

# **Eine funktionsbasierte Analyse der Technologierelevanz von Nanotechnologie in der Produktplanung**

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

Vorgelegt von  
Dipl.-Ing. Daniel Heubach  
aus Esslingen am Neckar

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath  
Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Engelbert Westkämper  
Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Hansgeorg Binz

Tag der Einreichung: 21. Mai 2008  
Tag der mündlichen Prüfung: 17. Dezember 2008

Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT  
2008

# IPA-IAO Forschung und Praxis

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

Herausgeber:

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

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

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

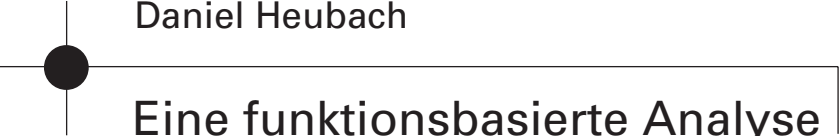


**I·A·T** Institut  
Arbeitswissenschaft und  
Technologiemanagement  
Universität Stuttgart



**Fraunhofer** Institut  
Arbeitswirtschaft und  
Organisation

Daniel Heubach



# Eine funktionsbasierte Analyse der Technologierelevanz von Nanotechnologie in der Produktplanung

Nr. 478

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

Dr.-Ing. Daniel Heubach

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

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

ord. Professor an der Universität Stuttgart

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

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

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, München

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

ord. Professor an der Universität Stuttgart

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

D 93

ISBN (10) 3-939890-37-5, ISBN (13) 978-3-939890-37-9

Jost Jetter Verlag, Heimsheim

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

© Jost Jetter Verlag, Heimsheim 2009.

Printed in Germany.

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

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

Druck: printsystem GmbH, Heimsheim

## Geleitwort der Herausgeber

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

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

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

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

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

Die von den Herausgebern langjährig geleiteten Institute, das

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

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

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

Engelbert Westkämper    Hans-Jörg Bullinger    Dieter Spath

## **Vorwort**

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart und dem Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath, 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, die wissenschaftliche Betreuung und die Unterstützung meiner Tätigkeit am Institut.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Engelbert Westkämper, Leiter des Instituts für Industrielle Fertigung und Fabrikbetriebslehre (IFF) und des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart, danke ich für die Übernahme des Mitberichtes.

Mein Dank gilt auch Herrn Prof. Dr.-Ing. Joachim Warschat, Institutsdirektor des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) für die Unterstützung bei der Themenfindung, die inhaltliche Begleitung und die Ermutigung zum wissenschaftlichen Arbeiten.

Herrn Dr. Gerhard Angerer und Herrn Dr. Christian Kühne danke ich für die vertrauensvolle Zusammenarbeit im Rahmen des BWPLUS-Projektes „INANU“, innerhalb dessen wesentliche Teile der Arbeit entstanden sind, ebenso danke ich Herrn Volker Groninger und Herrn Dr. Andreas Fath für die Kommentierung der Arbeit aus unternehmerischer Sicht.

Ein großer Dank geht an die Kollegen und Freunde am Fraunhofer IAO, die auf vielfältige Weise zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Allen voran danke ich Dr. Claus Lang-Koetz, Dr. Marc Bannert und Stefanie Laib für die inspirierenden Diskussionen, das Gegenlesen und die stete Ermunterung zur kontinuierlichen Arbeit an der Promotion. Ebenso gilt mein Dank Dr. Severin Beucker für die Hilfe bei der Themenfindung, Tanja Vartanian und Claudia Garád für die Fehlerkorrektur des Textes sowie den vielen Studenten für ihre engagierte Mitarbeit.

Ein großes Dankeschön gebührt meinen Eltern und meiner Familie, die mir die Startvoraussetzungen für diesen beruflichen Werdegang ermöglichten und mich bei der Promotion auf vielfältige Weise unterstützten.

Aus ganzem Herzen danke ich meiner Frau Ulrike und unserem Sohn Paul. Ohne ihre Liebe und Geduld, ihren Verzicht auf viele gemeinsame Stunden sowie die uneingeschränkte Unterstützung wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Stuttgart, im Dezember 2008

Daniel Heubach





# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	14
Tabellenverzeichnis .....	17
Formelverzeichnis .....	20
Abkürzungen.....	21
1 Einleitung.....	25
2 Zielsetzung und Vorgehensweise der Arbeit.....	27
2.1 Zielsetzung.....	27
2.2 Vorgehensweise.....	28
3 Stand des Wissens und Problemstellung .....	30
3.1 Management von Neuen Technologien .....	30
3.1.1 Zentrale Begriffe und Aufgabenstellung .....	30
3.1.2 Wesensmerkmale neuer Technologien.....	34
3.1.2.1 Technologiedynamik und -lebenszyklus .....	34
3.1.2.2 Treiber technologischer Innovationen .....	37
3.1.2.3 Technologiewissen und Informationsquellen.....	38
3.1.3 Technologierelevanzanalyse.....	39
3.1.3.1 Ansätze der Technologiebewertung .....	39
3.1.3.2 Wertschöpfungsketten-Modell der Technologierelevanzanalyse .....	40
3.1.3.3 Funktionsaspekt der Technologierelevanzanalyse.....	41
3.1.3.4 Eine Definition der Technologierelevanzanalyse für diese Arbeit.....	44
3.1.4 Zusammenfassung und Ableitung der Problemstellung.....	44
3.2 Nanotechnologie.....	45
3.2.1 Definition der Nanotechnologie.....	46
3.2.2 Phänomenologische Grundlagen der Nanotechnologie.....	46
3.2.3 Charakterisierung der Nanotechnologie als Neue Technologie .....	49
3.2.4 Strukturierungsansätze der Nanotechnologie.....	50
3.2.4.1 Wirkmechanismen und Funktionalitäten .....	51
3.2.4.2 Nanomaterialien und Basisstrukturen.....	52
3.2.5 Ziel-Mittel-Kombinationen durch Nanotechnologie: Eine Schwerpunktlegung für diese Arbeit .....	53
3.2.6 Hemmnisse der Bewertung und Anwendung von Nanotechnologie.....	57
3.3 Prozessmodelle der Produktplanung.....	60
3.3.1 Produktplanung nach VDI 2220.....	61
3.3.2 Produktplanung nach GAUSEMEIER.....	63
3.3.3 Produktplanung der InnovationRoadMap nach EVERSHEIM .....	64
3.3.4 Produktplanung des Chain-Link-Modells nach KLINE und ROSENBERG .....	64
3.3.5 Vergleich verwandter Ansätze .....	65
3.3.6 Zusammenfassung von Defiziten und Anforderungen.....	66

3.4	Methodische Ansätze zur funktionsorientierten Technologieanalyse und -bewertung .....	68
3.4.1	Technologiekalender .....	69
3.4.2	Das House of Technology .....	69
3.4.3	Theorie des erfinderischen Problemlösens – TRIZ .....	70
3.4.4	Morphologische Klassifikation .....	71
3.4.5	Funktionenanalyse nach VDI 2803 .....	72
3.4.6	Vergleich der beschriebenen Methoden .....	73
3.4.7	Zusammenfassung von Defiziten und Anforderungen .....	74
3.5	Zusammenführung und Abgleich der Hemmnisse und Defizite .....	76
4	Entwicklung eines Verfahrens zur funktionsbasierten Technologierelevanzanalyse der Nanotechnologie für die Produktplanung .....	79
4.1	Ebenenmodell des Technologie-Push und Markt-Pull für Ziel-Mittel-Kombinationen .....	79
4.2	Bestandteile des Verfahrens .....	80
4.2.1	Materialien und Funktionen der Nanotechnologie (Objektsystem) .....	80
4.2.2	Methoden und Handlungsträger der Technologierelevanzanalyse (Wirksystem) .....	81
4.2.3	Strukturierung des Verfahrens (Aufgabensystem) .....	81
4.3	Charakterisierung und Einordnung des Verfahrens .....	83
5	Anforderungen an das Verfahren .....	85
5.1	Anforderungen an die Zusammenführung von Nanotechnologie und Produktfindung in der Produktplanung .....	85
5.2	Anforderungen an einen funktionsbasierten Zugang zur Nanotechnologie .....	85
5.3	Anforderungen an die methodische Unterstützung der Identifikation und Bewertung von Produktideen .....	86
5.4	Anforderungen an die Anwendbarkeit des Verfahrens .....	86
6	Konzeption des Verfahrens zur funktionsbasierten Technologierelevanzanalyse der Nanotechnologie für die Produktplanung .....	87
6.1	Terminologie relevanter Begriffe des Verfahrens .....	88
6.1.1	Wirkprinzip $WP_i$ .....	88
6.1.2	Wirkstruktur $WS_{NT,i}$ .....	90
6.1.3	Systemfunktion $SF_{NT,i}$ .....	90
6.1.4	Applikation $AP_i$ .....	91
6.1.5	Zweckfunktion $ZF_i$ .....	91
6.1.6	Problemidée $PI_i$ .....	92
6.1.7	Lösungskonzept $LK_{NT,i}$ .....	92
6.1.8	Lösungsidee $LI_{NT,i}$ .....	93
6.1.9	Innovationspotenzial $IP_i$ .....	93
6.1.10	Modell der relevanten Begriffe des Verfahrens .....	94
6.2	Phase 1: Definition der Zielsetzung .....	95
6.2.1	Ziel der Verfahrensphase .....	95

6.2.2	Methodisches Vorgehen .....	95
6.2.2.1	Schritt 1.1: Definition des Analyseobjekts und Umfeldanalyse .....	95
6.2.2.2	Schritt 1.2: Definition des Zielsystems .....	96
6.2.3	Ergebnis der Verfahrensphase .....	97
6.3	Phase 2: Identifikation und Beschreibung von Problemeideen.....	97
6.3.1	Ziel der Verfahrensphase .....	97
6.3.2	Methodisches Vorgehen .....	97
6.3.2.1	Schritt 2.1: Identifikation von Problemeideen .....	98
6.3.2.2	Schritt 2.2: Beschreibung und Nutzenbewertung von Problemeidee .....	102
6.3.3	Ergebnis der Verfahrensphase .....	105
6.4	Phase 3: Identifikation und Auswahl von Lösungsideen .....	106
6.4.1	Ziel der Verfahrensphase .....	106
6.4.2	Methodisches Vorgehen .....	106
6.4.2.1	Schritt 3.1: Recherche von Lösungskonzepten .....	106
6.4.2.2	Schritt 3.2: Bewertung von Lösungskonzepten .....	108
6.4.2.3	Schritt 3.3: Beschreibung der Anforderungen der Problemeidee .....	112
6.4.2.4	Schritt 3.4: Recherche von Lösungsideen .....	113
6.4.3	Ergebnis der Verfahrensphase .....	114
6.5	Phase 4: Bewertung des Innovationspotenzials .....	115
6.5.1	Ziel der Verfahrensphase .....	115
6.5.2	Methodisches Vorgehen .....	115
6.5.2.1	Schritt 4.1: Darstellung der Innovationspotenziale .....	115
6.5.2.2	Schritt 4.2: Bewertung der Innovationspotenziale .....	116
6.5.3	Ergebnis der Verfahrensphase .....	120
6.6	Phase 5: Planung der Maßnahmen .....	120
6.6.1	Ziel der Verfahrensphase .....	120
6.6.2	Methodisches Vorgehen .....	121
6.6.2.1	Schritt 5.0: Planung von Maßnahmen.....	121
6.6.3	Ergebnis der Verfahrensphase .....	123
6.7	Zusammenfassung des Verfahrens .....	123
7	Umsetzung des Verfahrens .....	127
7.1	Charakterisierung der Anwender.....	127
7.2	Anwendung des Verfahrens am Beispiel eines Herstellers von Füll- und Verpackungsmaschinen (Unternehmen Alpha) .....	128
7.2.1	Ausgangssituation im Unternehmen.....	128
7.2.2	Beschreibung der Anwendung .....	129
7.2.2.1	Umsetzungsphase 1: Definition der Zielsetzung .....	129
7.2.2.2	Umsetzungsphase 2: Identifikation und Beschreibung von Problemeideen ..	129
7.2.2.3	Umsetzungsphase 3: Identifikation und Auswahl von Lösungsideen .....	132
7.2.2.4	Umsetzungsphase 4: Bewertung des Innovationspotenzials .....	137
7.2.2.5	Umsetzungsphase 5: Planung und Umsetzung der Maßnahmen .....	140
7.2.3	Nutzen der Anwendung für das Unternehmen Alpha .....	141
7.3	Anwendung des Verfahrens am Beispiel eines Unternehmens der Sanitärbranche (Unternehmen Beta).....	142
7.3.1	Ausgangssituation im Unternehmen.....	142
7.3.2	Beschreibung der Anwendung .....	142

