. Die bewertungs-basierte Vorgehensweise konnte in einem der Produktentwicklung vorgelagerten und separat laufenden Prozess erfolgreich angewendet und zur Datengenerierung sowie -auswertung genutzt werden. Die Bewertungsschritte wie auch deren Teilschritte erwiesen sich als logisch und bauten für die Berechnung der jeweiligen Reifegrade systematisch aufeinander auf. Vor allem das wiederkehrende Vorgehen in jeder Perspektive hat sich durch die Schaffung einer Bewertungsbasis, dem Soll-Ist-Vergleich und der Ergebnisdarstellung als erfolgsversprechend erwiesen (vgl. Kap.7.3.2). Auch die Konsistenz der zugrunde gelegten Formeln erwies sich in diesem Zusammenhang als sinnvoll und zielführend. Durch die herangezogenen Berechnungslogiken war es mit durchaus vertretbarem Aufwand möglich, aus qualitativen wie auch quantitativen Datenmengen aussagekräftige und sinnvolle Tauglichkeitswerte (Datenangaben in Prozent) zu ermitteln. Verwechslungen mit Maßstäben oder Einheiten wurden im Anwendungsfall nicht identifiziert und lassen auf eine Durchgängigkeit in der Wertedarstellung schließen. Darüber hinaus konnten entsprechende Handlungsoptionen für das weitere Vorgehen im Technologieentwicklungsprojekt gemeinsam mit den Entscheidern und dem Entwicklungsteam identifiziert werden, was auf eine gute Verständlichkeit der bereitgestellten Instrumente und eine verwechslungsfreie Ergebnisaufbereitung in der Vorgehensweise schließen lässt.

Neben der gewährleisteten Verständlichkeit konnte im Anwendungsfall ebenfalls gezeigt werden, dass die bewertungs-basierte Vorgehensweise ausreichende Flexibilität bietet, um eine Bewertung auch bei bereits laufenden Technologieentwicklungsprojekten durchzuführen. Die bisherigen Entwicklungserkenntnisse zum Technologiekonzept wurden beim Beispielunternehmen in der Tauglichkeitsprüfung explizit berücksichtigt und als detaillierte Datenbasis herangezogen. Die nachträgliche Ermittlung tauglichkeitsbezogener Ziele führte zu keiner Einschränkung im Bewertungsverfahren und bestärkt vielmehr die Flexibilität in der Anwendbarkeit. Für die im Anwendungsfall vorliegende „Neuentwicklung“ konnte gezeigt werden, dass die konzipierte Vorgehensweise für solche Entwicklungsformen nutzbar ist. Zudem wurde die Anpassungsfähigkeit der bewertungs-basierten Vorgehensweise unter Beweis gestellt, indem Einzelschritte bzw. Teilaspekte bei unvollständigem Informationsgehalt weglassen bzw. übersprungen werden konnten. Die Schritte „Reifegradbetrachtung“ und „Maßnahmenableitung“ wurden in ihrer Aussagekraft vom eingeschränkten Informationsgehalt dabei nicht beeinträchtigt. Damit war eine hinreichende Verständlichkeit der Bewertungsergebnisse stets gegeben.

Tab. 27 fasst letztlich die von der bewertungsbasierten Vorgehensweise erfüllten Anforderungen aus dem Anwendungsfall nochmals übersichtlich zusammen.

Tab. 27: Evaluation der bewertungsbasierten Vorgehensweise im Anwendungsfall

Abdeckungsgrad der Anforderungen aus dem Praxisfall (Kap.8)		
Anforderungsklassen (A) und Einzelanforderungen an die bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung (Kap. 6)		
<b>A1:</b> Anforderungen an die Kategorisierung und Initiierung der Tauglichkeitsprüfung (Kap. 6.1)	Effektive und ganzheitliche Prüfung durch festgelegte Ziele	○
	Kategorisierung in Substitutions- oder Neuentwicklung	●
	Entwicklungsprozess als Bezugsbasis zur Datenerhebung	●
<b>A2:</b> Anforderungen an die Tauglichkeitsprüfung sowie Kontrolle von Technologiekonzepten (Kap. 6.2)	Ganzheitlichkeit durch mehrperspektivische Tauglichkeitsprüfung	○
	Unterstützung durch Methodenkombination und –integration	●
	Analytische, ex nunc-Tauglichkeitsprüfung	●
	Mehrfachprüfung im Entwicklungsverlauf	○
	Tauglichkeitsprüfung bei unvollständigem Informationsgehalt	●
<b>A3:</b> Anforderungen an die Analyse sowie Verwertung von Tauglichkeitsprüfungsergebnissen (Kap. 6.3)	Komprimierte Ergebnisdarstellung	●
	Ergebnisbasierte Maßnahmenableitung	●
<b>A4:</b> Anforderungen an die Betrachtung von Technologien in der Tauglichkeitsprüfung (Kap. 6.4)	Methodenbasierter Zugang zu den Technologien	●
	Objektbezug und Komponentenbetrachtung	○
<b>A5:</b> Allgemeine Anforderungen an das bewertungsbasierte Vorgehen zur Tauglichkeitsprüfung (Kap. 6.5)	Konsistenz und Anschlussfähigkeit	●
	Eindeutigkeit und Verständlichkeit	●

Legende: ● größtenteils erfüllt, ○ teilweise erfüllt, ○ größtenteils nicht erfüllt

## 9.2 Diskussion

In Bezug auf die Prüfung von Anforderungen gilt die Vorgehensweise nach dem vorhergehenden Kap. 9.1 als erfüllt. Nachfolgend sollen weitere relevante Aspekte beleuchtet und diskutiert werden. Die entwickelte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten weist bei kritischer Betrachtung Grenzen auf, deren wichtigste nachfolgend dargestellt sind.

### **Aufwand-Nutzenverhältnis der Tauglichkeitsprüfung**

Grundsätzlich ist zu nennen, dass rückblickend der Aufwand für die Erst-Erstellung der Tauglichkeitsprüfung aufgrund der zu beschaffenden Datenmengen und den ausgeprägten Einzelschritten in den Bewertungen als hoch einzuschätzen ist. Dies hat sich im Praxisfall besonders in den mehrstündigen Workshops zur Datenermittlung und Bewertung gezeigt. Für die Handhabbarkeit und einwandfreie Ermittlung von Tauglichkeitskennwerten waren in den Arbeitssitzungen umfangreiche excelbasierte Tabellenblätter notwendig. Darüber hinaus ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass die in der Unternehmenspraxis bisher vergleichsweise unbekannt Methode „HoT“ den Anwendern zunächst in ihrer Funktionsweise und Struktur für eine einwandfreie Anwendbarkeit verdeutlicht wie auch erläutert werden musste. Hier war die intuitive Anwendbarkeit für Erst-Anwender nur bedingt gegeben, wodurch zusätzliche Aufwendungen entstanden. Auch die durch das Weglassen von Phasen gegebene Variabilität der bewertungs-basierten Vorgehensweise konnte den Erstellungsaufwand nicht vollständig reduzieren. Es ist deshalb differenziert zu prüfen, für welche Projekte diese ressourcenbindenden Aktivitäten zur Durchführung einer Tauglichkeitsprüfung angemessen sind. Durch den tendenziell hohen Aufwand zur Erst-Erstellung sollte die bewertungs-basierte Vorgehensweise eher für strategisch wichtige Projekte mit großem Investitionsvolumen oder intensiver Ressourcenbindung genutzt werden. Zu berücksichtigen ist dabei, dass sich bei wiederholter Prüfung der Tauglichkeit die Ressourcenbindung verringert, da vorhandene Erkenntnisse der Erst-Bewertung genutzt oder angepasst werden können. Trotz des identifizierten Aufwands für die Tauglichkeitsprüfung von Technologiekonzepten ist in deren Anwendung ein hoher Nutzen zu sehen. Insbesondere wird der Nutzen bei technologiegeorientierten Unternehmen, die eigenständig oder in kooperativer Form Technologieentwicklungen durchführen, gesehen. Diese Firmen werden von der Vorgehensweise profitieren, indem ihre Technologie- wie auch Produktplanung mit wiederholter Nutzung nachhaltig verbessert werden kann.

### **Anwendungsgebiete der Tauglichkeitsprüfung**

Die bewertungs-basierte Vorgehensweise ist dem Aufgabenfeld des operativen Technologiemanagements zuzuordnen und darin speziell der Technologieentwicklung. Es werden somit weder die Technologieplanung noch die Produktplanung bzw. Technologieverwertung als expliziter Bestandteil aufgegriffen. Aus Sicht des strategischen Technologiemanagements wird die Phase „Umsetzung einer Technologiestrategie“ fokussiert, welche die Durchführung von Technologieprojekten beinhaltet. Unternehmen mit eigener Technologieentwicklung im „Business to Customer“ Bereich als auch Entscheider sowie Entwicklungsteams technologieorientierter Unternehmen werden von der Vorgehensweise profitieren. Diese Stakeholder können mit Hilfe der entwickelten Vorgehensweise laufende Technologieentwicklungen monitoren und bei abweichender Entwicklung Maßnahmen einleiten. Es werden keine subjektiven Entscheidungen mehr getroffen, sondern anhand von zugrundegelegten Bewertungsinstrumenten systematisch entschieden, wann Technologieentwicklungen in die Produktentwicklung übergehen oder abgebrochen werden sollten. Die entwickelte Vorgehensweise trägt dazu bei, die Unsicherheiten in der Technologieentwicklung aus Managementsicht zu reduzieren, indem neben technischen Reifegraden kundebezogene, fertigungsbezogene als auch wirtschaftliche Reifegrade in die Entscheidungsfindung mit einfließen. Die entwickelte Vorgehensweise ist keinesfalls als allumfassende Technologiebewertungsmethode im Technologiemanagement zu verstehen. Konzipiert wurde das Vorgehen für die Überprüfung von Technologieentwicklungsprojekten im Sinne eines Bottom-Up-Prinzips von

der Projektebene hin zur Strategieebene. Eine vorhergehende Auswahlentscheidung zur Durchführung von Technologieentwicklungen (i.S.v. Projekten) wurde dabei nicht betrachtet. Ebenfalls wurde eine Einschränkung auf Produkttechnologien vorgenommen. Für weitergehende Bewertungsfragestellungen sind folglich andere Bewertungsmethoden oder Instrumente aus dem Technologiemanagement notwendig und aufzugreifen.

### **Methoden- und Instrumentenbetrachtung in der Tauglichkeitsprüfung**

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die Funktionsfähigkeit der bewertungsbasierten Vorgehensweise nur gegeben ist, wenn gemeinsam mit Anwendern im Unternehmen das Basiselement „HoT“ zu Bewertungsbeginn richtig erstellt wird. Bei unsachgemäßer Erstellung kann die Qualität der Tauglichkeitsprüfung nicht mehr vollumfänglich gewährleistet werden. Es ist dann davon auszugehen, dass sich die generierten Tauglichkeitswerte tendenziell eher verschlechtern bzw. in ihrer Aussagekraft negativ beeinflusst werden. In der Unternehmenspraxis sollte dieser Aspekt explizit Berücksichtigung finden. In Bezug auf die Technologieperspektive kann angemerkt werden, dass die Annahmen für die zugrunde gelegte Formel zur Reifegradermittlung bei kritischer Betrachtung aus technischer Sichtweise vor allem an den Grenzbereichen noch Schwächen aufzeigt. Dies kann insbesondere dadurch begründet werden, dass die Leistungsfähigkeit und Bedeutung von Technologieelementen am unteren Grenzbereich nicht ganz überschneidungsfrei ist. In weiteren Anwendungen in der Praxis ist die zugrundegelegte Formel tiefergehend zu prüfen und ggf. um einen Korrekturfaktor zu erweitern. Bei einer kritischen Betrachtung der Kundenperspektive könnte die Einsatzfähigkeit der bewertungsbasierten Vorgehensweise eingeschränkt werden, wenn in einer so frühen Phase der Technologieentwicklung keine Lead-User identifiziert werden können. Am Suchprozess beteiligte Entwicklungsteams sind an dieser Stelle aufgefordert, von gegenwärtigen Geschäftsfeldern zu abstrahieren und potenzielle Anwendungsfelder in die Tauglichkeitsprüfung mit einzubeziehen (vgl. Herstatt 2000, S. 6). Ist dies nicht möglich bzw. leistbar, sollte alternativ auf die Einbeziehung von externen Experten zurückgegriffen werden, die im entsprechenden Themenfeld der Technologieentwicklung Erfahrungen aufweisen und Anforderungen aus Expertensicht formulieren können. Weitere Einschränkungen wurden bei der Methoden- und Instrumentenbetrachtung nicht identifiziert.

## 10 Zusammenfassung und Ausblick

Zum Abschluss werden in Kap. 10 die wesentlichen Ergebnisse und zentralen Aussagen dieser Arbeit nochmals zusammenfassend dargestellt.

### 10.1 Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Dissertation bestand darin, eine bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung von Produkttechnologien in der Technologieentwicklung zu entwickeln, um Unternehmen bei der Entscheidungsfindung im technologischen Entwicklungsverlauf zu unterstützen und ihnen quantifizierbare Aussagen zur Einsatzfähigkeit und Reife von Technologiekonzepten zu liefern.

Zur Erfüllung wurden fünf Teilziele definiert:

1. Die bewertungsbasierte Vorgehensweise sollte es ermöglichen, Technologiekonzepte im Verlauf der Technologieentwicklung anhand von strategischen als auch entwicklungsbezogenen Zielen zu kategorisieren und darauf aufbauend eine Tauglichkeitsprüfung einzuleiten.
2. Mit Hilfe der bewertungsbasierten Vorgehensweise sollte neben einer Steuerung und Kontrolle von Entwicklungszielen innerhalb der Technologieentwicklung auch die Einsatzfähigkeit von Technologiekonzepten anhand einer mehrperspektivischen Bewertung überprüft werden, insbesondere durch die gezielte Kombination und Integration von qualitativen wie auch quantitativen Bewertungsmethoden.
3. Die Tauglichkeitsprüfungsergebnisse sollten durch die bewertungsbasierte Vorgehensweise aufgegriffen und unter der Berücksichtigung unternehmerischer Ressourcen zur Durchführung konkreter Handlungsmaßnahmen genutzt werden.
4. Die Bewertbarkeit aller eingesetzten Produkttechnologien eines Technologiekonzepts sollte gewährleistet werden, indem die jeweiligen Technologien in ihren technisch-funktionalen Zusammenhängen dargestellt und auf Komponentenebene auf ihre Tauglichkeit überprüft werden.
5. Schließlich sollte die bewertungsbasierte Vorgehensweise als durchgängiges Bewertungsinstrument in der operativen Technologieentwicklung Einsatz finden und angrenzende Aufgabenbereiche des Technologiemanagements, wie zum Beispiel die Technologieplanung insofern berücksichtigen, dass geplante Ziele für die Technologieentwicklung aufgegriffen werden.

Die Tauglichkeitsprüfung wurde in der vorliegenden Arbeit als eine objektbezogene Bewertungsform der Technologiebewertung zur Überprüfung des Erfüllungsgrades vorgegebener Zielstellungen als auch zur Beurteilung der Einsatzfähigkeit von Technologiekonzepten in der Technologieentwicklung aufgefasst. Die Überprüfung der Tauglichkeit wurde in einen systematisch wiederkehrenden Bewertungsprozess eingegliedert, mit einem mehrperspektivischen und formalisierten Kennzahlensystem ausgestattet und auf die Ableitung entwicklungsbezogener Maßnahmen ausgerichtet. Die Tauglichkeitsprüfung verfolgt in ihrer Art und Weise vornehmlich das Ziel, eine verfrühte Überführung von technologischen Entwicklungsergebnissen in den Produktentwicklungsprozess zu verhindern und dadurch exponentiell wachsende Kostensteigerungen durch technische Risiken oder gar fehlende Fertigungskompetenzen bereits vor Projektstart zu vermeiden. Für Entscheider technologieorientierter Unternehmen ergibt sich infolgedessen die Möglichkeit, subjektive Einschätzungen hinsichtlich Einsatzfähigkeit und Technologiereife durch methodische Ansätze zu stützen und den Wunsch nach quantitativen Bewertungen zu erfüllen.

Das Ziel einer quantifizierbaren Bewertung zur Ermittlung von Einsatzfähigkeit und Reife technologischer Entwicklungen war in der Unternehmenspraxis bisher jedoch nur wenig zufriedenstellend gelöst, was entweder auf die geringe Praxistauglichkeit bisheriger Ansätze zurückzuführen ist oder auf die bislang nur ungenügende Abdeckung solcher Bewertungs-

strumente für die Technologieentwicklung. Dieser Sachverhalt zeigte sich insbesondere bei der Betrachtung zentraler Wissenschaftsbereiche wie der prozessbasierten Technologieentwicklung und Technologiebewertung als auch bei den vorliegenden Reifegradmodellen. Diese kommen bei kritischer Betrachtung den Forderungen der Praxis für eine Tauglichkeitsprüfung nur ungenügend nach. Insbesondere die Betrachtung von Technologieentwicklungsprozessen zeigte, dass im Hinblick auf eine objektbezogene Bewertung (i.S.v. Einzeltechnologien oder Technologiekonzepten) wesentliche Defizite vorliegen. Ebenso fielen bei den Methoden und Verfahren der Technologiebewertung signifikante Defizite hinsichtlich Bewertungsvielfalt und Bewertungszeitpunkt als auch das Fehlen repräsentativer Kennzahlen zur Evaluation von Technologieentwicklungen auf. Nicht zuletzt führte die kritische Betrachtung von Reifegradmodellen zu Unzulänglichkeiten hinsichtlich deren Durchgängigkeit in der Bewertung und Maßnahmenableitung, wodurch sich der Bedarf nach einem flexiblen bewertungs-basierten Vorgehen zur Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung nur verstärkte.

Die bewertungs-basierte Vorgehensweise in dieser Arbeit ist auf die Tauglichkeitsprüfung von Produkttechnologien in produzierenden Unternehmen ausgerichtet und beinhaltet die wesentlichen Phasen einer systematischen Bewertung. Die Zielbestimmung wird durch kategorisierende als auch tauglichkeitsbezogene Leitlinien unterstützt. Zur Entwicklung des Konzepts findet ein Stage-Gate-Prozess Einsatz, in dem eine oder mehrere Entwicklungsphasen nacheinander durchlaufen werden. Für die projektbezogene Tauglichkeitsbewertung liegen entwicklungsbezogene Checklisten bereit, während die objektbezogene Bewertung durch eine mehrperspektivische Betrachtung analog einer Technologie-Scorecard realisiert wird. Dabei dient das House of Technology mit seiner Matrixstruktur als Basiselement und wird für die Technologie-, Kunden-, Fertigungs- und Wirtschaftlichkeitsperspektive entsprechend adaptiert. Für die einzelnen Perspektiven kommen in Ergänzung zum Basiselement HoT mehrere qualitative wie auch quantitative Analyse- und Bewertungsmethoden zur Tauglichkeitsprüfung zum Einsatz. Zur Ermittlung der Tauglichkeit aus technischer Sichtweise finden die Funktionsanalyse nach VDI 2803 wie auch ein entwickeltes Leistungsfähigkeits-Bedeutungs-Portfolio Anwendung. Eine modifizierte Form der Lead-User-Methode bildet in der Kundenperspektive die wesentliche Grundlage zur Tauglichkeitsermittlung. Die fertigungsbezogene Tauglichkeit wird mit Hilfe von Technologieketten und deren Nutzwertbetrachtung bestimmt. Zur Ermittlung der wirtschaftlichen Tauglichkeit wird auf den Target Costing-Ansatz zurückgegriffen und darin vereinfachend die Kapitalwertmethode eingegliedert. Die Ableitung von Maßnahmen ermöglicht schließlich ein weiterentwickeltes Reifegrad-Aufwands-Portfolio als auch eine Perspektivenanalyse. Für die Ergebnisinterpretation der bewerteten Perspektiven stehen in Abhängigkeit der Entwicklungsart „Neuentwicklung“ oder „Substitutionsentwicklung“ zwei Maßnahmenkataloge bereit.

Die bewertungs-basierte Vorgehensweise lehnt sich in ihrer Struktur an den Bewertungsprozess nach PLESCHAK und SABISCH an und ist aus vier Phasen aufgebaut. Analog zu den Regelkreisen von Reifegradmodellen erlaubt das entwickelte Vorgehen einen mehrmaligen Einsatz in der Technologieentwicklung. Eine zweigeteilte Bewertungsphase gewährleistet neben einer projektbezogenen auch eine objektbezogene Bewertung von Technologiekonzepten, welche durch die Nutzung der vier Bewertungsperspektiven „Technik“, „Kunde“, „Fertigung“ und „Wirtschaftlichkeit“ sichergestellt wird. Die bewertungs-basierte Vorgehensweise wird zudem durch ein Systemmodell zur Aufgliederung von Technologiekonzepten ergänzt, um eine direkte Vergleichbarkeit der eingesetzten Technologien bis auf Komponentenebene zu gewährleisten.

Die Anwendbarkeit der bewertungs-basierten Vorgehensweise wurde in einem Unternehmen aus dem Bereich der Automatisierungsindustrie demonstriert. Die Tauglichkeitsprüfung wurde dabei anhand eines aktuellen Technologieentwicklungsprojekts im Beispielunternehmen durchgeführt. So konnte im Anwendungsfall gezeigt werden, dass eine Dekomposition des Technologiekonzepts einen detaillierten Zugang zu den eingesetzten Produkttechnologien liefern kann und als wesentliche Voraussetzung zur objektbezogenen Tauglichkeitsprüfung

notwendig ist. Zudem wurde durch den Einsatz der bewertungsbasierten Vorgehensweise im Beispielunternehmen nachgewiesen, dass eine mehrperspektivische Bewertung über eine technische, kunden-, fertigungs- und wirtschaftlichkeitsbezogene Perspektive hinweg hinreichende Aussagen zur Einsatzfähigkeit bzw. Tauglichkeit einzelner Technologien liefern kann. Dabei gelang mitunter auch der Nachweis, dass die gezielte Kombination und der Einsatz von qualitativen als auch quantitativen Bewertungsmethoden zur Ermittlung der Perspektiven zweckmäßig und zur objektiven Ergebnisdarstellung erforderlich sind. Die Ableitung von Maßnahmen anhand von Entwicklungsergebnissen und weiteren Entwicklungsaufwänden zeigte zudem, dass neben einer reinen Ergebnisdarstellung den Entscheidern im Beispielunternehmen zusätzliche Instrumente zur Entscheidungsfindung bereitgestellt werden konnten. Insbesondere erwiesen sich in diesem Zusammenhang die entwickelten Maßnahmenkataloge als hilfreich und zielführend. Schließlich konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass die Anwendbarkeit der gesamten Vorgehensweise in der Unternehmenspraxis durchgängig gegeben ist und neben Entwicklungsteams auch Schnittstellenbereiche wie ein Kostenmanagement oder die Fertigung für eine ergebnisorientierte Tauglichkeitsprüfung eingebunden werden können.

## 10.2 Ausblick

Nach einer Demonstration der Anwendbarkeit ergeben sich aus heutiger Sichtweise weitere Forschungsfragen für die entwickelte Vorgehensweise. So existiert gleich an mehreren Stellen Forschungsbedarf für die Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung. Nachfolgend sind die wichtigsten Maßnahmen zur Weiterentwicklung skizziert.

Die als Teilgebiet der Technologiebewertung behandelte Thematik „Tauglichkeitsprüfung“ könnte beispielsweise in weiteren Forschungsarbeiten zum strategischen Technologiemanagement wie auch dem Technologiecontrolling aufgegriffen werden. Durch die Auseinandersetzung mit Tauglichkeitsprüfungen in diesen angrenzenden Wissenschaftsbereichen könnten auf der einen Seite neue Möglichkeiten zur Planung, Steuerung als auch Kontrolle von Technologien identifiziert und andererseits Instrumente und Werkzeuge des Technologiemanagements noch enger miteinander verknüpft werden. So könnte beispielsweise die Validierung von Technologie-/Produkt-Roadmaps in Unternehmen durch Tauglichkeitsprüfungen gestützt und dadurch angenommene Entwicklungspfade von Technologien auf ihre Realisierung hin überprüft und mit Tauglichkeitswerten belegt werden. Ebenso ist es denkbar, dass Tauglichkeitswerte als unterstützende Kennzahlen im Technologiecontrolling Einsatz finden und dadurch die systematische Bündelung und Aufbereitung von Informationen innerhalb des Technologielebenszyklus fördern. Erste diesbezügliche Analogiebetrachtungen wurden bereits im Grundlagenteil der vorliegenden Arbeit diskutiert. Die Integrationsfähigkeit und Realisierbarkeit dieser identifizierten Möglichkeiten bedarf jedoch der Beleuchtung von Wissenschaftlern aus den entsprechenden Fachgebieten.

Die Anwendbarkeit der entwickelten Vorgehensweise sollte zudem in anderen Unternehmen geprüft werden, um insbesondere die Stabilität der Bewertungsschritte und die Ergebnissicherheit von Tauglichkeitsprüfungen weiter zu belegen. Auch die Anwendbarkeit für andere Branchen und unterschiedliche Unternehmensgrößen sollte in diesem Zusammenhang ebenfalls dargestellt werden. Bisher ist die Anwendbarkeit in einem Unternehmen der Automatisierungsindustrie belegt, weshalb weitere Prüfungen in produzierenden Gewerben unterschiedlicher Größe zweckmäßig erscheinen. Aus gegenwärtiger Sicht besteht weiterer Forschungsbedarf, um die Steigerung von unternehmerischem Handeln durch die Nutzung von technologiebezogenen Reifegradmodellen nachzuweisen. Zahlreiche Studien belegen zwar die gestiegene Nutzung von Technologiebewertungsmethoden in der Unternehmenspraxis (Wellensiek et al. 2010); die explizite Betrachtung von Reifegradmodellen und deren Nutzenpotenziale für Anwender wurden bisher jedoch eher vernachlässigt. So könnte eine breit angelegte Studie untersuchen, welchen Stellenwert Reifegradmodelle in Unternehmen bereits zur Entscheidungsfindung besitzen. Obendrein könnte ermittelt werden, wie hoch die

Nutzbereitschaft im Verhältnis zur Unternehmenskultur bzw. Innovationskultur gesehen wird. Mit den Erkenntnissen einer solchen Studie könnte wiederum das Bewusstsein zur Nutzung innovativer Bewertungsansätze im Technologiemanagement bei Entscheidungsfindungen unter Unsicherheit gestärkt werden.

Für eine effektive und effiziente Anwendung der entwickelten Vorgehensweise in der Unternehmenspraxis wird zudem die Einführung eines softwaregestützten Tools vorgeschlagen. Durch vordefinierte Eingabe- wie auch Ausgabeoberflächen könnte die Tauglichkeitsprüfung für Anwender leichter nachvollziehbar gemacht und gleichzeitig die Benutzerfreundlichkeit solcher neuartigen Bewertungsansätze gesteigert werden. Eine automatisierte Erstellung von Ergebnisdiagrammen könnte insbesondere die Vergleichbarkeit von Technologiekonzepten untereinander begünstigen. Unternehmensinterne Datenbank- oder Wissensmanagementsysteme könnten für eine aufwandsreduzierte Informationssammlung genutzt werden. Letztlich könnte ein softwaregestützter Tooleinsatz die Dokumentation und Verwaltung von durchgeführten Tauglichkeitsprüfungen für Technologiekonzepte gewährleisten. Insgesamt sollte die Einführung und Nutzung softwaregestützter Tools zur Standardisierung von Bewertungsinstrumenten führen, um Mitarbeitern in global agierenden Unternehmen verteiltes Wissen schnell und zielgerichtet zugänglich zu machen.

Trotz ihrer Möglichkeiten weist die bewertungsbasierte Vorgehensweise Grenzen in ihrer Anwendung auf. Mit der Fokussierung auf Produkttechnologien wird von vorneherein eine Überprüfung der Tauglichkeit von Fertigungstechnologien im Unternehmensumfeld ausgeschlossen. In weiteren Untersuchungen sollte deshalb beleuchtet werden, inwieweit die zugrundeliegende Bewertungssystematik auf die Überprüfung von neuen Fertigungstechnologien übertragbar ist. So könnte in einem ersten Schritt der Fragestellung nachgegangen werden, inwiefern die mehrperspektivische Betrachtung der vorliegenden Arbeit für Fertigungstechnologien überhaupt sinnvoll erscheint. Überdies wäre zu untersuchen, ob der Einsatz von ähnlichen oder gar identischen Bewertungsmethoden für die Evaluierung von Fertigungstechnologien möglich ist. Eine solche Untersuchung zur Übertragbarkeit von technologischen Bewertungsansätzen auf Fertigungstechnologien könnte die Instrumentarien im Technologiemanagement künftig ausweiten.

Bei einer konsequenten Umsetzung der skizzierten Forschungsfragen lässt sich die bewertungsbasierte Vorgehensweise systematisch verbessern und in ihren Einsatzgebieten mittelfristig erweitern. Zudem können technologische Entscheidungen in der Unternehmenspraxis weiter präzisiert und ihrer Umsetzung besser nachvollziehbar gemacht werden.

## 11 Abstract

Companies in today's world are facing several challenges like: fast changing requirements of the market, constantly rising cost pressure as well as the demand for innovative solutions and high quality products. On top of that, harsh market conditions and an increasing globalization of the world markets are causing additional challenges.

In order to successfully compete as a technology-oriented company in the international competition, technical expertise and corporate resources for the development of new products must be utilized in the most effective way (see Spath und Warschat 2008, p. 10) Differentiation and a competitive advantage can – up until now - only be achieved if companies manage to invest into the development of promising technologies and thereby offer technological innovations with promising features to new markets (see Ganz und Warschat 2012, p. 58).

For companies, the fight for market shares doesn't start with the introduction of new products. Already in the phase of technology development, companies need to find out which technologies ensure long-term success and competitive differentiation by enhanced functionalities or cost effectiveness.

In order to maximize the benefit of new technologies, market-changes must be interpreted and extensive knowledge about future trends and future needs must be obtained (Kippels 2012). Afterwards the generated knowledge must be reconciled as fast as possible and efficiently implemented with the opportunities of emerging technologies (see Kippels 2012). In these early stages of product creation, where the utilizability of technology developments is quite hard to define the adoption of evaluation instruments and methodological approaches need to be clarified that a decision making for technology-oriented companies can be possible on an individual basis (Warschat 2011, p. 63; Spath und Leyh 2011, p. 32).