7.3.2.1	Umsetzungsphase 1: Definition der Zielsetzung .....	142
7.3.2.2	Umsetzungsphase 2: Identifikation und Beschreibung von Problemeideen ..	143
7.3.2.3	Umsetzungsphase 3: Identifikation und Auswahl von Lösungsideen .....	146
7.3.2.4	Umsetzungsphase 4: Bewertung des Innovationspotenzials .....	152
7.3.2.5	Umsetzungsphase 5: Planung und Umsetzung der Maßnahmen .....	155
7.3.3	Nutzen der Anwendung für das Unternehmen Beta .....	156
7.4	Zusammenfassung der Umsetzungsbeispiele .....	156
8	Evaluation und Diskussion .....	158
8.1	Evaluation des Ansatzes .....	158
8.2	Diskussion .....	160
9	Zusammenfassung und Ausblick .....	163
9.1	Zusammenfassung .....	163
9.2	Ausblick .....	165
10	Abstract .....	167
11	Anhang .....	169
11.1	Anhang A: Detaillierung einzelner Schritte des Verfahrens .....	169
11.1.1	Zur Terminologie relevanter Begriffe .....	169
11.1.1.1	Terminologie und Begriffsbestimmung in der VDI-Richtlinie 2221 .....	169
11.1.1.2	Herleitung der Eigenschaftskategorien der Nanotechnologie .....	169
11.1.1.3	Wirkort der Nanotechnologie: Oberflächen und Composite .....	170
11.1.2	Zu Schritt 1.1: Ablauf zur Erstellung aussichtsreicher Suchfelder .....	171
11.1.3	Zu Schritt 2.1: Ableitung von Funktions- und Objektelementen .....	172
11.1.4	Zu Schritt 2.2: Anwendungsnutzen (Kundenattraktivität und Neuigkeitsgrad) der Problemeidee $PI_j$ .....	173
11.1.5	Zu Schritt 3.1: Internetquellen zur Nanotechnologie und Interviewleitfaden .....	174
11.1.6	Zu Schritt 4.2: Nutzwertanalyse zur Bewertung der Lösungsideen $LI_{NT,i}$ .....	176
11.2	Anhang B: Nanotechnologie .....	178
11.2.1	Weitere Definitionen der Nanotechnologie .....	179
11.2.2	Systemfunktionen der Nanotechnologie (Beispiele) .....	181
11.2.3	Wirtschaftliche und gesellschaftliche Bedeutung der Nanotechnologie .....	185
11.3	Anhang C: Prozessmodelle der Produktplanung .....	188
11.3.1	Prozessmodell der Produktplanung nach VDI 2220 .....	188
11.3.2	Prozessmodell der Produktplanung nach Gausemeier .....	189
11.3.3	Prozessmodell der Produktplanung nach dem W-Modell der InnovationRoadMap .....	191
11.3.4	Prozessmodell der Produktplanung nach dem Chain-Link-Modell .....	192
11.3.5	Weitere Prozessmodelle in der Literatur .....	193
11.4	Anhang D: Technologieanalyse und -bewertung .....	195
11.4.1	Sammlungen technischer Verben .....	195
11.4.2	Bewertungskriterien für Technologien .....	198
11.4.3	Bewertungsansätze für Technologien .....	198

11.4.4	Methoden der Ideenfindung.....	201
11.4.5	Werkzeuge im TRIZ-Konzept .....	202
12	Literaturquellen .....	205

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Vorgehensweise in dieser Arbeit zur Entwicklung eines Verfahrens zur funktionsbasierten Technologierelevanzanalyse von Nanotechnologie für die Produktplanung .....	29
Abbildung 2:	Phasen des Innovations- und Technologieentwicklungsprozess und die Verbindung von Technologie und Produktideen (Eigene Darstellung in Anlehnung an Specht, G. et al. 2002; Herstatt, Verworn 2003a; VDI-2220 1980) .....	32
Abbildung 3:	Produktfindung in der Produktplanung (VDI-2220 1980) .....	33
Abbildung 4:	Lebenszyklus technologischer Wirkprinzipien (Pleschak, Sabisch 1996).....	34
Abbildung 5:	Bewertungsansätze für Technologien hinsichtlich ihres Betrachtungsraums (eigene Darstellung).....	39
Abbildung 6:	Wertschöpfungskette zur Technologieanalyse (modifiziert nach Gerybadze 2004).....	41
Abbildung 7:	Aufgaben der Funktion in der Technologierelevanzanalyse (eigene Darstellung).....	42
Abbildung 8:	Kopplung der Mikro- und Nanowelt (Bachmann 1998; Luther et al. 2004)....	47
Abbildung 9:	Neue Betrachtungsweise ausgewählter Eigenschaften beim Übergang in die Nanoskala (vgl. Haas, Heubach 2007, in Anlehnung an Bachmann 1998) ....	48
Abbildung 10:	Innovationsarten durch Nanotechnologie: Schwerpunktlegung für diese Arbeit (eigene Zusammenstellung, aufbauend auf Spath et al. 2003 und Hauschildt 1993) .....	53
Abbildung 11:	Relevante technologische Teilgebiete der Nanotechnologie (Luther et al. 2004; Bachmann 2002).....	54
Abbildung 12:	Relevanz der nanotechnologischen Funktionen (Luther et al. 2004) .....	55
Abbildung 13:	Die zehn wichtigsten geforderten Schichtfunktionen (DFO 2006).....	56
Abbildung 14:	Ablaufplan der Produktplanung nach VDI-Richtlinie 2220 (VDI-2220 1980) mit anschließender Produktrealisierung und Produktbetreuung.....	62
Abbildung 15:	Funktionsbaum mit Gesamt-, Teil- und Elementarfunktionen sowie unerwünschten Funktionen (nach VDI-2803 1996) .....	73
Abbildung 16:	Ebenenmodell für die Kombination von Nanotechnologie und Anwendung durch Ziel-Mittelkombinationen durch Zweck- und Systemfunktion (eigene Darstellung).....	80
Abbildung 17:	Phasen und Einzelschritte des Verfahren mit der Analogie zur dem Vorgehen der Produktfindung in der Produktplanung.....	83
Abbildung 18:	Einordnung und Charakterisierung des Verfahrens .....	84
Abbildung 19:	Phasen, Einzelschritte und Ergebnis des Verfahrens zur funktionsbasierten Technologierelevanzanalyse.....	87
Abbildung 20:	Kategorisierung von Wechselwirkung und Wirkort der Wirkprinzipien .....	89
Abbildung 21:	Modell mit Verfahrenselementen zur Analyse der Technologierelevanz .....	94
Abbildung 22:	Ablauf, Methodeneinsatz und Informationsquellen der Phase 1 .....	97
Abbildung 23:	Sichtweise der Dekomposition mittels Wirkprinzipien.....	98

Abbildung 24:	Modell der funktionslogischen Dekomposition eines Analyseobjekts .....	99
Abbildung 25:	Ablaufdiagramm für die Auswahl relevanter Funktions- und Objektelemente (Darstellung nach DIN-66001 1983) .....	101
Abbildung 26:	Ablauf, Methodeneinsatz und Informationsquellen der Phase 2 .....	106
Abbildung 27:	Das House of Nanotechnology (HoNT) .....	109
Abbildung 28:	Nutzen-Erfüllungsgrad-Portfolio (eigene Darstellung) .....	111
Abbildung 29:	Ablauf, Methodeneinsatz und Informationsquellen der Phase 3 .....	114
Abbildung 30:	Innovationspotenzial-Portfolio .....	119
Abbildung 31:	Ablauf, Methodeneinsatz und Informationsquellen der Phase 4 .....	120
Abbildung 32:	Ableitung von Handlungsstrategien aus dem Innovationspotenzial- Portfolio .....	123
Abbildung 33:	Ablauf, Methodeneinsatz und Informationsquellen der Phase 5 .....	123
Abbildung 34:	Schrittweiser Auswahlprozess relevanter Funktionen und Nanomaterialien im Verfahren .....	124
Abbildung 35:	Prinzipskizze einer Füll- und Verpackungsmaschine .....	128
Abbildung 36:	Objektmodell der Füll- und Verpackungsmaschine .....	130
Abbildung 37:	House of Nanotechnology für Problemideen und Lösungskonzepte der Füll- und Verpackungsmaschine .....	134
Abbildung 38:	Nutzen-Erfüllungsgrad-Portfolio .....	135
Abbildung 39:	Innovationspotenzial-Portfolio für das Unternehmen Alpha .....	140
Abbildung 40:	Objektmodell der Standard-Sanitärarmatur .....	143
Abbildung 41:	Identifizierte Kombinationen aus Problemidee und Lösungskonzept im Unternehmen Beta .....	147
Abbildung 42:	House of Nanotechnology für Problemideen und Lösungskonzepte der Füll- und Verpackungsmaschine .....	149
Abbildung 43:	Nutzen-Erfüllungsgrad-Portfolio .....	150
Abbildung 44:	Innovationspotenzial-Portfolio für das Unternehmen Beta .....	154
Abbildung 45:	Beispielhafte Wirkorte der Nanotechnologie an Oberflächen und in Materialien (eigene Darstellung) .....	171
Abbildung 46:	Ablauf zur Erstellung aussichtsreicher Suchfelder (VDI 1983, S.62) .....	171
Abbildung 47:	Wertschöpfungskette und Wertschöpfung in der Nanotechnologie (Iden, Heubach 2007, S.28) .....	187
Abbildung 48:	Ablaufplan der Produktplanung nach VDI-Richtlinie 2220 (VDI-2220 1980, S.3) mit der anschließenden Produktrealisierung und Produktbetreuung ....	189
Abbildung 49:	Zyklus der strategischen Produktplanung im Produktinnovationsprozess (Gausemeier et al. 2001) .....	190
Abbildung 50:	Das W-Modell der InnovationRoadMap (Eversheim et al. 2003, S.27) .....	191
Abbildung 51:	Chain-Link-Modell (Kline, Rosenberg 1986, S.290) .....	192
Abbildung 52:	Arten von Bewertungskriterien und ihre charakteristischen Werte (Breiung, Knosala 1997, S.44) .....	199

Abbildung 53: Wechsel in die abstrakte Ebene in der TRIZ-Methodik  
(vgl. Terninko et al. 1998, S.63).....204



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Technologietypen (nach Gausemeier et al. 2001; Wolfrum 1994; Spur 1998) .....	36
Tabelle 2:	Phänomenologische Aspekte der Nanotechnologie .....	47
Tabelle 3:	Nutzen- und funktionsbildende Aspekte der Nanotechnologie .....	48
Tabelle 4:	Morphologischer Kasten mit Merkmalen und Ausprägungen der Nanotechnologie .....	50
Tabelle 5:	Verbesserte und neue Eigenschaften von Nanomaterialien und -strukturen (Paschen et al. 2004) .....	51
Tabelle 6:	Beispiele für Anwendungsziele und -strategien von Nanotechnologie und Neuheit hinsichtlich Ziel-Mittel-Kombination (eigene Darstellung) .....	54
Tabelle 7:	Auswertung einer Expertenbefragung zu nanofunktionalisierten Oberflächen .....	56
Tabelle 8:	Oberflächenfunktionalisierung durch Nanotechnologie am Beispiel der antimikrobiellen Beschichtung .....	57
Tabelle 9:	Zusammenfassung von Defiziten und Anforderungen der Nanotechnologie aus Anwendungs- und Bewertungssicht .....	59
Tabelle 10:	Stufen der Ideenbewertung und -auswahl in der Produktfindung (VDI-2220 1980) .....	63
Tabelle 11:	Vergleich bestehender Ansätze der Produktplanung in der Literatur .....	66
Tabelle 12:	Zusammenfassung von Defiziten und Anforderungen der Produktplanung ..	68
Tabelle 13:	Werkzeuge im methodischen Rahmen von TRIZ (Herb et al. 2000) .....	70
Tabelle 14:	Vergleich bestehender Methoden zur Technologieanalyse .....	74
Tabelle 15:	Zusammenfassung von Defiziten und Anforderungen von Methoden der Technologieanalyse und -bewertung .....	76
Tabelle 16:	Zusammenführung und Abgleich der Defizite und Hemmnisse .....	77
Tabelle 17:	Konkrete Beispiele für Wirkprinzipien .....	90
Tabelle 18:	Kombination von Zweckfunktion und Systemfunktion .....	91
Tabelle 19:	Aufbau des Zielsystems für die Bewertungskriterien .....	96
Tabelle 20:	Funktionale Zielsetzung der Problemeidee für den Nanotechnologie-Einsatz .....	102
Tabelle 21:	Beschreibungselemente der Problemeidee .....	103
Tabelle 22:	Erfolgsfaktoren für den Nutzen der Problemeiden .....	104
Tabelle 23:	Anwendungsnutzen der Problemeidee: Kundenattraktivität und Stellung der Lösungsfunktion (Neuigkeitsgrad) .....	104
Tabelle 24:	Beschreibung der Lösungskonzepte .....	108
Tabelle 25:	Bewertung der prinzipiellen Erfüllungsmöglichkeit der Lösungskonzepte ...	110
Tabelle 26:	Anforderungskategorien (Zielsystem $Z_4$ ) für die Beschreibung der Randbedingungen (nach Breiing, Knosala 1997) .....	112
Tabelle 27:	Leifragen für die Ausarbeitung von Lösungsideen .....	116

Tabelle 28:	Handlungsstrategien zur Umsetzung der Innovationspotenziale .....	122
Tabelle 29:	Übersicht über die Phasen des Verfahrens (fortgesetzt) .....	125
Tabelle 30:	Charakterisierung der Anwender .....	127
Tabelle 31:	Ausgewählte Funktions- und Objektelemente des Unternehmens Alpha ....	131
Tabelle 32:	Nutzenbewertung der Problemeiden der Füll- und Verpackungsmaschine ..	132
Tabelle 33:	Beispiel des Lösungskonzept $LK_{NT,6}$ „Photokatalytisch reaktive Oberfläche durch $TiO_2$ “ .....	133
Tabelle 34:	Beschreibung der Anforderungen am Beispiel der Problemeidee $PI_6$ .....	136
Tabelle 35:	Bewertung des Innovationspotenzial am Beispiel des Innovationspotenzials $IP_5$ .....	139
Tabelle 36:	Ausgewählte Objektelemente des Unternehmen Beta (fortgesetzt) .....	144
Tabelle 37:	Nutzenbewertung der Problemeiden der Füll- und Verpackungsmaschine ..	146
Tabelle 38:	Beispiel des Lösungskonzept $LK_{NT,6}$ „Diffusionssperre durch Hybridpolymer“ .....	148
Tabelle 39:	Beschreibung der Anforderungen am Beispiel der Problemeidee $PI_{13}$ .....	151
Tabelle 40:	Zusammenfassung der Anforderungen und ihr relativer Grad der Erfüllung bei den Umsetzungsunternehmen .....	160
Tabelle 41:	Zusammenführung von Eigenschaftskategorien der Nanotechnologie .....	170
Tabelle 42:	Erfolgsfaktoren aus Umfeldanalyse und interne Anforderungen .....	172
Tabelle 43:	Beanspruchungsarten von Werkstoffoberflächen (Czichos 2000; S.D42) ....	172
Tabelle 44:	Einordnung der Kundenattraktivität von Nanotechnologie-Anwendungen .	173
Tabelle 45:	Internetquellen für die Informationsrecherche zur Nanotechnologie (fortgesetzt).....	174
Tabelle 46:	Interviewleitfaden für die Expertenbefragung für Lösungskonzepte (fortgesetzt).....	175
Tabelle 47:	Bewertungsmatrix für die Nutzwertanalyse .....	178
Tabelle 48:	Definitionen für Nanotechnologie in der Literatur (fortgesetzt).....	179
Tabelle 49:	Beispielhafte Zusammenstellung von Systemfunktionen, Wirkstrukturen und Wirkort/Applikation der Nanotechnologie (eigene Zusammenstellung aus ETAG 2007; Deutscher Bundestag 2004; Willems & van den Wildenberg 2004; Luther et al. 2004) (fortgesetzt) .....	181
Tabelle 50:	Anwendungsbranchen der Nanotechnologie .....	185
Tabelle 51:	Weitere Prozessmodelle und Ansätze der Produktplanung (fortgesetzt) .....	193
Tabelle 52:	Beispielhafte Sammlung technischer Verben (Birkhofer 1980, S.71) (fortgesetzt).....	195
Tabelle 53:	Taxonomie für Spezielle Funktionsverben (Langlotz 2000, S.277) (fortgesetzt).....	196
Tabelle 54:	Kriterienfamilien und Einzelkriterien für die Bewertung von technischen Systemen (nach Breiing, Knosala 1997, S.23 und Brankamp 1996, S.7-6) ..	198
Tabelle 55:	Methoden in der Technikbewertung (Auswahl) nach VDI 3780 (VDI-3780 2000) .....	199