The objective of this thesis is to develop an evaluation based procedure to proof the capability of technology driven concepts in order to support companies in their decision-making process and to provide them with quantitative information during the technology development. To achieve this, five sub-goals were defined:

1. The procedure should allow companies to categorize their technology concepts on the basis of strategic and operative targets. Those targets, following the procedure should set the capability test in a stage-gate-process.
2. The procedure should continuously monitor development objectives as well as proofing the capability of technology-driven concepts by an evaluation from different angles.
3. Results of the capability test should be analyzed by the developed procedure and measures defined in consideration of resources.
4. The measurability of all technologies involved in the technology-driven concept should be guaranteed by showing the technologies in their technical-functional relationships and thereby proof their capability on a component-level.
5. After all the procedure should be used as an continuous evaluation tool in the technology development phases and consider surrounding areas such as technology planning by taking planning objectives on.

In this thesis the proof of capability was defined as an object-related evaluation type to monitor the performance degree of predefined targets and to estimate the utilization of technology-driven concepts within technology development. The proof of capability is based on a systematic evaluation process with multi-perspective and formalized key figures and aligned with development based measures. The proof of capability mainly pursues the objective to avoid a premature transfer of technological development results into the product development process and thereby obviate the risk of cost increases in advance of a project launch. For decision makers of technology-driven companies, the developed procedure opens up the

possibility to support subjective statements of technology readiness levels with methodological approaches and fulfils the desire for quantitative evaluations.

The actual situation was especially confirmed by an observation of central scientific domains such as “technology development processes”, “technology assessment methods” as well as existing “maturity models”. These approaches show deficits and do not maintain the requirements of management practice. Especially technology development processes show significant deficits with regard to an object-related evaluation. Technology assessment methods show deficits as well – regarding the assessment variety and date as well as representative key figures for the evaluation of technology developments. Last but not least the crucial examination of maturity models also showed deficits. They lack in a continuous evaluation and development of measures whereby the necessity for a flexible procedure for the capability proof in technology development is encouraged.

The developed procedure in this thesis is focussing on feasibility testing of product technologies and comprises all essential phases of a systematic evaluation process. Analogue to feed-back systems of maturity models, the developed procedure is aligned with a multiple usage in the technology development phases. A partitioned evaluation phase guarantees - besides a project-related evaluation - also an object-related evaluation of technology-driven concepts. The procedure is supplemented by a system model for technology-driven concepts in order to evaluate technologies on a component-level. The developed procedure is divided into phases “definition of objectives for the concept”, “development”, evaluation of the concept” and “definition of management measures” plus facilitated by several evaluation methods: The definition of objectives (phase 1) is supported by special guidelines. For the development of technology-driven concepts (phase 2), a particular stage-gate-process is used. Furthermore the evaluation of project-related targets (phase 3.1) in the technology development is provided by checklists. The object-related proof of capability (phase 3.2) is realized by a multi-perspective evaluation – along the lines of a technology-scorecard approach and by the help of the methodology house of technology as a basic element and further qualitative and quantitative evaluation methods. For the definition of management measures (phase 4) a refined maturity effort portfolio is used as well as an analysis of the multiple perspectives and a special measure catalogue.

The application of the developed procedure was demonstrated in a technology-driven company in the field of automatization. The proof of capability was shown by the use of a newsworthy technology development project. The application demonstrated that the procedure is well suited for the decomposition of the technology-driven concept and thereby attend as an essential requirement for the object-related proof of capability. In particular it was shown, that a multi-perspective evaluation provides adequate statements for the proof of capability of several technologies and offers the possibility to display objective results. With the definition of management measures and further development efforts it could further be shown that decision makers of the company have been supported by additional instruments. Finally the application demonstrated that besides development teams other corporate divisions – such as cost management or production – are necessary for a result-oriented proof of capability.

## 12 Anhang

### 12.1 Hype Cycle nach Gartner

Mitte der 90er entstand durch die Marktforschungs- und Beratungsfirma Gartner ein Hype Cycle Modell zur Akzeptanzmessung neuer Technologien aus Anwendersicht. Der Wahrnehmungsgrad neuer Technologien wird dabei als Funktion der Zeit dargestellt und in regelmäßigen Abständen unter Berücksichtigung von ermittelten Trends aufbereitet (vgl. Schuh und Klappert 2011, S.41; Hinterholzer et al. 2011, S. 41). Dem Gartner-Modell liegt die Annahme zugrunde, dass die Akzeptanz für neue Technologien bei Anwendern einem gleichen bzw. wiederholbaren Muster folgt und sich graphisch als Kurvenverlauf darstellen lässt (vgl. Gaude 2009, S. 46). TIEFEL ordnet in diesem Zusammenhang das Hype Cycle Modell sogar den nachfragebezogenen Modellen zur Technologielebenszyklusbetrachtung zu (vgl. Tiefel 2007, S.37, 40). Im Vergleich zum verbreiteten und bekannten S-Kurvenkonzept steht hier nicht die Leistungsfähigkeit einer Technologie im Vordergrund sondern der Wahrnehmungsgrad bzw. die Akzeptanz für potentielle Anwender (vgl. Tiefel 2007, S.40).

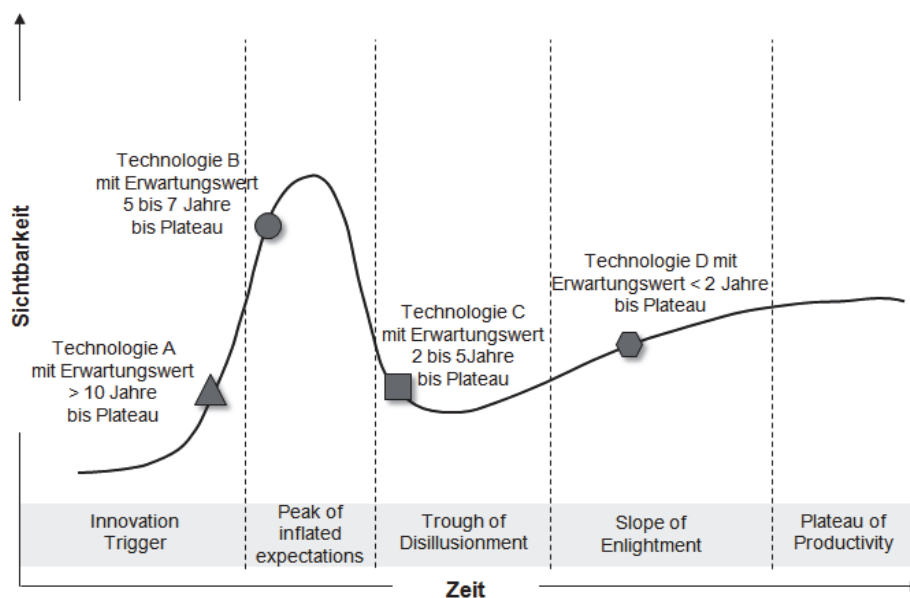


Abb. 46: beispielhafter Hype Cycle-Verlauf (vgl. Tiefel 2007, S.43)

Der exponentielle Kurvenverlauf des Hype Cycle Modells mit einem sich anschließenden Gefälle im Aufmerksamkeitsniveau und einem erneuten Anstieg zum Ende hin (siehe Abb. 46) bietet technologieorientierten Unternehmen prinzipiell die Möglichkeit einzuschätzen, wann Investitionen aber auch Desinvestitionen in Technologien sinnvoll erscheinen (vgl. Rip 2007, S. 91). Die einzelnen Phasen eines solchen Gartner Hype Cycles lassen sich idealtypisch unterteilen in (Hinterholzer et al. 2011, S. 42; Gaude 2009, S. 46; Linden und Fenn 2003, S.7-11):

- **Technology trigger**, ist als Phase des Durchbruchs zu verstehen, welche die Einführung neuer Produkte oder die Ankündigung neuer Technologien hervorruft, sich jedoch für gewöhnlich mit einem zunächst geringen Bekanntheitsgrad äußert.
- **Peak of inflated expectations**, ist als Phase der rasch ansteigenden Erwartungen zu verstehen. Für gewöhnlich können die rasch geweckten Erwartungen an die neuen Technologien nicht abgedeckt werden. Nur in Ausnahmefällen kommt es zu erfolgreichen Adaptionen in Produkten oder Anwendungen.
- **Trough of disillusionment**, ist als Phase der Enttäuschung zu verstehen, welche dadurch hervorgerufen wird, dass neue Technologien geweckte Erwartungen an Anwendungen oder Produkte nicht erfüllen können. Das Bewusstsein bzw. Interesse für Technologien nimmt infolgedessen seitens der Anwender häufig ab.

- **Slope of enlightenment**, ist als Phase der Aufklärung zu verstehen, indem identifizierte Probleme und Herausforderungen der Technologie von Entwicklungsabteilungen behoben werden, wodurch eine Reifung erfolgt und die technologischen Neuerungen in Anwendungen adaptiert werden können.
- **Plateau of productivity**, ist als Phase der Akzeptanz und Nutzung neuer Technologien zu verstehen.

Die Gründe für den schwankenden Verlauf nach der Einführung neuer Technologien in spezifischen Märkten oder Branchen kann bspw. auf noch fehlende Kenntnisse über die Technologie, fehlende technische Standards, unzureichende Zuverlässigkeit im Umgebungseinsatz, noch zu hoher Kosten oder unzufriedenstellender Anforderungen für Massen Anwendungen zurückgeführt werden (vgl. Rip 2007, S. 91). Erwartungen von Kunden oder gar Märkten haben demnach einen nicht unwesentlichen Einfluss auf Technologieentwicklungen und können hierdurch zur Akzeptanzförderung oder -hinderung von Technologien beitragen (vgl. Gaude 2009, S. 47). Trotz der wiederkehrenden Analysen durch die Marktforschungs- und Beratungsfirma Gartner sind die graphischen Kurvenverläufe aufgrund ihrer trendbezogenen Datenbasis wissenschaftlich nur schwer abzusichern und zumeist subjektiver Natur (vgl. Tiefel 2007, S. 38). Vielmehr fördern Modelle wie der Hype Cycle bei Investoren (i.S.v. Anwendern) das anwendungsbezogene Verständnis für Technologien und deren entstanden bzw. noch zu erahnenen Markterwartungen und sind ähnlich dem S-Kurvenkonzept als Orientierungshilfe im Entscheidungsfindungsprozess einzusetzen (vgl. Gaude 2009, S. 47; Tiefel 2007, S.39).

## 12.2 Technologie-Bewertungskriterien

Tab. 28: Auswahl an Bewertungsklassen und -kriterien zur Technologiebewertung<sup>70</sup>

Kriterienklasse	Auswahl an Einzelaspekten
<b>Reifegradbezogene Kriterien</b>	<p><u>Kosten</u>: Investitionskosten, Lizenzgebühren, Entwicklungskosten, Fertigungskosten, Montagekosten, Lagerkosten sowie Entsorgungskosten</p> <p><u>Qualität</u>: Leistungsfähigkeit, Funktionssicherheit, Verfügbarkeit, Fertigungstoleranzen, Verschleiß, Demontagefähigkeit, verwendete Materialien, Energieverbrauch sowie Gewicht.</p> <p><u>Flexibilität</u>: Adaptivität, Vernetzbarkeit, Modularisierbarkeit, Geometrieflexibilität, Abmessungen sowie mögliche Einbauorte.</p>
<b>Wirtschaftsbezogene Kriterien</b>	<p><u>absolut</u>: ROI, Rentabilität, Herstellkosten, Reingewinn, NPV, Deckungsbeitrag, Cash Flow, Discounted Cash Flow sowie Kapitaleinsatz</p> <p><u>relativ</u>: Kostenersparnis, Gewinnzuwachs, Liquiditätsbelastung, Umsatzsteigerung, kritische Produktionsmengen, u.a.</p>
<b>Marktbezogene Kriterien</b>	Entwicklungszeit, Amortisationsdauer, Time to Market, Break-Even, erwartetes Marktwachstum, Marktvolumen, Marktgröße, Wettbewerbsstärke, Positionierung der Erfindung am Markt, Patentsituation, Markteintrittsbarrieren, u.a.
<b>Strategie- und kompetenzbezogene Kriterien</b>	Nutzwert durch Einsatz der Technologie, Kundennutzen durch Technologieeinsatz, Branchenattraktivität, Marktattraktivität, Produktprogramm, Know-How, Flexibilität, strategischer Fit, Wirksamwerden der Innovation, Ausbaustufen, geplante Einführung, u.a.
<b>Technikbezogene Kriterien</b>	erzeugter Produkt- und Kundennutzen, Realisierbarkeit technischer Lösungen, Technologiefelder und Entwicklungsszenarien, Entwicklungsaufwand, Entwicklungsdauer, Leistungsfähigkeit, Funktionssicherheit, modularer Aufbau, Automatisierungsniveau, Flexibilität, Zuverlässigkeit, Lebensdauer, Integrationsgrad, Steuerungsart, Platzbedarf, Produktqualität, u.a.
<b>Funktionsbezogene Kriterien</b>	Belastungsdaten, Bewegungsdaten, Leistungsdaten, Freiheitsgrade, Wirkungsgrade, funktionelle Grenzdaten, Maximalgewicht, Standsicherheit, maximale Feldstärke, u.a.
<b>Betriebs- und prüfbezogene Kriterien</b>	Gebrauchsdauer, Betriebszeit, Einsatzdauer, Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Handhabbarkeit, Bedienbarkeit, Wartbarkeit, Instandsetzbarkeit, Sicherheit, einsetzbares Prüfverfahren, anzuwendendes Prüfmittel u.a.
<b>Konstruktions- und herstellungsbezogene Kriterien</b>	Schweißbarkeit, Fertigungsverfahren, Materialauswahl, Normteilmutzung, Handelsteilmutzung, Austauschbarkeit, Verschleiß, Magnetisierbarkeit, Absorbierverhalten, Bearbeitungsgüte, u.a.
<b>Umfeldbezogene Kriterien</b>	Tieftemperaturverhalten, Temperatur bei Langzeitlagerung, Feuchtigkeit bei Langzeitlagerung, Beschleunigung, mechanischer Schock, Vibration, Beschallung, Abrieb, Erosion, Säuren, Laugen, Schmiermittel, Benzin, Benzol, Betriebstemperaturbereich, Betriebstemperaturzyklen, Schweltemperatur, Zündtemperatur, elektrische Störbeeinflussung, elektromagnetischer Puls, u.a.

<sup>70</sup> beispielhaft zusammengestellt aus: (König 2007, S. 6; Rapp 1999, S. 223; Knappe 2006, S. 1-19; Granig 2007, S. 60-64; Breiing 1997, S. 23; Heubach 2008, S. 198; Pleschak 1996, S. 175-178; Kröll 2007, S. 94-99)

## 12.3 Technologiecontrolling

Aufgrund der zunehmenden Bedeutung von Technologien und ihrer gewachsenen Wettbewerbsrelevanz wurde vor einigen Jahren auch der Bedarf erkannt, dass ein effektives Controlling<sup>71</sup> in Unternehmen nur in Einklang mit einem entsprechenden Technologieverständnis zweckmäßig ist (vgl. Specht 2002a, S. 339). Der identifizierte Bedarf führte zur Einführung des Technologiecontrollings, das auf die entstandene Lücke zwischen dem Technologiemanagement sowie der Unternehmensstrategie eingeht und das strategische Technologiecontrolling um einen expliziten Technologiebezug erweitern soll (vgl. Achatz 2012, S. 343). Das Ziel dieses Technologiecontrollings war und ist für das Management die systematische Bündelung und Aufbereitung von Informationen innerhalb des Technologielebenszyklus bei gleichzeitiger Steuerung und Kontrolle laufender Technologiemanagementaktivitäten, vgl. (Mild und Sasse 1999). Nach JUNG & TSCHIRKY (vgl. Specht 2002a, S. 343) lassen sich unter Berücksichtigung von SIMONS (Simons 1995) in Unternehmen vier Aufgabenbereiche für ein situatives Technologiecontrolling unterscheiden: das Diagnostic Technology Controls System, das Interactive Technology Control Systems, das Technology Beliefs und das Boundary Systems.

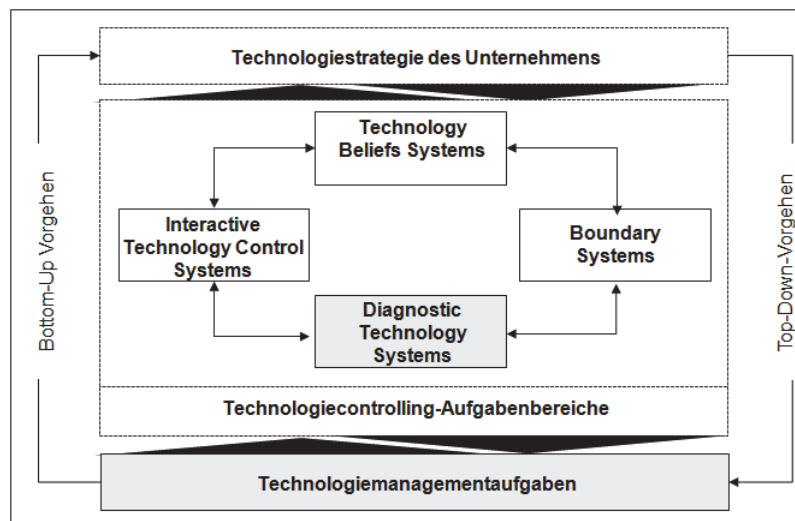


Abb. 47: Zusammenhang von Technologiemanagementaufgaben und Technologiecontrolling (eigene Darstellung)

Das Diagnostic Technology Controls System soll Technologieentscheide, die aus der unternehmensspezifischen Technologiestrategie resultieren, bei deren Realisierung überprüfen und bei auftretenden Abweichungen entgegenwirken (vgl. Specht 2002a, S. 339). Bezugspunkte sind dabei initiierte Entwicklungsprojekte, die von der Technologiestrategie ausgehen. Das Interactive Technology Control Systems ermöglicht hingegen die Aufnahme oder Ergänzung neu entstehender Technologieaktivitäten in die Technologiestrategie. Dabei werden sowohl Veränderungen der Umwelt als auch unternehmensinterne Veränderungen in der bestehenden Technologiestrategie berücksichtigt. Mit dem Technology Beliefs System können Unternehmen aktiv nach neuen Anwendungen für bereits bestehende Technologien suchen bzw. diese zur Erhöhung des Unternehmensertrags extern kommerzialisieren. Das Boundary System schließlich trägt dazu bei, Widersprüche und Redundanzen zwischen der Technologiestrategie eines Unternehmens und den übergeordneten Geschäfts- sowie Pro-

<sup>71</sup> Für die vorliegende Arbeit wird der Begriff „Controlling“ unter Berücksichtigung der Interpretation von Horváth als ein führungsgestaltender Koordinationsansatz verstanden. HORVARTH konkretisiert das „Controlling“ als eine Funktion, durch „welche die Koordination von Planung, Kontrolle sowie Informationsversorgung die Führungsfähigkeit von Organisationen verbessern hilft“ (vgl. Horváth 1996, S.7). In diesem Zusammenhang ist Controlling als ein Teilsystem der Unternehmensführung zu sehen, wobei die Integration der Kernaufgaben (Koordination, Planung, Informationsversorgung und Kontrolle) in bestehende Unternehmensprozesse erfolgen kann.

duktstrategien zu vermeiden. Wie die Ausführungen von JUNG & TSCHIRKY sowie SIMONS zeigen, ist das Technologiecontrolling mit seinen Aufgabenbereichen auf die Technologiestrategie und deren Verbindung zur Unternehmensstrategie ausgerichtet. Ein direkter Bezug zu einzelnen Technologiemanagement-Aufgaben lässt sich jedoch nicht feststellen. Dadurch bestehen Differenzen bezüglich Aufgabenumfang sowie Integrationsfähigkeit des Technologiecontrollings im Unternehmen sowie dessen Technologiemanagement (vgl. Specht 2002a, S. 339). Um den Differenzen entgegenzuwirken, schlagen SCHMEISSER & SOLTE eine methodische Unterstützung des Technologiecontrollings durch ausgewählte Bewertungsinstrumente vor (vgl. Schmeisser und Solte 2010b, S. 51f).

Ihrer Auffassung nach bieten gerade Wirtschaftlichkeitsmethoden wie die Prozesskostenrechnung und das Target-Costing oder auch Planungsmethoden wie Technologie-Roadmaps entsprechenden Zugang zu den Technologiemanagementaktivitäten in Unternehmen und gewährleisten dadurch ein technologiebezogenes Controlling. Mit dem Instrumenteneinsatz wird eine projekt- sowie managementbezogene Bewertung unter Berücksichtigung strategischer Ziele gewährleistet. Neben SCHMEISSER & SOLTE haben sich in den vergangenen Jahren weitere Autoren der Vervollständigung bzw. Integration des Technologiecontrollings ins Technologiemanagement gewidmet (vgl. Tab. 29) und sich in ihren Ausführungen auf die Lösung von Entscheidungsproblematiken und die Einführung von Kennzahlen zur Überprüfung wirtschaftlicher Zielerreichungsgrade konzentriert.

Tab. 29: Vergleich von Technologiecontrollingansätzen<sup>72</sup>

Vergleichskriterien  Ansätze zum Technologiecontrolling	Betrachtungsebene			Fokus			Zeitliche Einordnung des Ansatzes				Controllingaspekt		
	Strategisches Technologiemanagement	Operatives Technologiemanagement	Kombinierte Betrachtung	Kennzahlbasiert	Organisationsbezug	Technologiebewertungsbezug	Technologiefrüherkennung	Technologieentwicklung	Technologieadaptation/ Produktplanung	Produktentwicklung	Informationsversorgung	Koordination	Planung und Kontrolle
Hesse	●	○	●	○	○	○	●	●	○	●	●	○	○
Klappert	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	●	●
Langmann	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○
Oertelt	○	○	●	○	○	●	○	●	○	○	○	●	○
Schmelzer	●	●	●	○	●	○	○	○	○	●	●	●	●
Stirzel	○	●	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○	●
Boutellier et al.	○	○	○	●	○	○	○	○	●	●	●	○	○

Legende: ● = größtenteils erfüllt, ○ = teilweise erfüllt, ○ = größtenteils nicht erfüllt

Für die Zielsetzung dieser Arbeit sind trotz der unscharfen Eingliederung ins Technologiemanagement sowohl die Diagnostic Technology Systems als Teil des Technologiecontrolling-

<sup>72</sup> beispielhaft zusammengestellt aus: (Hesse 1990; Oertelt 2009; Schmelzer 1992; Boutellier et al. 1999; Stirzel 2010; Langmann 2009; Klappert 2006).

lings als auch der von SCHMEISSER & SOLTE vorgeschlagene Instrumenteneinsatz für den Erwerb technologischen Wissens (vgl. Kap. 4.2) als interessante Aspekte zu betrachten. Die anderen Aufgabenbereiche und auch von Autoren analysierten Ansätze (vgl. Tab. 29) werden aufgrund ihrer starken strategischen Ausrichtung zur Technologie- sowie Unternehmensstrategie oder ihres fehlenden, direkten Bezugs zur Technologieentwicklung in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Eine durchgeführte Literaturanalyse zum Technologiecontrolling in Tab. 29 ergibt, dass die Begriffe des Technologie- und Innovationscontrolling derzeit in überschneidender Form eingesetzt werden. Eine eindeutige Trennung und Unterscheidung von beiden Aufgabenbereichen ist nicht möglich. Aus diesem Grund enthält Tab. 29 sowohl Ansätze des Technologie- als auch des Innovationscontrolling.

## 12.4 Technologieentwicklungsprozesse

Tab. 30: Auswahl an weiteren Technologieentwicklungsansätzen und -prozessen

<p><b>Modell der integrierten Technologieentwicklung nach Specht et al.</b> <b>(Specht 2002b)</b></p>	<p>SPECHT et al. stellen ein Grundmodell für das Management von Technologiepotenzialen in Unternehmen vor (vgl. Specht 2002, S. 16). Durch dieses Grundmodell soll zum einen das Management von Technologieentwicklungen als ein iterativer Prozess mit einer aktivitätenübergreifenden Integration verschiedener Arbeitsschritte abgebildet werden. Zum anderen soll dafür gesorgt werden, dass der gesamte Technologieentwicklungsprozess an den Unternehmenszielen und übergeordneten FuE-Zielen ausgerichtet und im Unternehmen verankert wird. Als Resultat der Technologieentwicklung liegen nach SPECHT et al. ein Pool beherrschbarer Technologien vor, auf den die Vorentwicklung sowie Produkt- und Prozessentwicklung zurück greifen können. Das Modell der Autoren orientiert sich zweckmäßigerweise an den Arbeitsschritten: Identifikation analyserelevanter Technologiefelder, Integrierte Analyse und Auswahl von Technologiefeldern, Formulierung von Technologiestrategien und Umsetzung einer Technologiestrategie. SPECHT et al. fokussieren sich mit dem vorgestellten Grundmodell stark auf die strategischen Aspekte einer Technologieentwicklung und dabei weniger auf die explizite operative Technologieentwicklung. Das Modell der Autoren orientiert sich zwar stark an der Unternehmenspraxis, beschränkt sich aber nur auf strategische Ansatzpunkte. Folglich fehlt hier die Empfehlung für eine operative Technologieentwicklung.</p>
<p><b>Technologieentwicklung nach Bügel et al.</b> <b>(Bügel 2009)</b></p>	<p>Um die Technologieentwicklung systematisch zu optimieren, halten BÜGEL et al. die Zuhilfenahme von IT- Unterstützung für unausweichlich. Die Autoren greifen auf Indikatoren der Begleitprozesse zurück und vergleichen anhand mathematischer Prozesse und Textclustering den quantitativen Vorschritt der Technologieentwicklung mit einer Referenz. Die Autoren unterteilen die Technologieentwicklung in vier Phasen. Am Anfang der Entwicklung steht die Initiierung, gefolgt von der Inkubations-, Modifikations- und Applikationsphase. Jede Phase wird aufgrund von Best-Practice- Erfahrungen anhand ausgewählter Methoden unterstützt. Die oben genannten Indikatoren, derer sich Bügel et al. bedienen, lassen in ihrer Gesamtheit auf ein charakteristisches Bild des Entwicklungsstandes schließen. Ihre zeitliche Entwicklung wird zu einer Referenzentwicklung zusammengefasst. Bügel et al. gehen davon aus, dass man anhand der Ähnlichkeiten der Referenzbilder die Entwicklung der nächsten Schritte vorherbestimmen kann. Als Indikatoren kann die Abzählung von verschiedenen Texten dienen, z.B. die Entwicklung von Stellenangeboten, Patentschriften oder Literatur. Dieser allgemeingültige Ansatz beschreibt nur den allgemeinen Entwicklungsstand einer Technologie. Es werden keine Handlungsempfehlungen mit direktem Bezug geliefert, welche die operative Technologieentwicklung beeinflussen können. Für einen Einsatz in der Unternehmenspraxis ist der vorgestellte Ansatz ungeeignet.</p>

## 12.5 Reifegradmodelle

Tab. 31: Überblick unterschiedlicher Reifegradmodelle, geordnet nach deren Objektbezug (Weitere Reifegradmodelle finden sich beispielsweise bei Becker 2009, S. 13-15)

Modelle:	Kriterien:	Fokussierung des Modells				Art der Reife- ermittlung		Objekt- betrachtung	
		Zustandserfassung	Leistungsbewertung (Ist-Stand)	Soll-Ist-Vergleich	Leistungssteigerung (Maßnahmenableitung)	Kennzahlbasierte Ermittlung	Reifestufenbasierte Er- mittlung	Gesamtsystem- betrachtung	Komponenten- betrachtung
<b>Technologiebezogene-Reifegradmodelle</b>									
Knaf, Heubach (Knaf 2008)		●	●	○	○	●	○	●	○
„TRL“ (La Croix 2008)		○	●	●	○	○	●	○	●
„IRL“ (Sausser)		○	●	●	○	○	●	●	●
Reinhart,Schindler (Reinhart 2010)		●	●	●	○	○	●	●	○
Brousseau et al. (Brousseau 2009)		●	●	●	○	●	●	○	●
Deutsch et al. (Deutsch 2010)		○	●	●	○	○	●	●	○
<b>Produktbezogene-Reifegradmodelle</b>									
Pfeiffer-Silberbach (Pfeiffer-Silberbach 2005)		○	●	●	○	●	○	●	○
Blau et al. (Blau 2007)		●	●	●	○	●	○	○	●
VDA (Neumann 2008)		●	●	●	○	○	●	●	○
Wißler (Wißler 2006)		●	●	●	●	○	○	●	●
Schneider (Schneider 2008)		○	●	●	○	○	●	●	●
<b>System- und Organisationsbezogene Reifegradmodelle</b>									
Bürgin (Bürgin 2007)		●	●	●	○	○	●	●	○
Wildemann (Wildemann)		●	●	●	○	○	●	●	●
Wochinger (Wochinger 2010)		●	●	●	○	○	●	●	●
Berg et al. (Berg 2002)		●	●	●	●	○	●	●	●
<b>Prozess- und projektbezogene Reifegradmodelle</b>									
CMMI (bzw. CMM) vgl. (Schmied 2008)		●	●	●	●	○	●	●	○
SPICE vgl. (Becker 2009)		○	●	●	○	○	●	●	○
OPM 3 (Project Management Institute (Hrsg.))		●	●	●	●	○	●	●	○
Oertelt (Oertelt)		●	●	●	○	○	●	●	○
Jahn (Jahn 2010)		○	●	●	○	○	●	●	○
Hirschheim et al. (Hirschheim 2010)		○	●	●	○	○	●	●	○
<b>Reifegradmodelle für hybride Wertschöpfung</b>									
Dinter (Dinter 2011)		●	●	●	○	○	●	●	●
Gronau (Gronau 2010)		●	●	●	○	○	●	●	○

Legende: ● Kriterium voll erfüllt bzw. vollständig vorhanden ○ Kriterium bedingt erfüllt bzw. bedingt vorhanden  
○ Kriterium nicht erfüllt bzw. nicht vorhanden

## 12.6 Entwicklung der Vorgehensweise

Tab. 32: Zielfindungstemplate, beispielhaft dargestellt am Anwendungsfall Mikrowellentechnologie

<b>Technologieentwicklungsprojekt: Mikrowellensensoreinheit</b>	
<b>Titel:</b>	Mikrowellensensoreinheit
<b>Projekt-Nr:</b>	123456
<b>Starttermin:</b>	15.02.20xx
<b>Zieltermin:</b>	31.12.20xx
<b>Projektteam:</b>	Hr. Hauser, Hr. Haller, Hr. Freudbach
<b>Projektleiter:</b>	Hr. Mustermann
<b>Erstellungsdatum:</b>	10.08.2011
<b>Strategisch-inhaltliche Zielsetzungen (AZ<sub>1</sub> &amp; AZ<sub>2</sub>)</b>	
<b>Entwicklungsart (Substitutionsentwicklung/Neuentwicklung)</b>	Neuentwicklung
<b>Entwicklungscompetenz (Kompetenzaufbau/Kompetenzerweiterung)</b>	Kompetenzaufbau im Unternehmen
<b>Technologiestrategie (Leistungsführerschaft/Folger)</b>	...
<b>Wettbewerbsstrategie (Differenzierungsstrategie/Spezialisierungsstrategie)</b>	...
<b>projektbezogene Zielsetzungen (AZ<sub>3</sub>)</b>	
<b>Projektziele</b>	<b>Prio (1 bis 3)</b>
Nachweis der Machbarkeit inkl. Funktionsmuster für die technischen Kernprobleme	1
Dokumentation der wesentlichen Erkenntnisse	1
<b>Zielanwendung</b>	
Produktgruppe xx, Branche: Automitive, ....	
<b>Aufwände (Personenmonate/Investitionen)</b>	<b>Planbedarf (€)</b>
Demonstrator	xx.xxx
...	xx.xxx
<b>Summe</b>	- €
<b>Abbruchkriterien</b>	
Nicht-Realisierbarkeit von Kundenanforderungen und technischen Leistungsparametern	
Verfehlung der zulässigen Herstellkosten	
<b>Risiken</b>	<b>Höhe (3=hoch)</b>
Schnelle Durchsetzungsfähigkeit am Markt	2
Sicherstellung technischer Leistungsparameter für hohe Anforderungen (bspw. Langzeitstabilität)	3

<b>Fortschrittsmeilensteine</b>	<b>Datum</b>
Analyse alternativer Technologien	31.12.20xx
Aufbau Demonstrator	31.12.20xx

#### technologische Zielsetzungen (TZ<sub>1</sub>)

<b>Leistungsparameter</b>	<b>Soll:</b>
Wiederholgenauigkeit	0,x mm +/-
Linearität (Linearitätsfehler)	0,y mm
Langzeitstabilität	xx mm/Jahr
Temperaturabhängigkeit	xx mm/°C
Abtastrate	y ms
Messung unabhängig vom Druck	0,y-z bar

#### Weitere (technologiebezogene Angaben)

-	

#### kundenbezogene Zielsetzungen (TZ<sub>2</sub>)

<b>Anwendungsfeld</b>
...