Tabelle 56:	Auswahl von Methoden zur Unterstützung der Arbeitsschritte in der Konstruktion nach VDI 2221 (VDI-2221 1993).....	200
Tabelle 57:	Methoden der Ideenfindung (Auswahl nach Kobe 2001, S.65ff, Gausemeier et al. 2001, S.124) (fortgesetzt).....	201
Tabelle 58:	Technische Parameter, Ansätze zur Lösung von Widersprüchen und physikalische Grundeffekte im TRIZ-Konzept (Steinschaden 2005, S.495) (fortgesetzt).....	203

## Formelverzeichnis

Formel 1:	Berechnung der Priorität $PRIO_i$ der Problemeidee $PI_i$ .....	105
Formel 2:	Berechnungsformel für den Erfüllungsgrad $EG_i$ des Lösungskonzepts $LK_{NT,i}$ .....	110
Formel 3:	Gewichtungsfaktor $g_j$ .....	117
Formel 4:	Berechnung des Lösungsbeitrags $GN_i$ (Gesamtnutzen) einer Lösungsidee $LI_{NT,i}$ .....	118
Formel 5:	Referenzwert $RW_i$ für Lösungsbeitrag (Gesamtnutzen).....	118
Formel 6:	Berechnung des spezifischen Lösungsbeitrags $spezGN_i$ .....	119

## Abkürzungen

Ag	Silber
Al	Aluminium
AP <sub>i</sub>	Applikation i
ATO	Antimon-Zinn-Oxid
Au	Gold
Bl.	Blatt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BSI	British Standardisation Institute
bzw.	beziehungsweise
C	Kohlenstoff
ca.	circa
cm	Zentimeter
CNT	Carbon Nano Tubes
Co	Kobalt
Cu	Kupfer
D	Dimension
d. h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
DLC	Diamond like Carbon
EN	Europäische Norm
et al.	et alii (und andere)
etc.	et cetera (und so weiter)
EU	Europäische Union
evtl.	eventuell
f	folgende (Seite)
FAST	Function Analysis System Technique
FDA	Food and Drug Administration
FED	Feldemitterdisplay
FE <sub>i</sub>	Funktionselement i
ff	fortfolgende (Seite)
FhG	Fraunhofer Gesellschaft e.V.
FuE	Forschung und Entwicklung

FZJ	Forschungszentrum Jülich
FZK	Forschungszentrum Karlsruhe
Gb	Gigabit
ggf.	gegebenenfalls
gGmbH	gemeinnützige Gesellschaft mit beschränkter Haftung
$g_i$	Gewichtungsfaktor
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
$GN_i$	Gesamtnutzen
$H_2$	Wasserstoff
HoNT	House of Nanotechnology
HoQ	House of Quality
Hrsg.	Herausgeber
i	Index i
i. S. d.	im Sinne der
i. S.	im Sinne
IKT	Information und Kommunikation
iöw	Institut für ökologische Wirtschaftsforschung gGmbH
$IP_i$	Abkürzungsvariable für Innovationspotenzial i
IPP	Integrierte Produktpolitik
IPT	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie
ISC	Fraunhofer-Institut für Silicatforschung
ISI	Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
ISO	International Organization for Standardization
ITA	Innovations- und Technikanalyse
ITO	Indium-Zinn-Oxid (Indium tin oxide)
Kap.	Kapitel
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LED	Light Emitting Diode
$LI_{NT,i}$	Abkürzungsvariable für nanotechnologische Lösungsidee i
$LK_{NT,i}$	Abkürzungsvariable für nanotechnologisches Lösungskonzept i
m	Meter
MEMS	Mikro-elektromechanische Systeme
Mg	Magnesium
Mio.	Million
MO	Mikroorganismen

MPI	Max-Planck-Institut
Mrd.	Milliarde
MWCNT	Multi Wall Carbon Nano Tubes
n	Index
NEMS	Nano-elektromechanische Systeme
Ni	Nickel
nm	Nanometer, $10^{-9}$ m
NNI	National Nanotechnology Initiative
NRM	NanoRoadMap
NT	Nanotechnologie
$NU1_i$	Nutzenindikator für den Anwendungsnutzen der Problemeidee $PI_i$
$NU2_i$	Nutzenindikator für das Marktpotenzial der Problemeidee $PI_i$
$NU3_i$	Nutzenindikator für die Anwendungsbreite der Problemeidee $PI_i$
$NU4_i$	Nutzenindikator für die Zielübereinstimmung der Problemeidee $PI_i$
NWA	Nutzwertanalyse
o. O.	ohne Ortsangabe
o. V.	ohne Verfasserangabe
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
$OE_i$	Objektelement i
OEM	Original Equipment Manufacturer (Originalgerätehersteller)
PAS	Publicly Available Specification
Pb	Blei
Pd	Palladium
PE	Polyethylen
$PI_i$	Abkürzungsvariable für Problemeidee i
PP	Polypropylen
$PRIO_i$	Priorität der Problemeidee $PI_i$
Pt	Platin
QFD	Quality Function Deployment
QS	Qualitätssicherung
R&D	Research and Development
RoHS	Restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (Abkürzung)
$RW_i$	Referenzwert
S.	Seite
s.	siehe

SF <sub>NT,i</sub>	Abkürzungsvariable für nanotechnologische Systemfunktion i
SGF	Strategisches Geschäftsfeld
Si	Silizium
SiO <sub>2</sub>	Siliziumdioxid
STF	Strategisches Technologiefeld
STM	Scanning Tunnelling Microscope
SWCNT	Single Wall Carbon Nano Tubes
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
t	Zeitvariable (t <sub>0</sub> = gegenwärtiger Zeitpunkt, t <sub>1</sub> = zukünftiger Zeitpunkt)
TA	Technikfolgenabschätzung
Ti	Titan
TiO <sub>2</sub>	Titandioxid
TN <sub>i</sub>	Teilnutzen eine Anforderung
TQM	Total Quality Management
TRA	Technologierelevanzanalyse
TRIZ	Theorie zur Lösung technischer Probleme
TZ	Technologiezentrum
u. a.	und andere
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
vgl.	vergleiche
WP <sub>i</sub>	Abkürzungsvariable für Wirkprinzip i
WSI	Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliches Institut
WS <sub>NT,i</sub>	Abkürzungsvariable für nanotechnologische Wirkstruktur i
XMR	Sammelbegriff für Technologien, die den Magnetwiderstandseffekte (MR-Effekt) nutzen (wie z.B. GMR-Effekt: Giant Magnetoresistance)
ZfB	Zeitschrift für Betriebswirtschaft
ZF <sub>i</sub>	Abkürzungsvariable für Zweckfunktion i
Zn	Zink
ZnO	Zinkoxid
Zr	Zirkonium
ZWF	Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb
µm	Mikrometer



# 1 Einleitung

„Wo kann mein Unternehmen Nanotechnologie einsetzen?“

„Welche Relevanz hat diese Schlüsseltechnologien für mein Unternehmen?“

Diese Fragen stellen sich immer mehr Unternehmer, und sie scheinen auf den ersten Blick einfach. Nanotechnologie ist keine unbekannte Technologie – sie ist Gegenstand von Berichten in der Tagespresse, sie wird in eigenen großen Förderprogrammen gefördert, und in zahlreichen Studien bewertet.<sup>1</sup> Weltweit wird in ihr geforscht, die Patente und wissenschaftliche Veröffentlichungen steigen rasant an. Und bereits heute beeinflusst sie mit ihrer Hebelwirkung für Produkte einen Weltmarkt von ca. 100 Mrd. Euro – Tendenz steigend.<sup>2</sup>

Und doch offenbaren diese Fragen ein dahinterliegendes zentrales Problem: Es geht zunächst nicht um die Frage, wie ein Unternehmen Nanotechnologie einsetzen kann, welche Qualifikationen oder Produktionsanlagen also hierfür nötig wären. Im Zentrum steht die grundlegende Frage, wo der unternehmensspezifische Nutzen der Nanotechnologie liegt und Innovationspotenziale frühzeitig erkannt werden (Doering, Parayre 2000, S.76; Zahn 2004, S.127; Cohen, Levinthal 1990, S.128). Doch wie kann die Technologieadaption, verstanden als die Fähigkeit, relevante Technologien zu identifizieren, aufzunehmen und zu verwerten, für die Nanotechnologie erfolgreich gestaltet werden?<sup>3</sup>

Die Frage nach der Relevanz gewinnt umso mehr an Bedeutung, da Nanotechnologie als eine der Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts gilt. Ihr Kennzeichen und ihre Zielsetzung ist der gezielte und bewusste Aufbau definierter neuer Funktionalitäten und Eigenschaften von Materialien und Strukturen, die allein von den Effekten im Nanometerbereich ( $10^{-9}\text{m}$ ) abhängig sind (Kap. 3.2.1). Die Universalität der funktionalen Gestaltung von Materialien und Oberflächen (Kap. 3.2.2) eröffnet große Potenziale für Industriebranchen, Produkte und deren Eigenschaften (vgl. Anhang Kap. 11.2.2, Tabelle 49). Der Produktbezug ist jedoch nur in den wenigsten Fällen direkt erkennbar. Der Mehrwert liegt in einem besseren Preis-Leistungs-Verhältnis, höherer Qualität, verbesserter Leistungsfähigkeit oder ganz neue Funktionen. Erste Beispiele von Anwendungen belegen dies: An Kühllamellen von Wärmetauschern konnte ein Leistungsabfall von 30 bis 50% durch die Verschmutzung dank Nanobeschichtung reduziert und die hohe Kühlleistung über einen längeren Zeitraum gewährleistet werden (Hessen Agentur 2005b). Ein neues Korrosionsschutzverfahren mit Nanotechnologie spart 15% der Kosten gegenüber herkömmlichen Verfahren, gleichzeitig wird durch die nm-dünne Beschichtung weniger Lack eingesetzt und die Umwelt geschont (Haas, Heubach 2007). Die Hebelwirkung der Nanotechnologie wird am Beispiel der Wundverbände deutlich: Silber-Nanopartikel im Wert von einigen 100.000 US-Dollar kommen in antimikrobiellen Wundverbänden im Wert von über 25 Mio. US-Dollar zum Einsatz (Wagner, Zweck 2006).

In der unternehmerischen Praxis kann jedoch zwischen dem Technologie-Push aus der Forschung und dem Markt-Pull neuer Anwendungen eine „Lücke“ beobachtet werden (Brune et al. 2006, S.6; Iden, Heubach 2007). Die Lösungsansätze der Nanotechnologie sind potenziellen Anwendern bislang zumeist unbekannt, besonders kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sind

---

<sup>1</sup> Vgl. Grobe et al. 2005; BMBF 2004b; BMBF 2006c; Deutscher Bundestag 2004; Roco 2005; Rieke, Bachmann 2004; Royal Society 2004 und Spath et al. 2004.

<sup>2</sup> Vgl. Luther et al. 2004 (S.iii); Huang et al. 2005; Heinze 2004; Bonaccorsi, Thoma 2007 und Brune et al. 2006 (S.301).

<sup>3</sup> In Anlehnung an die Absorptive Capacity nach Cohen, Levinthal 1989 (S.569).

nur unzureichend informiert. Die Gründe liegen u. a. im unspezifischen Zugang zur Nanotechnologie, dem Nichtwissen um Grundlagen, Wirkprinzipien und Innovationspotenziale der Nanotechnologie, der Interdisziplinarität und Konvergenz naturwissenschaftliche Grundlagen sowie in einem fehlenden Vorgehen für das Management solcher Neuen Technologien (vgl. Hessen Agentur 2005a; Gerybadze 2004, S.124; Day et al. 2000, S.ix; Bullinger, Warschat 2007).