<b>Markt/Märkte</b>
Kompetenzaufbau; Zusammenarbeit mit externem Forschungsinstitut

<b>Kunden und Mindeststückzahl</b>
...

<b>Geschätzter Markteintritt</b>
...

#### fertigungsbezogene Zielsetzungen (TZ<sub>3</sub>)

<b>Fertigungsstrategie (Eigenfertigung/Fremdfertigung/gemischt/..)</b>
Eigenfertigung

<b>Fertigungsmöglichkeiten</b>
automatisierte Lösung in Eigenfertigung

#### wirtschaftliche Zielsetzungen (TZ<sub>4</sub>)

<b>Kostenstrategie</b>
Kostenführerschaft

<b>Grenzerstellkosten (€ ) bei Substitutionsentwicklung</b>
Xx €

<b>Investitionsbudget (€ ) für Anlagen o.ä.</b>
X T€

## 12.7 Bestimmung von Soll-Zielen für die Tauglichkeitsprüfung

Tab. 33: weitere Erläuterungen zu den tauglichkeitsbezogenen Zieldimensionen TZ<sub>2</sub>, TZ<sub>3</sub> und TZ<sub>4</sub>

<p><b>Kundenbezogene Zieldimension</b></p> <p><b>TZ<sub>2</sub></b></p>	<p>Zur Verifizierung der kundenbezogenen Zieldimension (TZ<sub>2</sub>) sind an dieser Stelle Kundenmerkmale potenzieller Lead-User von wesentlicher Bedeutung. Um das Technologiekonzept aus einer kundenbezogenen Sichtweise heraus bewerten zu können, ist eine Definition entsprechender Anwendergruppen (alternativ Einzelanwender) oder Anwenderpräferenzen empfehlenswert. Durch direkte Gespräche mit den zukünftigen Anwendern der technologischen Entwicklung können Anwender-Präferenzen identifiziert und quantifizierbare Anforderungen festgehalten werden. Die Anforderungen sind entsprechend der Applikation sowie des Einsatzfelds zu bestimmen (insbesondere bei Neuentwicklungen) und geben dem Expertenteam im Entwicklungsverlauf Aufschluss über leistungs- sowie kostenbezogene Aspekte. Bei Substitutionsentwicklungen können bisherige Produkteigenschaften oder bereits bekannte Kundenwünsche als erste Sollgrößen herangezogen und für die Bewertung der kundenbezogenen Zieldimension (TZ<sub>2</sub>) eingesetzt werden. Hier ist aber zu beachten, dass für die Akzeptanz von Substitutionsentwicklungen spezifische leistungssteigernde oder kostensenkende Produkteigenschaften von hoher Relevanz sind. Ein direkter Austausch mit Lead-Usern bietet sich daher auch bei Substitutionsentwicklungen an und sollte vom Expertenteam während einer Technologieentwicklung wahrgenommen werden. Unterstützend ist an dieser Stelle auch die Formulierung von Alleinstellungsmerkmalen bzw. charakterisierenden Eigenschaften der Technologieentwicklung aus Kundensicht zu sehen. Sie kann dem Expertenteam im direkten Austausch mit potenziellen Anwendern helfen, die Möglichkeiten technologischer Neuerungen darzustellen und dem zukünftigen Nutzer bei der Formulierung seiner Anforderungen verhelfen. Bei fehlenden Anwendergruppen können in Ausnahmefällen auch die formulierten Alleinstellungsmerkmale als erste Sollgrößen für TZ<sub>2</sub> dienen. Diese sollten im Entwicklungsverlauf aber durch Anforderungen potenzieller Anwender ersetzt werden. Neben der Aufnahme von potenziellen Anwenderpräferenzen sind die Markteintrittsmöglichkeiten wie auch die zukunftsgerichteten Absatzmöglichkeiten in der kundenbezogenen Zieldimension (TZ<sub>2</sub>) ebenfalls von Bedeutung. Überschlägige Schätzungen sollen einen ersten Eindruck vermitteln, inwiefern bzw. mit welchem Umfang die Technologieentwicklung in den Markt gebracht werden kann (bspw. Stückzahlen/Kalenderjahr nach Produkteinführung). Dieser Input kann durch potenzielle Anwender erfolgen. Alternativ kann das Expertenteam innerhalb des Unternehmens zu solchen Schätzungen gelangen. Die so ermittelte Sollgröße bietet einen wesentlichen Input für die fertigungsbezogene Zieldimension (TZ<sub>3</sub>) und wird dort zur Tauglichkeitsprüfung eingesetzt.</p>
<p><b>Fertigungsbezogene Zieldimension</b></p> <p><b>TZ<sub>3</sub></b></p>	<p>Für die Festlegung der fertigungsbezogenen Zieldimension (TZ<sub>3</sub>) sind Aussagen zu geeigneten Fertigungsanlagen, Montageeinheiten und Prüfanlagen im Vorfeld der Technologieentwicklung von großer Bedeutung. Diese Festlegungen dienen im Rahmen der fertigungsbezogenen Tauglichkeitsprüfung als Sollgrößen für das Technologiekonzept und sollen die prinzipielle Fertigungsfähigkeit sicherstellen. Für die fertigungsbezogene Zieldimension (TZ<sub>3</sub>) kann auf Erfahrungen mit Vorgängerprodukten oder Substitutionsentwicklungen und deren fertigungsbezogene Realisierung zurückgegriffen werden. Bei Neuentwicklungen sollte das Expertenteam passende/favorisierte Anlagen auswählen. Die Festlegung von Fertigungsanlagen und –abläufen oder prinzipieller Fertigungsalternativen (im Idealfall im eigenen Unternehmen) ist somit für die fertigungsbezogene Zieldimension von großer Bedeutung. Diese Angaben ermöglichen eine zielgerichtete Bewertung bzw. Sicherstellung der Fertigungsmöglichkeiten unter festgelegten Rahmenbedingungen. Dasselbe gilt für die Montagefähigkeit in der Technologieentwicklung. Für die fertigungsbezogene Zieldimension (TZ<sub>3</sub>) sind (falls möglich) Aussagen zu favorisierten Montageeinrichtungen anzugeben und als Sollgrößen zu definieren. Bei Substitutionsentwicklungen kann analog auf die Erfahrungen mit Vorgängerprodukten zurückgegriffen werden. Die Montagemöglichkeiten bei Neuentwicklungen sind hingegen wieder mit Experten aus der Fertigung abzustimmen. Letztlich ist dieses Vorgehen auch analog für die Prüfeinheiten bzw. Prüfanlagen gültig.</p>
<p><b>Wirtschaftlichkeitsbezogene Zieldimension</b></p> <p><b>TZ<sub>4</sub></b></p>	<p>Für die Festlegung der wirtschaftlichkeitsbezogenen Zieldimension (TZ<sub>4</sub>) ist die Bestimmung von zulässigen (Grenz-)Herstellkosten und maximalen Investitionsvolumina von großer Bedeutung. Diese Größen dienen im Rahmen der Tauglichkeitsprüfung als Sollgrößen. Zur Festlegung der wirtschaftlichen Zieldimension (TZ<sub>4</sub>) erweist sich die überschlägige Ermittlung von Herstellkosten basierend auf Erfahrungswerten mit ähnlichen Entwicklungen (gültig für Substitutionsentwicklungen) als zielführend. Alternativ können beauftragte Marktanalysen bei Neuentwicklungen zu entsprechenden Sollgrößen führen. Die Kostenermittlung für die wirtschaftlichkeitsbezogene Zieldimension (TZ<sub>4</sub>) ist vom Expertenteam und ggf. unter Einbezug von Experten der Kostenrechnung vorzunehmen und in quantitativer Form [€] darzustellen (falls möglich). Neben einer reinen Herstellkostenbetrachtung sollten als zusätzliche Sollgrößen der wirtschaftlichkeitsbezogenen Zieldimension (TZ<sub>4</sub>) Investitionen in Fertigungsanlagen, Montageeinheiten oder Prüfvorrichtungen überschlägig ermittelt und bereitgestellt werden, um die zusätzlichen Aufwendungen in einer Technologieentwicklung explizit berücksichtigen zu können.</p>

## 12.8 Bewertung Projektfortschritt

Tab. 34: beispielhafte Kriterienliste zur Bewertung des Projektfortschritts eines Technologieentwicklungsprojekts

Checkliste für das "Gate 2" - Anwendungsverständnis		
<b>Technischer Status und Qualität</b>		
● Technologiealternativen (einschließlich Wettbewerbstechnologien) sind bekannt, wurden verglichen und die relevanten Technologiealternativen ausgewählt	M	✓
● Potenziale und Schwachstellen der Technologie (physikalisch - technische Phänomene) sind bekannt	M	✓
● Aussage über den Zeithorizont der Technologie wurde abgegeben	O	-
<b>Patente (technisch)</b>		
● Prüfung der Patentierbarkeit der identifizierten Anwendungsmöglichkeiten der Technologie in Produkten abgeschlossen	M	✓
● Patentclearing der identifizierten Anwendungsmöglichkeiten ist erfolgt	O	-
<b>Markt und Wettbewerb (kundenbezogen)</b>		
● Strategische Fragestellungen (bzgl. Technologieführerschaft,...) wurden betrachtet.	O	-
● Der Nutzen der Technologie für Produktbereich wurde identifiziert (Einsatz der Technologie führt zu Komplexitätsreduktion/Senkung von HK/ ...).	M	✓
● Eine priorisierte Liste von Anwendungsmöglichkeiten der Technologie in Produkten wurde erstellt	O	-
● Die Relevanz der Technologie wurde in der Zusammenarbeit mit Kunden	O	-
<b>Prototypen (technisch)</b>		
● Die Machbarkeit der Technologie wurde anhand eines theoretischen Modells oder einem Technologiedemonstrator nachgewiesen	M	✓
<b>Wirtschaftlichkeit/HK</b>		
● Darstellung unterschiedlicher Produktionsalternativen, zur Abschätzung der Investitionskosten, ist erfolgt (wenn verfügbar)	O	-
● Implementierungsaufwand (Kosten für Entwicklung, ...) ist abgeschätzt	O	-
<b>Projektmanagement</b>		
● Es ist geprüft ob der geplante Aufwand eingehalten wurde. Falls nicht wurden die Gründe hierfür identifiziert und entsprechende Maßnahmen definiert, um Abhilfe zu schaffen	O	-
● Es ist geprüft ob die geplante Zeit eingehalten wurde. Falls nicht wurden die Gründe hierfür identifiziert und entsprechende Maßnahmen definiert, um Abhilfe zu schaffen	O	-
● Die zur Weiterführung der Aktivitäten in der nächsten Phase notwendigen Schritte sind definiert und detailliert geplant	M	✓
● Projektspezifische Abbruchkriterien wurden überprüft und als nicht erfüllt/erfüllt bewertet	M	✓
● Projektrisiken wurden überprüft	O	-

Legende: O = Optionales Kriterium; M = Muss-Kriterium; ✓= Kriterium erfüllt; - = Kriterium nicht erfüllt

## 12.9 Technikbezogene Tauglichkeitsprüfung

Tab. 35: Zusammenstellung von Methodenbausteinen zur Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung<sup>73</sup>,

Technikbezogene Bewertungsmethoden	Methodenart		Bewertungsart		Objektbezug		Kombinierbarkeit mit dem HoT		Methodenart	
	Qualitative Bewertung	Quantitative Bewertung	Vergleichsbewertung (Alternativvergleiche)	Absolutbewertung	Gesamtsystembetrachtung	Komponentenbetrachtung	Direkte Kombinierbarkeit	Kombinierbarkeit durch ergänzende Methoden	Erhebungsmethode (Informationssammlung)	Auswertungsmethode (Bewertung & Ableitung)
Argumentenbilanz	●	○	●	○	○	○	○	○	●	●
Technisch-wirtschaftliche Bewertung	●	●	●	○	●	○	○	○	●	○
Nutzwertanalyse	●	●	●	○	●	○	○	○	●	●
Rangfolgeverfahren	●	○	●	○	●	●	●	○	○	○
Präferenzmatrix	●	○	●	○	●	●	○	○	○	●
Vorrangmethode nach Saaty	●	●	●	○	●	●	○	○	○	○
Anforderungsorientierte gew. Bewert.	○	●	●	○	●	○	●	○	○	●
Kosten-Wirksamkeitsanalyse	●	●	●	○	●	○	○	○	○	○
Kosten-Nutzen-Analyse	●	●	●	○	●	○	○	○	○	●
Bedeutungsprofile	●	○	●	○	●	○	○	○	●	○
Indikatorensysteme	●	●	○	○	●	○	○	○	●	○
Technologische Konkurrenzanalyse	●	○	○	●	●	○	○	○	●	○
Wertanalyse	●	●	○	●	●	○	●	○	●	●
Verflechtungsmatrix	●	○	○	○	●	●	○	●	○	●
Energie- und Stoffstromanalyse	●	●	○	●	●	○	○	○	●	●
Relevanzbaumanalyse	●	○	○	●	●	●	○	○	●	●
Substitutionsanalyse	●	○	○	●	●	○	○	○	●	○
Funktionsanalyse	●	○	●	○	●	●	●	○	●	○

Legende: ● größtenteils erfüllt, ○ teilweise erfüllt, ○ größtenteils nicht erfüllt

<sup>73</sup> zusammengestellt aus: (Fleischer und Theumert 2009; Gomeringer 2007; Hall 2002; Ehrlenspiel 2009; Breiung 1997)

## 12.10 Technologiesteckbrief

Technologiesteckbrief		Lebenszyklusphase	
<p><i>Beschreibung der betrachteten Technologien anhand ihrer wesentlichen Merkmale und Details (ggf. auch Angabe von Leistungsparametern)</i></p> <p><i>Beschreibung bzw. Begründung der gewählten Lebenszyklusphase für die Technologie(n)</i></p>		<p>Lebenszyklusphase</p> <p>Entstehung    Wachstum    Reife    Alter</p>	
		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Forschungsstatus/Entwicklungsstatus der Technologie im Unternehmen			
<p><i>Beschreibung der gegenwärtigen Einsatzfelder der Technologie(n) im Unternehmen oder ggf. außerhalb des Unternehmens bei neuen Technologien. Nennung entsprechender Applikationen/Anwendungsfelder sowie ggf. Förderprojekte</i></p>			
Potenziale (qualitativ/quantitativ)			
<p>Potenziale Unternehmenssicht</p> <p><i>Qualitative/quantitative Darstellung von Potenzialen durch den Einsatz der Technologien fürs Unternehmen.</i></p> <p><i>Bei quantitativer Darstellung Angabe Mengengerüsten; weitergehenden Informationen zu Annahmen</i></p>		<p>Potenziale Kundensicht</p> <p><i>Qualitative/quantitative Darstellung von Potenzialen durch den Einsatz der Technologien für Kunden.</i></p>	
Player am Markt/Wettberber im nahen Umfeld			
<p>Name des Players/Wettbewerbers</p> <p><i>Angabe von Unternehmensdaten/Logo/Ansprechpartner</i></p>		<p>Rolle und Relevanz fürs Unternehmen</p> <p><i>Beschreibung, welche Rolle der Player/Wettbewerber am Markt einnimmt</i></p>	
<p>Name des Players/Wettbewerbers</p> <p><i>Angabe von Unternehmensdaten/Logo/Ansprechpartner</i></p>		<p>Rolle und Relevanz fürs Unternehmen</p> <p><i>Beschreibung, welche Rolle der Player/Wettbewerber am Markt einnimmt</i></p>	
Version: 1		Erstellungsdatum: 20.6.20xx	
		Ersteller: Hr. Mustermann	

Abb. 48: Technologiesteckbrief zur Beschreibung eingesetzter Technologien

## 12.11 Herleitung der Formel für den technischen Reifegrad

Im folgenden Abschnitt wird die in Kap. 7.3.1 zugrunde gelegte Formel zur Ermittlung des technischen Reifegrads für Technologieelemente hergeleitet. Diese Herleitung ist lediglich für die in den vorigen Kapiteln beschriebene bewertungsbasierte Vorgehensweise zur Tauglichkeitsprüfung und darin beschriebenen Aspekten gültig. Weitere Einsatz- oder Anwendungsfelder sind aufgrund der dargelegten Annahmen gegenwärtig nicht vorgesehen.

### Annahme 1 - Grundannahmen

Zur Herleitung der Reifegradformel  $RGT_{TE_\alpha}$  werden zunächst Grundannahmen aufgestellt. Bei diesen Grundannahmen wird davon ausgegangen, dass die Einsatzfähigkeit technischer Systeme insbesondere durch die zugrunde gelegten Technologieelemente und deren jeweiliger Leistungsfähigkeit  $LE_{TE_\alpha}$  bestimmt wird. Beim Einsatz neuer Technologien bzw. Technologieelemente in technischen Systemen ist die vollumfängliche Leistungsfähigkeit zu Beginn einer Entwicklung mit großer Wahrscheinlichkeit nicht gegeben. Es gilt daher die zu Beginn vorliegende Leistungsfähigkeit von Technologieelementen soweit zu steigen, bis eine anforderungsgerechte Einsatzfähigkeit unter wirtschaftlichen Aspekten gewährleistet werden kann. Einsatzfähigkeit und Leistungsfähigkeit pro Technologieelement stehen hierdurch in einem direkten Zusammenhang.

Neben der Leistungsfähigkeit pro Technologieelement ist auch davon auszugehen, dass dessen Bedeutung  $BE_{TE_\alpha}$  im technischen System ebenfalls einen Einfluss auf die Einsatzfähigkeit hat. Mit der Kombination unterschiedlicher Technologieelemente zu einem Gesamtsystem werden - wie bereits Kap. 3.1.4 gezeigt hat - bestimmte Wirkungen erzeugt, die sich im Betrachtungssystem als positive oder negative Effekte auswirken können. Basis für diese Auswirkungen sind die Bedeutungen bzw. Abhängigkeiten der einzelnen Technologien untereinander. Neben der Leistungsfähigkeit pro Technologieelement ist somit ebenfalls dessen jeweilige Bedeutung für die Einsatzfähigkeit entscheidend. Die Einsatzfähigkeit an sich kann unter diesen Voraussetzungen (Leistungsfähigkeit und Bedeutung) als Reifegrad verstanden werden, vgl. Kap. 3.1.3.

So ist für die Grundannahmen festzuhalten, dass der technische Reifegrad pro Technologieelement  $RGT_{TE_\alpha}$  in Abhängigkeit von der Bedeutung  $BE_{TE_\alpha}$  und der gegenwärtigen Leistungsfähigkeit  $LE_{TE_\alpha}$  ermittelt werden kann. Als erste Näherung kann nachfolgende Funktion zugrunde gelegt werden:

$$RGT_{TE_\alpha} = f(BE_{TE_\alpha}, LE_{TE_\alpha}) \quad (1)$$

Für die Spezifikation der Grundannahmen sind die beiden Variablen  $BE_{TE_\alpha}$  und  $LE_{TE_\alpha}$  als rationale Zahlen im Zahlenbereich von 0 bis 10 aufzufassen. Diese Zahlenbereiche wurden bereits in den Unterschritten 3.2.1.1 und 3.2.1.2 (vgl. Kap. 7.3.2.1) der bewertungsbasierten Vorgehensweise festgelegt und als Größen eingeführt (vgl. Tab. 44). Der technische Reifegrad selbst sollte an gängigen Reifegradmodellen der Literatur und Praxis angelehnt sein, in welchen für gewöhnlich ein Reifegradbereich von 0 bis 100 Prozent zugrunde liegt, vgl. (Kap.4.4.1). Bei der Betrachtung von Grenzbereichen ist zudem anzunehmen, dass zu Beginn einer Technologieentwicklung die Leistungsfähigkeit bei einer neuen Technologie gering oder nicht gegeben ist und somit vereinfacht der Reifegrad des Technologieelements  $RGT_{TE_\alpha}$  mit 0 Prozent angenommen werden kann. Bei einer maximal erreichten und geforderten Leistungsfähigkeit  $LE_{TE_\alpha}$  ist hingegen der Reifegrad des Technologieelements  $RGT_{TE_\alpha}$  mit 100 Prozent anzunehmen. Die Funktionsgleichung (1) muss im Ursprung somit Null sein und sich bei vollständig erreichter Leistungsfähigkeit mit einem  $RGT_{TE_\alpha}(LE_{TE_\alpha})$  von 100 Prozent äußern. Hierfür kann festgehalten werden:

$$RGT_{TE_\alpha} \begin{cases} RGT_{TE_\alpha}(BE_{TE_\alpha} = 0) = 0 \% \\ RGT_{TE_\alpha}(LE_{TE_\alpha} = 0) = 0 \% \\ RGT_{TE_\alpha}(LE_{TE_\alpha} = 10) = 100 \% \end{cases} \quad (2)$$

### Annahme 2 – Einfluss von $BE_{TE_\alpha}$ und $LE_{TE_\alpha}$ auf den Reifegrad

$BE_{TE_\alpha}$  und  $LE_{TE_\alpha}$  generieren nicht nur den Reifegrad, sie üben auch unterschiedlichen Einfluss auf ihn aus. Um dies zu begründen, ist ein genauerer Blick auf das Verständnis des Begriffs „Bedeutung“ für Technologieelemente im technischen System zu werfen. So weist ein Technologieelement bspw. eine hohe Bedeutung auf, wenn es entweder einen großen Einfluss auf das Gesamtsystem bzw. andere Technologieelemente im Gesamtsystem aufweist, die Beherrschbarkeit des Technologieelements unsicher ist oder es sich um eine neue Technologie im Gesamtsystem handelt. Die Beherrschbarkeit oder Leistungssteigerung solcher Technologieelemente ist für gewöhnlich mit hohen Aufwendungen (Ressourcen, Zeit und Investitionen) und dem Aufbau von Kompetenzen verbunden, was sich wiederum auf die ggf. aufwändigere Steigerung des Reifegrads auswirkt.

Auf der anderen Seite weisen Technologieelemente eine geringe Bedeutung im Gesamtsystem auf, wenn sie entweder schnell und mit geringeren Aufwänden realisierbar sind, entsprechende Kompetenzen vorliegen oder deren Einfluss bei Versagen zu unkritischen Auswirkungen führen würde. Dies setzt voraus, dass bei Technologieelementen mit einer niedrigeren Bedeutung die Leistungsfähigkeit relativ schnell gesteigert werden kann, was

wiederum auch zu einer schnellen Erhöhung des Reifegrads führt. Die Unterschiedlichkeit der hohen und niedrigen Bedeutung von Technologieelementen lässt sich für die Funktionsgleichung (1) folgendermaßen darstellen:

$$RGT_{TE_1}(BE_{TE_1hoch}, LE_{TE_1}) \leq RGT_{TE_2}(BE_{TE_2niedrig}, LE_{TE_2}) \quad (3)$$

Es ist per se davon auszugehen, dass bei Technologieelementen mit einer hohen Bedeutung im technischen System der Reifegrad schwieriger oder langsamer gesteigert werden kann als bei Technologieelementen mit einer niedrigen Bedeutung im System (siehe Gleichung (3)). Dabei ist anzumerken, dass die Bedeutung  $BE_{TE_\alpha}$  nach deren Bestimmung während der Technologieentwicklung als konstante zu verstehen ist (ähnlich einem Gewichtungsfaktor) und somit unveränderlich bleibt. Wohingegen sich die Leistungsfähigkeit  $LE_{TE_\alpha}$  über den Entwicklungsverlauf verändert und bei maximal erreichter Leistungsfähigkeit zu einem Reifegrad von 100 Prozent führt. Durch die Kombination von  $BE_{TE_\alpha}$  und  $LE_{TE_\alpha}$  sowie deren charakterisierenden Eigenschaften kommt es zu unterschiedlichen Reifegraden im Entwicklungsverlauf.

### Annahme 3 – Leistungsdefizit bei unvollständiger Reife

Wenn die vollumfängliche und geforderte Leistungsfähigkeit vorliegt, dann ist wie in den vorigen Abschnitten bereits dargestellt, der Reifegrad pro Technologieelement 100 Prozent. In allen anderen Fällen muss ein Leistungsdefizit vorliegen, welches zu einem geringeren Reifegrad führt. Diese Annahme kann, unter Berücksichtigung von (1) und (2), wie folgt dargestellt werden:

$$RGT_{TE_\alpha} = f(BE_{TE_\alpha}, LE_{TE_\alpha}) = 100 - ld \quad (4)$$

Das Leistungsdefizit  $ld$  selbst beinhaltet die gegenwärtige Leistungsfähigkeit und die Bedeutung pro Technologieelement. Zudem muss das Leistungsdefizit die Unterschiedlichkeit der Reifegrade je nach Bedeutung berücksichtigen. Hierfür kann festgehalten werden:

$$ld \begin{cases} \text{für } BE_{TE_\alpha} \neq 0 \text{ und } LE_{TE_\alpha} \neq 0 \text{ gilt } 0 < ld < 100 \\ RGT_{TE_1}(BE_{TE_1hoch}, LE_{TE_1}) \leq RGT_{TE_2}(BE_{TE_2niedrig}, LE_{TE_2}) \\ \text{für } LE_{TE_\alpha} = 10 \text{ gilt } ld = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Die zugrunde gelegten Annahmen können zunächst einmal in einer Annäherung graphisch dargestellt werden. Unter Berücksichtigung der Größen  $BE_{TE_\alpha}$ ,  $LE_{TE_\alpha}$  und  $RGT_{TE_\alpha}$  kann der Verlauf des Reifegrads in einer Annäherung an Exponentialfunktionen abgebildet werden (vgl. Abb. 49). Die Exponentialfunktion wurde gewählt, um das nicht-proportionale Verhältnis von Bedeutung und Leistungsfähigkeit pro Technologieelement zu verdeutlichen. Zudem verhilft die Nutzung der Exponentialfunktion dazu, die Durchschreitung mehrerer Reifegradniveaus bei gleichbleibender Bedeutung zu verdeutlichen. So können pro Bewertungsfall Reifegradkennlinien durchschritten werden, welche mit gesteigerter Leistungsfähigkeit zu einem höheren Reifegrad führen und die Bedeutung als Konstante im System berücksichtigen.

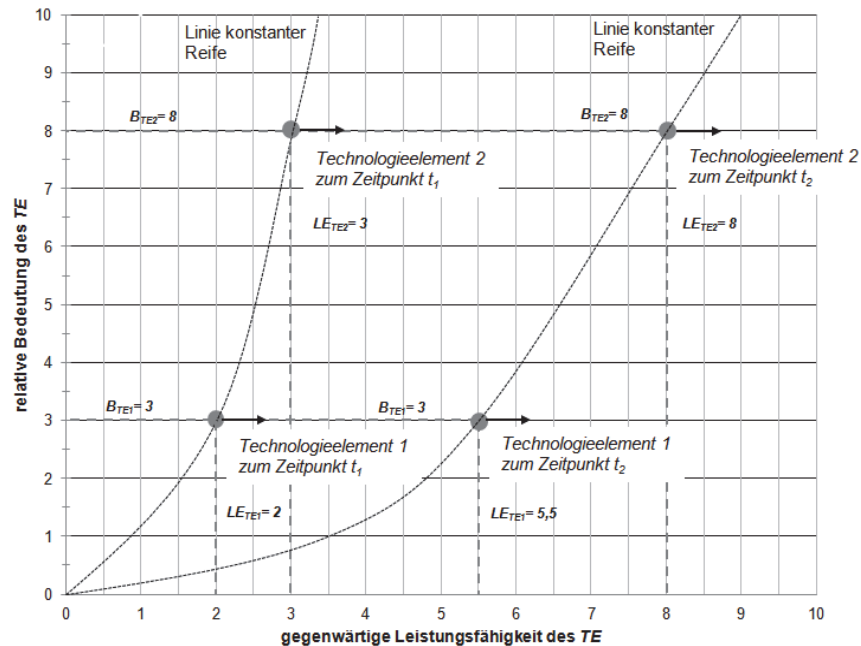


Abb. 49: exponentialbasierter Reifegradverlauf (graphische Lösung)

Neben der graphischen Visualisierung wurde in vereinfachter Form eine Näherungsformel aufgestellt, welche die dargelegten Annahmen bzw. Gleichungen (1) bis (4) und das vorhandene Leistungsdefizit am besten wiedergibt. Hierzu gilt folgende Formel:

$$RGT_{TE_\alpha} = f(BE_{TE_\alpha}, LE_{TE_\alpha}) = 100 - ld = 100 - BE_{TE_\alpha} \times (10 - LE_{TE_\alpha}) \quad (5)$$

Der gegenwärtige technologiebezogene Reifegrad eines Technologieelements lässt sich als Differenz vollständiger Reife und dem entstehenden Produkt aus der Bedeutung  $BE_{TE_\alpha}$  sowie der gegenwärtigen Leistungsfähigkeit  $LE_{TE_\alpha}$  eines Technologieelements ermitteln. Dabei stehen die beiden und das Technologieelement charakterisierenden Größen  $BE_{TE_\alpha}$  und  $LE_{TE_\alpha}$  in direkter Abhängigkeit zueinander.

Um die Gültigkeit der Näherungsformel nachzuweisen, werden nachfolgend einige Zahlenwerte von Technologieelementen eines Technologiekonzepts beispielhaft ausgerechnet und drei Fälle unterschieden:

**Tab. 36: Rechenbeispiele für die Näherungsformel des technischen Reifegrads**

Technologieelement:	Werte: $BE_{TE_\alpha}$ [-]	$LE_{TE_\alpha}$ [-]	$RGT_{TE_\alpha}$ [%]
<b>Fall 1 – gleiche Bedeutung, unterschiedliche Leistungsfähigkeit</b>			
$TE_1$	2	4	88 %
$TE_2$	2	7	94 %
<b>Fall 2 – unterschiedliche Bedeutung, gleiche Leistungsfähigkeit</b>			
$TE_1$	8	8	84 %
$TE_2$	2	8	96 %
<b>Fall 3 – unterschiedliche Bedeutung &amp; Leistungsfähigkeit</b>			
$TE_1$	7	5	65 %
$TE_2$	1	9	99 %

## 12.12 Kundenbezogene Tauglichkeitsprüfung

Tab. 37: Sammlung von Methoden und Ansätzen zur kunden- und marktbezogenen Tauglichkeitsprüfung<sup>74</sup>

Kriterien  <b>Kunden- &amp; marktbezogene Bewertungsmethoden</b>	Methodenart		Bewertungsart		Objektbezug		Kombinierbarkeit mit dem HoT		Methodenart	
	Qualitative Bewertung	Quantitative Bewertung	Vergleichsbewertung (Alternativvergleiche)	Absolutbewertung	Gesamtsystembetrachtung	Komponentenbetrachtung	Direkte Kombinierbarkeit	Kombinierbarkeit durch ergänzende Methoden	Erhebungsmethode (Informationssammlung)	Auswertungsmethode (Bewertung & Ableitung)
<b>Kundenbezogene Methoden</b>										
House of Quality (HoQ)	●	○	●	○	●	○	●	○	○	●
Wertanalyse	●	●	○	●	●	○	●	○	●	●
Nutzwertanalyse	●	●	●	○	●	○	○	○	●	●
Scoring-Verfahren	●	●	●	○	●	○	○	○	●	●
Kano-Methode	●	○	○	●	●	○	○	○	●	○
Produkt-Technologie-Analyse	●	○	●	○	●	○	○	○	●	●
Kundenfokusgruppen	●	○	●	○	●	○	○	○	●	○
Conjoint-Analyse	●	●	●	○	●	○	○	○	●	○
Concept Engineering	●	●	●	●	●	○	○	○	●	○
Lead-User-Methode	●	●	○	●	●	○	●	○	●	○
Empathic Design	●	○	○	●	●	○	○	○	●	○
Kundennutzenrechnung	○	●	○	●	●	○	○	○	●	○
Kundenbefragung	●	○	●	○	●	○	○	●	●	○
Target Costing	○	●	○	●	●	●	○	●	●	●
Laddering-Methode	●	○	○	●	●	○	○	●	●	○
Relevanzbewertung	●	○	●	●	●	○	○	●	●	●
Axiomatic Design	●	○	●	○	●	●	●	○	●	○
Kundenzufriedenheitsanalyse	●	○	○	●	●	○	○	●	●	○
(Virtual) Concept Testing	○	●	●	○	●	○	○	○	○	●
multidimensionale Skalierung	○	●	●	○	●	○	○	○	○	●
<b>Marktbezogene Methoden</b>										
Wettbewerbsanalyse	●	○	●	○	●	○	○	○	●	●
Marktanalyse	●	○	○	●	●	○	○	○	●	○
Clusteranalyse	●	○	●	○	●	○	○	○	●	○
Faktorenanalyse	●	○	○	●	●	○	○	○	●	○
SWOT-Analyse	●	○	●	○	●	○	○	○	●	●
Umfeldanalyse	●	○	○	●	●	○	○	○	●	○
STP-Ansatz	●	●	○	●	●	○	○	○	●	○
Portfolio-Analyse	●	○	●	○	●	●	○	●	○	●

Legende: ● größtenteils erfüllt, ○ teilweise erfüllt, ○ größtenteils nicht erfüllt

<sup>74</sup> u.a. zusammengestellt aus: (Lorenzi 2003; Hall 2002; Gomeringer 2007; Henkel 2009; Urban 1988; Wagner 2011; Matzler 2009; Herstatt 2001; Brettel 2007).

## 12.13 Lead-User-Methode und Werkzeuge

Hippel entwickelte die Lead-User-Methode zur Identifizierung und Einbindung fortschrittlicher Anwender (Lead-User) für das Innovationsmanagement in Unternehmen. Die Methode ist den vergangenen Jahren vor allem durch das Open Innovation bekannt geworden. Mitte der 70er Jahre hatte der Wissenschaftler jedoch bereits erkannt, dass gerade Kunden wesentlich für den Erfolg von Innovationen in Unternehmen verantwortlich sind (vgl. (Hippel 1976, S. 212ff; Urban 1988, S. 569ff).

Die Lead-User-Methode stellt einen qualitativen Marktforschungsansatz dar (vgl. Abb. 50), welcher im Kern auf die gezielte Nutzbarmachung von Anwenderwissen für den Produktinnovationsprozess von Unternehmen ausgerichtet ist (vgl. Springer 2004, S.5). Als „Lead-User“ kann eine übersichtliche Gruppe von Kunden verstanden werden, deren Bedürfnisse so spezifisch sind, dass sie für eine breite Kundenschicht noch nicht wahrgenommen werden können. Ihre Motivation für Innovationen unterscheidet sich dabei grundlegend von derer durchschnittlicher Kunden (Herstatt 2001, S.3). Zudem stellen Lead-User besonders fortschrittliche und qualifizierte Anwender dar, womit wesentliche Beiträge zur Entwicklung neuer Produkte oder Produktkonzepte in Unternehmen geleistet werden können (Hippel 1988). Sie lassen sich insbesondere durch ihr Neuerungs-Bedürfnis sowie eine ausgeprägte Form der Bedarfs-Befriedigung charakterisieren. Zum einen bedeutet dies, dass Lead-User Bedürfnisse wesentlich früher identifizieren als andere Kunden. Zum anderen profitieren sie in großen Maßen von der Lösung ihrer Probleme durch die unternehmensseitige Hervorbringung entsprechender Innovationen (Herstatt 2001, S. 4; Herstatt 1992). Weiterführende Literatur zu den Grundzügen und Inhalten der Lead-User-Methode findet sich bspw. bei: (Piller 2011; Herstatt 1992; Herstatt 2001).

### Herkunft und Einsatzgebiete

Ursprünglich entstammt die Lead-User-Methode dem Investitionsgüterbereich. Dort findet aufgrund von güterbezogenen Einzel- und Kleinserienfertigungen und des damit verbundenen Auftrag-Geschäfts bereits ein direkter Kontakt zum Kunden statt. Der intensive Austausch von Kunde und Hersteller führt dazu, dass bei der Entwicklung von Produkten im Investitionsgüterbereich Kunden eine tragende Rolle im Entwicklungsprozess einnehmen (Walcher 2007, S.30). In den vergangenen Jahren wurden methodische Weiterentwicklungen unternommen, den aus dem Investitionsgüterbereich stammenden Lead-User-Ansatz in den Konsumgüterbereich zu übertragen (Walcher 2007, S. 30). Auf eine weiterführende Beschreibung der Lead-User-Methode für die Anwendung im Konsumgüterbereich wird an dieser Stelle aufgrund des Fokus der Arbeit verzichtet. Weiterführende Literatur hierzu findet sich beispielsweise bei WALCHER (Walcher 2007) oder SOLL (Soll 2006).

### Methodisches Vorgehen

Das methodische Vorgehen der von Hippel entwickelten Lead-User-Methode kann in die vier Schritte: Start des Lead-User-Projekts, Identifikation von Bedürfnissen und Trends, Identifikation von Lead-Usern sowie Entwicklung von Lösungskonzepten unterteilt werden, siehe Abb. 50 und vgl. (Urban 1988). Für die Durchführung der Lead-User-Methode sollte im Unternehmen ein interdisziplinäres Team aus den Bereichen Forschung, Entwicklung, Produktion sowie Vertrieb bereitgestellt werden (Herstatt 2001, S.6).

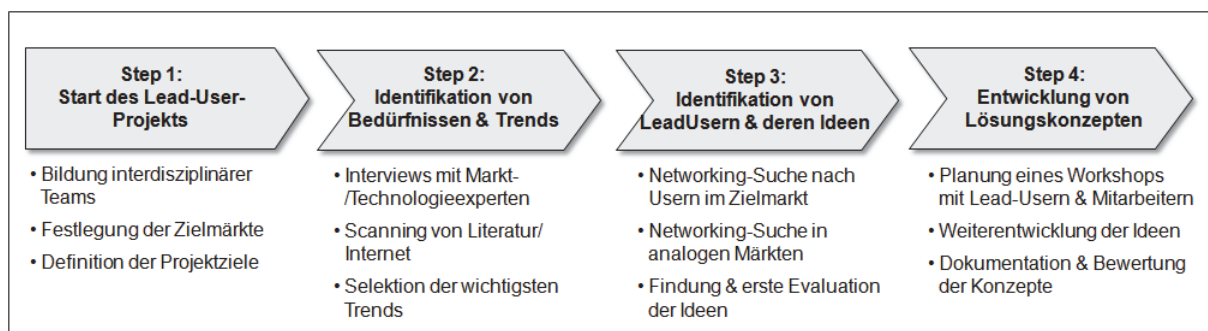


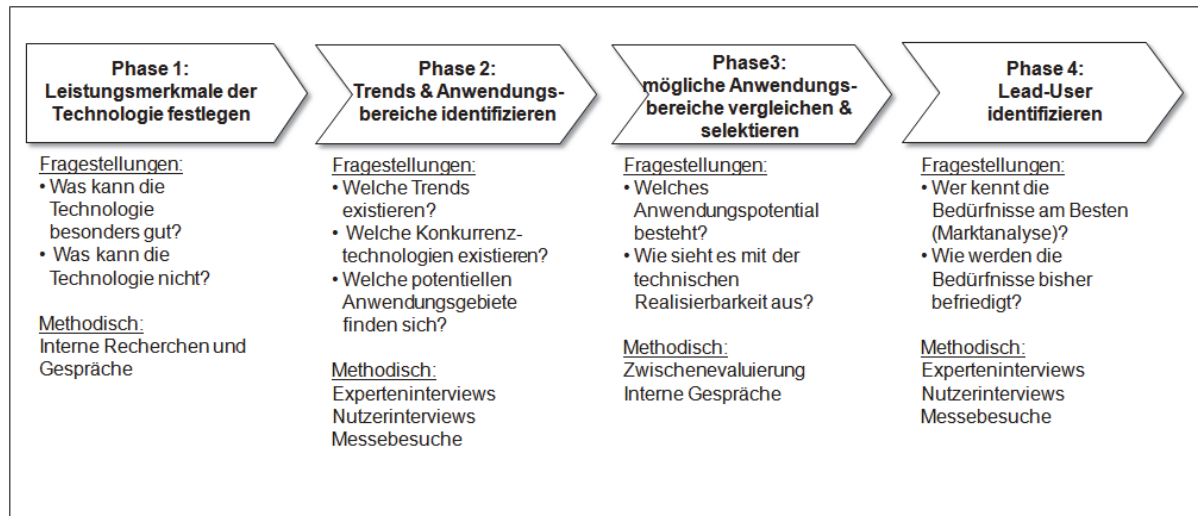
Abb. 50: methodisches Vorgehen zur Lead-User Identifikation und Einbindung (Quelle: Herstatt 2001, Wagner 2011)

Ein wesentlicher Nachteil der Lead-User-Methode ist in deren ressourcen- sowie zeitaufwändigen Durchführung zu sehen. Für die Durchführung muss eine Zeitspanne von mehreren Monaten vorgesehen werden (Herstatt 2001, S. 6), weshalb sich der Einsatz der Lead-User-Methode nur für grundlegende Entwicklungsprojekte und nicht für Produktverbesserungen eignet.

### Weiterentwicklungen

Neben der bereits erwähnten Adaption des Lead-User-Ansatzes für den Konsumgüterbereich hat das methodische Vorgehen in den vergangenen Jahren ebenfalls im Rahmen der Technology-Push Lead-User-Methode (T-PLUC) eine Weiterentwicklung erfahren (Henkel 2009, S.5-7). Die T-PLUC-Methode basiert im Wesentlichen auf dem klassischen Lead-User-Ansatz von HIPPEL. Der Unterschied zum klassischen Ansatz besteht darin, dass zunächst spezifische Eigenschaften (Leistungsmerkmale) einer im Unternehmen vorhandenen Technologie festgelegt werden und anhand dieser Eigenschaften eine Identifikation von möglichen Trends erfolgt. Anschließend werden für die entdeckten Trends relevante Branchen und Märkte ermittelt sowie passende Anwendungsbereiche selektiert. Mit Hilfe dieser Informationen werden schließlich passende „Lead User“ identifiziert. Letztlich werden,

wie auch bei HIPPEL, mit Hilfe der Lead-User-Methode Produktkonzepte entwickelt, siehe Abb. 51 und vgl. (Henkel 2009, S.5-7; Jell 2010).



**Abb. 51: methodisches Vorgehen der T-PLUC-Methode (Quelle: Jell 2010 sowie Henkel 2009)**

Charakteristisch für die T-PLUC-Methode ist, dass hier ausgehend von bestehenden Technologien neue Anwendungsfelder unter Einbezug von Lead-Usern gesucht werden. Dies unterscheidet die T-PLUC-Methode vom klassischen Lead-User-Ansatz, wo Lead-User eingesetzt werden, um beispielsweise neue Produktideen zu generieren oder zu diskutieren. Bei der T-PLUC-Methode wird der Lead-User an der Identifikation von Anwendungen und bei der Entwicklung von Technologien eingebunden. Das Vorgehen zur Durchführung der Methode ist ebenfalls in vier Schritte unterteilt, vgl. Abb. 51. Zunächst sind die Leistungsmerkmale der betrachteten Technologie festzulegen. Daran angeschlossen werden Trends und Anwendungsbereiche in Abhängigkeit der Leistungsmerkmale für die betrachtete Technologie identifiziert. Mit Hilfe der identifizierten Trends werden unterschiedliche Industrie- und Marktsegmente verglichen und Abschätzungen zur technischen Realisierbarkeit durchgeführt (vgl. Henkel 2009, S.5). Schließlich werden aus den vielversprechendsten Segmenten Lead-User identifiziert und bspw. anhand von Interviews deren Bedarfe aufgenommen. Weiterführende Informationen zur T-PLUC-Methode finden sich bei (Henkel 2009; Jell 2010).

## 12.14 Vorlage Lead-User Befragung

### 1/3 - Allgemeine Angaben

Branche: \_\_\_\_\_ (bspw. Medizintechnik/Automotive /...)  
Sparte/Bereich: \_\_\_\_\_ (bspw. bildgebende Diagnostik, ...)  
Unternehmensgröße: \_\_\_\_\_ (Anzahl der Mitarbeiter)  
Unternehmensart: \_\_\_\_\_ (bspw. Zulieferer/OEM/...)  
F&E-Anteil: \_\_\_\_\_ (x% vom Unternehmensumsatz)

### 2/3 - Problemlösungsbewusstsein

Wie beurteilen Sie Ihr Problemlösungsbewusstsein für das genannte „Themenfeld xx“?

- Keine Problemlösungsbereitschaft
- Geringe Problemlösungsbereitschaft
- Mittlere Problemlösungsbereitschaft
- Hohe Problemlösungsbereitschaft
- Bereits selbst aktiv geworden

Wie beurteilen Sie den Nutzen der vom Unternehmen angebotenen Problemlösung im „Themenfeld xx“?

- Kein Nutzen
- Geringer Nutzen
- Mittlerer Nutzen
- Hoher Nutzen
- Dringend benötigt

Ist die Problemlösung im „Themenfeld xx“ insgesamt relevant für Sie?

- Steht in keinem direkten Zusammenhang
- Indirekter Zusammenhang
- Direkter Zusammenhang
- Problemlösung kann analog/direkt angewendet werden

Wie schätzen Sie den Zeitraum bzw. die Verwertungsgeschwindigkeit der angebotenen Problemlösung für Sie als Anwender ein? Wann benötigen Sie die Problemlösung?

- 0 bis 1 Jahr
- 2 bis 4 Jahre
- Größer 5 Jahre
- Nicht absehbar

### 3/3 - Technologieadaptionfähigkeit des Lead-Users

Wie intensiv haben Sie sich mit dem „Themenfeld xx“ und den darin relevanten Technologien bereits auseinandergesetzt?

- Keine Erfahrungen (-)
- Geringe Erfahrungen (Kompetenzaufbau)
- Mittlere Erfahrungen (theoriebasiert)
- Hohe Erfahrungen (anwendungsbasiert durch Tests und Versuche)
- Entwicklungen angestoßen (bspw. durch Kooperationen, Eigenentwicklung oder Patente)

Falls Eigenentwicklungen vorliegen, in welchem Anwendungszusammenhang und aus welchem Grund wurden diese initiiert?

Bitte angeben

Welche Potentiale und Schwachstellen sehen Sie derzeit im „Themenfeld xx“ und dem für Sie relevanten Anwendungsfeld?

Bitte angeben

Welche Anforderungen ergeben sich für Sie im „Themenfeld xx“ als potentieller Anwender?

Bitte angeben

Wie schätzen Sie insgesamt ihre Bereitschaft zur Adaption der Problemlösung (bzw. der Technologien) ein?

- Bereitschaft nicht vorhanden
- Bereitschaft eingeschränkt vorhanden (bspw. Potentiale identifiziert, Projekte initiiert,..)
- Bereitschaft vorhanden (bspw. Entwicklungen laufen, Produkte sind noch nicht verfügbar)
- Wird bereits eingesetzt

Wie hoch schätzen Sie ihre Bereitschaft für Weiterentwicklungen & Aufwände im „Themenfeld xx“ ein?

- Keine Investitionsbereitschaft
- Geringe Investitionsbereitschaft
- Mittlere Investitionsbereitschaft
- Hohe Investitionsbereitschaft

## 12.15 Präferenzmatrix für Lead-User-Anforderungen

Präferenzmatrix zur Bestimmung des Bedeutungsgrads von Lead-User-Anforderungen		AN <sub>1</sub> :	AN <sub>2</sub> :	AN <sub>3</sub> :	AN <sub>4</sub> :	AN <sub>5</sub> :	AN <sub>6</sub> :	AN <sub>7</sub> :	Bedeutung $h_{AN}$ einer Lead-User-Anforderung	Bedeutung $h_{AN}$ einer Lead-User-Anforderung (normiert)	Rang
		Wegmessbereich bis 2000mm	Betriebsdruck 0,5 bis 10 bar	Umgebungstemperatur: -20° bis + 60°C	Mediumtemperatur: 0° bis + 60°C	Abtastezeit: 3 ms	Grenzfrequenz > 180 Hz	Absolut messend			
AN <sub>1</sub> :	Wegmessbereich bis 2000mm		2	1	2	2	0	2	9	0,21	1
AN <sub>2</sub> :	Betriebsdruck 0,5 bis 10 bar	0		2	1	1	2	2	8	0,19	2
AN <sub>3</sub> :	Umgebungstemperatur: -20° bis + 60°C	1	0		0	1	2	1	5	0,11	3
AN <sub>4</sub> :	Mediumtemperatur: 0° bis + 60°C	0	1	2		2	1	2	8	0,19	2
AN <sub>5</sub> :	Abtastezeit: 3 ms	0	1	1	0		2	0	4	0,1	4
AN <sub>6</sub> :	Grenzfrequenz > 180 Hz	2	0	0	1	0		1	4	0,1	4
AN <sub>7</sub> :	Absolut messend	0	0	1	0	2	1		4	0,1	4
<b>Summe:</b>									<b>42</b>	<b>1</b>	<b>-</b>

Abb. 52: Bestimmung des Bedeutungsgrads von Anforderungen mittels Präferenzmatrix (vgl. Breiing 1997, S. 238)

## 12.16 fertigungsbezogene Tauglichkeitsprüfung

Tab. 38: Sammlung von Methoden und Ansätzen zur fertigungsbezogenen Tauglichkeitsprüfung<sup>75</sup>

Kriterien	Methodenart		Bewertungsart		Objektbezug		Kombinierbarkeit mit dem HoT		Methodenart	
	Qualitative Bewertung	Quantitative Bewertung	Vergleichsbewertung (Alternativvergleiche)	Absolutbewertung	Gesamtsystembetrachtung	Komponentenbetrachtung	Direkte Kombinierbarkeit	Kombinierbarkeit durch ergänzende Methoden	Erhebungsmethode (Informationssammlung)	Auswertungsmethode (Bewertung & Ableitung)
<b>Fertigungsbezogene Bewertungsmethoden</b>										
Funktionsbaum	●	○	●	●	●	●	●	○	●	○
Technologiematrix	○	●	○	●	●	●	○	○	○	●
Funktionsanalyse	●	○	●	○	●	●	●	○	●	○
TRIZ-Methode	●	○	○	●	○	○	○	○	●	●
Null-Fehler-Produktion	●	○	○	●	○	○	○	○	●	●
Multifaktorenanalyse	●	○	●	○	●	○	○	○	●	○
Technologieroadmap	●	○	●	○	●	○	○	○	○	●
Technologiekalender	●	○	●	○	●	●	○	●	●	○
Produkt-Prozess-Matrix	●	●	●	○	●	●	●	○	●	○
<b>Fertigungsbezogene Ansätze</b>										
FALLBÖHMER	●	○	●	○	●	●	○	○	●	○
MORYSON	●	○	●	○	●	●	○	○	●	○
BURGSTAHLER	○	●	●	●	●	○	○	○	○	●

Legende: ● größtenteils erfüllt, ○ teilweise erfüllt, ○ größtenteils nicht erfüllt

<sup>75</sup> u.a. zusammengestellt aus: (Dyckhoff 1994; Warnecke et al. 1996; Wenzke 2003; Westkämper 2005; Martini et al. 1992; Burgstahler 1997; Reinhart et al. 2007; Syska 2006; Moryson 2004; Fallböhrer 2000).

## 12.17 Kriterien zur Bewertung der Fertigungsperspektive

Tab. 39: beispielhafte Leitlinie zur Bewertung von Fertigungsverfahren für Einzelteile

Ausprägung Kriterium	sehr niedrig (0)	niedrig (1)	mittel (2)	hoch (3)	sehr hoch (4)
Verfügbarkeit (Anlagen und Werkstoffe)	Die Verfügbarkeit von Anlagen ist nicht gewährleistet. Der Aufbau einer entsprechenden Fertigungskompetenz ist notwendig. Es sind hohe Versorgungsrisiken zu erwarten. Ein entsprechender Maschinenlieferant ist zu identifizieren.	Die Verfügbarkeit von Anlagen ist bedingt gewährleistet/ Es ist ein hoher Aufwand zu Bereitstellung notwendig/ Die Anlagenverfügbarkeit kann nur durch Lieferanten gewährleistet werden/ Es sind Versorgungsrisiken zu erwarten.	Es ist ein mittlerer Aufwand zur Bereitstellung von Spezialmaschinen notwendig/ Es wird eine Umrüstung der Anlage erwartet/ Die Verfügbarkeit muss über Lieferanten sichergestellt werden/ Es sind mittlere Versorgungsrisiken zu erwarten.	Die Verfügbarkeit von Anlagen ist hoch/ Es ist ein geringer Aufwand zur Bereitstellung notwendig, da die Maschinen am Markt verfügbar sind/ Die Anlagenverfügbarkeit ist sowohl über Lieferanten als auch intern sichergestellt/ Es bestehen keine Versorgungsrisiken.	Die entsprechende Anlage/Anlagen zur Einzelteilfertigung sind im Unternehmen vorhanden/ Es sind keine Versorgungsrisiken zu erwarten/ Die Einzelteile können mit bestehenden Anlagen hergestellt werden. <sup>76</sup>
Fertigbarkeit (i.S. von Wissen)	Das Fertigungs-Know-How muss durch einen externen Partner beschafft werden oder die Fertigungskompetenz muss erst aufgebaut werden (bspw. durch Kooperation oder Eigenaufbau).	Das Fertigungs-Know-How ist prinzipiell vorhanden/ Es werden derzeit zur Einzelteilfertigung viele Bearbeitungsschritte und Anlagenwechsel angenommen/ ein Austausch mit externen Partnern oder Zulieferern ist notwendig.	Das Fertigungs-Know-How ist vorhanden./ Es werden Sondermaschinen zu Bearbeitung eingesetzt./ Ein Austausch mit externen Partnern oder Zulieferern ist nicht notwendig.	Das Fertigungs-Know-How ist vorhanden und bereits bei anderen Produkten im Einsatz./ Es werden wenige Maschinenwechsel zur Einzelteilfertigung notwendig sein.	Das Fertigungs-Know-How ist vorhanden./ Es werden minimale Maschinenwechsel zur Einzelteilfertigung notwendig sein.
Prozessqualität <sup>77</sup>	Die Prozessqualität ist schlecht bzw. der Prozess wird nicht beherrscht./ Bei den Einzelteilen sind große Qualitätsprobleme zu erwarten.	Die Prozessqualität befindet sich auf einem niedrigen Niveau./ Bei den Einzelteilen sind vereinzelt Qualitätsprobleme zu erwarten.	Die Prozessqualität befindet sich auf einem mittleren Niveau./ Ausfälle & Qualitätsprobleme sind nicht zu erwarten./ Die Einzelteile sind sicher fertigbar.	Die Prozessqualität befindet sich auf einem hohen Niveau bzw. der Fertigungsprozess wird beherrscht./ Es liegt eine zuverlässige Einzelteilqualität vor.	Die Prozessqualität befindet sich auf einem sehr hohen Niveau.
Wirtschaftlichkeit	Die geplanten Herstellkosten für das Einzelteil können nicht erreicht werden. Fertigungskompetenzen sind aufzubauen oder Anlagen für die Fertigbarkeit sind zu beschaffen.	Die geplanten Herstellkosten des Einzelteils können aufgrund fehlender Anlagen oder ausgliedender Fertigung nicht erreicht werden	Die Herstellkosten werden mit großer Wahrscheinlichkeit nicht erreicht und führen zu größeren Kostenabweichungen beim Einzelteil.	Die geplanten Herstellkosten für das Einzelteil werden nicht erreicht bzw. knapp verfehlt.	Die geplanten Herstellkosten für das Einzelteil sind mit sehr großer Wahrscheinlichkeit erreichbar bzw. können eingehalten werden.

<sup>76</sup> Hier wird davon ausgegangen, dass es für ein Unternehmen zunächst der günstigste Fall ist, die Verfügbarkeit im eigenen Unternehmen zu prüfen. Eine Beschaffung von Teilen von außerhalb wird zunächst als Nachteil gesehen bzw. mit mehr Aufwand in Verbindung gesetzt.

<sup>77</sup> Auch bei Zulieferern gültig

Tab. 40: beispielhafte Leitlinie zur Bewertung der Montagefähigkeit<sup>78</sup> pro Technologiegruppe

Ausprägung Kriterium	Sehr schlecht (0)	schlecht (1)	mittel (2)	gut (3)	Sehr gut (4)
Füge <sup>79</sup> - und Montierbarkeit	Es ist von einer komplexen Montage der Technologiegruppe auszugehen./ Es herrschen ungleiche Einbaubedingungen sowie eine hohe Anzahl an Verbindungen zu anderen Technologiegruppen./ Es wird eine rein manuelle Montage erfolgen	Es ist von einer komplexen Montage der Technologiegruppen auszugehen. Es bestehen komplexe und viele Verbindungen in der Technologiegruppe; Eine Toleranzanalyse führt zu unzufriedenstellenden Ergebnissen.	Es ist von einer bedingten Montagefähigkeit der Technologiegruppe auszugehen./ Aufgrund der vorliegenden Komplexität wird eine behinderungsfreie Montage nicht möglich sein (keine optimale Montagevariante vorhanden).	Es ist von einer realisierbaren Montagefähigkeit der Technologiegruppe auszugehen./ Die Montagefähigkeit mit anderen Technologiegruppen im System kann sicher gewährleistet werden./ Ggf. kann eine teilautomatisierte Montage vorgenommen werden.	Es ist von einer einfachen Montage der Technologiegruppe auszugehen./ Es bestehen wenige mechanische, elektrische oder elektronische Verbindungen zu anderen Technologiegruppen im Gesamtkonzept./ Es erfolgt eine automatisierte Montage
Handhabungs-, Justier- und Kontrollfunktionen	Entsprechende Voraussetzungen für Justier- und Kontrollmöglichkeiten der Technologiegruppe sind nicht gegeben./ Es sind Änderungen in der Bauteilgestalt vorzusehen./ Es sind viele Großteile oder Mikroteile vorhanden.	Entsprechende Voraussetzungen für Justier- und Kontrollmöglichkeiten der Technologiegruppe sind nur ungenügend gegeben./ Es sind Änderungen in der Bauteilgestalt vorzusehen.	Entsprechende Voraussetzungen für Justier- und Kontrollmöglichkeiten der Technologiegruppe sind nur bedingt gegeben./ Durch die komplexe Bauteilgestalt sind Einschränkungen in der Handhabung zu erwarten.	Entsprechende Voraussetzungen für Justier- und Kontrollmöglichkeiten der Technologiegruppe sind gegeben./ Komplexe Flächen, Groß- oder Mikroteile sind vorhanden, können zur einfacheren Handhabung aber geändert werden.	Entsprechende Voraussetzungen für Kontrollfunktionen und Justiermöglichkeiten sind gegeben und ermöglichen eine einfache Handhabung. Es sind keine komplexen Flächen bzw. Groß- oder Mikroteile in der Technologiegruppe vorhanden.
Verfügbarkeit	Die montagebezogene Verfügbarkeit für die Technologiegruppe ist nicht gegeben./ Es sind Anschaffungen und Investitionen für entsprechende Montageplätze notwendig.	Die montagebezogene Verfügbarkeit für die Technologiegruppe ist nur ungenügend gegeben./ Ein Aufbau entsprechender, vorhandener Montageplätze ist notwendig.	Die montagebezogene Verfügbarkeit für die Technologiegruppe ist eingeschränkt gegeben./ Es sind Umbaumaßnahmen von vorhandenen Montageeinrichtungen oder -plätzen notwendig.	Die montagebezogene Verfügbarkeit für die Technologiegruppe ist gegeben./ Es werden minimale Änderungen zum verbesserten Arbeitsablauf bei Montageeinrichtungen oder -plätzen erwartet.	Die montagebezogene Verfügbarkeit der Montageeinrichtungen für die Technologiegruppe ist gesichert und vorhanden. Es sind keine Umbaumaßnahmen an der Montageeinrichtung oder -plätzen notwendig.
Montagequalität	Die Technologiegruppe ist nicht montagegerecht gestaltet./ Es sind konzeptionelle Änderungen vorzunehmen, um eine entsprechende Montagequalität zu gewährleisten.	Die Technologiegruppe ist ungenügend montagegerecht gestaltet./ Es sind konzeptionelle Änderungen vorzunehmen./ Toleranzen können nicht eingehalten werden.	Die Technologiegruppe ist bedingt montagegerecht gestaltet./ Der Montageprozess muss für eine höhere Prozesssicherheit geändert werden.	Die Montage der Technologiegruppe erfolgt montagegerecht./ Es herrscht im Montagevorgang eine hohe Prozesssicherheit./ Eine 100% Prüfung der Technologiegruppen kann gewährleistet werden.	Die Montage der Technologiegruppe erfolgt mit hoher Qualität./ Es herrscht im Montagevorgang eine hohe Prozesssicherheit./ Die Anforderungen an die (hohe) Montagequalität werden erfüllt.