**Der systematischen Heranführung der Unternehmen an die Nanotechnologie und der Bewertung des Innovationspotenzials muss deshalb besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Nanotechnologie allein konstituiert jedoch kein Produkt, sondern ermöglicht Funktionalitäten. Ihre Relevanz und damit das Innovationspotenzial kann nur durch die Kombination des funktionalen Lösungspotenzials der Nanotechnologie mit den innovativen Produktideen erfasst werden. Die Identifikation, Analyse und Bewertung dieses Potenzials ist Aufgabe der Produktfindung in der Produktplanung als Bestandteil der frühen Innovationsphasen (VDI 1983; Herstatt, Verworn 2003a).**

In der Literatur existieren bereits eine Vielzahl an Produktplanungs-Ansätzen sowie Technologiebewertungs-Methoden (siehe Kap. 3.3 und 3.4), ebenso werden in der Forschung methodische Zugänge zur Nanotechnologie beschrieben (siehe Kap. 3.2.4). Diese weisen jedoch vor dem Hintergrund der eingangs beschriebenen Ausgangssituation Defizite auf (siehe Kap. 3.5). Bisherige etablierte Prozessmodelle greifen kaum den Technologie-Push Gedanken auf, vielmehr wird von einer existierenden, bekannten Technologie ausgegangen. Es fehlt bisher ein systematisches Vorgehen, das es ermöglicht, die unternehmensspezifischen Potenziale der Nanotechnologie zu analysieren und zu bewerten, Nanotechnologieentwicklung und Marktchancen zusammenzuführen und Wissensträger gezielt einzubinden. Hierfür muss zunächst eine spezifische Systematisierung der Nanotechnologie geschaffen werden, um im Rahmen der Ideenfindung der Produktplanung ihre Relevanz in Bezug auf die technische Problemlösung und Befriedigung von Marktanforderungen bewerten zu können.

Durch das entwickelte Verfahren sollen Unternehmen in die Lage versetzt werden, schnell und zielführend die Relevanz der Nanotechnologie für die Produkte analysieren und bewerten zu können.

## 2 Zielsetzung und Vorgehensweise der Arbeit

### 2.1 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist die Konzeption und Evaluierung eines Verfahrens zur funktionsbasierten Analyse der Technologierelevanz von Nanotechnologie in der Produktplanung. Innerhalb dieser Zielsetzung werden unter Berücksichtigung der Ausführungen in Kap. 1 sowie der Problemstellung in Kap. 3.1.4 folgende Teilziele verfolgt:

1. Das Verfahren soll Unternehmen befähigen, systematisch die **Relevanz der Nanotechnologie** zu analysieren und zu bewerten. Nanotechnologie konstituiert kein Produkt, daher muss die Analyse in der Produktfindung in den frühen Innovationsphasen erfolgen, indem Kundenbedürfnisse bzw. produkttechnische Problemstellungen (Problemidee) und der Lösungsbeitrag der Nanotechnologie (Lösungsidee) zusammengeführt und analysiert werden.
2. Dem Verfahren sollen ein **operabler Zugang zur Nanotechnologie** und eine **Systematik zur Lösungsfindung** zugrunde liegen. Die Lösungsansätze der Nanotechnologie sind potenziellen Anwendern bislang zumeist unbekannt. Deshalb soll die Nanotechnologie formalisiert beschrieben werden, mit der Funktionalität als Abstraktionsglied zwischen Nanotechnologie und Kundenanforderung im Zentrum. Eine Systematik soll hierfür aufgebaut werden.
3. Für das Verfahren soll ein **Analyse- und Bewertungsansatz** mit praxisorientierten, adaptierbaren und einfachen Methoden entwickelt werden, um die Relevanz der Nanotechnologie effizient und effektiv anhand der Funktionsprinzipien identifizieren zu können. Implizites Wissen soll außerhalb der Kernbereiche akquiriert und integriert werden.
4. Die Analyse soll in die strategische **Produktplanung** nach VDI 2220<sup>4</sup> als Teil des betrieblichen Innovationsprozesses integriert werden mit dem Ziel der Produktfindung mit Nanotechnologie. Dadurch soll eine organisatorische und methodische Verankerung in der unternehmerischen Führungs- und Planungsfunktion gewährleistet werden. Das Verfahren soll anschlussfähig sein an vor- und nachgelagerte Aufgaben des Technologiemanagements wie Technologieplanung, FuE oder Produktentwicklung.

Das Verfahren soll die spezifischen Merkmale einer Schlüsseltechnologie wie große Entwicklungsdynamik, Wissensbasiertheit und wissenschaftsgetriebene Entwicklung der Nanotechnologie berücksichtigen (vgl. Kap. 3.1.2 und 3.2.3). Darüber hinaus soll das Verfahren dem Ziel der Effektivität (Grad der Zielerreichung) und Effizienz (Verhältnismäßigkeit des Aufwandes) genügen (vgl. Patzak 1982, S.270).

Die Anwendbarkeit des Verfahrens soll am Beispiel von zwei produzierenden Unternehmen erprobt und gezeigt werden. Hierfür werden Unternehmen aus dem Bereich der Investitions- und Konsumgüterindustrie ausgewählt, die aufgrund ihrer Unternehmensstrategie als innovativer Technologieführer sowie des Einsatzkontextes der Produkte ein hohes Nutzenpotenzial für Nanotechnologie und speziell für funktionalisierte Oberflächen erwarten lassen.

---

<sup>4</sup> VDI-Richtlinie 2220: Produktplanung – Ablauf, Begriffe und Organisation (VDI-2220 1980).

## 2.2 Vorgehensweise

Der Aufbau der vorliegenden Arbeit ist in Abbildung 1 dargestellt. Zunächst wird in Kap. 3 der Stand des Wissens untersucht. Es werden Aspekte des Managements von Neuen Technologien in Kap. 3.1 dargestellt und die Problemstellung abgeleitet. Herausforderungen und Merkmale Neuer Technologien werden anhand des Technologielebenszyklus, den Treibern der Technologieentwicklung und dem Technologiewissen allgemein aufgezeigt (Kap. 3.1.2). Die Technologierelevanz als ein Ansatz der Technologiebewertung sowie ihre Funktionssichtweise werden dargestellt (Kap. 3.1.3) und eine Definition für diese Arbeit gegeben (Kap. 3.1.3.4).

Anschließend wird in Kap. 3.2 der Stand des Wissens der Nanotechnologie mit Bezug zur Problemstellung dieser Arbeit beschrieben. Es werden Definitionen für Nanotechnologie aus der Literatur vorgestellt, ihre phänomenologischen Grundlagen für diese Arbeit abgeleitet sowie die Nanotechnologie als Neue Technologie verortet. Funktionalitäten und Materialien der Nanotechnologie werden anschließend dargestellt. Darauf aufbauend wird eine Schwerpunktlegung und damit Eingrenzung des Technologiefelds Nanotechnologie vorgenommen (Kap. 3.2.5). Schließlich werden Defizite und Ansatzpunkte für einen verstärkten Einsatz der Nanotechnologie aus Technologiesicht zusammengefasst, woraus Anforderungen an das Verfahren abgeleitet werden.

Ein weiterer Schwerpunkt des Stand des Wissens stellen die Produktplanungsmodelle und die methodischen Ansätze zur Analyse und Bewertung von Technologien dar (Kap. 3.3 und 3.4). Zunächst wird ein Überblick über Prozessmodelle der Produktplanung mit Fokus auf die Produktfindung gegeben. Diese werden vor dem Hintergrund der Ausgangsfragestellung diskutiert und in Bezug auf Schwerpunkt des Planungsansatzes, Systematik der Lösungsfindung und Wissensakquisition und -integration mit der Zielsetzung des eigenen Ansatzes verglichen (Kap. 3.3.5) sowie Defizite abgeleitet (Kap. 3.3.6). Ebenso werden in Kap. 3.4 einzelne Ansätze der funktionsorientierten Technologieanalyse und -bewertung dargestellt und in Bezug auf den Anwendungskontext, Wissensakquisition und Anwendbarkeit für Neue Technologien mit der Zielsetzung des eigenen Ansatzes verglichen (Kap. 3.4.6). Defizite und Anforderungen an das Verfahren werden genannt (Kap. 3.4.7).

Die Defizite der Anwendung der Nanotechnologie, der Produktplanung und der Methoden werden in Kap. 3.5 zusammengefasst (Tabelle 16). Gemeinsam mit der Zielsetzung in Kap. 2.1 bilden sie die Grundlage für die Entwicklung des Verfahrens zur funktionsbasierten Technologierelevanzanalyse der Nanotechnologie für die Produktplanung in Kap. 4 sowie für die Beschreibung der Anforderungen an das Verfahren (Kap. 5).

Das in dieser Arbeit zu entwickelnde Verfahren zur funktionsbasierten Analyse wird in Kap. 6 ausführlich beschrieben. Mit ihm können Anwendungsfelder der Nanotechnologien in Produkten identifiziert und die Relevanz der Nanotechnologie aufgrund des funktionalen Lösungsbeitrags für Produkte analysiert und bewertet werden. Das Verfahren wird unterstützt durch einen strukturierten Zugang zur Nanotechnologie und die Einbindung von Experten.

Die praktische Umsetzung des Verfahrens in zwei Unternehmen wird in Kap. 7 beschrieben. Das erste Unternehmen Alpha hatte bisher noch keine Berührungspunkte mit der Nanotechnologie, sodass die Identifikation von Anwendungsfeldern im Mittelpunkt stand. Das zweite Unternehmen Beta hatte bereits in vorherigen Analysen Anwendungsfelder identifiziert, hier lag das Hauptaugenmerk auf der Ergänzung der Anwendungsfelder, der Recherche neuer Materialien und Funktionseigenschaften sowie dem anwendungsspezifischen Kontakt zu Experten.

In Kap. 8 wird das Verfahren in Bezug auf die in Kap. 5 formulierten Anforderungen evaluiert. Damit wird bewertet, in wie weit die in der Zielsetzung formulierte Aufgabenstellung in unter-

schiedlichen Anwendungsumgebungen realisiert werden konnte. Ausgewählte Fragestellungen hinsichtlich des Verfahrens und seiner Umsetzung werden kritisch diskutiert.

In Kap. 9 wird eine Zusammenfassung sowie ein Ausblick auf weiterführende Forschungsfragen gegeben.

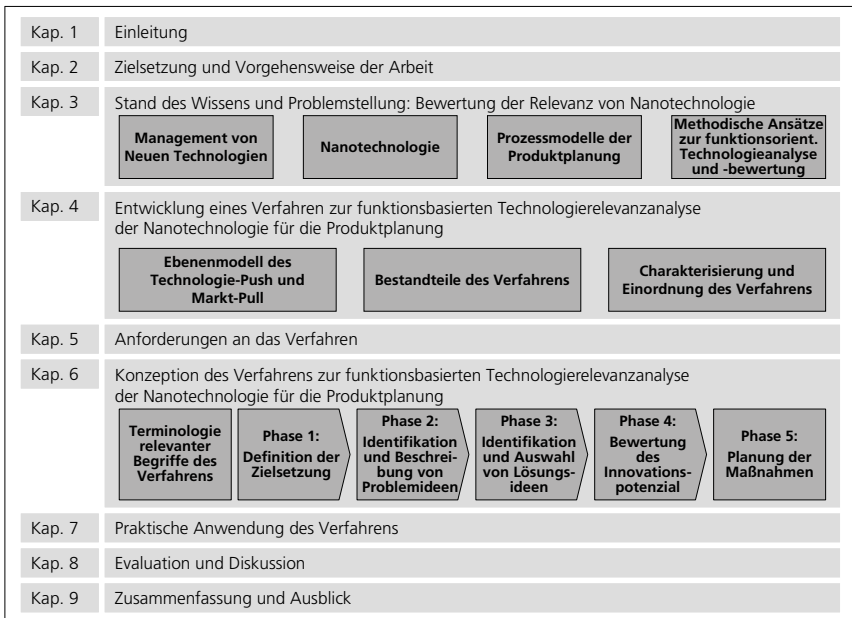


Abbildung 1: Vorgehensweise in dieser Arbeit zur Entwicklung eines Verfahrens zur funktionsbasierten Technologierelevanzanalyse von Nanotechnologie für die Produktplanung

## 3 Stand des Wissens und Problemstellung

### 3.1 Management von Neuen Technologien

#### 3.1.1 Zentrale Begriffe und Aufgabenstellung

Eine **Innovation** ist nach Schumpeter die erfolgreiche Durchsetzung einer neuen Kombination technischer oder organisatorischer Art am Markt (Hauschildt 2004, S.8). Ziel ist es, diskontinuierlich die bestehende Lösung so zu übertreffen, dass Wettbewerbsvorteile daraus entstehen und durch eine Nutzenerfüllung ein wirtschaftlicher Erfolg realisiert wird.<sup>5</sup> Eine technologische Innovation ist dann das Ergebnis eines Prozesses, an dessen Ende die technische Neuheit oder neue Nutzung steht. Technische Weiterentwicklungen oder Neue Technologien sind Grundlage und Initialzündung dieses Prozesses und treiben ihn voran, indem neue technische Lösungsprinzipien neue Produktfunktionen schaffen oder existierende besser lösen (Specht, D., Möhrle 2002, S.94; Vahs, Burmester 2005, S.44; Hauschildt 2004, S.8; Zahn 2004, S.125; Gerybadze 2004, S.3; Day et al. 2000, S.vi).

**Technologien** sind Aussagesysteme über Ziel-Mittel-Relationen und stellen das Wissen von technologischen Problemlösungen und Funktionsprinzipien dar (Bullinger 1994a, S.32; Zahn 2004, S.125; Vahs, Burmester 2005, S.2). Neue Technologien sind im Besonderen durch neue Paradigmen und Funktionsweisen gekennzeichnet, die sich dynamisch auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse entwickeln und eine große Hebelwirkung und Eindringtiefe in bestehende und neue Industrien haben (vgl. Day, Schoemaker 2000, S.2, siehe ausführlich in Kap. 3.1.2.1).

Betrachtet man Innovationen durch Neue Technologien als neue **Ziel-Mittel-Kombination** (vgl. Spath et al. 2003, S.11; Hauschildt 2004, S.11), dann besteht die Kunst darin, das Mittel „Neue Technologie“ und das Ziel „Produktleistung“ so auf neue Weise zusammenzuführen, dass ein wirtschaftlicher Erfolg möglich wird und das nachhaltige Überleben des Unternehmens gesichert ist. Somit stellt die Beherrschung von Technologien eine zentrale Führungsaufgabe dar. Diese technologische Kompetenz fließt wertschöpfend in die Konzeption und Bewertung technischer Lösungsalternativen im Innovationsprozess ein (Warnecke, Bullinger 2003; Bullinger 1994a, S.32; Zahn 2004, S.125/130; Herstatt 2003, S.251; Gerybadze 2004, S.34).