<sup>78</sup> Vergleiche hierzu beispielsweise (Wiendahl 2006, S.43ff)

<sup>79</sup> Gängige Fügetechniken für den Maschinen-, Fahrzeug- und Apparatebau finden sich beispielsweise bei (Fritz und Schulze 2010, S. 115ff)

Tab. 41: beispielhafte Leitlinie zur Bewertung der Prüffähigkeit pro Technologiegruppe

Ausprägung Kriterium	Sehr niedrig (0)	niedrig (1)	mittel (2)	hoch (3)	Sehr hoch (4)
Verfügbarkeit der Prüftechnik	Die Verfügbarkeit im Unternehmen ist nicht gewährleistet. Es sind neue Prüftechnik-Konzepte zu erstellen, um Messungen durchzuführen.	Die Verfügbarkeit von entsprechender Prüftechnik im Unternehmen ist nicht gewährleistet. Investitionen zur Beschaffung von Messgeräten sind notwendig.	Die Verfügbarkeit entsprechender Prüftechnik ist nur bedingt im Unternehmen gegeben. Entsprechende Messgeräte oder Aufbauten sind für die Prüfung bereitzustellen bzw. umzubauen.	Die Verfügbarkeit entsprechender Prüftechnik im Unternehmen ist gewährleistet. Es sind kleinere Änderungen im Prüfaufbau zur Durchführung von Messungen notwendig.	Die Verfügbarkeit entsprechender Prüftechnik im Unternehmen ist gewährleistet und vorhanden. Messungen können mit vorhandener Peripherie- und Prüftechnik durchgeführt werden.
Know-How	Es ist ein komplexes und neues Testverfahren zur Ermittlung der Prüffähigkeit notwendig. Bisher genutzte Messtechnik kann an dieser Stelle nicht eingesetzt werden.	Der Aufbau von Wissen zur Prüffähigkeitskontrolle ist notwendig. Peripheriegeräte sind für die Prüfung nicht vorhanden./ Ein neues Messverfahren ist notwendig, welches entweder nicht-automatisiert oder automatisiert erfolgt.	Das Know-How für nutzbare Testverfahren ist nur bedingt im Unternehmen vorhanden. Peripherie und Prüfgeräte können bedingt zur Messung genutzt werden./ I.S. eines nicht standardisierten oder nicht-automatisierten Messverfahrens.	Das notwendige Testverfahren zur Prüffähigkeitsuntersuchung wird beherrscht bzw. ist bekannt./ Entsprechendes Know-How ist im Unternehmen vorhanden, jedoch muss das Messverfahren angepasst werden.	Das notwendige Testverfahren zur Prüffähigkeitsuntersuchung wird beherrscht bzw. ist bekannt./ Entsprechendes Know-How ist im Unternehmen vorhanden./ I.S. eines standardisierten oder automatisierten Messverfahrens
Besorgbarkeit	Die Mess- und Prüftechnikinstrumente sind nicht beschaffbar, bzw. nur zu extrem hohen Kosten./ Eine Spezialmesstechnik ist zur Prüffähigkeitsuntersuchung notwendig.	Die Mess- und Prüftechnikinstrumente sind zu hohen Kosten beschaffbar. Ein Versorgungsrisiko wird nicht gesehen.	Die notwendige Mess- und Prüftechnik ist im Unternehmen nur bedingt vorhanden, kleinere Investitionen zur Sicherstellung der Prüffähigkeit sind durchzuführen.	Die Mess- und Prüftechnikinstrumente sind mit geringem Aufwand zu beschaffen.	Die Mess- und Prüftechnikinstrumente sind vorhanden. Es sind keine Investitionen notwendig./ Es besteht kein Versorgungsrisiko.
Qualität der Peripherie- und Prüftechnik	Die Mess- und Prüftechnikinstrumente liefern schlechte oder redundante Ergebnisse./ Die Messprinzipien liefern keine vergleichbaren Daten.	Die Mess- und Prüftechnikinstrumente liefern unzufrieden stellende Ergebnisse. Eine direkte Ergebnisverwertung ist nicht möglich.	Die Mess- und Prüftechnikinstrumente erfüllen die relevanten Prüffähigkeitsanforderungen./ Die Messergebnisse liefern jedoch nur bedingt zuverlässige Daten.	Die Mess- und Prüftechnikinstrumente erfüllen die relevanten Prüffähigkeitsanforderungen. Die Qualität der Messergebnisse ist zufriedenstellend.	Die Mess- und Prüftechnikinstrumente liefern sehr gute Ergebnisse mit einer hohen Qualität bzw. hohen Zuverlässigkeit von Messergebnissen.

## 12.18 qualitativer Bewertungsansatz

Tab. 42: Wirtschaftlichkeit – qualitative Bewertung von Technologiegruppen, anhand Bewertungsformular<sup>80</sup>

Ausprägung Kriterium	Sehr gering (1)	gering (2)	mittel (3)	hoch (4)	Sehr hoch (5)	Technologiegruppen des Technologiekonzepts			
						$TG_1$	$TG_2$	$TG_3$	$TG_p$
<b>Marktaspekte</b>	<b>gültig über alle Technologiegruppen</b>								
<b>Kunden- bereitschaft</b> $TG_1 = TG_2 = TG_3 = TG_p$	Kunden oder potentielle Anwendungsfelder wurden bisher nicht identifiziert.	Bisher wurde nur ein Anwendungsfeld identifiziert, jedoch keine Kunden (im Sinne es Lead-Users).	Es wurde sowohl ein Anwendungsfeld(er) als auch Kunden identifiziert, die Bereitschaft dieser ist unsicher.	Eine mittlere Kundenbereitschaft und potentielle Anwendungsfelder sind identifiziert.	Eine hohe Kundenbereitschaft und potentielle Anwendungsfelder sind mit hohem Bedarf identifiziert.	4	4	4	4
<b>Preis- bereitschaft</b> $TG_1 = TG_2 = TG_3 = TG_p$	Keine Preisbereitschaft vorhanden aufgrund fehlender Kunden oder geringer Akzeptanz des Technologiekonzepts.	Es ist von einer geringen Preisbereitschaft auszugehen, aufgrund geringer oder unsicherer Kunden-akzeptanz.	Mittlere Preisbereitschaft vorhanden, aufgrund von existierenden Wettbewerbslösungen oder geringer Akzeptanz des Technologiekonzepts	Es ist eine hohe Preisbereitschaft der Kunden vorhanden, aufgrund von Akzeptanz des Technologiekonzepts.	Es ist eine sehr hohe Preisbereitschaft der Kunden, aufgrund großer Akzeptanz und Bedarfs des Technologiekonzepts vorhanden.	3	3	3	3
<b>Stückzahl- erwartungen</b> $TG_1 = TG_2 = TG_3 = TG_p$	Es wird von sehr unsicheren Stückzahl-erwartungen ausgegangen, da bisher kein <u>sicheres</u> Anwendungsfeld identifiziert werden konnte.	Es wird von sehr geringen Stückzahl-erwartungen ausgegangen, da bisher <u>nur ein</u> Anwendungsfeld identifiziert werden konnte.	Es wird von geringen bis mittleren Stückzahl-erwartungen ausgegangen, aufgrund geringer Kundenbereitschaft und identifizierter Anwendungsfelder.	Es wird von mittleren Stückzahl-erwartungen ausgegangen, aufgrund vorhandener Kundenbereitschaft und identifizierter Anwendungsfelder.	Es wird von hohen Stückzahl-erwartungen ausgegangen, aufgrund vorhandener Kundenbereitschaft und mehrerer identifizierter Anwendungsfelder.	3	3	3	3

<sup>80</sup> Bei ungenügender Datenlage innerhalb der Technologieentwicklung bietet es sich an, dass Technologiekonzept in der Wirtschaftlichkeitsperspektive anhand der aufgeführten Bewertungskriterien in Tab. 42 zu bewerten. Hierfür sind pro Technologiegruppe der Erfüllungsgrad von Kriterien, wie Kundenbereitschaft, Preisbereitschaft etc. zu ermitteln und ein prozentualer Reifegrad zu errechnen. Die Beispielwerte in Tab. 42 sollen dies verdeutlichen.

Ausprägung Kriterium	Sehr gering (1)	gering (2)	mittel (3)	hoch (4)	Sehr hoch (5)	Technologiegruppen des Technologiekonzepts				
						TG <sub>1</sub>	TG <sub>2</sub>	TG <sub>3</sub>	TG <sub>p</sub>	
<b>Herstellkostenaspekte</b> gültig für einzelne TG										
<b>Erzielbare Herstellkosten</b>	Es ist davon auszugehen, dass die HK's sehr stark von den Erwartungen abweichen werden, so dass Maßnahmen einzuleiten sind (HK-Abw. > 80%).	Es ist davon auszugehen, dass die HK's stark von den Erwartungen abweichen werden, so dass Handlungsmaßnahmen zu definieren sind (HK-Abw. > 60%).	Es ist davon auszugehen, dass die HK's von den Erwartungen leicht abweichen werden. (HK-Abw. > 40%)	Es ist davon auszugehen, dass die HK's von den Erwartungen leicht abweichen werden. (HK-Abw. > 20%).	Es ist davon auszugehen, dass die HK's niedriger sind als geplant. (0 < HK-Abw. < 20%)	5	4	3	4	
<b>Investitionen</b>	Es ist von sehr hohen Investitionen im Zusammenhang mit der Technologiegruppe auszugehen. > 1 Mio €	Es ist von hohen Investitionen im Zusammenhang mit der Technologiegruppe auszugehen. <1 Mio €	Es ist von mittleren Investitionen im Zusammenhang mit der Technologiegruppe auszugehen. 100.000 € - 10.000 €	Es ist von geringen Investitionen im Zusammenhang mit der Technologie auszugehen. 10.000€ - 1000€	Es ist davon auszugehen, dass für die Technologiegruppe keine Investitionen notwendig sind.	4	3	3	2	
<b>Lieferantenabhängigkeit</b>	Es ist davon auszugehen, dass für die vorliegende Problemstellung kein Lieferant gefunden werden kann.	Es wird eine vollständige Abhängigkeit zu Lieferanten erwartet, aufgrund von fehlender Fertigungskompetenz.	Es wird eine große Abhängigkeit zu Lieferanten erwartet. Die Auswahl eines passenden Lieferanten ist zu treffen.	Es wird eine geringe Abhängigkeit zu Lieferanten erwartet, aufgrund von Einzelteilbezug.	Es wird keine Abhängigkeit zu Lieferanten erwartet, aufgrund von Eigenfertigungsmöglichkeiten.	2	3	3	4	
<b>Fertigung/Montage/Maschinen</b>	Es ist davon auszugehen, dass die komplette Anlagen und Montagemöglichkeiten beschafft werden müssen.	Es ist davon auszugehen, dass Anlagen zur Montage oder Fertigung beschafft werden müssen.	Es ist davon auszugehen, dass die Fertigung/Montage nur eingeschränkt mit bestehenden Anlagen realisierbar ist.	Es ist davon auszugehen, dass die Produzierbarkeit mit vorhandenen Anlagen oder Montageplätzen realisierbar ist.	Es ist davon auszugehen, dass die Produzierbarkeit mit vorhandenen Anlagen und Montageplätzen realisierbar ist.	3	3	4	5	
<b>Material</b>	Ein neues Material wird benötigt. Lieferanten können derzeit nicht identifiziert werden.	Ein neues Material wird benötigt. Die Beschaffung hierfür ist überdurchschnittlich teuer.	Es ist davon auszugehen, dass der Einsatz neuer Materialien notwendig ist.	Es ist zu prüfen, ob bestehende Materialien eingesetzt werden können, Versuche hierfür stehen aus.	Es ist keine Beschaffung neuer Materialien (fürs Unternehmen) vorgesehen.	4	3	4	4	

Ausprägung Kriterium	Sehr gering (1)	gering (2)	mittel (3)	hoch (4)	Sehr hoch (5)	Technologiegruppen des Technologiekonzepts				
						TG <sub>1</sub>	TG <sub>2</sub>	TG <sub>3</sub>	TG <sub>p</sub>	
<b>Investitions- und Finanzaspekte</b>										
<b>Maschinen und Anlagen</b>	Es ist davon auszugehen, dass hohe Anschaffungen neuer Maschinen oder Anlagen in Verbindung mit <u>hohen</u> Investitionen notwendig sind.	Es ist davon auszugehen, dass Anschaffungen neuer Maschinen oder Anlagen in Verbindung mit <u>mittleren</u> Investitionen notwendig sind.	Es ist davon auszugehen, dass <u>Erweiterungen</u> bestehender Anlagen mit <u>geringen</u> Investitionen vorzunehmen sind.	Es kann nicht gewährleistet werden, dass neue Maschinen oder Anlagen zu beschaffen sind. Ggf. können bestehende Anlagen genutzt werden.	Es ist davon auszugehen, dass <u>keine</u> Anschaffungen von neuen Maschinen oder Anlagen notwendig ist.	5	5	5	4	
<b>Erzielbare Kostenvorteile (bei Eigenfertigung)</b>	Fremdbezug wird mit Lieferanten verhandelt.	Es ist davon auszugehen, dass keine Kostenvorteile bei Eigenfertigung entstehen. Fremdbezug ist notwendig.	Es ist davon auszugehen, dass nur geringe Kostenvorteile bei Eigenfertigung erzielt werden können. Fremdbezug ist zu prüfen.	Es ist davon auszugehen, dass mittlere Kostenvorteile durch Eigenfertigung erzielt werden können.	Es ist davon auszugehen, dass hohe Kostenvorteile durch Eigenfertigung erzielt werden können.	4	3	4	3	
<b>Zeit bis zum Markteintritt</b>	Es ist wird von einem Markteintritt > 5 Jahre ausgegangen.	Es ist wird von einem Markteintritt von 3 bis 5 Jahren ausgegangen.	Es wird von einem Markteintritt in ca. 3 Jahren ausgegangen.	Es wird von einem Markteintritt zwischen 1 bis 3 Jahre ausgegangen.	Es wird von einem Markteintritt < 1 Jahr ausgegangen.	3	3	3	3	
<b>Auswertung, absolut:</b>						<b>∑ 40</b>	<b>∑ 37</b>	<b>∑ 39</b>	<b>∑ 39</b>	
<b>Reifegrad<sup>81</sup> (relativ) in [%]:</b>						<b>73 %</b>	<b>67 %</b>	<b>71 %</b>	<b>71 %</b>	

<sup>81</sup> Der Reifegrad ermittelt sich aus der Summe der Ausprägungen pro Baugruppe im Verhältnis zur Summe aus den max. Ausprägungen

## 12.19 Wirtschaftlichkeitsbezogene Tauglichkeitsprüfung

Tab. 43: Sammlung von Methodenbausteinen zur wirtschaftlichkeitsbezogenen Tauglichkeitsprüfung in der Technologieentwicklung<sup>82</sup>

Kriterien	Methodenart		Bewertungsart		Objektbezug		Kombinierbarkeit mit dem HoT		Methodenart	
	Qualitative Bewertung	Quantitative Bewertung	Vergleichsbewertung (Alternativvergleiche)	Absolutbewertung	Gesamtsystembetrachtung	Komponentenbetrachtung	Direkte Kombinierbarkeit	Kombinierbarkeit durch ergänzende Methoden	Erhebungsmethode (Informationssammlung)	Auswertungsmethode (Bewertung & Ableitung)
<b>Wirtschaftlichkeitsbezogene Bewertungsmethoden</b>										
<b>Statische Verfahren</b>										
Kostenvergleichsrechnung	○	●	●	○	●	●	○	○	○	●
Gewinnvergleichsrechnung	○	●	●	○	●	○	○	○	○	●
Rentabilitätsvergleichsrechnung	○	●	●	○	●	○	○	○	○	●
Amortisationsrechnung	○	●	●	○	●	○	○	○	○	●
<b>Dynamische Verfahren</b>										
Kapitalwertmethode	○	●	●	●	●	○	○	○	○	●
Annuitätenmethode	○	●	●	●	●	○	○	○	○	●
Interner Zinsfuß-Methode	○	●	●	●	●	○	○	○	○	●
Dynam. Amortisationsrechnung	○	●	●	●	●	○	○	○	○	●
Vermögensendwertmethode	○	●	●	○	●	○	○	○	○	●
Sollzinssatzmethode	○	●	●	○	●	○	○	○	○	●
Methode der vollst. Finanzpläne	○	●	●	○	●	○	○	○	○	●
<b>MADM-Methoden (Multiple Attribute Decision Making)</b>										
Nutzwertanalyse	●	●	●	○	●	○	○	○	●	●
Analytischer Hierarchie Prozess	●	●	●	○	●	○	○	○	○	●
Multi-Attributive Nutzentheorie	●	●	●	○	●	○	○	○	●	●
<b>Verfahren zur simultanen Investitions- und Finanzierungsplanung</b>										
Statisches Modell (Dean)	○	●	●	○	●	○	○	○	●	●
Einstufiges Modell (Albach)	○	●	●	○	●	○	○	○	●	●
Mehrstufiges Modell (Hax, Weingärtner)	○	●	●	○	●	○	○	○	○	●
<b>Verfahren zur Bewertung von Einzelentscheidungen bei Unsicherheit</b>										
Sensitivitätsanalyse	○	●	●	●	●	○	○	○	●	○
Risikoanalyse	○	●	○	●	●	○	○	○	●	○
Entscheidungsbaumverfahren	○	●	●	●	●	○	○	○	●	○
<b>Kostenprognosemethoden bzw. Kostenschätzverfahren im Bereich F&amp;E</b>										
Analogmethode	○	●	●	●	●	○	○	○	●	○
Vergleichsmethode	○	●	●	○	●	○	○	○	●	○
Richtwertmethode	○	●	●	○	●	○	○	○	●	●
Funktionsmethode	○	●	●	○	●	○	○	○	●	●
Verhältnismethode	○	●	●	●	●	○	○	○	●	○

Legende: erfüllt ● teilweise erfüllt ○ nicht erfüllt ○

<sup>82</sup> u.a. zusammengestellt aus: (Kruschwitz 2009; Götze 2008; Mühlkamp 2007; Helmke et al. 2008; Heesen 2010; Coenenberg 2003; Fischer 2000; Hagenloch 2007).

## 12.20 Zusammenfassende Formelsammlung

Tab. 44: Berechnungsgrundlagen Technologieperspektive (vgl. Kap. 7.3.2.1)

Bezeichnung	Formelzeichen	Berechnung	Erläuterung
Funktion	$F_\beta$	-	mit $\beta = 1, \dots, n$ $n = \text{Anzahl der Funktionen}$
Technologieelement	$TE_\alpha$	-	mit $\alpha = 1, \dots, m$ $m = \text{Anzahl Technologieelemente}$
Technologiegruppe	$TG_\varepsilon$	$TG_\varepsilon = \sum_{\alpha=1}^{m-1} TE_{\alpha, TG_\varepsilon}$	mit $\varepsilon = 1, \dots, p$ $p = \text{Anzahl der Technologiegruppen}$
Korrelation zwischen Technologieelementen	$k_{ij}$	-	mit $k_{ij} \in \{0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1\}$
Korrelationsfaktor pro Technologieelement	$gk_\alpha$	$gk_\alpha = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m \sum_{j=i+1}^m k_{ij} \cdot h_{ij}$	$h_{ij} = \begin{cases} 1, & i = \alpha \text{ oder } j = \alpha \\ 0, & \text{ansonsten} \end{cases}$
Gewichtung pro Funktion $F_\beta$ (normiert)	$g_{F_\beta}$	$g_{F_\beta}$	$\{g_{F_\beta} \in \mathbb{R} \mid 0 < g_{F_\beta} \leq 1\} \wedge \sum_{\beta=1}^n g_{F_\beta} = 1$ mit $\beta = 1, \dots, n$
Beziehung zwischen Funktion & Technologieelement	$b_{F_\beta, TE_\alpha}$	-	mit $b_{F_\beta, TE_\alpha} \in \{0; 1; 3; 10\}$
Bedeutung Technologieelement	$BE_{TE_\alpha}$	$BE_{TE_\alpha} = gk_\alpha \left( \sum_{\beta=1}^n b_{F_\beta, TE_\alpha} \cdot g_{F_\beta} \right)$	mit $BE_{TE_\alpha} \in \mathbb{R}_0^+$
Anzahl an Technologieelementen pro $TG_\varepsilon$	$s_\varepsilon$	-	mit $s_\varepsilon \in \mathbb{N}$
Bedeutung Technologiegruppe	$BG_{TG_\varepsilon}$	$BG_{TG_\varepsilon} = \frac{1}{s_\varepsilon} \left( \sum_{\alpha=1}^{s_\varepsilon} BE_{TE_\alpha} \right)$	mit $BE_{TE_\alpha} \in \mathbb{R}_0^+$ wobei $\varepsilon = 1, \dots, p$ $p = \text{Anzahl Technologiegruppen}$
Leistungsparameter	$LP_\mu$	-	mit $\mu = 1, \dots, r$ $r = \text{Anzahl der Leistungsparameter}$
Leistungsfähigkeitsfaktor des Leistungsparameters $LP_\mu$	$l_{LP_\mu, TE_\alpha}$	-	mit $l_{LP_\mu, TE_\alpha} \in \{0; 1; 3; 10\}$
Gewichtung des Leistungsparameters $LP_\mu$ (normiert)	$q_{LP_\mu}$	-	$\{q_{LP_\mu} \in \mathbb{R} \mid 0 < q_{LP_\mu} \leq 1\} \wedge \sum_{\mu=1}^r q_{LP_\mu} = 1$ mit $\mu = 1, \dots, r$
Leistungsfähigkeit eines Technologieelements	$LE_{TE_\alpha}$	$LE_{TE_\alpha} = \left( \sum_{\mu=1}^r l_{LP_\mu, TE_\alpha} \cdot q_{LP_\mu} \right)$	mit $LE_{TE_\alpha} \in \mathbb{R}_0^+$
Leistungsfähigkeit einer Technologiegruppe	$LG_{TG_\varepsilon}$	$LG_{TG_\varepsilon} = \frac{1}{s_\varepsilon} \left( \sum_{\alpha=1}^{s_\varepsilon} LE_{TE_\alpha} \right)$	mit $LG_{TG_\varepsilon} \in \mathbb{R}_0^+$
Reifegrad eines $TE_\alpha$ aus technischer Sichtweise	$RGT_{TE_\alpha}$	$RGT_{TE_\alpha} = 100 - gk_\alpha \left( \sum_{\beta=1}^n b_{F_\beta, TE_\alpha} \cdot g_{F_\beta} \right) \cdot \left( 10 - \frac{1}{r} \left( \sum_{\mu=1}^r l_{LP_\mu, TE_\alpha} \cdot q_{LP_\mu} \right) \right)$	mit $\{RGT_{TE_\alpha} \in \mathbb{R}^+\}$ In [%]
Reifegrad einer $TG_\varepsilon$ aus technischer Sichtweise	$RGT_{TG_\varepsilon}$	$RGT_{TG_\varepsilon} = \frac{1}{s_\varepsilon} \left( \sum_{\alpha=1}^{s_\varepsilon} RGT_{TE_\alpha} \right)$	mit $\{RGT_{TG_\varepsilon} \in \mathbb{R}^+\}$ In [%]

Tab. 45: Berechnungsgrundlagen Kundenperspektive (vgl. Kap. 7.3.2.2)

Bezeichnung	Formelzeichen	Berechnung	Erläuterung
Lead-User-Anforderungen	$AN_\theta$	-	mit $\theta = 1, \dots, i$ $i = \text{Anzahl der Anforderungen}$
Bedeutung einer Lead-User-Anforderung (normiert)	$h_{AN_\theta}$	-	mit $\{h_{AN_\theta} \in IR   0 < h_{AN_\theta} \leq 1\}$
Gegenwärtiger Erfüllungsgrad einer $AN_\theta$ durch ein $TE_\alpha$	$e_{TE_\alpha, F_\beta, AN_\theta}$	-	mit $\{e_{TE_\alpha, F_\beta, AN_\theta} \in \mathbb{N}   0 \leq e_{TE_\alpha, F_\beta, AN_\theta} \leq 10\}$
Gegenwärtiger Erfüllungsgrad einer $AN_\theta$	$E_{AN_\theta}$	$E_{AN_\theta} = \overline{AN_\theta}$	Mittelwert der jeweiligen Spaltenwerte $e_{TE_\alpha, F_\beta, AN_\theta}$ pro $AN_\theta$ mit $E_{AN_\theta} \in IR^+$
Gegenwärtiger Erfüllungsgrad von $AN_\theta$ durch ein $TE_\alpha$	$E_{TE_\alpha, F_\beta}$	$E_{TE_\alpha, F_\beta} = \frac{1}{e_{TE_\alpha, F_\beta, AN_\theta, \max}} \left( \sum_{\theta=1}^i h_{AN_\theta} \cdot e_{TE_\alpha, F_\beta, AN_\theta} \right)$	mit $\theta = 1, \dots, i$
Idealer Erfüllungsgrad einer Lead-User-Anforderung	$I_{AN_\theta}$	-	mit $\{I_{AN_\theta} \in IR   0 \leq I_{AN_\theta} \leq 10\}$
Reifegrad eines $TE_\alpha$ aus kundenbezogener Sichtweise	$RGK_{TE_\alpha}$	$RGK_{TE_\alpha} = \frac{1}{\sum_{\beta=1}^{z_\beta} b_{F_\beta, TE_\alpha}} \left( \sum_{\beta=1}^{z_\beta} b_{F_\beta, TE_\alpha} \cdot E_{TE_\alpha, F_\beta} \right) \cdot 100$	mit $\{RGK_{TE_\alpha} \in IR^+\}$ In [%]
Reifegrad einer $TG_\varepsilon$ aus kundenbezogener Sichtweise	$RGK_{TG_\varepsilon}$	$RGK_{TG_\varepsilon} = \frac{1}{s_\varepsilon} \left( \sum_{\alpha=1}^{s_\varepsilon} RGK_{TE_\alpha} \right)$	mit $\{RGK_{TG_\varepsilon} \in IR^+\}$ In [%]

Tab. 46: Berechnungsgrundlagen Fertigungsperspektive (vgl. Kap. 7.3.2.3)

Bezeichnung	Formelzeichen	Berechnung	Erläuterung
Einzelteil	$E_\pi$	-	mit $\pi = 1, \dots, t$ $t = \text{Anzahl der Einzelteile}$
Anzahl an Einzelteilen pro Technologieelement	$e_\alpha$	-	mit $e_\alpha \in \mathbb{N}$
Fertigungsfähigkeit eines Einzelteils $E_\pi$	$FF_{E_\pi}$	-	mit $FF_{E_\pi} \in IR_0^+$
Fertigungsfähigkeit eines Technologieelements	$FF_{TE_\alpha}$	$FF_{TE_\alpha} = \frac{1}{e_\alpha} \left( \sum_{\pi=1}^{e_\alpha} FF_{E_\pi} \right)$	mit $\{FF_{TE_\alpha} \in IR   0 \leq FF_{TE_\alpha} \leq 1\}$
Fertigungsfähigkeit einer Technologiegruppe	$FF_{TG_\varepsilon}$	$FF_{TG_\varepsilon} = \frac{1}{s_\varepsilon} \left( \sum_{\alpha=1}^{s_\varepsilon} FF_{TE_\alpha} \right)$	mit $\{FF_{TG_\varepsilon} \in IR   0 \leq FF_{TG_\varepsilon} \leq 1\}$ $s_\varepsilon = \text{Anzahl Technologieelemente einer } TG_\varepsilon$
Montagefähigkeitsfaktor	$m_{TE_\alpha, MK_\omega}$	-	mit $m_{TE_\alpha, MK_\omega} \in \{0; 1; 2; 3; 4\}$
Montagefähigkeit eines Technologieelements	$MF_{TE_\alpha}$	$MF_{TE_\alpha} = \frac{1}{\sum_{\omega=1}^4 m_{TE_\alpha, MK_\omega, \max}} \left( \sum_{\omega=1}^4 m_{TE_\alpha, MK_\omega} \right)$	mit $\{MF_{TE_\alpha} \in IR   0 \leq MF_{TE_\alpha} \leq 1\}$
Montagefähigkeit einer Technologiegruppe	$MF_{TG_\varepsilon}$	$MF_{TG_\varepsilon} = \frac{1}{s_\varepsilon} \left( \sum_{\alpha=1}^{s_\varepsilon} MF_{TE_\alpha} \right)$	mit $\{MF_{TG_\varepsilon} \in IR   0 \leq MF_{TG_\varepsilon} \leq 1\}$ $s_\varepsilon = \text{Anzahl Technologieelemente einer } TG_\varepsilon$
Prüffähigkeitsfaktor	$p_{TE_\alpha, PK_\omega}$	-	mit $p_{TE_\alpha, PK_\omega} \in \{0; 1; 2; 3; 4\}$