Zwei Aspekte sind hierbei besonders relevant, die für die Arbeit von Bedeutung sind: Technologiewissen und Technologienutzung. So verstehen SPECHT und MÖHRLE **Technologiemanagement** als „die Planung, Organisation, Realisierung und Kontrolle des Wissens über Technologien“ (Specht, D., Möhrle 2002); STREBEL bezeichnet Technologiemanagement als Management von technologischem Wissen (Strebel 2003, S.23). ZAHN unterteilt dieses Wissen in „Kennen-Wissen“ als Verstehen von Technologien, „Können-Wissen“ als Anwendungswissen von Technologien und „Wollen-Wissen“, manifestiert in Technologiestrategien (Zahn 1995, S.4/15).<sup>6</sup> Dem gegenüber stärker gestaltungsorientiert ist z.B. die Sichtweise bei BULLINGER, wonach Tech-

---

<sup>5</sup> In dieser Arbeit werden, entsprechend dem Einsatz der Nanotechnologie in Produkten im Weiteren unter Innovationen solche von Gütern (Produktinnovation) und Produktionsverfahren verstanden (siehe auch Kap. 3.2.5, Abbildung 10). Der Einsatz der Nanotechnologie kann auch Neuerungen organisatorischer Art haben, z.B. was den Kompetenzaufbau oder die Prozessgestaltung für Technologieüberwachung anbelangt, oder neue Dienstleistungen, z.B. im Bereich der Laborinfrastruktur oder Analytik ermöglichen. Dies ist aber nicht Gegenstand dieser Arbeit.

<sup>6</sup> Vgl. hierzu auch die Kategorisierung von ökonomisch relevantem Wissen (Knowledge) in „Know-What“ (Fakten-Wissen), „Know-Why“ (Wissen über Wirkungsmechanismen), „Know-Who“ (Wissen, wer was weiß) und „Know-How“ (Fähigkeiten und Fertigkeiten) nach Lundvall, Johnson 1994 (S.27).

nologiemanagement als „integrierte Planung, Gestaltung, Optimierung, Nutzung und Bewertung von technischen Produkten und Prozessen aus der Perspektive von Mensch, Organisation und Umwelt“ definiert wird (Bullinger 1994a).<sup>7</sup>

Für die Arbeit hier sind die beiden Sichtweisen des Technologiewissens und der -nutzung von Bedeutung. Das Management von Neuen Technologien mit dem Ziel der Anwendung in Produkten beinhaltet die (erstmalige) Gestaltung solcher Technologien mit neuen Analyse- und Bewertungsprozessen (siehe Kap. 3.1.3) und – als Grundlage sowie Ergebnis dieses Prozesses – die Wissensverarbeitung von Technologien (siehe Kap. 3.1.2.3). Beide Aspekte sind erfolgsrelevante Bestandteile der Ideenfindung und -selektion zu Beginn des Innovationsprozesses.

Der **Innovationsprozess** wird verstanden als spezifischer Problemlösungsprozess mit einer Fuzzy Front End genannten Frühphase der Ideengenerierung. Nach GERYBADZE besteht die Grundform des Innovationsprozesses aus den drei Phasen Ideengenerierung und -selektion, Produkt- und Prozessentwicklung sowie Markteinführung und -durchsetzung (Gerybadze 2004, S.12).<sup>8</sup> In der Produkt- und Prozessentwicklung überschneiden sich der Innovations- und der **Technologieentwicklungsprozess** (Abbildung 2). Letzterer besteht aus den Phasen Grundlagenforschung, Technologieentwicklung (synonym zur Angewandten Forschung), Vorentwicklung sowie Produkt- und Prozessentwicklung, deren Ergebnis die unmittelbare Markteinführung eines Produktes ist (Herstatt, Verworn 2003a; Pleschak, Sabisch 1996, S.24; Specht, G. et al. 2002, S.16).

In der frühen Phase des Innovationsprozesses erfolgt die **Produktfindung**, indem durch die Generierung und Selektion von Produktideen sowie deren konzeptionelle Ausarbeitung Chancen für neue Produkte aufgegriffen und vorgeplant werden. Impulse für neue Produktideen kommen von außen in Form neuer Marktanforderungen oder technologischer Entwicklungen, deren Potenziale und Anforderungen in die frühen Entwicklungsphasen einfließen sollen. Oder sie entstehen unternehmensintern zur Sicherung oder Expansion des Unternehmens z.B. durch Rationalisierungsmaßnahmen (Herstatt, Verworn 2003b; Khurana, Rosenthal 1997; VDI 1983, S.28; Thomke, Fujimoto 2000). Die Produktfindung ist zentraler Aufgabenbereich der **Produktplanung** (Specht, D., Möhrle 2002, S.243). In dieser Arbeit wird nach VDI-Richtlinie 2220<sup>9</sup> unter der Produktplanung die „systematische Suche und Auswahl zukunftssträchtiger Produktideen und deren Verfolgung“ auf der Basis der Unternehmensziele verstanden (VDI-2220 1980, S.2).

Abbildung 2 zeigt die einzelnen Phasen des Innovations- und Technologieentwicklungsprozess sowie deren Überschneidung in der Produkt- und Prozessentwicklung (in Anlehnung an Specht, G. et al. 2002, S.16; Herstatt, Verworn 2003a, S.9; VDI-2220 1980, S.6; Seidel 2005, S.11).<sup>10</sup> Für die Generierung von neuen Produktideen, die auf neuen, möglicherweise noch nicht ausentwickelten Technologien wie der Nanotechnologie beruhen, müssen die frühen Phasen bzw. die Ideenfindung und die Technologieentwicklung schon so miteinander verzahnt werden, dass folgende Fragen beantwortet werden können:

---

<sup>7</sup> Eine umfassende Zusammenstellung von Technologiemanagement-Ansätzen findet sich bei Tschirky 1998.

<sup>8</sup> Weitere Phasenmodelle finden sich z.B. bei Verworn, Herstatt 2002; Vahs, Burmester 2005; Brockhoff 1999 (S.38); Tschirky 1998 (S.238); Pleschak, Sabisch 1996 (S.24); der Stage-Gate-Ansatz von Cooper 2001; das Chain-Link-Modell von Kline, Rosenberg 1986 und Ulrich, Eppinger 2004.

<sup>9</sup> VDI-Richtlinie 2220: Produktplanung – Ablauf, Begriffe und Organisation.

<sup>10</sup> Eine solche Kopplung bzw. Parallelisierung von Forschung und Innovationsprozess wird z.B. explizit durch das Chain-Link-Modell propagiert (Kline 1985a; Kline, Rosenberg 1986, S.289; Gerybadze 2004, S.24; OECD 1997, S.37; siehe das Chain-Link-Modell in Kap. 3.3.4 sowie das Prozessmodell in Abbildung 51, Anhang Kap. 11.3.4).

- Welche Neuen Technologien (Lösungsidee) ermöglichen (neue) Produktfunktionen? Bzw. Welche neuen Mittel können ein neues oder bekanntes Ziel der Ziel-Mittel-Kombination erfüllen?
- Welche neuen Produkthanforderungen (Problemideen) setzen neue technologische Funktionen voraus? Bzw. Welche neuen Ziele erfordern neue Mittel als Ziel-Mittel-Kombination?

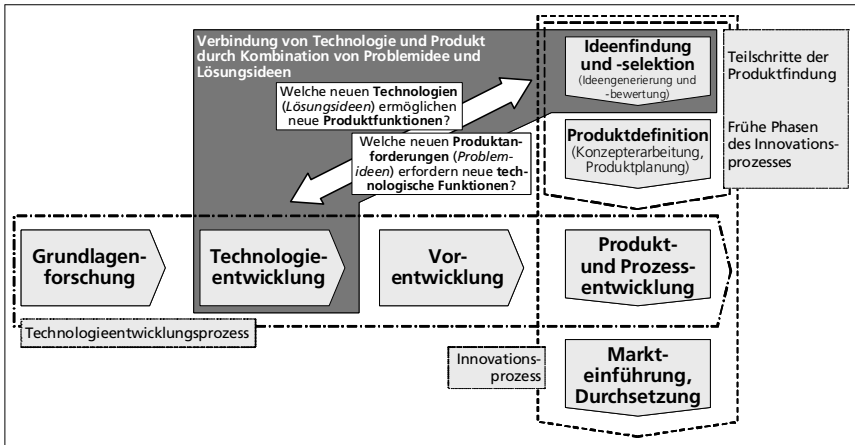


Abbildung 2: Phasen des Innovations- und Technologieentwicklungsprozess und die Verbindung von Technologie und Produktideen (Eigene Darstellung in Anlehnung an Specht, G. et al. 2002; Herstatt, Verworn 2003a; VDI-2220 1980)

In der Produktfindung der Produktplanung werden Produktideen gesammelt oder methodisch gesucht und auf planerischer Ebene ausgestaltet. Aufgrund der grundsätzlichen Bedeutung für Innovationen hat die Produktfindung eher strategischen Charakter und einen mittel- bis langfristigen Planungshorizont. Entsprechend der Sichtweise von Innovationen als neue Ziel-Mittel-Kombination werden Problem- und Lösungsideen zusammengebracht. Problemideen beschreiben ein erkanntes Problem eines Produktes als Anforderung, für die nach Lösungen gesucht wird; dagegen repräsentieren Lösungsideen eine technische Lösung für eine geforderte Produktfunktion (VDI-2220 1980, S.6; Brandenburg 2002, S.82). Abbildung 3 zeigt die Teilschritte der Produktfindung in der Produktplanung nach VDI-Richtlinie 2220 (VDI-2220 1980).



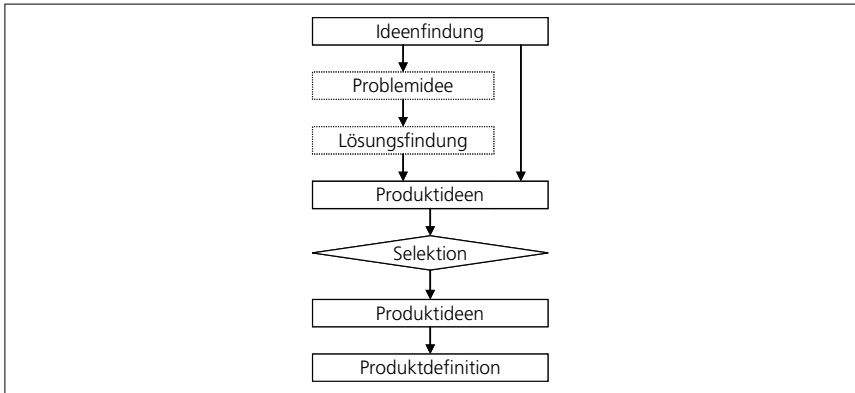


Abbildung 3: Produktfindung in der Produktplanung (VDI-2220 1980)

Legt man die in Abbildung 2 dargestellten Zusammenhänge zwischen Technologieentwicklung und Produktplanung zugrunde und berücksichtigt die im Weiteren dargestellten Herausforderungen von Neuen Technologien in diesem Wechselspiel (Kap. 3.1.2) sowie die ausgeführten Defizite (Kap. 3.5), so können zwei wesentliche Herausforderungen bei Innovationen mit Neuen Technologien identifiziert werden, die das Problemfeld dieser Arbeit beschreiben:

- Die Produktfindung der Produktplanung wird als kreativer, offener Teil im Innovationsprozess mit einem Fuzzy Front End verstanden, deren Beherrschung entscheidend für den Innovationserfolg ist. Dem steht jedoch eine große Unsicherheit über Marktanforderungen und technische Potenziale von Technologien und deren Machbarkeit gegenüber bei nur geringen zeitlichen Aufwand für erste Analysen (vgl. Cooper, Kleinschmidt 1994; Cooper, Kleinschmidt 1986, Herstatt, Verworn 2003a). Dieses Problem verstärkt sich bei Neuen Technologien, deren Zusammenhänge, Wirkmechanismen und Einsatzbereiche häufig völlig unbekannt sind.
- Diese Neuen Technologien, die möglicherweise eine Relevanz für das Unternehmen besitzen und Grundlage für Innovationen sein können, müssen identifiziert und bewertet sowie umgesetzt werden. Dies erfordert ein systematisches und methodisches Vorgehen, welches technologische Potenziale und Markchancen zusammenführt und bewertet. Hintergrund ist der funktionale Lösungsbeitrag einer Technologie, ihre strategische Bedeutung und Wettbewerbsrolle für die Branche und die zukünftige Entwicklung (Wolfrum 1994, S.81). Für bereits eingeführte Technologien kann auf eine Informations- und Methodenbasis aufgrund eigener Erfahrungswerte und bekannter Bewertungsansätze zurückgegriffen werden. Bei Neuen Technologien ist oftmals unklar, wo genau die Nutzungsmöglichkeiten der Technologie liegen, welcher anwendungsseitige Bedarf dafür existiert und wie dieser identifiziert werden kann, und welche Bewertungsparameter hierfür notwendig sind.

Daraus folgt, dass Unternehmen, wollen sie ihre Ausgangslage und Fähigkeit zur technologischen Innovationen erhalten oder verbessern, den Prozess des „Suchen und Finden“ von Neuen Technologien für (neue) Anwendungen und das methodische Vorgehen zur Analyse und Bewertung beherrschen müssen (vgl. Westkämper, Balve 2003, S.274). Die Herausforderungen betreffen neben dem systematischen und methodischen Vorgehen (siehe Kap. 3.3 und 3.4) die Fragen der Entwicklungsdynamik und Anwendungsbreite einer Technologie (Kap. 3.1.2.2), die Treiber

für technologische Innovationen (Kap. 3.1.2.1), die notwendige Technologiekompetenz und Wissensquellen (Kap. 3.1.2.3) sowie die Bewertung der Technologierelevanz (Kap. 3.1.3).

### 3.1.2 Wesensmerkmale neuer Technologien

#### 3.1.2.1 Technologiedynamik und -lebenszyklus

##### Lebenszykluskonzepte

Der Lebenszyklus von Technologien ist ein an den Produktlebenszyklus angelehntes Modell zur idealtypischen Beschreibung des Entwicklungsverlaufs einer Technologie. Abbildung 4 stellt den allgemeinen Verlauf des technischen Niveaus eines technologischen Wirkprinzips nach dem S-Kurvenkonzept entlang der Zeit dar (nach Pleschak, Sabisch 1996, S.91).<sup>11</sup> Das technische Niveau eines Wirkprinzips I zeigt ein S-förmiges Wachstum über die Zeit, bis eine gewisse Sättigungsgrenze erreicht wird (Reifephase) und es durch ein neues Wirkprinzip II abgelöst wird (Technologiesprung, Technologiesubstitution). Dieses startet auf höherem Niveau ( $II_a$ ) oder zunächst niedrigerem Niveau ( $II_b$ ) wie das alte Wirkprinzip.

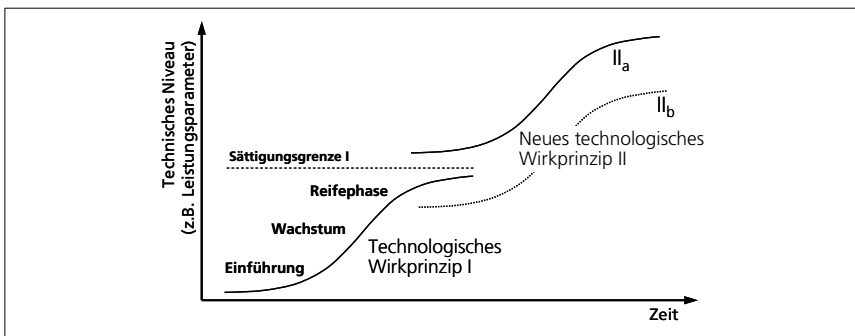


Abbildung 4: Lebenszyklus technologischer Wirkprinzipien (Pleschak, Sabisch 1996)

Für Unternehmen impliziert das Lebenszyklusmodell, Technologien in ihrer Entwicklung genau zu beobachten. Gegebenenfalls muss in ganz neue Wirkprinzipien investiert, alte substituiert oder neue Wirkprinzipien entwickelt werden (vgl. Zahn 2004, S.129; Christensen, C. 2003; Wolfrum 1994, S.371f).

Das Lebenszyklusmodell verdeutlicht die begrenzte Nutzungsdauer und den Wechsel von Technologien sowie das schnell steigende technische Niveau in der Wachstumsphase. Jedoch besitzt das Modell nur begrenzte Gültigkeit, weil nicht alle Technologie sich idealtypisch entwickeln, z.B. weil Technologienentwicklung und Marktanforderungen nicht synchron verlaufen. Hinzu

<sup>11</sup> In der Literatur existieren verschiedene spezifische Kurvenkonzepte der Technologieentwicklung (vgl. Specht, D., Möhrle 2002, S.377). Diese tragen das Kosten-Nutzenverhältnis bzw. den Kundennutzen gegenüber den FuE-Aufwänden auf (S-Kurvenkonzept von McKinsey in Wolfrum 1994, S.116, Gausemeier et al. 2001, S.55), den Verlauf von Deckungsbeitrag und Umsatz gegenüber den Lebensjahren (Bullinger 1994a, S.109) oder den Grad der Technologieausbreitung über die Zeit (Specht, D., Möhrle 2002, S.356). MEYER-KRAMER und DREHER schlagen ein dreidimensionales Innovationspfad-Modell vor, bestehend aus sechs Phasen, das Wissenschaftszyklen mit Diffusionsmodellen kombiniert (Meyer-Kramer, Dreher 2004, S.28). Das Konzept des „Hype Cycle“ zeigt zudem, dass das Standardwachstum einer Technologie unterbrochen sein kann (Dreher et al. 2006, S.280).

kommt, dass sich durch die Technologiesubstitution die Leistungsparameter und Randbedingungen und somit die Bewertungsgrundlage ändern können (vgl. Wolfrum 1994, S.131; Specht, D., Möhrle 2002, S.356). Für Querschnittstechnologien gibt es zudem keine S-Kurve, die repräsentativ für die Entwicklung ist. So zeigen GRUPP und HULLMANN, dass einzelne Bereiche der Nanotechnologie unterschiedliche Positionen im Technologielebenszyklus haben können (Grupp 1993, S.69; Hullmann 2001, S.159).

Findet die Entwicklung innerhalb einer technologischen Trajektorie statt, sind die Veränderungen inkrementeller oder evolutionärer Art. Radikale oder revolutionäre Veränderungen sind dagegen durch einen hohen Neuigkeitsgrad und große Komplexität, basierend auf einem neuen technologischen Paradigma gekennzeichnet.<sup>12</sup>

## Technologietypen

Für das Verständnis von Technologien und ihrer wirtschaftlichen Bedeutung ist die Kombination von Technologielebenszyklus und Technologietyp hilfreich. Technologien werden nach ihrem gegenwärtigen Entwicklungsstand (Reife) und ihrer Bedeutung für Branchen, Kunden- oder Geschäftsfelder in neue, Schrittmacher-, Schlüssel- und Basistechnologien eingeteilt.<sup>13</sup> Während die wettbewerbsstrategische Bedeutung für neue Technologien aufgrund technischer und ökonomischer Probleme noch nicht abgeschätzt werden kann, wird von den Schrittmachertechnologien ein großer, nachhaltiger Einfluss auf die Marktpotenziale und die Wettbewerbsdynamik erwartet. Schlüsseltechnologien haben die größte strategische Bedeutung für den Wettbewerb. Sie bestimmen als Differenzierungsmerkmal maßgeblich die aktuelle Position des Unternehmens im Markt und sind fester Bestandteil des branchenspezifischen Technologie-Sets. Basistechnologien haben einen großen Verbreitungsgrad, sind jedoch kein Mittel für die Differenzierung im Wettbewerb. Nano- und Biotechnologie werden z.B. zu den Schlüsseltechnologien gezählt, wenn auch gegenwärtig die Merkmale in Tabelle 1 der Nanotechnologie eher den Typus Schrittmachertechnologie zuweisen (siehe ausführlich in Kap. 3.2.3). DOLATA nennt vier, sich bedingende Grundvoraussetzungen zur Qualifizierung einer **Schlüsseltechnologie** (Dolata 1993, S.744f), die auch auf die Nanotechnologie zutreffen: Zentrale wissenschaftliche Grundlagen, Herausbildung einer Querschnittstechnologie mit übergreifendem Anwendungsprofil, Niederschlag in einer Vielzahl innovativer Produkte mit besseren Leistungsmerkmalen sowie eine Relevanz für die Gesellschaft und deren Konsumverhalten sowie Lebensweise.

Im Zusammenhang von hochinnovativen Schlüsseltechnologien, die auf besonders neuen technologischen Entwicklungen mit wissenschaftlichen Grundlagen aufbauen, wird auch von Neuen Technologien oder emergenten Technologien gesprochen (vgl. Gerpott 1999, S.19).<sup>14</sup> Diese Charakterisierung dient weniger einer Zuordnung zu einer frühen Phase des Technologielebenszyklus.<sup>15</sup> Sie drückt vielmehr das stark forschungsbasierte oder revolutionäre Technologiepoten-

---

<sup>12</sup> Vgl. Hauschildt 2004 (S.14/17); Pleschak, Sabisch 1996 (S.2); Specht, D., Möhrle 2002 (S.9); Christensen, C., Raynor 2004 (S.35f); Verworn, Herstatt 2003; Vahs, Burmester 2005 (S.85); zur Trajektorie vgl. Osterloh, von Wartburg 1998 (S.143). Innerhalb dieser Einteilung gibt es auch Zwischenstufen oder dynamische Entwicklungen. So können inkrementelle Innovationen zur disruptiven werden (vgl. Hacklin et al. 2004). Weitere Kategorien und Dichotomien für Innovationstypen finden sich bei Garcia, Calantone 2002 und Gatignon et al. 2002.

<sup>13</sup> Vgl. Bullinger 1994a (S.96); Gausemeier et al. 2001 (S.59); Specht, D., Möhrle 2002 (S.9/297); Gerybadze 2004 (S.130); Spur 1998; Heinrich 1999; Dolata 1993 (S.744f). Eine umfassende Begriffsdifferenzierung und Kategorisierung unterschiedlicher Arten von Technologien findet sich bei Spur 1998 (S.86ff).

<sup>14</sup> Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) zählt z.B. in seiner Hightech-Strategie zu den zukunfts-trächtigen Neuen Technologien die Bereiche Elektronik und Elektroniksysteme, Informationsgesellschaft, Mikrosystemtechnik, Nanotechnologie, Optische Technologien, Produktionsforschung, Werkstoffforschung und Sicherheitsforschung (siehe <http://www.bmbf.de/de/1000.php>, Aufruf am 28.09.2007).

<sup>15</sup> Wie z.B. embryonische Technologie (Spur 1998; Heinrich 1999; Gerybadze 2004, S.131).

zial aus und die besondere zukünftige gesellschaftliche und wirtschaftliche Relevanz (vgl. BMBF 2006b). Dieses Potenzial beruht auf neuen Paradigmen und Funktionsweisen, entwickelt sich hochdynamisch, basiert auf wissenschaftlichen Erkenntnissen und hat eine große Hebelwirkung und Eindringtiefe in bestehende und neue Industrien (Day, Schoemaker 2000, S.2).

Tabelle 1 zeigt die Einteilung der Technologietypen anhand unterschiedlicher Merkmale und deren Ausprägung (nach Gausemeier et al. 2001, S.60; Wolfrum 1994, S.112; Spur 1998, S.88).

Tabelle 1: Technologietypen (nach Gausemeier et al. 2001; Wolfrum 1994; Spur 1998)

Merkmale \ Technologietyp	Schrittmacher-technologien	Schlüssel-technologien	Basistechnologie
<b>Lebenszyklusphase</b>	Entstehung	Wachstum	Reife
<b>Marktdynamik</b>	Einleitung/Beschleunigung des Fortschritts der Markteinführung	Bestimmung/Sicherung des Marktzuwachses	Beherrschung als Voraussetzung des Markterfolgs
<b>Unsicherheit über technische Leistungsfähigkeit</b>	hoch	mittel	niedrig
<b>Investition in Technologieentwicklung</b>	niedrig	maximal	niedrig
<b>Breite der potenziellen Einsatzgebiete</b>	unbekannt	groß	etabliert
<b>Typ der Entwicklungsanforderung</b>	wissenschaftlich	anwendungsorientiert	anwendungsorientiert
<b>Zugangsbarrieren</b>	Wissenschaftliche Fähigkeit	Personal	Lizenzen
<b>Verfügbarkeit</b>	sehr eingeschränkt	Restrukturierung	marktorientiert

### Anwendungskontext der Technologie

Die Dynamik einer Technologie bezieht sich nicht allein auf deren zeitliche Entwicklung, sondern auch auf die Anwendungsbreite und Durchdringungen von Einsatzgebieten, indem sie andere substituiert, komplementär ergänzt oder ein ganz neues Feld schafft (vgl. Bullinger 1994a, S.97; Specht, D., Möhrle 2002, S.137/309/380):

- Eine *Konkurrenztechnologie* kann aus Nutzersicht gleiche oder ähnliche Funktionen und damit Nutzen erzeugen. Stellt sie unter technisch-ökonomischen Gesichtspunkten eine Lösungsalternative dar, wird sie zur Substitutionstechnologie – bei erfolgreicher Substitution auch „Killertechnologie“ – und löst bestehende Technologien ab. Der Prozess der Technologiesubstitution ist häufig diskontinuierlich.
- Eine *Komplementärtechnologie* kann eine technische Problemlösung ergänzen, ohne die andere Technologie zu verdrängen.
- Ein *Neues Technologiefeld* kann sich aus neuen Entdeckungen ergeben, indem neue Wirkprinzipien erforscht werden. Diese finden in unterschiedlichen, neuen Einsatzgebieten Anwendung und entstehen oftmals an der Grenzfläche zwischen Technologien.

Die Dynamik einer Technologie wird außerdem durch die wechselseitige Abhängigkeit mit anderen Technologien sowie die branchenbezogene Anwendungsbreite bestimmt. Querschnittstechnologien wie die Nanotechnologie werden auch Enabling Technologies oder Plattformtechnologie genannt, weil sie durch ihr breites Anwendungsfeld verknüpfend wirken und Grundlage für andere Technologien sind (Specht, D., Möhrle 2002; Spur 1998, S.87f; Shea 2005, S.190). Insofern können sie eine konkurrierende, komplementäre oder neue Stellung zu etablierten Technologien einnehmen und in verschiedenen Branchen Anwendung finden, ohne direkt als

Produkt zum Einsatz zu kommen (BMBF 2002, S.5; Bachmann 1998, S.7; Heubach et al. 2005, S.6; Spath et al. 2004).

### **3.1.2.2 Treiber technologischer Innovationen**

Impulsgeber und Treiber für die Innovation sind entsprechend ihrer Betrachtung als neuartige Ziel-Mittel-Kombination die Technologie (mittelinduzierte Innovation) und/oder der Markt (zweckinduzierte Innovation), also Technologie-Push oder Markt-Pull (vgl. Vahs, Burmester 2005, S.80; Spath et al. 2003). Für diese Arbeit sind dabei zwei Aspekte von besonderer Bedeutung (vgl. Gerpott 2005, S.51): Die Herkunft der Ideen für Innovationen und die Wissensbereiche, in denen nach neuen Lösungen geforscht wird; sowie die möglichen Innovationsarten durch Technologie-Push oder Markt-Pull und Nutzung ihrer jeweiligen Vorteile.