Prüffähigkeit eines Technologieelements	$PF_{TE_\alpha}$	$PF_{TE_\alpha} = \frac{1}{\sum_{\omega=1}^4 p_{TE_\alpha, PK_\omega, max}}$	mit $\{PF_{TE_\alpha} \in IR   0 \leq PF_{TE_\alpha} \leq 1\}$
Prüffähigkeit einer $TG_\varepsilon$	$PF_{TG_\varepsilon}$	$PF_{TG_\varepsilon} = \frac{1}{s_\varepsilon} \left( \sum_{\alpha=1}^{s_\varepsilon} PF_{TE_\alpha} \right)$	mit $\{PF_{TG_\varepsilon} \in IR   0 \leq PF_{TG_\varepsilon} \leq 1\}$ $s_\varepsilon = \text{Anzahl Technologieelemente einer } TG_\varepsilon$
Reifegrad einer $TG_\varepsilon$ aus fertigungsbezogener Sichtweise	$RGF_{TG_\varepsilon}$	$RGF_{TG_\varepsilon} = \frac{FF_{TG_\varepsilon} + MF_{TG_\varepsilon} + PF_{TG_\varepsilon}}{3} \cdot 100$	mit $\{RGF_{TG_\varepsilon} \in IR^+\}$ In [%]

Tab. 47: Berechnungsgrundlagen Wirtschaftlichkeitsperspektive (vgl. Kap. 7.3.2.4)

Bezeichnung	Formelzeichen	Berechnung	Erläuterung
Technologiekonzept (Abk.: Konzept)	$TK$	-	[-]
Herstellkosten des Markts für das $TK$	$HKM_{TK}$	-	[€]
Gewichtung pro Funktion $F_\beta$ (normiert)	$g_{F_\beta}$	$g_{F_\beta}$	$\{g_{F_\beta} \in IR   0 < g_{F_\beta} \leq 1\} \wedge \sum_{\beta=1}^n g_{F_\beta} = 1$ mit $\beta = 1, \dots, n$
Beziehung zwischen $F_\beta$ und $TE_\alpha$	$b_{F_\beta, TE_\alpha}$	-	mit $b_{F_\beta, TE_\alpha} \in \{0; 1; 3; 10\}$
Kostengewichtungsfaktor	$c_{F_\beta, TE_\alpha}$	$c_{F_\beta, TE_\alpha} = g_{F_\beta} \cdot b_{F_\beta, TE_\alpha}$	mit $c_{F_\beta, TE_\alpha} \in IR_0^+$
Kostengewichtung eines Technologieelements $TE_\alpha$	$G_{TE_\alpha}$	$G_{TE_\alpha} = \sum_{\beta=1}^n c_{F_\beta, TE_\alpha}$	mit $G_{TE_\alpha} \in IR$ und $n = \text{Anzahl der Funktionen}$
Normierte Kostengewichtung eines $TE_\alpha$	$G'_{TE_\alpha}$	$G'_{TE_\alpha} = \frac{G_{TE_\alpha}}{\sum_{\alpha=1}^m G_{TE_\alpha}}$	mit $G'_{TE_\alpha} \in IR_0^+$
Marktbezogene Herstellkosten eines $TE_\alpha$	$HKM_{TE_\alpha}$	$HKM_{TE_\alpha} = G'_{TE_\alpha} \cdot HKM_{TK}$	[€]
Marktbezogene Herstellkosten einer $TG_\varepsilon$	$HKM_{TG_\varepsilon}$	$HKM_{TG_\varepsilon} = \sum_{\alpha=1}^{s_\varepsilon} HKM_{TE_\alpha}$	mit $s_\varepsilon = \text{Anzahl an Technologieelementen pro Technologiegruppe}$
Unternehmensbezogene Herstellkosten einer $TG_\varepsilon$	$HKU_{TG_\varepsilon}$	$HKU_{TG_\varepsilon} = FE_{TG_\varepsilon} + FA_{TG_\varepsilon} + ME_{TG_\varepsilon} + MG_{TG_\varepsilon}$	[€]
Korrigierter Herstellkostenwert einer $TG_\varepsilon$	$HKU'_{TG_\varepsilon}$	$HKU'_{TG_\varepsilon} = HKU_{TG_\varepsilon} + MK_{TG_\varepsilon}$	[€]
Kapitalwert des Technologiekonzepts $TK$	$K_{TK}$	$K_{TK} = -I_{TK} + \sum_{t=1}^z (e_t - a_t) \cdot (1+i)^{-t} = -I_{TK} + \sum_{t=1}^z \frac{(e_t - a_t)}{(1+i)^t}$	[€]
Wirtschaftlichkeitsfaktor des $TK$	$f$	-	mit $f \in \{0; 1\}$
Kostenvergleichswert für eine $TG_\varepsilon$	$r_{TG_\varepsilon}$	$r_{TG_\varepsilon} = \frac{HKU'_{TG_\varepsilon} - HKM_{TG_\varepsilon}}{HKU'_{TG_\varepsilon}}$	mit $\{r_{TG_\varepsilon} \in IR   0 \leq r_{TG_\varepsilon} \leq 1\}$
Reifegrad einer $TG_\varepsilon$ aus wirtschaftlicher Sichtweise	$RGW_{TG_\varepsilon}$	$RGW_{TG_\varepsilon} = (1 - r_{TG_\varepsilon}) \cdot f \cdot 100$	mit $\{RGW_{TG_\varepsilon} \in IR^+\}$ In [%]

**Tab. 48: Berechnungsgrundlagen Reifegradermittlung pro Perspektive und Technologiegruppe (vgl. Kap. 7.3.3):**

Bezeichnung	Formelzeichen	Berechnung	Erläuterung
Optionaler Projektindikator	$z_{RG}$	-	mit $z_{RG} \in \{1; 0,9; 0,8\}$
Reifegrad des $TK$ aus technischer Sichtweise	$RGT_{TK}$	$RGT_{TK} = \frac{1}{p} \left( \sum_{\varepsilon=1}^p RGT_{TG_{\varepsilon}} \right) \cdot z_{RGT}$	mit $\varepsilon = 1, \dots, p$ $p =$ Anzahl Technologiegruppen im Technologiekonzept
Reifegrad des $TK$ aus kundenbezogener Sichtweise	$RGK_{TK}$	$RGK_{TK} = \frac{1}{p} \left( \sum_{\varepsilon=1}^p RGK_{TG_{\varepsilon}} \right) \cdot z_{RGK}$	mit $\varepsilon = 1, \dots, p$ $p =$ Anzahl Technologiegruppen im Technologiekonzept
Reifegrad des $TK$ aus fertigungsbezogener Sichtweise	$RGF_{TK}$	$RGF_{TK} = \frac{1}{p} \left( \sum_{\varepsilon=1}^p RGF_{TG_{\varepsilon}} \right) \cdot z_{RGF}$	mit $\varepsilon = 1, \dots, p$ $p =$ Anzahl Technologiegruppen im Technologiekonzept
Reifegrad des $TK$ aus wirtschaftlicher Sichtweise	$RGW_{TK}$	$RGW_{TK} = \frac{1}{p} \left( \sum_{\varepsilon=1}^p RGW_{TG_{\varepsilon}} \right) \cdot z_{RGW}$	mit $\varepsilon = 1, \dots, p$ $p =$ Anzahl Technologiegruppen im Technologiekonzept
Gesamtreifegrad einer $TG_{\varepsilon}$	$RG_{TG_{\varepsilon}}$	$RG_{TG_{\varepsilon}} = \frac{RGT_{TG_{\varepsilon}} + RGK_{TG_{\varepsilon}} + RGF_{TG_{\varepsilon}} + RGW_{TG_{\varepsilon}}}{v}$	mit $v \in \{1; 2; 3; 4\}$ $v =$ Anzahl der berechneten Perspektiven

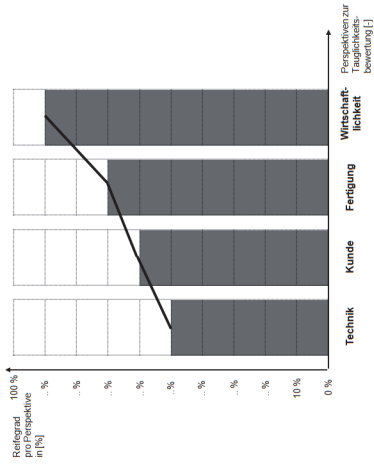
## 12.21 Handlungsoptionen bei Substitutionseentwicklungen

Tab. 49: prinzipielle Handlungsoptionen bei Substitutionseentwicklungen, definiert nach AZ<sub>2</sub>, vgl. Kap. 7.1.1 (beispielhaft dargestellt)

<p>The chart shows the distribution of 'Belegend pro Perspektive in [%]' across four perspectives: Technik, Kunde, Fertigung, and Wirtschaftlichkeit. The y-axis ranges from 0% to 100%. The 'Technik' perspective is the largest, followed by 'Kunde', 'Fertigung', and 'Wirtschaftlichkeit'.</p>	<p><b>Fall a): „Technische Tauglichkeit liegt vor – was nun?“</b></p> <p>Technologiekonzepte, die aus technischer Sichtweise reif sind, erfüllen prinzipiell bereits die Anforderung zur Substituierung. Die Leistungsfähigkeit bzw. die zugrunde liegenden Leistungsmerkmale werden in diesem Fall vollständig erfüllt oder sind gar gesteigert worden. Infolgedessen ist der Einsatz des Technologiekonzepts aus technischer Sichtweise prinzipiell möglich, jedoch unternehmerisch nicht sinnvoll. Grund: neben der technischen Reife ist für eine erfolgreiche Substitutionseentwicklung die Erreichung von Kostenzielen von eben so hoher Bedeutung. Anwender werden Substitutionseentwicklungen bzw. –produkte für gewöhnlich nur erwerben, wenn neben der Qualität auch attraktive und vergleichbare Preise vorliegen. Eine Verfehlung oder eine Nicht-Erreichung von Kostenzielen setzt die Einsatzfähigkeit herab bzw. lässt eine erfolgreiche Beendigung der Entwicklungsaktivitäten als nicht sinnvoll erscheinen. Stattdessen ist eine Weiterentwicklung des Technologiekonzepts zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit als auch der kundenbezogenen Tauglichkeit anzustreben. Bei unveränderlicher Wirtschaftlichkeit ist zu prüfen, ob die Substitutionseentwicklung wirklich noch zielführend ist oder das Projekt für die favorisierte Anwendung ggf. abgebrochen werden sollte.</p>
<p>The chart shows the distribution of 'Belegend pro Perspektive in [%]' across four perspectives: Technik, Kunde, Fertigung, and Wirtschaftlichkeit. The y-axis ranges from 0% to 100%. The 'Kunde' perspective is the largest, followed by 'Fertigung', 'Wirtschaftlichkeit', and 'Technik'.</p>	<p><b>Fall b): „Kundenbezogene Tauglichkeit liegt vor – was nun?“</b></p> <p>Technologiekonzepte, die aus kundenbezogener Sichtweise reif sind, erfüllen ähnlich wie im Fall a) partiell bereits die Anforderung zur Substituierung. Bei der reinen kundenbezogenen Tauglichkeit können technisch hingegen noch Verbesserungen notwendig sein, um ohne Leistungsbeeinträchtigungen eine vergleichbare Lösung anzubieten. Die weiteren Entwicklungsaktivitäten sollten auf die technische Perspektive bzw. die Steigerung der geforderten Leistungsparameter ausgerichtet werden. Zudem ist zu prüfen, inwieweit auf Kostenebene eine Steigerung der wirtschaftlichen Tauglichkeit erzielt werden kann. Eine Beendigung des Projekts und ein Transfer in eine Produktentwicklung sollte bei unzureichender oder mangelhafter technischer oder wirtschaftlichkeitsbezogener Tauglichkeit vermieden werden. Denn letztlich entscheiden über eine erfolgreiche Substitutionseentwicklung Faktoren wie Qualität, Leistung und Preis. Diese sollten weitestgehend vom Technologiekonzept gewährleistet und erfüllt werden, bevor es zu einem Technologietransfer oder einer Produktentwicklung kommen kann.</p>

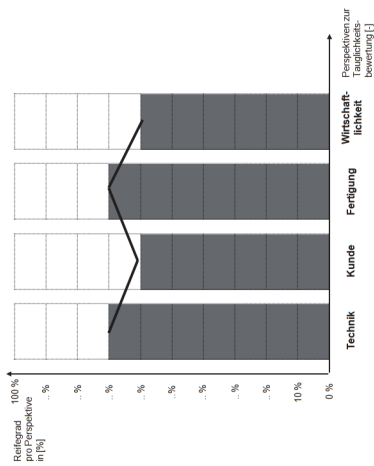
**Fall c): „Wirtschaftliche Tauglichkeit liegt vor – was nun?“**

Technologiekonzepte, die aus wirtschaftlicher Sichtweise reif sind, erfüllen ähnlich wie im Fall a) oder b) partiell die Anforderung zur Substituierung. Aus ökonomischer Sichtweise konnte in Bezug auf zu erreichende Kostenziele ein Nachweis der Tauglichkeit erbracht werden. Worüber die wirtschaftliche Tauglichkeit jedoch noch keine Auskunft geben kann, ist die Frage ob technisch auch alle Anforderungen an eine Substitutionsentwicklung erfüllt werden. Aus diesem Grund ist zu prüfen, wie hoch die technische Tauglichkeit bereits ist und bis zu welchem Punkt eine Steigerung der technischen Tauglichkeit noch erstrebenswert ist, um eine funktionale Vergleichbarkeit mit dem Substitut zu gewährleisten. Bei unveränderlicher, mangelhafter technischer Tauglichkeit ist zu prüfen, ob die Substitutionsentwicklung wirklich noch zielführend ist oder das Projekt für die favorisierte Anwendung ggf. abgebrochen werden sollte.



**Fall d): „Tauglichkeit ist bedingt gegeben – was nun?“**

Technologiekonzepte, deren Tauglichkeit in keiner Perspektive erfüllt ist, weisen in Bezug auf eine Substitutionsentwicklung zunächst, trotz ihres moderaten Niveaus, ein grundlegendes Defizit auf. Weder nach technischen ökonomischen Gesichtspunkten noch nach Anwenderaspekten erscheint eine Substitutionsentwicklung als eine Verbesserung zum Bestehenden. Eine Nutzung bzw. Überführung des Technologiekonzepts in die Produktentwicklung ist im Fall d) zu vermeiden bzw. zum gegenwärtigen Bewertungszeitpunkte auszuschließen. Es sollte zunächst eine Weiterentwicklung fokussiert werden, wobei die Entwicklungsaktivitäten auf die Steigerung der technischen Leistungsfähigkeit sowie der Erfüllung wirtschaftlicher Aspekte ausgerichtet werden sollte. In einem weiteren Schritt sollte ebenfalls an einer Steigerung der kundenbezogenen Tauglichkeit gearbeitet werden. Bei unveränderlichen oder stagnierenden Tauglichkeitswerten über mehrere Bewertungsperioden hinweg ist über Modifikationen in der Zielerreichung zu diskutieren bzw. über den Abbruch des Projekts zu entscheiden.



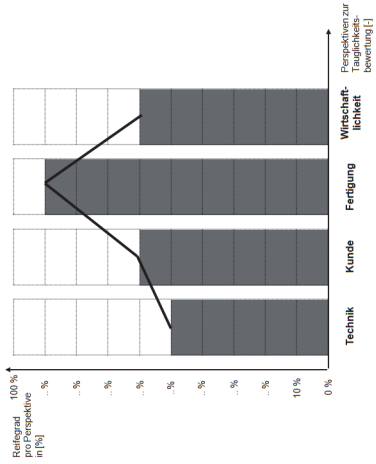
## 12.22 Handlungsoptionen bei Neuentwicklungen

Tab. 50: prinzipielle Handlungsoptionen bei Neuentwicklungen, definiert nach AZ<sub>2</sub>, vgl. Kap. 7.1.1 (beispielhaft<sup>83</sup> dargestellt)

	<p><b>Fall a): Neuentwicklung - „Technische Tauglichkeit liegt vor – was nun?“</b></p> <p>Technologiekonzepte, die aus technischer Sichtweise reif sind, erfüllen bei einer Neuentwicklung wesentliche Voraussetzungen zur Produkt-Einsatzfähigkeit. Die Leistungsfähigkeit bzw. die ggf. durch Marktanforderungen zugrunde liegenden und geforderten Leistungsmerkmale werden in diesem Fall weitestgehend erfüllt. Infolgedessen ist der Einsatz des Technologiekonzepts aus technischer Sichtweise prinzipiell möglich, jedoch unternehmerisch nicht unbedingt sinnvoll. Grund: neben der technischen Reife ist für einen Kompetenzaufbau ebenfalls das Wissen über die Fertigungsfähigkeit und die Erfüllung prinzipieller Kundenforderungen von wesentlicher Bedeutung. Eine Produktentwicklung bzw. ein Markteintritt basierend auf einer rein technischen Tauglichkeit sollte daher genauestens abgewogen werden. Im Falle eines Entscheids zum Technologietransfer muss mit zusätzlichen Aufwänden und ggf. Rückschlägen in der Produzierbarkeit gerechnet werden. Beim Entscheid zur Weiterentwicklung sollte neben der Prüfung eigener Fertigungsmöglichkeiten auch der externe Erwerb von Fertigungskompetenzen (i.S.v. Zukaufoptionen) geprüft werden. Ebenfalls sollten eingebrachte Anwenderpräferenzen potentieller Kunden durch das Technologiekonzept in weiteren Entwicklungsschritten auf ein zufriedenstellendes Niveau gebracht werden und durch pilothafte Einsätze weitere Technologiekompetenzen erworben werden.</p>
	<p><b>Fall b): Neuentwicklung - „Kundenbezogene Tauglichkeit liegt vor – was nun?“</b></p> <p>Technologiekonzepte, die aus kundenbezogener Sichtweise reif sind, erfüllen ähnlich wie im Fall a) eine wesentliche Voraussetzung zur Produkt-Einsatzfähigkeit. An dieser Stelle können Anwenderpräferenzen durch das Technologiekonzept auf einem zufriedenstellenden Niveau erfüllt werden. Ein Einsatz in der Produktentwicklung ist aufgrund der kundenbezogenen Tauglichkeit möglich, aber aus unternehmerischer Sichtweise mit Risiken verbunden. Grund: Bei der reinen kundenbezogenen Tauglichkeit wird die technische Sichtweise nur bedingt berücksichtigt. Die Leistungsfähigkeit inklusive derer Merkmale kann erst durch die technische Tauglichkeit betrachtet werden. Diese sollten weitestgehend vom Technologiekonzept gewährleistet und erfüllt werden, bevor es zu einem Technologietransfer oder einer Produktentwicklung kommen kann. Eine Beendigung des Projekts und ein Transfer in eine Produktentwicklung sollte daher bei rein kundenbezogener Tauglichkeit vermieden werden. Die zu initiierten Entwicklungsaktivitäten sollten zunächst auf die technische Perspektive bzw. die Steigerung der geforderten Leistungsparameter ausgerichtet werden. In einem weiteren Schritt sollte die Fertigungsfähigkeit geklärt werden, denn häufig führt der Einsatz neuer Technologien zum Aufbau fertigungstechnischer Konzepte oder zu Modifikationen in der Fertigungsprozessabfolge. In diesem Zusammenhang sollte ebenfalls eine Prüfung der Fertigungsfähigkeit (intern oder extern) erfolgen. Letztlich sollte die Wirtschaftlichkeit bei der Neuentwicklung nicht unberücksichtigt bleiben. Es ist zu prüfen, inwieweit auf Kostenebene eine Steigerung der wirtschaftlichen Tauglichkeit erzielt werden kann.</p>

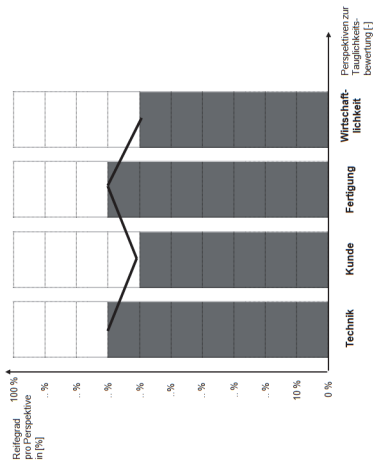
<sup>83</sup> Die Verläufe der restlichen Perspektiven in den Diagrammen sind eher zufällig gewählt. Die Diagramme sollen vielmehr die Fälle verdeutlichen, wenn sich eine Perspektive merklich von den anderen Perspektiven abhebt (Fall a, b, c) oder sich keine abgrenzbaren Perspektiven identifizieren lassen (Fall d).

**Fall c): Neuentwicklung - „Fertigungsbezogene Tauglichkeit liegt vor – was nun?“**



Technologiekonzepte, die aus fertigungsbezogener Sichtweise reif sind, erfüllen eine wesentliche Voraussetzung zur Realisierung technologischer Neuentwicklungen. Konkret wird die Produzierbarkeit durch das Vorhandensein entsprechender Infrastruktur, Fertigungsanlagen zur Eigenfertigung oder den externen Erwerb von Fertigungskompetenzen gewährleistet. Worüber die fertigungsbezogene Tauglichkeit jedoch keine Auskunft geben kann, ist die Frage ob technisch auch alle Anforderungen an eine Neuentwicklung erfüllt werden können. Technisch sollte die geforderte Leistungsfähigkeit ebenfalls erreicht sein, bevor über einen Technologietransfer bzw. eine Produktentwicklung nachgedacht und eine Entscheidung zur Produktentwicklung getroffen wird. Durch die rein fertigungsbezogene Tauglichkeit im Fall c) kann die Überprüfung technischer Aspekte nicht gewährleistet werden, was demzufolge eine Weiterentwicklung unausweichlich macht. Die zu initiierten Entwicklungsaktivitäten sollten auf die technische Perspektive ausgerichtet werden. Ebenfalls sollte die kundenbezogene Tauglichkeit auf ein zufriedenstellendes Niveau gesteigert werden. Bei der Erreichung von Zielkosten ist zu entscheiden bis zu welchem Punkt eine Steigerung der wirtschaftlichen Tauglichkeit noch erstrebenswert ist, um eine Einführung neuer Technologien nicht zu behindern. Bei unveränderlicher, mangelhafter technischer Tauglichkeit über mehrere Bewertungsperioden hinweg, ist zu prüfen, ob die Neuentwicklung wirklich noch zielführend ist oder das Projekt für die favorisierte Anwendung abgebrochen werden sollte.

**Fall d): Neuentwicklung - „Tauglichkeit ist bedingt gegeben – was nun?“**



Technologiekonzepte, deren Tauglichkeit in keiner der bewertungsrelevanten Perspektiven erfüllt ist, weisen in Bezug auf eine Neuentwicklung zunächst ein Defizit auf. Weder nach technischen Gesichtspunkten noch nach Anwenderaspekten erscheint die Neuentwicklung als tauglich und somit in ihrer Form als nicht-einsatzfähig für eine Produktentwicklung. Eine Nutzung bzw. Überführung des Technologiekonzepts in die Produktentwicklung sollte im Fall d) ausgeschlossen werden. Es sollte zunächst eine Weiterentwicklung fokussiert werden, wobei die Entwicklungsaktivitäten auf die Steigerung der technischen Leistungsfähigkeit bis zu einem moderaten Niveau ausgerichtet werden sollten. In einem weiteren Schritt kann die Erfüllung kundenbezogener Aspekte fokussiert oder an einer Steigerung der fertigungsbezogenen Tauglichkeit gearbeitet werden. Bei unveränderlichen oder stagnierenden Tauglichkeitswerten über mehrere Bewertungsperioden hinweg sind potenziell vorhandene technische Problemstellungen zu identifizieren, über Modifikationen in der Zielanwendung zu diskutieren oder über den Abbruch des Projekts zu entscheiden.

## 12.23 Ableitung von Maßnahmen

Tab. 51: Portfolio-Empfehlungen für Technologiegruppen

Portfolio-Feld	$R_{CT} T_{G_e}$ vs. $t_{T_{G_e}}$	Empfehlungen und Hinweise
„Quick wins“	hoch - gering	Technologiegruppe(n) in diesem Feld sollten mit einer hohen Priorität weiterentwickelt werden. Die hervorgerufene Steigerung des Reifegrads solcher Technologiegruppen führt zur Verbesserung des gesamten Technologiekonzepts. Einzusetzende Ressourcen führen zu schnellerem Erfolg mit geringen bis keinen Risiken. Es ist von geringen bis keinen Investitionen für die Realisierung auszugehen. Leistungsparameter, Kundenanforderungen sowie wirtschaftliche Aspekte werden bereits in großem Maße erfüllt.
„Must haves“	mittel – gering	Technologiegruppe(n) in diesem Feld sollten mit einer mittleren bis hohen Priorität weiterentwickelt werden. Die technischen wie auch marktbezogenen Ziele sind bereits teilweise erfüllt. Weitere Entwicklungsaktivitäten sind notwendig, um die Tauglichkeit abzusichern; Vorliegende Risiken sollten jedoch beherrschbar sein.
	mittel - mittel	Für Technologiegruppen in diesem Feld sind weitere Entwicklungsaktivitäten mit mittlerem Aufwand notwendig. Existierende Problemstellungen bzw. Risiken müssen systematisch reduziert werden. Ggf. sind Experten aus der Fertigung zur Risikoreduktion oder Marktexperten zur Verifikation von potentiellen Kundenanforderungen einzubinden.
	hoch - mittel	Technologiegruppe(n) in diesem Feld sollten mit einer hohen Priorität weiterentwickelt werden. Einzusetzende Ressourcen für die Reifegradsteigerung führen zu mittelfristigem Erfolg. Ggf. werden technische Leistungsgrenzen erreicht, die zu keiner Reifegradsteigerung mehr führen können. Eine Überprüfung der vordefinierten Entwicklungsziele wird bei unverändertem Reifegrad-Aufwand-Verhältnis empfohlen.
„Lucky strike“	Mittel – hoch	Technologiegruppe(n) in diesem Feld sind mit einer mittleren Priorität weiterzuentwickeln. Weitere Entwicklungsaktivitäten sind notwendig, um die Tauglichkeit abzusichern; Vorliegende Risiken sollten jedoch beherrschbar sein. Experten aus der Fertigung sowie Marktexperten sollten eingebunden werden, um bei unverändertlichem Reifegrad-Aufwand-Verhältnis über alternative Lösungsmöglichkeiten zu informieren.
	Hoch - hoch	Technologiegruppe(n) in diesem Feld sind mit einer mittleren Priorität weiterzuentwickeln. Bei unverändertlichem Reifegrad ist davon auszugehen, dass Technologiegruppen in diesem Portfolio-Feld ihre spezifische Leistungsgrenze erreicht haben; weitere Entwicklungsaufwände sind aufgrund umfangreicher Investitionen kritisch zu prüfen. Ggf. ist eine Anpassung von Entwicklungszielen vorzunehmen/ sind konzeptionelle Änderungen vorzunehmen/sind weitere Entwicklungsaktivitäten in diese Richtung abzubrechen.
„Hidden stars“	gering - gering	Technologiegruppe(n) in diesem Feld sollten mit einer niedrigen Priorität weiterentwickelt werden. Weitere Entwicklungsaktivitäten sind notwendig, um die Tauglichkeit abzusichern; Von den Experten eingeschätzte Aufwände sollten ohne Risiken realisierbar sein.
	gering – mittel	Technologiegruppe(n) in diesem Feld sollten mit einer niedrigen Priorität weiterentwickelt werden. Von den Experten eingeschätzte Aufwände sollten ohne Risiken realisierbar sein.
„Waste of ressource“	gering - hoch	Technologiegruppe(n) in diesem Feld sollten auf deren grundsätzliche Einsatzfähigkeit, durch die Einbindung von Fertigungs-, Markt- wie auch Technologieexperten, überprüft werden. Es werden umfangreiche Investitionen zur Realisierung bzw. Steigerung des Reifegrads notwendig werden. Bei unverändertlichem Reifegrad-Aufwand-Verhältnis sollten konzeptionelle Änderungen/Zielanpassungen oder ein Abbruch der Entwicklungsaktivitäten bzw. eine Substitution für die betreffende Technologiegruppe vorgenommen werden.

## 12.24 Ergänzende Berechnungen Mikrowellensensorkonzept

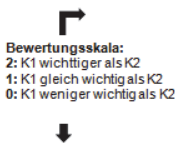
	Wellen abstrahlen/ empfangen	Symmetriefeld bereitstellen	Reflexionen vermeiden	Luft durchschleusen	Funkwellen erzeugen/ empfangen	in Gleichspannung umwandeln/ Zwischenfrequenz erzeugen	Rohdaten erfassen	Rohdaten auswerten	Messwerte übertragen	HF-Elektronik ansteuern	Summe	Gewichtungsfaktoren
	Wellen (elektromagnetisch) abstrahlen/ empfangen	2	2	1	1	2	1	1	2	2	2	14
Symmetriefeld bereitstellen	0	2	1	2	1	2	1	1	0	2	11	0,12
Reflexionen vermeiden	0	0	2	1	2	0	1	2	1	1	9	0,10
Luft durchschleusen	1	1	0	2	0	2	1	0	1	1	7	0,08
Funkwellen erzeugen/ empfangen	1	0	1	2	2	1	2	1	2	2	12	0,13
in Gleichspannung umwandeln/ Zwischenfrequenz erzeugen	0	1	0	0	0	2	1	1	2	1	6	0,07
Rohdaten erfassen (Sensorsignal empfangen)	1	0	1	1	1	1	2	0	2	1	8	0,09
Rohdaten auswerten	1	1	2	2	0	1	2	1	1	1	11	0,12
Messwerte übertragen	0	2	0	1	1	0	0	1	2	2	7	0,08
HF-Elektronik ansteuern	0	0	1	0	1	1	1	1	0	2	5	0,06
<b>Summe:</b>											<b>90</b>	<b>1,00</b>

Abb. 53: paarweiser Vergleich von Funktionen der Mikrowellensensoreinheit

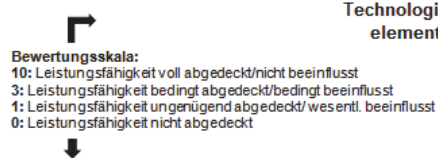
	Technologieelemente:	Gewichtung (normiert)	Antennenmodul		HF-Elektronik		Auswerte-Elektronik	
			Antenne(n)	Gehäuse	HF-Leiterplatte	Leistungs-detektoren	Prozessor	Hardware
Wiederholgenauigkeit (0,x mm)		0,15	3	0	1	1	10	1
Linearität (0,x mm)		0,20	10	1	10	3	3	10
Langzeitstabilität (y mm/Jahr)		0,10	3	10	1	1	10	3
Temperaturabhängigkeit (x mm/C°)		0,30	3	1	1	3	1	10
Abtastrate (y ms)		0,15	1	3	10	3	3	3
Messung unabh. vom Füllgas (0,x-y bar)		0,10	3	1	1	10	3	10
Leistungsfähigkeit der Technologieelemente			4,1	2,1	4,2	3,2	4,2	6,9
Leistungsfähigkeit der Technologiegruppen			3,1		3,7		5,5	

Abb. 54: Bewertung von Leistungsparametern

Anforderungen:	Bedeutung einer Anforderung:													Summe	Gegenwärtiger Erfüllungsgrad						
	0,09	0,08	0,04	0,02	0,02	0,1	0,02	0,03	0,09	0,05	0,02	0,09	0,09			0,08	0,08	0,04	0,04	0,03	0,01
<b>↑</b> Bewertungsskala: 0-10 Erfüllungspunkte 0: Anforderung nicht erfüllt 10: Anforderung vollständig erfüllt/kein negativer Einfluss <b>↓</b> Funktionen:	Technologie-Elemente																				
	Wegmessbereich bis zu xxx mm	7	10	8	9	10	9	9	6	10	7	6	6	6	8	10	8	6	10	4	8,0
Wellen (elektromagnetisch) abstrahlen/empfangen	Betriebsdruck von 0,xx bis yy bar	6	10	3	10	3	5	6	5	10	4	4	4	8	10	6	6	10	4	6,4	0,64
	Wegmessbereich bis zu xxx mm	5	10	10	10	6	4	7	4	10	10	8	10	10	10	3	4	8	6	7,6	0,76
Symmetriefeld bereitstellen	Antenne (TE <sub>1</sub> )	7	10	7	10	10	9	10	6	10	6	10	10	10	9	7	6	9	2	8,7	0,87
	Gehäuse (TE <sub>2</sub> )	8	8	8	10	10	10	10	8	10	9	7	8	10	10	5	10	7	4	8,4	0,84
Reflexionen vermeiden	Antenne (TE <sub>1</sub> )	7	10	7	9	10	6	7	7	10	8	10	8	7	10	8	4	8	10	8,3	0,83
	Gehäuse (TE <sub>2</sub> )	9	6	7	9	8	7	9	7	9	10	8	9	10	8	10	4	9	8	8,1	0,81
Luft durchschleusen	Gehäuse (TE <sub>2</sub> )	9	8	8	9	10	8	9	8	10	10	7	9	10	10	7	10	4	8,9	0,89	
	HF Leiterplatte (TE <sub>3</sub> )	10	8	10	10	10	10	10	6	10	9	10	7	10	10	6	10	4	9,0	0,90	
in Gleichspannung umwandeln/ Zwischenfrequenz erzeugen	Leistungsdetektoren (TE <sub>4</sub> )	10	10	10	10	10	10	4	6	10	10	10	10	10	6	10	4	10	6	8,9	0,89
	HF-Leiterplatte (TE <sub>3</sub> )	8	10	6	10	10	4	10	10	10	10	10	4	10	10	9	10	10	4	8,9	0,89
Funkwellen erzeugen/empfangen	Leistungsdetektoren (TE <sub>4</sub> )	6	10	10	9	10	10	10	8	10	10	6	10	10	6	10	8	9	3	8,7	0,87
	Prozessor (TE <sub>5</sub> )	10	8	10	5	8	7	8	8	8	5	10	9	6	10	6	4	10	7	7,9	0,79
Rohdaten erfassen (Sensorsignal empfangen)	Leistungsdetektoren (TE <sub>4</sub> )	10	10	10	10	7	10	10	10	10	10	10	10	5	7	10	6	10	6	8,7	0,87
	Prozessor (TE <sub>5</sub> )	10	10	10	9	10	8	10	9	10	10	5	10	10	10	10	7	10	10	9,6	0,96
Rohdaten auswerten	Prozessor (TE <sub>5</sub> )	10	10	9	10	4	10	10	10	6	7	10	6	10	6	10	10	1	10	8,4	0,84
	Antenne (TE <sub>1</sub> )	8	7	7	8	8	9	8	9	7	7	9	9	6	4	7	3	8	10	7,4	0,74
Messwerte übertragen	Prozessor (TE <sub>5</sub> )	10	5	10	7	10	6	10	8	10	8	10	10	10	10	10	9	10	10	9,2	0,92
	Hardware (TE <sub>6</sub> )	10	10	10	10	10	8	10	7	10	10	8	9	8	10	10	8	8	6	9,1	0,91
HF-Elektronik ansteuern	Prozessor (TE <sub>5</sub> )	8	10	10	8	8	10	7	10	6	9	10	8	10	8	9	7	8	10	8,7	0,87
Gegenwärtiger Erfüllungsgrad einer Lead-User-Anforderung		8,4	9,0	8,5	9,1	8,6	8,0	8,7	7,6	9,2	8,8	8,6	7,9	9,0	9,0	8,1	6,5	9,2	6,4		
Idealer Erfüllungsgrad einer Lead-User-Anforderung		6	8	10	8	5	7	8	8	4	5	8	10	8	8	9	10	7	5		

Abb. 55: Bewertung von Lead-User-Anforderungen und Erfüllungsgraden der Mikrowellensensoreinheit (vollständig)



 <b>Bewertungsskala:</b> 0-4 Erfüllungspunkte 0: Kriterium nicht erfüllt 4: Kriterium vollständig erfüllt   <b>Montagefähigkeitskriterien:</b>	Technologie- elemente:	Antennenmodul		HF-Elektronik		Auswerte-Elektronik	
		Antenne(n)	Gehäuse	HF-Leiterplatte	Leistungs- detektoren	Prozessor	Hardware
Füge- und Montierbarkeit		3	4	3	2	3	3
Handhabung und Justierbarkeit		4	3	3	3	3	3
Verfügbarkeit		3	4	4	4	3	4
Qualität der Montage		3	3	4	3	4	4
Montagefähigkeit pro Technologieelement		0,81	0,88	0,88	0,75	0,81	0,88
<b>Montagefähigkeit pro Technologiegruppe</b>		<b>0,84</b>		<b>0,81</b>		<b>0,84</b>	

Abb. 56: Bewertung der Montagefähigkeit



 <b>Bewertungsskala:</b> 0-4 Erfüllungspunkte 0: Kriterium nicht erfüllt 4: Kriterium vollständig erfüllt   <b>Prüffähigkeitskriterien:</b>	Technologie- elemente:	Antennenmodul		HF-Elektronik		Auswerte-Elektronik	
		Antenne(n)	Gehäuse	HF-Leiterplatte	Leistungs- detektoren	Prozessor	Hardware
Verfügbarkeit von Mess-Systemen		2	4	3	4	3	4
Know-How bzgl. Prüffähigkeit		3	3	3	3	4	3
Besorgbarkeit von Systemen		3	4	4	4	3	3
Qualität von Systemen		3	4	2	4	3	3
Prüffähigkeit pro Technologieelement		0,69	0,94	0,75	0,94	0,81	0,81
<b>Prüffähigkeit pro Technologiegruppe</b>		<b>0,81</b>		<b>0,84</b>		<b>0,81</b>	

Abb. 57: Bewertung der Prüffähigkeit

Technologie- elemente:	Gewichtung (normiert)	Antennenmodul		HF-Elektronik		Auswerte-Elektronik	
		Antenne(n)	Gehäuse	HF-Leiterplatte	Leistungs- detektoren	Prozessor	Hardware
<b>Funktionen:</b>							
Wellen (elektromagnetisch) abstrahlen/empfangen	0,16	1,6		0,5	0,2		
Übergang zum Kolbenraum herstellen	0,12	1,2	0,4				
Reflexionen vermeiden	0,10	1,0	0,3				
Luft durchschleusen	0,08		0,8				
Funkwellen erzeugen/empfangen	0,13			1,3	0,1	0,4	
in Gleichspannung umwandeln/ Zwischenfrequenz erzeugen	0,07			0,2	0,7		
Rohdaten erfassen (Sensor-signal empfangen)	0,09				0,3	0,9	
Rohdaten auswerten	0,12	0,1				1,2	
Messwerte übertragen	0,08					0,8	0,8
HF-Elektronik ansteuern	0,05					0,5	
Kostengewicht der Technologieelemente		3,9	1,5	2,0	1,3	3,8	0,8
Kostengewicht der Technologieelemente (normiert)		0,29	0,11	0,15	0,10	0,28	0,06
Herstellkosten der Technologieelemente		73 €	28 €	38 €	25 €	71 €	15 €
<b>Herstellkosten der Technologiegruppen</b>		<b>101 €</b>		<b>62 €</b>		<b>86 €</b>	

Abb. 58: Funktionskostenberechnung der Mikrowellensensoreinheit (marktbezogen)

## Literaturverzeichnis

- Abele, Thomas (2006): Verfahren für das Technologie-Roadmapping zur Unterstützung des strategischen Technologiemanagements. Dissertation (Jost Jetter Verlag, Heimsheim; Nr. 441).
- Achatz, Reinhold (Hg.) (2012): Lexikon Technologie- und Innovationsmanagement. 1. Aufl. Düsseldorf: Symposion Publishing.
- Adam, D. (1996): Planung und Entscheidung: Modelle, Ziele, Methoden. Mit Fallstudien und Lösungen: Gabler. Online verfügbar unter <http://books.google.de/books?id=5kgD8eLadwgC>.
- Adams, Markus (1995): Produktorientierte Bewertung der Einsatzmöglichkeiten innovativer Technologien. Dissertation (Industriepromotion) (Verlag Ernst Hüffmeier, Spinozastraße 5, 30625 hannover (Diss RWTH Aachen)).
- Adner, Ron (2004): A demand-based perspective on technology life cycles. Business Strategic Over the Industry Life Cycle. In: *Advances in Strategic Management* (Volume 21), S. 25–43.
- Ajamian, G. and Koen P.A (2002): Technology Stage Gate: A Structured Process for Managing High Risk, New Technology Projects. In: A. Griffen and S. Soremeyer P. Belliveau (Hg.): PDMA Toolbook for New Product Development. New York, S. 267–295.
- Akiyama, Kaneo (1994): Funktionenanalyse: der Schlüssel zu erfolgreichen Produkten und Dienstleistungen. 1. Auflage. Landsberg am Lech: Moderne Industrie.
- Albers, S.; Gassmann, O. (Hg.) (2005): Handbuch Technologie- und Innovationsmanagement: Strategie- Umsetzung- Controlling: Gabler.
- Alisch, Katrin (Hg.) (2004): Gabler-Wirtschaftslexikon. [die ganze Welt der Wirtschaft: Betriebswirtschaft, Volkswirtschaft, Recht, Steuern]. 16. Aufl. Wiesbaden: Gabler.
- Bacher, J. (2010): Clusteranalyse – Anwendungsorientierte Einführung in Klassifikationsverfahren. Unter Mitarbeit von A. Pöge und K. Wenzig. München: Oldenburg Wissenschaftsverlag.
- Baessler, E.; Eversheim, W.; Bauernhansl, T.; Brandenburg, F. (2003): Innovationsmanagement für technische Produkte: Springer.
- Becker, Jörg (2009): Dokumentationsqualität von Reifegradmodellentwicklungen. Arbeitspapier (Arbeitsbericht 123), S. 1–45.
- Becker, Jörg (2010): Vergleich von Reifegradmodellen für die hybride Wertschöpfung und Entwicklungsperspektiven. European Research Center for Information Systems, Westfälische Wilhelms-Universität Münster. Unter Mitarbeit von Ralf Knackstedt und Jens Pöppelbuß. In: Arne Frerichs (Hg.): MKWI - Multikonferenz Wirtschaftsinformatik. Unter Mitarbeit von Matthias Schuhmann, Lutz Kolbe und Michael Breitner. MKWI Multikonferenz Wirtschaftsinformatik. Göttingen, 23.-25. Februar 2010. Göttingen: Universitätsverlag Göttingen, S. 2109–2121.
- Berg, Pekka (2002): Assessment of quality and maturity level of R&D. In: *International Journal of production economics* (78), S. 29–35.
- Bertsche, Bernd (2004): Zuverlässigkeit im Maschinenbau. Ermittlung von Bauteil- und Systemzuverlässigkeiten. Unter Mitarbeit von Gisbert Lechner. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Biedermann, Michael (1998): Value Engineering Management und Handshake Analysis. Unter Mitarbeit von Hugo Tschirky, Beat Birkenmeier und Harald Brodbeck. In: Hugo Tschirky (Hg.): Technologiemanagement: Idee und Praxis. Monographie. Unter Mitarbeit von Stefan Koruna. Zürich: Orell Füssli Verlag, Verlag industrielle Organisation (Technology, Innovation und Management), S. 541–552.

- Birkenmeier, Beat (1996): Die Handshake-Analyse: eine neue Methode des Technologie- und Innovationsmanagements. Zeitschriftenaufsatz. In: *io Management* (Ausgabe 65(1996), nr. 11), S. 19–22.
- Blau, Holger (2007): Reifegradüberwachung von Software. ICB-Research Report Nr. 20. Unter Mitarbeit von Stefan Eicker, Alexander Hofmann und Thorsten Spies. Institut für Informatik und Wirtschaftsinformatik. Essen.
- Bleicher, Knut (2011): Das Konzept Integriertes Management: Visionen- Missionen- Programme. St. Gallener Management-Konzept. 7. Aufl. Frankfurt am Main: Campus Verlag.
- Borsdorf, Reiner (2007): Methodischer Ansatz zur Integration von Technologiewissen in den Produktentwicklungsprozess. Dissertation (17/2007 Fraunhofer IPT).
- Boutellier, Roman; Völker, Rainer; Voit, Eugen (1999): Innovationscontrolling: Forschungs- und Entwicklungsprozesse gezielt planen und steuern. München: Carl Hanser Verlag.
- Breiting, Alois (1997): Bewerten technischer Systeme - theoretische und methodische Grundlagen bewertungstechnischer Entscheidungshilfen. Monographie. Unter Mitarbeit von Ryszard Knosala (Springer Verlag Berlin).
- Brettel, Malte (2007): User Manuel DOUBLE. Hg. v. Stiftung Industrieforschung. Lehrstuhl Wirtschaftswissenschaften für Ingenieure und Naturwissenschaftler, RWTH Aachen.
- Brockhoff, Klaus (1999): Forschung und Entwicklung: Planung und Kontrolle. 5. Aufl. München/Wien: Oldenbourg.
- Brockhoff, Klaus (2010): Forschung und Entwicklung. Planung und Kontrolle. 5. Aufl. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Brose, Peter (1982): Planung, Bewertung und Kontrolle technologischer Innovationen. Darstellung, Bedeutung und Effizienz ökonomischer Planungs-, Bewertungs- und Kontrollmethoden. Dissertation. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH (Technological economics, Bd. 9).
- Brousseau, E.B (2009): Technology Maturity Assessment of Micro and Nano Manufacturing Processes. Unter Mitarbeit von R. Barton, S. Dimov und S. Bigot. Karlsruhe, S. 257–262.
- Bruin, Tonia Freeze Ronald Kaulkarni Uday & Rosemann Michael de (2005): Understanding the Main Phases of Developing a Maturity Assessment Model. Campbell, B, Underwood, J, & Bunker, D (Eds.). Australasian Conference on Information Systems (ACIS). Australia, New South Wales, Sydney, 02.11.2005.
- Bügel, Ulrich (2009): Technologieentwicklung: theoretische und praktische Unterstützung mit DataMining. Zeitschriftenaufsatz. In: *HMD, Praxis der Wirtschaftsinformatik* (Heft 268).
- Bullinger, Hans-Jörg (1994): Einführung in das Technologiemanagement: Modelle, Methoden, Praxisbeispiele. Monographie (Teubner Verlag Stuttgart, 1994).
- Bullinger, Hans-Jörg (2003): An approach to handling risk aspects by means of technology assessment. Veröffentlichung. Unter Mitarbeit von Michael Nohe Patrick Kröll Markus Richter (In: Concurrent Engineering - The Vision for the Future Generation in Research and Applications; J.Cha et al.; 2003 swets & Zeitlinger, Lisse).
- Bullinger, Hans-Jörg (Hg.) (2008): Fokus Technologie - Chancen erkennen Lesitungen entwickeln. neuer Technologien. Monographie. Unter Mitarbeit von Joachim Warschat. München: Carl Hanser Verlag.
- Bürgel, Hans Dietmar (1996): F&E-Management. Monographie. Unter Mitarbeit von Christine Haller und Markus Binder.
- Bürgin, Christian (2007): Reifegradmodell zur Kontrolle des Innovationssystems von Unternehmen. Dissertation. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- Burgstahler, Bernd (1997): Synchronisation von Produkt- und Produktionsentwicklung mit Hilfe eines Technologiekalenders: Vulkan-Verlag Classen.

- Christiansen, Sven-Kelana (2010): Klassifikation von Reifegradmodellen. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* (04), S. 344–349.
- Coenenberg, A.G (2003): Kostenrechnung und Kostenanalyse. Unter Mitarbeit von J. Cantner, C. Fink und G. Mettner. 5. Auflage: Schäffer-Poeschel-Verlag.
- Colani, L.; Feldhusen, J.; Majschak, J.-P; Schürmann, H. (2011): Grundlagen der Konstruktionstechnik. Grundlagen technischer Systeme und des methodischen Vorgehens. In: Karl-Heinrich Grote und Jörg Feldhusen (Hg.): *Dubbel. Taschenbuch für den Maschinenbau*. 23. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. F1-F37.
- Cooper, Robert G. (1988): Predevelopment activities determine new product success. In: *Industrial Marketing Management* (17), S. 237–247.
- Cooper, Robert G. (2006): Managing technology development projects. Zeitschriftenaufsatz. In: *Research. Technology Management; Industrial Research Institute*, S. alle.
- Dahlem, Anna (2013): Vorgehensweise zur unternehmensspezifischen Unterstützung von Technologieentscheidungen in produzierenden, mittelständischen Unternehmen. Dissertation (Berichte zum Generic-Management, Band 3/2013, Shaker Verlag Aachen 2013).
- Deutsch, Christophe (2010): MEASURING TECHNOLOGY READINESS TO IMPROVE INNOVATION MANAGEMENT. Meneghini, Chiara; Mermut, Ozzy; Lefort, Martin. ISPIM Conference. Bilbao, Spanien, 06.06.2010.
- DIN 69901-3, 2009-01: Projektmanagement - Projektmanagementsysteme - Teil 3: Methoden. Dinger, Helmut (2002): Target Costing. Praktische Anwendung im Entwicklungsprozess. 2. Aufl. München: Hanser (114).
- Dinter, Barbara (2011): Ein Reifegradmodell für Business-Intelligence- Lösungen. In: *HMD - Praxis der Wirtschaftsinformatik*, (279), S. 90–100.
- Dyckhoff, Harald (1994): Betriebliche Produktion: Theoretische Grundlagen Einer Umweltorientierten Produktionswirtschaft. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Ebert, Bernd (2002): Technische Projekte. Abläufe und Vorgehensweisen. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KG.
- Ehrlenspiel, Klaus (2009): Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 4. überarbeitete Auflage. München: Carl Hanser Verlag.
- Eldred, Emmet W. (1997): Commercializing new technology I. Zeitschriftenaufsatz. In: *Research. Technology Management* (Research Technology Management, Jan/Feb. 97, Vol. 40 Issue 1, p. 41).
- Eversheim, W. (1989): Organisation in der Produktionstechnik, Band 3. Arbeitsvorbereitung. (Studium und Praxis). 2. neubearbeitete Auflage. Düsseldorf: VDI Verlag.
- Eversheim, W.; Schuh, G. (2005): Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Ewald, Arnold (1989): Organisation des Strategischen Technologie-Managements. Stufenkonzept zur Implementierung einer integrierten Technologie- und Marktplanung. Berlin, Darmstadt: E. Schmidt (31).
- Fallböhmer, Markus (2000): Generieren alternativer Technologieketten in frühen Phasen der Produktentwicklung. Dissertation (Band 23/2000 Shaker Verlag, D83 (Diss. RWTH Aachen)).
- Fandel, Günter (2004): Kostenrechnung. Unter Mitarbeit von Andrea Fey, Birgit Heuft und Thomas Pitz. 2.Auflage: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Farrukh, Claire (2004): Developing an integrated technology management process. How Glaxo Wellcome took up the challenge to develop a company-specific technology management system. In: *Research Technology Management* (4), S. 39–46.

- Farrukh, Claire (2009): Valuing technology along a timeline of technological maturity. Veröffentlichung/ Arbeitspapier. In: *Int. J. Technology Management* Vol. 48 (No. 1), S. 42–55.
- Fiedler, R. (2005): Controlling von Projekten: mit fünf konkreten Beispielen aus der Unternehmenspraxis - alle Aspekte der Projektplanung, Projektsteuerung und Projektkontrolle: Vieweg.
- Findeisen, Dietmar (2006): Ölhydraulik. Handbuch für die hydrostatische Leistungsübertragung in der Fluidtechnik. 5., neu bearbeitete Auflage. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Fischer, Thomas (2000): Kostencontrolling. Neue Methoden und Inhalte. 1. Auflage: Schäffer-Poeschel-Verlag.
- Fleischer, Bernhard; Theumert, Hans (2009): Entwickeln Konstruieren Berechnen: Komplexe praxisnahe Beispiele mit Lösungsvarianten. 2. Aufl.: Vieweg+Teubner Verlag.
- Ford, D.; Ryan, C. (1983): Die Vermarktung von Technologien. In: *Harvard Manager* 1, S. 22–30.
- Frerichs, Arne (Hg.) (2010): MKWI - Multikonferenz Wirtschaftsinformatik. Unter Mitarbeit von Matthias Schuhmann, Lutz Kolbe und Michael Breitner. MKWI Multikonferenz Wirtschaftsinformatik. Göttingen, 23.-25. Februar 2010. Göttingen: Universitätsverlag Göttingen.
- Fritz, Herbert; Schulze, Günter (Hrsg.) (2010): Fertigungstechnik. 9., neu bearbeitete Auflage. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Frunzke, Heiko (2010): Logistikkinnovationen: Logistik als Gegenstand von F&E -. Eine Begriffsabgrenzung und ein Vorschlag für eine F&E-Projektypologie. In: Robert Schönberger und Ralf Elbert (Hg.): Dimensionen der Logistik. Funktionen, Institutionen und Handlungsebenen. 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag, S. 283–303.
- Ganz, Walter; Warschat, Joachim (2012): Innovationsakteure stärken - Technologieadaption erfolgreich bewältigen. Abschlussbericht des Forschungsprojekts "START" - Schnelle Technologieadaption in HighTech-Unternehmen durch Arbeitsgestaltung und Personalentwicklung. Unter Mitarbeit von Georg Schreyögg, Michael Uhlmann, Axel Gomeringer, Silvia Rummel und Catrin Urbanneck. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Gassmann, Oliver (2006): Open Innovation: Externe Hebeleffekte in der Innovation erzielen. Eine Öffnung des Innovationsprozesses erhöht das Innovationspotential. In: *zfo wissen* 3/2006 (75), S. 132–138.
- Gassmann, Oliver; Kobe, Carmen (2006): Management von Innovation und Risiko Quantensprünge in der Entwicklung erfolgreich managen. Monographie (Springer Verlag, Berlin, Heidelberg; New York 2006; 2. Auflage).
- Gaude, Michael (2009): Ein Modell der Technologiediffusion der elektronischen Signatur. Erstellung und empirische Validierung. Dissertation. In: N. Szyperski, B. Schmid, A.-W Scheer, G. Pernul, S. Klein, D. Schoder und T. Kollmann (Hg.): *Electronic Commerce*, Bd. 40. 1. Auflage. Josef Eul Verlag GmbH: Lohmar-Köln.
- Gelbmann, U.; Vorbach, S. (2007): Strategisches Innovationsmanagement. In: H. (Hrsg.) Strebel (Hg.): *Innovations- und Technologiemanagement*. Unter Mitarbeit von U. Gelbmann, A. Hasler, E. Perl, A. Posch, G. Steiner, S. Vorbach und K.-A Zotter: WUV, Univ.-Verl, S. S. 157-212.
- Genderka, Martin (1994): Objektorientierte Methode zur Entwicklung von Produktmodellen als Basis integrierter Ingenieursysteme. Dissertation. Als Ms. gedr. Aachen, Paderborn: Shaker.
- Gerpott, Torsten J. (1999): Strategisches Technologie- und Innovationsmanagement: Eine konzentrierte Einführung. Monographie (Stuttgart: Schäffer-Poeschel (UTB für Wissenschaft: Uni-Taschenbücher; 2017)).

- Gerybadze, Alexander (2004): Technologie- und Innovationsmanagement Strategie, Organisation und Implementierung. Monographie (Verlag Franz Vahlen).
- Glasser, Jay H. (1988): The aims and methods of technology assessment. In: *Health Policy*, (9), S. 241–250.
- Gomeringer, Axel (2007): Eine integrative, prognosebasierte Vorgehensweise zur strategischen Technologieplanung für Produkte. Dissertation (Jost Jetter Verlag, Heimsheim; Nr. 460; Heimsheim 2007).
- Götze, Uwe (2008): Investitionsrechnung: Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. 6. Auflage: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Götze, Uwe (2010): Kostenrechnung und Kostenmanagement. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Granig, Peter (2007): Innovationsbewertung. 1. Aufl. s.l: Gabler Verlag.
- Gronau, Norbert (2010): Reifegradmessung als Ansatz zur Verbesserung von wissensintensiven Geschäftsprozessen. In: *IM Information Management & Consulting* (04), S. 75–80.
- Großklaus, Rainer H.G (2008): Neue Produkte einführen: Von der Idee zum Markterfolg. 1.Auflage. Wiesbaden: Gabler Fachverlag.
- Haag, Christoph (2011): Technologiebewertung. Unter Mitarbeit von Günther Schuh, Jennifer Kreysa und Kristin Schmelter. In: Günther Schuh und Sascha Klappert (Hg.): Technologie-management. Handbuch Produktion und Management 2. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 309–366.
- Hagenloch, Thorsten (2007): Value Based Management und Discounted Cash Flow - Ansätze. Eine verfahrens- und aufgabenorientierte Einführung. 1. Auflage: Books on Demand (Schriftenreihe des Kompetenzzentrums für Unternehmensentwicklung und -beratung).
- Hall, Karl (2002): Ganzheitliche Technologiebewertung - Ein Modell zur Bewertung unterschiedlicher Produktionstechnologien. Dissertation (Deutscher Universitätsverlag).
- Hammer (1996): Technologie- und Innovationsmanagement Tools und Strategien für Führungskräfte. Monographie. Unter Mitarbeit von Auckenthaler Seghezzi Strobl Hinterhuber (Manz'sche Wien).
- Hans, Lothar (2002): Grundlagen der Kostenrechnung. Managementwissen für Studium und Praxis. Oldenburg: Oldenburg Wissenschaftsverlag.
- Haudek, Silvia; Gomeringer, Axel; Leyh, Jens (2011): Ein prozessbasierter Ansatz zum Controlling und Management von Technologieentwicklungsprojekten am Beispiel der Festo AG & Co. KG. In: Ronald Gleich und Christof Schimank (Hg.): Innovations-Controlling. [Gestaltung von Strukturen und Prozessen, strategische und operative Instrumente, Kennzahlen des F&E-Controllings, Praxisberichte aus unterschiedlichen Branchen]. Freiburg i. Br: Haufe-Lexware (Der Controlling-Berater, 13).
- Heesen, Bernd (2010): Investitionsrechnung für Praktiker. Fallorientierte Darstellung der Verfahren und Berechnungen. 1. Auflage: Gabler Verlag.
- Helmke, Stefan; Uebel, Matthias; Dangelmaier, Wilhelm (2008): Effektives Customer Relationship Management: Instrumente - Einführungskonzepte - Organisation. 4. Auflage: Gabler Verlag.
- Hemetsberger, Andrea (2009): Qual der Wahl - Welche Methode führt zu kundenorientierten Innovationen? Unter Mitarbeit von Johann Füller. In: Kurt Matzler (Hg.): Kundenorientierte Unternehmensführung. Kundenorientierung-Kundenzufriedenheit-Kundenbindung. Unter Mitarbeit von Hans H. Hinterhuber. 6. Auflage. Wiesbaden: Gabler Fachverlag, S. 413–447.
- Henkel, Joachim (2009): The Technology-Push Lead User Concept: A New Tool for Application Identification. Unter Mitarbeit von Stefan Jung.

- Herps, J.; van Mal, H.; Halman, J.; Martens, J.; Borsboom, R. (2003): The Process of Selecting Technology Development Projects: A Practical Framework. In: *Management Research News* Volume 26 (Number 8).
- Herrmann, Andreas (2009): Produktmanagement. Grundlagen - Methoden - Beispiele. Unter Mitarbeit von Frank Huber. 2. Auflage. Wiesbaden: Gabler Fachverlag.
- Herstatt, Cornelius (1992): Developing New Product Concepts Via the Lead User Method: A Case Study in a "Low Tech" Field". In: *Journal of Product Innovation Management* (9), S. 213–221.
- Herstatt, Cornelius (2000): Management von technologiegetriebenen Entwicklungsprojekten. Veröffentlichung/Arbeitspapier. In: - (Arbeitspapier Nr. 5).
- Herstatt, Cornelius (2001): Fortschrittliche Kunden zu radikalen Innovationen stimulieren. Arbeitspapier, Nr. 9. Unter Mitarbeit von Christian Lühje und Christopher Lettl.
- Herstatt, Cornelius (2003): Onlinegestützte Suche nach innovativen Anwendern in direkten und analogen Anwendermärkten. Arbeitspapier Nr.21.
- Hesse Ulrike (1990): Technologie-Controlling: eine Konzeption zur Steuerung technologischer Innovationen. Monographie (Dissertation) (Schriften zum Controlling, Band 9; Verlag Peter Lang GmbH, 1990).
- Heubach, Daniel (2008): eine funktionale Analyse der Technologierelevanz von Nanotechnologie in der Produktplanung. Dissertation (Nr. 478).
- Heubach, Daniel; Slama, Alexander; Rüger, Marc (2008): Der Technologieentwicklungsprozess. In: Hans-Jörg Bullinger (Hg.): Fokus Technologie - Chancen erkennen Lesitungen entwickeln. neuer Technologien. Monographie. Unter Mitarbeit von Joachim Warschat. München: Carl Hanser Verlag, S. 13–43.
- Hinterholzer, Thomas; Jooss, Mario; Egger, Roman (Hg.) (2011): Wissenschaftliche Schriftenreihe der Wirtschaftskammer Salzburg. Innovationsguide für Tourismusunternehmen. Wien: LIT Verlag GmbH & Co. KG (2011).
- Hippel, Eric (1976): The Dominant Role of Users in the Scientific Instrument Innovation Process. In: *Research Policy* 5 (3), S. 212–239.
- Hippel, Eric (1988): The sources of innovation. In: *Oxford University Press*.
- Hirschheim, Rudy (2010): Service-oriented architecture: myths, realities and a maturity model. In: *MIS Quarterly Executive* Vol. 9, Mar 2010 (No. 1), S. 37–48.
- Hirt, Gerhard (2011): Hybride Produktionssysteme. Unter Mitarbeit von Wolfgang Bleck, Kristen Bobzin, Christian Brecher, Andreas Bührig-Polazcek, Edmund Haberstroh, Fritz Klocke et al. In: Christian Brecher (Hg.): Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer - Google Books. Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 465–743.
- Höcherl, Ingrid (1999): Das S-Kurvenkonzept im Technologiemanagement. Eine kritische Analyse. Dissertation. Frankfurt am Main: Europäischer Verlag der Wissenschaften.
- Hofbauer, Günter; Bergmann, Sabine (2012): Prinzipien des Innovations- und Technologiemanagements. Working Papers, Arbeitsberichte. Hochschule Ingolstadt (Nr. 23).
- Höft, Uwe (1992): Lebenszykluskonzepte. Grundlagen für das strategische Marketing- und Technologiemanagement. 46 Bände. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH.
- Horváth, Péter (1996): Controlling. 6., vollständig überarbeitete Auflage. München: Vahlen Verlag (Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften).
- Horváth, Péter; Niemand, Stefan; Wolbold, Markus (1993): Target costing: State-of-the-art review. Stuttgart: Betriebswirtschaftliches Institut d. Univ (Controlling-Forschungsbericht).