Das Markt-Pull-Konzept verfolgt den Ansatz, dass Entwicklungsaktivitäten durch latente unbefriedigte Kundenbedürfnisse initiiert werden. Diese zweck- oder nachfrageinduzierte Innovation stellt meistens eine Verbesserungsinnovation dar, was „naheliegend ist“, ausgelöst z.B. durch Marktforschung wie Kundenbefragungen (vgl. Specht, D., Möhrle 2002, S.168; Vahs, Burmester 2005, S.80; Hippel 1995). Der Pull-Ansatz hat den Vorteil, dass das entwickelt wird, was dem Kundenbedarf entspricht und nicht, was Entwickler sich wünschen. Jedoch liefert der Markt-Pull meistens nur Produktinnovationen mit kurzfristigem Horizont.

Echte Technologieschübe lassen sich hingegen durch die Produktisierung technologischer Potenziale, Fähigkeiten und Know-how erreichen (Eversheim 2003, S.25). Der Technologie-Push legt den Grundstein für mittel- oder angebotsinduzierte Innovationen, angetrieben durch z.B. eine Neue Technologie oder die neuartige Kombination oder Konvergenz von bestehenden Technologien. Diese Technologien beruhen weitgehend auf autonomen, naturwissenschaftlich-technischen Erkenntnisdurchbrüchen. Sie markieren einen neuen Stand der Technik. Häufig müssen erst neue Anwendungen erschlossen, Anforderungen identifiziert oder neue Märkte geschaffen werden (vgl. Wolfrum 1994, S.104; Herstatt, Lettl 2000, S.2; Specht, D., Möhrle 2002, S.385; Pleschak, Sabisch 1996, S.2).

Die gängigen Modelle des Push und Pull kommen jedoch in einem turbulenten technologischen Wandel an ihre Grenzen (Zahn 2004, S.128). Die Entwicklung der bisher stark möglichkeitsgetriebenen Nanotechnologie zeigt, dass es nicht ausreicht auf Durchbrüche in der Anwendung allein aufgrund der Wirkmächtigkeit der Nanotechnologieentwicklung zu vertrauen. Die technologischen Möglichkeiten und die neuen Anforderungen und Einsatzgebiete müssen zusammengeführt werden (vgl. Spath et al. 2004; BMBF 2006c; Herstatt, Lettl 2000, S.2; Iden, Heubach 2007; Zweck 2005, S.177). Daraus folgt, dass Unternehmen nicht nur Kenntnis erlangen müssen über neue Anforderungen des ihnen oft bekannten Marktes, sondern auch über neue technologische Möglichkeiten, die bei Neuen Technologien oftmals außerhalb des bisherigen Erkenntnis- und Erfahrungsbereichs liegen (vgl. Wolfrum 1994, S.106; Cooper, Kleinschmidt 1986; Hauschildt 2004, S.11; Doering, Parayre 2000, S.76). Neue Instrumente und Kompetenzen sind deshalb besonders in den frühen Phasen notwendig, um die eher antizipative, explorative und adaptive Herangehensweise zu unterstützen und Push und Pull zu integrieren. Das Denken in abstrahierten Funktionen ist dabei ein Ansatz, um von Neuen Technologien auf zukünftige Anwendungsfelder zu projizieren (Herstatt, Lettl 2000, S.2; Zahn 2004, S.127).

### 3.1.2.3 Technologiewissen und Informationsquellen

Die Frage, woher die Ideen für neue technologische Ansätze und innovative Produkte kommen, ist ein zentraler Erfolgsfaktor. Ein Wettbewerbsvorteil entsteht aus der schnellen und zielsicheren Aufnahme und Verarbeitung von Informationen zu neuen technologischen Potenzialen.<sup>16</sup> Während Neue Technologien aber in besonderem Maße wissens- und naturwissenschaftsbasiert sind, ist das Kennzeichen der frühen Phasen des Innovationsprozesses bzw. der Produktplanung gerade ein hohes Maß an marktseitigen und technischen Unsicherheiten und fehlenden Informationen, auch über die Leistungsfähigkeit von Neuen Technologien (Herstatt, Verworn 2003a). Die gezielte Sammlung von wissenschaftlich-technischem Wissen, das außerhalb des bisherigen Such- und Erfahrungsbereichs liegt, gewinnt deshalb an Bedeutung. Dieses Wissen findet sich eher in externen, weitgehend unstrukturierten Quellen als in statischen wie z.B. Katalogen mit konstruktiven Prinziplösungen für technische Produkte (vgl. Gerybadze 2004, S.32; Christensen, J. F. 1995, S.731; Pahl et al. 2005, S.65; Lichtenthaler 2004, S.121).

REGER nennt zwei Perspektiven für die Auswahl der Informationsquellen (Reger 2001a, S.80; Reger 2006, S.315): Der dominierende Inside-Out Ansatz („gerichtete Suche“) definiert Suchfelder innerhalb der Kerntechnologiebereiche des Unternehmens, meist Basis- oder Schlüsseltechnologien. Der Outside-In Ansatz („ungerichtete Suche“) sucht auch außerhalb der Kernbereiche nach Neuen Technologien und bewertet das Ergebnis hinsichtlich der Relevanz. Dieses technologische Wissen steht jedoch nicht in formalen Quellen wie Enzyklopädien und Datenbanken bereit. Vielmehr wird es nach GERYBADZE „erst dann zur differenzierungsfähigen Kompetenz, wenn wenige Spezialisten darauf Zugriff haben, wenn es spezifisch für bestimmte Anwendungen ist und in Routinen und Mitarbeiterteams eingebunden ist“ und sich somit aus informellen Quellen speist (Gerybadze 2004, S.126; Lichtenthaler 2002, S.38; Westkämper, Balve 2003, S.282). Die Identifikation von relevanten Experten<sup>17</sup> und deren Einbindung in den Technologieauswahl- und -bewertungsprozess, die Bildung von Netzwerken<sup>18</sup> sowie die Gestaltung der Informationsakquise<sup>19</sup> gewinnen deshalb zunehmend an Bedeutung für den Innovationsprozess (vgl. Grunwald 2006, S.63; Westkämper, Heeren 2001; Bullinger, Warschat 2007).

Um technologische Potenziale erkennen und spezifisch bewerten zu können, ist sowohl fachspezialisiertes Wissen als auch generelles Übersichtswissen notwendig. Einerseits muss der Suchraum breit aufgestellt werden, andererseits müssen detaillierte und belastbare Informationen über die Lösungsmöglichkeiten und den Entwicklungsstand der Technologie erfasst werden (vgl. Peiffer 1992, S.137; Staudt, Krause 2001, S.115). Informationsquellen sind demnach Experten mit *Übersichtswissen* und der Übersetzungs- und Adaptionfähigkeit zwischen dem Unternehmen und technologischen Entwicklungen sowie mit *Detailwissen* zu einer spezifischen Anwendung und einer Technologie (in Anlehnung an Lichtenthaler 2004, S.124ff, siehe auch Petkoff 1998).

---

<sup>16</sup> Vgl. VDI 1983 (S.99); Spur 1998 (S.154); Gerybadze 2004 (S.126); Arthur D. Little 2004 (S.1/13); Gassmann 2006 (S.4); Grunwald 2006 (S.65); Cohen, Levinthal 1989 (S.570); Lenox, King 2004 (S.331) und Westkämper, Hanselmann 2000 (S.28).

<sup>17</sup> Z.B. der Gatekeeper-Ansatz (OECD 1997, S.35; Hauschildt, Schewe 1999; Davis, Wilkof 1988, S.48), Technologieexperten (Reger 2006; Lichtenthaler 2002; Peiffer 1992) oder der Promotoren-Ansatz (Hauschildt, Gemünden 1999).

<sup>18</sup> Z.B. Technologie- und Wissensakquise (Koruna 1998; Staudt, Krause 2001), „Open Innovation“ als strategischer Ansatz eines unternehmensübergreifenden Netzwerks (Chesbrough 2006) oder das interaktive Innovationsmanagement (Fichter 2005).

<sup>19</sup> Z.B. Technology Intelligence (Lang 1998; Lichtenthaler 2002) oder der Einsatz des Internet im Innovationsprozess (nova-net 2006, S.17/28).

Die Übersetzung der Technologie ist bei Neuen Technologien besonders relevant, da häufig bisherige Erklärungs- und Erfahrungsmuster fehlen. Strukturierungswissen, codiert in einem genau vorgegebenen „Blueprint“, ist zunächst notwendiger als nanowissenschaftliches Grundlagenwissen (vgl. Christensen, J. F. 1995, S.734; Kornwachs 2006, S.75; Cohen, Levinthal 1990, S.133). Für die Nanotechnologie und unter Bezugnahme zur Fragestellung dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass das notwendige Wissen nicht komplett im Unternehmen abgebildet ist – zumindest gilt dies für die Unternehmen, die sich bisher noch nicht mit den Funktionalitäten von Nanomaterialien und -strukturen beschäftigt haben bzw. deren bisherige FuE nicht durch weitere Miniaturisierung konsequent in die nm-Dimension geführt hat (siehe Abbildung 8).

### 3.1.3 Technologierelevanzanalyse

#### 3.1.3.1 Ansätze der Technologiebewertung

Die Analyse und Bewertung von Neuen Technologien ist zentraler Bestandteil und Grundlage von Entscheidungen hinsichtlich der Entwicklung, Einführung und Nutzung von Technologien.<sup>20</sup> Die Analyse und Bewertung einer Technologie erfolgt durch Zumessung eines Wertes unter Bezug zu einem Wertesystem, welchem eine Präferenzstruktur zugrunde liegt (Patzak 1982, S.264; Brose 1982, S.185). Bei komplexen Systemen wird die Wertzuweisung anhand eines Bündels von Kriterien bewerkstelligt unter Einbezug entsprechender Methoden, die ein systematisches, analytisches Vorgehen gewährleisten. Je nach Zielstellung beruht die Analyse von Technologien auf verschiedenen Bewertungsparametern und unterschiedlich großen Betrachtungshorizonten. Die folgende Abbildung 5 zeigt die einzelnen Ansätze Technikbewertung, Technologiebewertung und Technologierelevanzanalyse hinsichtlich ihres Betrachtungshorizonts und dem zugrunde liegenden Umfang der Bewertungsparameter.

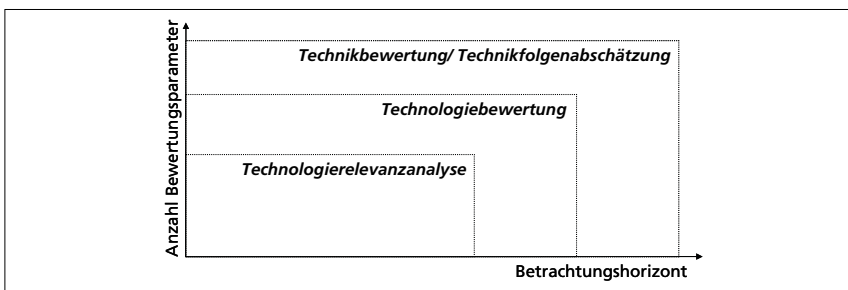


Abbildung 5: Bewertungsansätze für Technologien hinsichtlich ihres Betrachtungsraums (eigene Darstellung)

Die Technikbewertung oder Technikfolgenabschätzung (TA) greift eine gesellschaftliche Sicht in Bezug auf Neue Technologien auf. Das Ziel ist die systematische Messung und Bewertung der Technologieentwicklung in allen betroffenen Teilbereichen der ökologischen, ökonomischen und sozialen Umwelt hinsichtlich des gesellschaftlichen Wertesystems (siehe VDI-3780 2000; Albertshäuser, Malanowski 2004, S.24; Bullinger 1994b; Stein 2003; Grupp 1995, S.157). Dieser Ansatz hat in der letzten Zeit eine methodische Neuausrichtung hin zu einer Innovations-

<sup>20</sup> Siehe Specht, D., Möhrle 2002 (S.337); Bullinger 1996 (S.4-26); Ewald 1989 (S.46); Gerybadze 2004 (S.123); Day et al. 2000 (S.ix); Tschirky 1998 (S.296) und Peiffer 1992.

Technikanalyse (ITA) erfahren, um den Chancen-Aspekt neuer Techniken hervorzuheben. Sie wird häufig bei Neuen Technologien durchgeführt (vgl. Grupp 1995, S.157).<sup>21</sup>

Die Technologiebewertung grenzt einen sehr viel engeren und spezifischeren Rahmen ab. Bewertungsobjekte sind z.B. neue Ideen für Technologien und deren Nutzung, die Ziele und Aufgabenstellungen für die Entwicklung und Einführung neuer Technologien oder strategische Keep-or-Sell oder Make-or-Buy Entscheidungen (Specht, D., Möhrle 2002, S.337; Tschirky 1998, S.297). Je nach Zielsetzung des Bewertungsvorgangs enthält das Wertesystem monetäre und/oder nicht-monetäre Werte.

Die Bewertung der Relevanz einer neuen Technologie wird hingegen in dieser Arbeit noch enger gefasst und kontext- und unternehmensspezifisch analysiert und beurteilt.<sup>22</sup> Die **Technologierelevanzanalyse**<sup>23</sup> prognostiziert und bewertet den Erfüllungsgrad einer Technologie hinsichtlich der Frage, „*welche speziellen und gegebenenfalls erst entstehenden Technologien für ein vorhandenes oder denkbares Problem von potentiellen Kunden problemlösungsrelevant sind bzw. sein könnten*“ (Bullinger 1994a, S.101; Ewald 1989, S.57). Folgende Aspekte sind handlungsleitend in der Technologierelevanzanalyse:

- Die Ziel-Mittel-Verbindung von Kundenproblem und Technologie, die als lösungsorientierte *technologische Wertschöpfungskette* abgebildet wird (Kap. 3.1.3.2),
- die Problemlösungsrelevanz der Technologie, die als *funktionaler Problemlösungsbeitrag* bewertet wird (Kap. 3.1.3.3) sowie
- ein *prognostischer, planerischer Ansatz*, der das Potenzial von existierenden oder zukünftigen Technologien und/oder Kundenproblemen erfasst.