- Hubka, Vladimir (1984): Theorie technischer Systeme. Grundlagen einer wissenschaftlichen Konstruktionslehre. 2., völlig Neubearb. u. erw. Aufl. Heidelberg: Springer.
- Hubka, Vladimir (1992): Einführung in die Konstruktionswissenschaft: Übersicht, Modell, Ableitungen. Monographie. Unter Mitarbeit von Ernst Eder (Springer-Verlag Berlin).
- Jahn, Tobias (2010): Portfolio- und Reifegradmanagement für Innovationsprojekte zur Multi-Projektsteuerung in der frühen Phase der Produktentwicklung. Dissertation (Bericht Nr. 575).
- Jell, Florian (2010): Identifikation von neuen Anwendungen für bestehende Technologien mit der Lead User-Methode. Vortrag Stiftung Industrieforschung, Forum „Junge Spitzenforscher und Mittelstand“, Bonn. Unter Mitarbeit von Joachim Henkel.
- Kaplan, Robert S.; Norton, David P. (1998): Balanced scorecard. Strategien erfolgreich umsetzen. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Kippels, Dietmar (2012): Technologie-Know-How muss in klare Marktziele überführt werden. Interview mit Hans-Joerg Bullinger, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft. In: *VDI Nachrichten*, 17.08.2012 (33/34).
- Klappert, S.; Schuh, G.; Möller, H.; Nollau, S. (2011a): Technologieentwicklung. In: Günther Schuh und Sascha Klappert (Hg.): *Technologiemanagement. Handbuch Produktion und Management 2*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 223–239.
- Klappert, Sascha (2006): Systembildendes Technologie-Controlling. Dissertation. Aachen: Shaker.
- Klappert, Sascha; Schuh, Günther; Aghassi, Susanne (2011b): Einleitung und Abgrenzung. In: Günther Schuh und Sascha Klappert (Hg.): *Technologiemanagement. Handbuch Produktion und Management 2*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 5–10.
- Knaf, Hagen (2008): Den Reifegrad einer Technologie mit dem Technologiekompass bestimmen. Unter Mitarbeit von Daniel Heubach. In: Hans-Jörg Bullinger (Hg.): *Fokus Technologie - Chancen erkennen Lesitungen entwickeln. neuer Technologien*. Monographie. Unter Mitarbeit von Joachim Warschat. München: Carl Hanser Verlag, S. 147–174.
- Knappe, Wolfgang (2006): Technologie- und Erfindungsevaluierung in der Frühphase des Innovationsprozesses. In: T. Tiefel (Hg.): *Strategische Aktionsfelder des Patentmanagements*: Deutscher Universitätsverlag.
- Knospe, B.; Warschat, J.; Slama, A.; Spitzley, A. (Hg.) (2011): *Innovationsprozesse managen: Arbeitskreis 1 der strategischen Partnerschaft Fit für Innovation*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, S.16-17.
- Koch, Jeffrey Daniel (2010): *Bewertungsfragen im Innovationsprozess*. Input. Hg. v. Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung (ISI).
- Kollmann, T. (1998): Akzeptanz innovativer Nutzungsgüter und -systeme. Konsequenzen für die Einführung von Telekommunikations- und Multimediasystemen: Gabler Verlag (Neue betriebswirtschaftliche Forschung, 239).
- König, Manfred (2007): Kategorisierung von FuE-Projekten und deren Bewertung. Veröffentlichung/ Arbeitspapier (Nr. 20).
- König, Manfred; Völker, Rainer (2002): Wertorientierte Technologiebeurteilung. gefördert vom Ministerium für Wirtschaft und Verkehr des Lanfed Rheinland-Pfalz. Arbeitsbericht. In: *Kompetenzzentrum Innovation und marktorientierte Unternehmensführung* (6).
- Krause, Werner (2000): *Gerätekonstruktion in Feinwerktechnik und Elektronik*. 3. stark bearbeitete Auflage. Wien: Hanser Verlag.
- Kromrey, Helmut (2000): Qualität und Evaluation im System Hochschule. In: Reinhard Stockmann (Hg.): *Sozialwissenschaftliche Evaluationsforschung. Grundlagen ausgewählter Forschungsfelder*. Band 1. Unter Mitarbeit von Helmut Kromrey. 1. Auflage. München: Waxmann Verlag GmbH, S. 233–258.

- Kröll, Markus (2007): Methode zur Technologiebewertung für eine ergebnisorientierte Produktentwicklung. Dissertation (Industriepromotion) (Nr. 468; Jost-Jetter-Verlag).
- Krubasik, E. (1982): Technologie: strategische Waffe. In: *Wirtschaftswoche* 36 (25), S. 28–33.
- Kruschwitz, Lutz (2009): Investitionsrechnung. 12. Auflage. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Kurr, Torsten Thomas (2003): Technologie "Due Dilligence" Methodik zur Bewertung von Produkttechnologien. Dissertation (Shaker Verlag 2003; Band 8).
- La Croix, Andre (2008): Abschlussbericht zum INS 224 Projekt. Risiko-kontrollierte Anwendung von Innovation & technologischem Fortschritt - Standardisierte Entscheidungshilfe zur Reifegradbewertung im Produktlebenszyklus - Machbarkeitsstudie. Normenausschuss Luft- und Raumfahrt des DIN e.V. ; Astrium Space Transportation;. Unter Mitarbeit von Andreas Jain, Benjamin Gentz, Uwe Wirt und Achim Schaub. Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt e.V.
- Laib, Stefanie (2006): Funktionsbasierte Technologiebeschreibung zur Analyse von Anwendungsfeldern am Beispiel MIP. Diplomarbeit. Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, Universität Stuttgart.
- Langmann, Christian (2009): F&E-Projektcontrolling : eine empirische Untersuchung der Nutzung von Controllinginformationen in F&E-Projekten. Dissertation. 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler Fachverlag.
- Lentes, Hans-Peter (2004): Systemische Technologiebewertung zur Absicherung der Produktentwicklung. Unter Mitarbeit von Michael Richter. In: Dieter Spath (Hg.): Forschungs- und Technologiemanagement Potenziale nutzen - Zukunft gestalten. Monographie (Hanser Verlag München), S. 219–226.
- Linden, A.; Fenn, J. (2003): Strategic Analysis Report. Understanding Gartner's Hype Cycles. Hg. v. Gartner Research. Gartner Inc. (R-20-1971).
- Lorenzi, Peter (2003): Entwicklung einer Qualitätsmanagement-Methode für die antizipierende Kundenbedarfsanalyse. Dissertation (Shaker Verlag GmbH 2003).
- Mankins, J.C (1995): TECHNOLOGY READINESS LEVELS. A White Paper. Advanced Concepts Office, Office of Space Access and Technology, NASA. Online verfügbar unter <http://www.hq.nasa.gov/office/codeq/trl/trl.pdf>.
- Martini, C.; Schmitz, W.; Schuh, G.; Böhlke, U.H (1992): Planung technologischer Innovationen mit einem Technologiekalender. In: *Management-Zeitschrift* 61, 1992 (No. 3), S. 31–35.
- Matzler, Kurt (Hg.) (2009): Kundenorientierte Unternehmensführung. Kundenorientierung-Kundenzufriedenheit-Kundenbindung. Unter Mitarbeit von Hans H. Hinterhuber. 6. Auflage. Wiesbaden: Gabler Fachverlag.
- Mild, T.; Sasse, A. (1999): Technologiecontrolling. In: *Buchführung, Bilanz, Kostenrechnung (BBK)*, 20.08.1999 (Heft 16), S. 835–850.
- Moløkken, K.; Jørgensen, M. (2003): A Review of Surveys on Software Effort Estimation. IEEE. International Symposium on Empirical Software Engineering. International Symposium on Empirical Software Engineering, 2003.
- Moryson, Ralf-Dieter (2004): Die systematische, rechnerunterstützte Prozessauswahl und -kettenerstellung in der Grobplanungsphase der Produktionsplanung. Dissertation.
- Mühlenkamp, Holger (2007): Kosten-Nutzen-Analyse. überarbeitet. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Naunheimer, Harald; Bertsche, Bernd; Lechner, Gisbert (2007): Fahrzeuggetriebe. Grundlagen, Auswahl, Auslegung und Konstruktion. Unter Mitarbeit von Joachim Ryborz und Wolfgang Novak. 2. überarbeitete Auflage. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

- Neumann, Ralf (Daimler) (2008): – Reifegradabsicherung für Neuteile –. Das gemeinsame Qualitätsmanagement in der Lieferkette Methodenübersicht und aktueller Stand Umsetzung. IBS: Expertenkreis. VDA-QMC. Stuttgart, 06.11.2008.
- Niemand, Stefan (1996): Target Costing für industrielle Dienstleistungen. Dissertation. München: Vahlen.
- Niemand, Stefan: Target Costing für industrielle Dienstleistungen. In: *Controller Magazin* 1994 (Heft Nr. 2).
- Niemand, Thomas (2009): Consumer Integrated Technology Screening (CITS) - Ein Prozessmodell zur Integration industrieller Kunden bei der Analyse des Potentials von Technologiekonzepten. Unter Mitarbeit von Stefan Hoffmann und Gritt Ott. In: K. Gelbrich und R. Souren (Hg.): Kundenintegration und Kundenbindung: Wie Unternehmen von ihren Kunden profitieren: Gabler, S. 31–42.
- Nohe, Patrick (1999): Methode zur ergebnisorientierten Gestaltung von Entwicklungsprozessen. Dissertation (Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 1999).
- Oertelt, Stephan: Innovationscontrolling. Aachen, Magdeburg: Shaker (2009,4).
- Ophey, Lothar (2005): Entwicklungsmanagement. Methoden der Produktentwicklung. 1. Auflage. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Pahl, Gerhard (2007): Konstruktionslehre Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung Methoden und Anwendung. Monographie. Unter Mitarbeit von Wolfgang Beitz (Springer Verlag Berlin).
- Pfeifer-Silberbach, Ulrich (2005): Ein Beitrag zum Monitoring des Reifegrads in der Entwicklung eines Produktes. Dissertation (Shaker Verlag 2005).
- Pfeiffer, Stephan (1991): Technologiefrühaufklärung - Identifikation und Bewertung zukünftiger Technologien in der strategischen Unternehmensplanung. Dissertation (Duisburger betriebswirtschaftliche Schriften Band 3).
- Pleschak, Franz (1996): Innovationsmanagement. Monographie. Unter Mitarbeit von Helmut Sabisch (Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1996).
- Ponn, Josef (2008): Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte optimierte Produkte - systematisch von Anforderungen zu Konzepten. Monographie. Unter Mitarbeit von Udo Lindemann (Springer Verlag Berlin - Heidelberg).
- Project Management Institute (Hrsg.) (2008): Organizational Project Management Maturity Model (OPM3): Knowledge Foundation. 2. Auflage: Project Mgmt Inst.
- Qian, Yanyun (2002): Strategisches Technologiemanagement im Maschinenbau. Erfolgsfaktoren chinesischer Maschinenbauunternehmen im kompetenzbasierten Wettbewerb. Dissertation.
- Quiring, Oliver (2006): Methodische Aspekte der Akzeptanzforschung bei interaktiven Medientechnologien. Hg. v. MÜNCHENER BEITRÄGE ZUR KOMMUNIKATIONSWISSENSCHAFT. Universität München (Nr. 6).
- Rapp, Friedrich (1999): Normative Technikbewertung: Wertprobleme der Technik und die Erfahrungen mit der VDI-Richtlinie 3780. Monographie (Band 1).
- Reinhart, G.; Müller, S.; Lau, C. (2007): Konfiguration und Bewertung von Prozessketten. In: *wt Werkstattstechnik online* 97, 2007 (4), S. 255–261.
- Reinhart, Gunther (2010): Reife von Produktionstechnologien. Konzeptionelle Bestimmung des Entwicklungsstadiums von Fertigungsverfahren und -prozessen. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 105 (07-08/2010), S. 710–714.

- Richter, Stefan (2006): Duett komplett: Pneumatik & Elektronik. Neuartige Mikrowellensensoren integriert in pneumatische Antriebe. In: *A&D - Die Fachzeitschrift für industrielle Automation* 2006, Juli 2006 (7-8), S. 16–19.
- Rip, Arie (2007): Die Verzahnung von technologischen und sozialen Determinismen und die Ambivalenzen von Handlungsträgerschaft im "Constructive Technology Assessment". In: Ulrich Dolata und Raymund Werle (Hg.): *Gesellschaft und die Macht der Technik. Sozioökonomischer und institutioneller Wandel durch Technisierung*, S. 83–106.
- Ropohl, Günter (2009): *Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik*. Univ., Habil.-Schr.--Karlsruhe, 1978. 3. Aufl. Karlsruhe, Karlsruhe: Univ.-Verl. Karlsruhe; Univ.-Bibl.
- Rummel, Silvia; Gomeringer, Axel; Spath, Dieter; Warschat, Joachim (2013): Reifegradbestimmung von Technologiekonzepten. Bewertungsbasierte Entscheidungsfindung in der Technologieentwicklung. In: J. Gausemeier (Hg.): *Vorausschau und Technologieplanung*. 9. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung. Berlin, 5. und 6. Dezember 2013. Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe 318, S. 179–198.
- Rush, T. (1997): Tools for technology management: an academic perspective. In: *Technovation* Vol. 17 (8), S. 417–428.
- Saatweber, Jutta (2011): *Kundenorientierung durch Quality Function Deployment. Produkte und Dienstleistungen mit QFD systematisch entwickeln*. 3. vollständig überarbeitete Auflage. Düsseldorf: Symposium Publishing GmbH.
- Sauser, Brian (2010): Integration maturity metrics: Development of an integration readiness level. In: *Information Knowledge Systems Management* 2010 (9), S. 17–46.
- Schabacker, Michael (2005): Risikobewertung von Technologieprojekten in der Produktentwicklung. Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg. In: Roland Kasper (Hg.): *Virtuelle Produkt- und Prozessentwicklung*. Veröffentlichung/ Arbeitspapier. Magdeburger Maschinenbau-Tage. Magdeburg, 11-12. Oktober 2005. Tagungsband 7: Universität Magdeburg, S. 267–276.
- Schaefer, Christina (2004): *Steuerung und Kontrolle von Investitionsprozessen. Theoretischer Ansatz und Konkretisierung für das öffentliche Beteiligungscontrolling*. 1. Auflage. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag (DUV) (nbf - neue betriebswirtschaftliche Forschung, 323).
- Schäfer, Henry (2005): *Unternehmensinvestitionen. Grundzüge in Theorie und Management*. 2. überarbeitete Auflage. Heidelberg: Physica-Verlag.
- Schmeisser, Wilhelm; Solte, Mario (2010a): Technologiecontrolling und Innovationserfolgsrechnung im Rahmen des Technologie-Life-Cycle. In: Wilhelm Schmeisser und Edith Teschner (Hg.): *Technologiemanagement und Innovationserfolgsrechnung*. München: Oldenbourg, S. 25–52.
- Schmeisser, Wilhelm; Solte, Mario (2010b): Technologiecontrolling und Innovationserfolgsrechnung im Rahmen des Technologie-Life-Cycle. Technologiecontrolling. In: Wilhelm Schmeisser und Edith Teschner (Hg.): *Technologiemanagement und Innovationserfolgsrechnung*. München: Oldenbourg, S. 25–105.
- Schmelzer, Hermann J. (1992): *Organisation und Controlling von Produktentwicklungen, Praxis des wettbewerbsorientierten Entwicklungsmanagements*. Monographie. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Schmied, Jürgen (2008): *Mit CMMI Prozesse verbessern*. Unter Mitarbeit von Paul-Roux Wentzel, Michael Gerdorn und Uwe Hehn: dpunkt.verlag.
- Schneider, Christian (2008): Aufbau und Einsatz eines Projektcockpits. Produktreifegradverfolgung im Produktentstehungsprozess. In: *ProduktDatenJournal* (2), S. 42–45.
- Schönecker, Horst G. (1980): *Bedienerakzeptanz und technische Innovationen – akzeptanzrelevante Aspekte bei der Einführung neuer Bürotechniksysteme*. München.

- Schöning, Sebastian (2006): Potenzialbasierte Bewertung neuer Technologien. Dissertation (07/2006 Fraunhofer IPT).
- Schuh, Günther (2010): Erfolgreiche Technologieentwicklung im Unternehmensnetzwerk. Herausforderungen in der Auftragsentwicklung von Technologien durch virtuelle Technologieentwicklung bewältigen. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 105 (03/2010), S. 189–193.
- Schuh, Günther (2011): Grundlagen zum Technologiemanagement. Unter Mitarbeit von Sascha Klappert, Johannes Schubert und Sebastian Nollau. In: Günther Schuh und Sascha Klappert (Hg.): *Technologiemanagement. Handbuch Produktion und Management 2*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Schuh, Günther; Drescher, Toni; Beckermann, Stephen; Schmelter, Kristin (2011a): Technologieverwertung. In: Günther Schuh und Sascha Klappert (Hg.): *Technologiemanagement. Handbuch Produktion und Management 2*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 241–282.
- Schuh, Günther; Klappert, Sascha (Hg.) (2011): *Technologiemanagement. Handbuch Produktion und Management 2*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Schuh, Günther; Klappert, Sascha; Moll, Torsten (2011b): Ordnungsrahmen Technologiemanagement. In: Günther Schuh und Sascha Klappert (Hg.): *Technologiemanagement. Handbuch Produktion und Management 2*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 11–31.
- Schulte-Gehrmann, Anna-Lena; Klappert, Sascha; Schuh, Günther; Hoppe, Michael (2011): Technologiestrategie. In: Günther Schuh und Sascha Klappert (Hg.): *Technologiemanagement. Handbuch Produktion und Management 2*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 55–88.
- Seidenschwarz, Werner (1993): Target costing: marktorientiertes Zielkostenmanagement. Dissertation. München: Vahlen.
- Servatius, Hans-Gerd (1985): *Methodik des strategischen Technologie-Managements*. Dissertation (Erich Schmidt Verlag GmbH, Berlin 1985).
- Sieber, J. (2003): Zukunftssicherung der deutschen Triebwerksindustrie durch Innovationen. Veröffentlichung/ Arbeitspapier. In: *Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2003*, S. alle.
- Simons, Robert (1995): *Levers of Control: How Managers use innovative control systems to drive strategic renewal*. Boston, USA: Harvard Business School Press.
- Soll, Jan Henrik (2006): *Ideengenerierung mit Konsumenten im Internet*. Dissertation. 1. Aufl. Wiesbaden: GWV Fachverlage GmbH.
- Sommerlatte, T.; Deschamps, J.P (1986): Der strategische Einsatz von Technologien. Konzepte und Methoden zur Einbeziehung von Technologien in die Strategieentwicklung des Unternehmens. In: Little A.D. Internat. (Hg.): *Management im Zeitalter der strategischen Führung*. 2. Auflage. Wiesbaden, S. 39–80.
- Spath, D., Gomeringer, A., Leyh, J., Haudek, S. (2010): A multilevel, process based approach for the management of technology development (in innovation fields) – the case of Festo AG & Co. KG. ISPIIM Conference. Bilbao, Spanien, 06.06.2010.
- Spath, Dieter; Leyh, Jens (2011): Innovationsarbeit in Hightech-Projekten - ein Prozess zur Handhabung des Spannungsfelds von evolutionärer und analytischer Steuerung. In: Dieter Spath (Hg.): *Wissensarbeit - Zwischen strengen Prozessen und kreativem Spielraum*. Berlin: GITO Verlag.
- Spath, Dieter; Renz, Karl-Christoph (2005): Technologiemanagement. In: S. Albers und O. Gassmann (Hg.): *Handbuch Technologie- und Innovationsmanagement: Strategie- Umsetzung- Controlling*. Gabler, S. 229–246.

- Spath, Dieter; Warschat, Joachim (2008): Innovation durch neue Technologien. In: Hans-Jörg Bullinger (Hg.): Fokus Technologie - Chancen erkennen Lesitungen entwickeln. neuer Technologien. Monographie. Unter Mitarbeit von Joachim Warschat. München: Carl Hanser Verlag, S. 1–12.
- Spath, Dieter; Warschat, Joachim; Gomeringer, Axel; Rummel, Silvia: A technology readiness level approach for technology driven concepts. In: K.R.E Huizingh, S. Conn, M. Torkkeli und I. Bitran (Hg.): Action for Innovation: Innovating from Experience. ISPIM Conference 17-20 June 2012, Barcelona, Spain, S. 82-82.
- Specht, Dieter (1999a): Komplexität beim strategischen Technologiemanagement. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 94 (12).
- Specht, Dieter (1999b): Systematisch Erfolg verbessern Die Produkt-Technologie-Analyse ermöglicht eine anwendungsorientierte Technologie-Analyse und -bewertung. Zeitschriftenaufsatz. In: *Wissenschaftsmanagement Specht, D.; Behrens, S.: (1999) Systematisch Erfolg vorbereiten - Die Produkt-Technologie-Analyse ermöglicht eine anwendungsorientierte Technologieanalyse und -bewertung. In: Wissenschaftsmanagement - Zeitschrift für Innovation* (19 (Nr. 6), S. 32–35.
- Specht, Dieter (2002a): Gabler Lexikon Technologiemanagement. Monographie. Unter Mitarbeit von Martin Möhrle (Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, Wiesbaden 2002).
- Specht, Günter (2002b): F&E-Management: Kompetenz im Innovationsmanagement. Unter Mitarbeit von Christoph Beckmann und Jenny Amelingmeyer. 2. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Springer, Stefanie (2004): nova net Innovation in der Internetökonomie. Lead User Integration. Unter Mitarbeit von Severin Beucker, Claus Lang und Willy Bierter. Hg. v. Stuttgart nova-net Konsortium.
- Spur, Günter (1998): Technologie und Management Zum Selbstverständnis der Technikwissenschaften. Monographie (Carl Hanser Verlag München; 1998).
- Stephan, Michael (2003): Technologische Diversifikation von Unternehmen. Ressourcentheoretische Untersuchung der Determinanten. Dissertation. 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler Fachverlag.
- Stirzel, Martin (2010): Controlling von Entwicklungsprojekten : dargestellt am Beispiel mechatronischer Produkte. Controlling von Entwicklungsprojekten neuer mechatronischer Produkte. Dissertation. 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler Fachverlag.
- Strebel, H. (Hrsg.) (Hg.) (2007): Innovations- und Technologiemanagement. Unter Mitarbeit von U. Gelbmann, A. Hasler, E. Perl, A. Posch, G. Steiner, S. Vorbach und K.-A Zotter: WUV, Univ.-Verl.
- Stummer, Christian; Günther, Markus; Köck, Anna M. (2010): Grundzüge des Innovations- und Technologiemanagements. 3. aktualisierte Auflage. Wien: Facultas Verlags- und Buchhandels AG.
- Syska, Andreas (2006): Produktionsmanagement: Das A - Z wichtiger Methoden und Konzepte für die Produktion von heute: Amazon.de: Andreas Syska: Bücher. 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Thudium, T. (2005): Technologieorientiertes strategisches Marketing: Die Entwicklung eines neuen Bezugsrahmens zur Generierung von Marketingstrategien für technologieorientierte Unternehmen: Dt. Univ.-Verl.
- Tiefel, T. (Hg.) (2007): Gewerbliche Schutzrechte im Innovationsprozess. Interdisziplinäres Patentmanagement. Unter Mitarbeit von A. Klug und U. Versch. 1. Auflage. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Tintelnot, C.; Meißner, D.; Steinmeier, I. (Hg.) (1999): Innovationsmanagement: Springer.

- Tschirky, Hugo (Hg.) (1998): *Technologiemanagement: Idee und Praxis*. Monographie. Unter Mitarbeit von Stefan Koruna. Zürich: Orell Füssli Verlag, Verlag industrielle Organisation (Technology, Innovation und Management).
- Urban, Glen L. (1988): *Lead User Analyses for the Development of New Industrial Products*. In: *Management Science* 34 (5), S. 569–582.
- Vahs, D.; Burmester, R. (2005): *Innovationsmanagement. Von der Produktidee zur erfolgreichen Vermarktung*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel-Verlag.
- VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb, Ausschuß Methodisches Konstruieren (Mai 1993): *VDI 2221 - Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. In: *VDI-Handbuch Konstruktion*.
- VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Gestaltung (Oktober 1996): *VDI 2803 - Funktionsanalyse, Grundlagen und Methoden*. In: *VDI-Gesellschaft Systementwicklung und Gestaltung*.
- Voigt, Kai-Ingo (2008): *industrielles Management, Industriebetriebslehre aus prozessorientierter Sicht*. Monographie (Springer Lehrbuch; 2008 Springer- Verlag Berlin Heidelberg).
- Wagner, Phillip (2011): *Mit der Lead-User-Methode zum Innovationserfolg. Ein Leitfaden zur praktischen Umsetzung*. In: *CLIC Executive Briefing, Leipzig (020)*, S. 1–25.
- Walcher, Dominik (2007): *Der Ideenwettbewerb als Methode der aktiven Kundenintegration. Theorie, empirische Analyse und Implikationen für den Innovationsprozess*. Dissertation. 1. Aufl. Wiesbaden: GWV Fachverlage GmbH.
- Wallentowitz, Henning (2009): *Strategien in der Automobilindustrie Technologietrends und Marktentwicklungen*. Monographie. Unter Mitarbeit von Arndt Olschewski Ingo Freialdenhoven (GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden; 1. Auflage).
- Warnecke, H.J; Bullinger, H.J; Hichert, R.; Voegelé, A. (1996): *Wirtschaftlichkeitsrechnung für Ingenieure*. München/Wien: Hanser Verlag.
- Wegener, Eberhard (2003): *Montagegerechte Anlagenplanung*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KG.
- Wellensiek, Markus; Schuh, Günther; Hacker, Patrick; Saxler, Jörg (2011): *Technologiefrüherkennung*. In: Günther Schuh und Sascha Klappert (Hg.): *Technologiemanagement. Handbuch Produktion und Management 2*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 89–169.
- Wenzke, Sven (2003): *Flexible Gestaltung des Analyseprozesses technischer Probleme mit TRIZ-Werkzeugen*: Dissertation Technische Universität Cottbus. 1. Auflage: Deutscher Universitätsverlag (DUV) (Forschungs-/Entwicklungs-/Innovationsmanagement).
- Westkämper, Engelbert (2005): *Einführung in die Fertigungstechnik*. Unter Mitarbeit von Hans-Jürgen Warnecke. 5. Aufl.: B.G. Teubner Verlag.
- Wheelwright, Steven C. (1992): *Revolutionizing Product Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality*. Unter Mitarbeit von Kim B. Clark. 10. Aufl. New York: The Free Press, Division of Simon & Schuster Inc.
- Wiendahl, Hans-Peter (Hrsg.) (2006): *Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis*. Unter Mitarbeit von Bruno Lotter. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Wildemann, Horst (2011): *Reifegradmodell zur Beurteilung der Entwicklungsfähigkeit von Produktionssystemen*. Technische Universität München. In: *Industrie Management* 2011 (27), S. 40–44.
- Wißler, Eugen (2006): *Ein Verfahren zur Bewertung technischer Risiken in der Phase der Entwicklung komplexer Serienprodukte*. Dissertation. Heimsheim: Jost-Jetter-Verlag.

Wochinger, Thomas (2010): Die Güte der Produktionslogistik reifegradorientiert bewerten. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* (03), S. 222–226.

Zahn, Erich (1995): *Handbuch Technologiemanagement*. Monographie (Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1995).

Zangemeister, Christof (1976): *Nutzwertanalyse in der Systemtechnik*. E. Methodik zur multidimensionalen Bewertung u. Ausw. von Projektalternativen. 4. Aufl. Hamburg: Zangemeister.

Zörgiebel, Wilhelm W. (1983): *Technologie in der Wettbewerbsstrategie*. Strategische Auswirkungen technologischer Entscheidungen untersucht am Beispiel der Werkzeugmaschinenindustrie. Berlin, Darmstadt: Schmidt (Technological economics, 10).

In dieser »Schriftenreihe zu Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement« werden die Dissertationen, die im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten am Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT der Universität Stuttgart und am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO entstanden sind, veröffentlicht.

Die beiden Institute verknüpfen universitäre Grundlagenforschung mit angewandter Auftragsforschung und setzen diese erfolgreich in zahlreichen Projekten praxisgerecht um.

Technologiemanagement umfasst dabei die integrierte Planung, Gestaltung, Optimierung, Bewertung und den Einsatz von technischen Produkten und Prozessen aus der Perspektive von Mensch, Organisation, Technik und Umwelt. Dabei werden neue anthropozentrische Konzepte für die Arbeitsorganisation und -gestaltung erforscht und erprobt. Die Arbeitswissenschaft mit ihrer Systematik der Analyse, Ordnung und Gestaltung der technischen, organisatorischen und sozialen Bedingungen von Arbeitsprozessen sowie ihren humanen und wirtschaftlichen Zielen ist dabei zentral in die Aufgabe des Technologiemanagements eingebunden.

ISBN 978-3-8396-0810-4



*ISSN 2195-3414*

*Fraunhofer Verlag*