Diese Ziel-Mittel-Verbindungen sind zwar meist hochgradig unternehmensspezifisch, dafür aber von großer strategischer Bedeutung (Gerybadze 2004, S.124).

### 3.1.3.2 Wertschöpfungsketten-Modell der Technologierelevanzanalyse

Abbildung 6 zeigt die an kritischen Erfolgsmerkmalen ausgerichtete Relevanzanalyse (modifiziert nach Gerybadze 2004, S.123/125). Aus den Kundenbedürfnissen und Marktanforderungen erwachsen Leistungsmerkmale, die die Produkteigenschaften (Funktion) bestimmen. Im wissenschaftlich-technischen Umfeld entstehen neue Forschungsgebiete (als FuE) und Technologien, die ihrerseits relevant für die Produkte sind und auf irgendeine Weise Einfluss auf deren Eigenschaften nehmen. Durch rekursive Dekomposition der technologischen Wertschöpfungskette (von rechts nach links) werden die notwendigen Produkteigenschaften abgeleitet und relevante (neue) Technologien identifiziert. Gleichzeitig werden relevante Technologiepotenziale auf die Produkteigenschaften abgebildet, um erfolgsrelevante (neue) Leistungsmerkmale zu identifizieren und daraus (neue) Marktanforderungen zu generieren oder zu befriedigen. Somit wird die

---

<sup>21</sup> Zur TA in der Nanotechnologie siehe Cleemann, Peiffer 1992 (S.110); Malanowski 2003; Fleischer et al. 2004; Dietz 2004 sowie die TA-Studien Deutscher Bundestag 2004, Royal Society 2004 und Steinfeldt et al. 2004.

<sup>22</sup> GERYBADZE bemerkt zu Recht, dass die Technologieanalysen und Trendabschätzungen oftmals deshalb fehlerhaft verlaufen, weil Technologien „*kontextunabhängig und unter Verwendung allgemein zugänglicher Informationsquellen bewertet werden*“ (Gerybadze 2004, S.124). Dadurch werden zumeist nur Allgemeinplätze „*der Form ,die Nanotechnologie ist wichtig' zutage gefördert*“, was in Bezug auf die eingangs beschriebene Fragestellung (Kap. 1, 2.1 und 3.1.1) ungenügend ist.

<sup>23</sup> In ähnlichem Zusammenhang wird oftmals auch der Begriff des Technologiepotenzials verwendet. Nach KORNWACHS stellt das Potenzial einer Technologie „*ihre tatsächlichen und möglichen Anwendungsfelder, die zu erwartende Weiterentwicklung, die Chance für neuartige Lösungen bestehender Probleme und das Spektrum der positiven Verbesserung der Arbeits- und Lebensqualität*“ dar (Kornwachs 1995, siehe ausführlich in Spur 1998, S.90).



Grundlage geschaffen, um die Wertschöpfungskette für die Entwicklung und Herstellung von Produkten mit Nanotechnologie – von der Technologieentwicklung über die Verarbeiter von Nanomaterialien und die Systemlieferanten bis zu den Endproduktherstellern – aufzubauen.

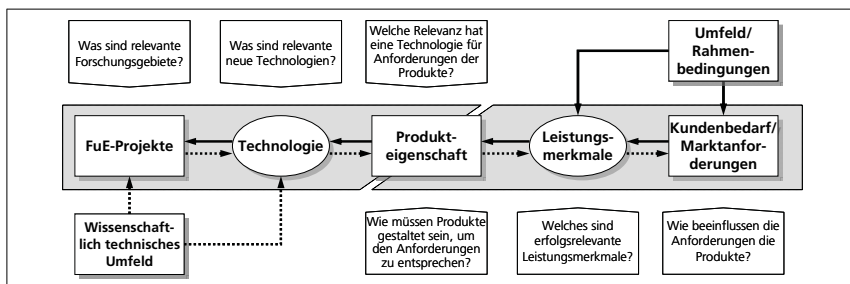


Abbildung 6: Wertschöpfungskette zur Technologieanalyse (modifiziert nach Gerybadze 2004)

### 3.1.3.3 Funktionsaspekt der Technologierelevanzanalyse

#### Wertzuweisung von Technologien

Die Bewertung der Technologierelevanz erfolgt nicht allein aufgrund einzelner singulärer Merkmale und ihres generellen Potenzials. Vielmehr muss die Technologiebewertung in den unternehmerischen Kontext eingebettet sein mit Bezug zum Produkt als Technologieträger. Der Markt des Produktes gibt den Rahmen vor, „*der eine sinnvolle Technologiebewertung möglich macht und gewährleistet, dass die Technologien, die zum Produkt ‚passen‘, zum Einsatz kommen*“ (Specht, D. et al. 1999, S.720). Der spezifische Wertbeitrag einer Technologie wird nach GERYBADZE anhand folgender Leitfragen beurteilt (Gerybadze 2004, S.129):

- *Erfüllungsgrad* (Leistungsbeitrag und Kundennutzen): Welchen spezifischen Beitrag zur Erfüllung bestimmter Erfolgsfaktoren und Leistungsmerkmale bietet die Technologie? Welchen Beitrag liefert eine Neue Technologie für die Erhöhung des Kundennutzens?
- *Reifegrad* (Technologielebenszyklus): In welcher technologischen Reifephase befindet sich die betrachtete Technologie?
- *Strategischer Nutzengrad* (Wettbewerbsdifferenzierung): Welche Rolle spielt diese Technologie bei der Wettbewerbsdifferenzierung und nachhaltigen Sicherung?

Die Bewertung vollzieht sich im unternehmerischen Kontext in einem betriebswirtschaftlichen und/oder technischen Wertesystem (vgl. Vahs, Burmester 2005, S.63; Breiing, Knosala 1997, S.18; Wolfrum 1994, S.173). Aus betriebswirtschaftlicher Sicht sind Qualität, Kosten und Zeit wesentliche Erfolgsfaktoren. Dagegen beziehen die technischen Zielsetzungen neben technischer Qualität und Wirkungsgrad auch die technische Leistung und Funktionalität mit ein. In der Literatur finden sich verschiedene Zusammenstellungen von Eigenschaften und Anforderungen technischer Systeme für eine detaillierte Bewertung.<sup>24</sup> Tabelle 54 (Anhang, Kap. 11.4.1) zeigt beispielhaft Einzelkriterien für die Bewertung von technischen Systemen.

<sup>24</sup> Siehe Breiing, Knosala 1997 (S.22); Brankamp 1996 (S.7-6); Pahl et al. 2005 (S.132) und Koller, Kastrup 1994.

## Funktionalität als Analyse- und Bewertungskriterium

Die Bewertung der Technologierelevanz für ein technisches System steht zunächst vor dem Problem, dass sich aus den individuellen Bedürfnisäußerungen „die zugehörigen technischen Objekte zu ihrer Befriedigung nicht direkt ableiten“ lassen (Ewald 1989, S.53) und die Technologie als Problemlösungs-Know-how ebenso keinen direkten Bezug zu Bedarfs- und Nutzenkategorien von Kunden aufweist. Aus Sicht der Kunden geht es bei der Funktionsfähigkeit um die „Brauchbarkeit“ des Systems und seiner Wirkungen. Aus technologischer Sicht geht es um die „Machbarkeit“, die Wirkungen herbeiführen zu können sowie um die „Wirksamkeit“ oder die technische Effizienz als Output einer möglichen Leistungssteigerung (VDI-3780 2000, S.13; Peiffer 1992, S.226).

Das Prinzip der Funktion erfüllt in der Technologierelevanzanalyse den Zweck der Wertzuweisung und Übersetzung (Abbildung 7). Der Wert einer Technologie ergibt sich aus der technologischen Leistungsfähigkeit und ihrem Innovationspotenzial, indem die gewünschte Funktion eines technischen Systems abgebildet und optimiert und damit seinen Nutzen verbessert wird. Die Funktion hat für die Analyse neuer Technologien eine weitere Aufgabe, die über die Wertzuweisung hinausgeht: Das „Denken in Funktionen“ als Paradigma der Technologiefrühaufklärung (Peiffer 1992, S.111) dient der Übersetzung zwischen Bedarfs- und Technologiekontexten und deren unterschiedlichen Sprachen. Durch Zugrundelegen des technischen Problems wird die Schnittstelle zwischen den technologieorientierten und bedarfsinduzierten Treibern der Technologieentwicklung geschaffen. Diese Schnittstelle „Funktion“ weist die geringste Komplexität auf, indem das Problem auf die zu lösende Funktion reduziert wird und ein Modell von vernetzten Technologie- und Anwendungsfeldern mit Funktionen als Bindeglied aufgebaut wird. Beispiele für Funktionalität als „Übersetzungssystem“ sind die Konstruktionskataloge<sup>25</sup>.



Abbildung 7: Aufgaben der Funktion in der Technologierelevanzanalyse (eigene Darstellung)

### Definition von Funktion

Die Funktion einer Technologie besteht darin, unter definierten Randbedingungen eine gewünschte Wirkung herbeizuführen. Die Wirkung als Vorgang oder Ergebnis wird als Beziehung zwischen Eingangs-, Ausgangs- und Zustandsgrößen eines Funktionssystems lösungsneutral beschrieben (VDI-3780 2000, S.13; VDI-2803 1996; VDI-2221 1993, S.40; Hubka, Eder 1992, S.94). Nach DIN-Norm 1325<sup>26</sup> können die Funktionstypen in nutzer- und produktbezogene Funktionen eingeteilt werden, bzw. „Zweckfunktion“ und „Systemfunktion“ nach Spielberg 2002 (S.66f). Diese Typisierung erlaubt die Konstitution von Ziel-Mittel-Kombination:

<sup>25</sup> Siehe z.B. die VDI-Richtlinie 2222: Konstruktionsmethodik – Erstellung und Anwendung von Konstruktionskatalogen (VDI-2222(BI.2) 1982) sowie Pahl et al. 2005; Breiing, Knosala 1997; Hubka, Eder 1992 und Ovtcharova 1997.

<sup>26</sup> DIN EN-Norm 1325-1: Value Management, Wertanalyse, Funktionenanalyse, Wörterbuch – Teil 1: Wertanalyse und Funktionenanalyse (DIN EN-1325(BI.1) 1996).

- *Zweckfunktionen* sind *nutzerbezogene Funktionen*, die die erwarteten oder erbrachten Wirkungen eines Produktes manifestieren, um einen Teil eines Nutzerbedürfnisses zu erfüllen. Dies sind entweder Gebrauchs- oder Geltungsfunktionen. Sie bestimmen die Markt- und Nutzerattraktivität.
- *Systemfunktionen* sind *produktbezogene Funktionen*, die durch die Wirkung eines Produktbestandteils oder zwischen den Bestandteilen der Erfüllung der nutzerbezogenen Funktionen dienen. Systemfunktionen werden in Beziehung gebracht zu verfügbaren Technologien und im Produktplanungs- und Entwicklungsprozess durch den Entwickler bestimmt.

Zweckfunktionen werden durch einen „Objekt Verb“-Term beschreiben, z.B. „Scheibe trocknen“. Vor dem Hintergrund der Suche nach technischen Realisierungen für gewünschte nutzerbezogene Funktionen muss die Verbalisierung der Zweckfunktion so abstrakt wie möglich erfolgen, um nicht Lösungen zu präjudizieren (z.B. „Scheibe trocknen“ statt „Scheibe wischen“, siehe Spielberg 2002, S.66). Das Objekt der Zweckfunktion kann ein Stoff, eine Energieform oder eine Information sein. Eine Zweckfunktion variiert im so beschriebenen Term in der Regel nicht, jedoch die zugrunde gelegten Lösungsprinzipien (Systemfunktion). Auf Ebene der Systemfunktion kommt den „Prinzipiellen Lösungen“ eine zentrale Rolle zu. Sie beschreiben auf unscharfe bzw. grobe, aber funktionsbestimmende Weise, wie durch Wirkprinzipien und deren Struktur nutzerbezogene Funktionen realisiert werden können (VDI-2222(BI.1) 1997, S.6; VDI-2221 1993, S.41).

Besonders im Bereich der Konstruktion hat sich ein gemeinsames Begriffsverständnis ausgebildet, das hilft, technische Systeme auf abstrakte Weise zu definieren und konzipieren, z.B. durch Sammlungen von technischen Verben zur funktionellen Beschreibung von Systemen.<sup>27</sup>

### **Bewertung der Funktionalitäten**

Der Wert einer technologischen Funktion wird bestimmt durch das Ausmaß der Nutzungsmöglichkeiten (vgl. Patzak 1982, S.266). Die zunächst einfachste und grundlegendste Bewertung hat den Wert „erfüllt geforderte Funktion“ oder „erfüllt nicht geforderte Funktion“ und damit „Technologie ist relevant“ oder „Technologie ist nicht relevant“. Der Wirkungsgrad dieser Funktions-/Lösungskombination bei Erfüllung ergibt sich aus dem Verhältnis von Nutzen (Beitrag der Funktion) zu Aufwand (Kosten) (vgl. Spielberg 2002, S.67). Der Beitrag zur Zweckerfüllung der Funktionen bemisst sich vor dem Hintergrund unterschiedlicher Anforderungen an das Produktsystem (vgl. Kano et al. 1984, S.5; Patzak 1982, S.68; Zanger 2002, S.117, Sauerwein 2000, S.25f):

- *Basisanforderungen* sind Musskriterien, deren Erfüllung vom Kunden vorausgesetzt wird und bei denen „Nicht-Erfüllen“ zu extremer Unzufriedenheit führt.
- *Leistungsanforderungen* führen proportional zum Erfüllungsgrad zu einer Kundenzufriedenheit, sodass sie als Benchmark für Wettbewerbsanalysen dienen können.
- *Begeisterungsanforderungen* haben den höchsten Einfluss auf die Zufriedenheit, sie werden jedoch nicht explizit formuliert.

Die Bewertung einer Funktionsgestaltung erfordert eine Vereinheitlichung unterschiedlicher Wertedimensionen (siehe Abbildung 52, Anhang Kap. 11.4.3). Eine Bewertung erfolgt durch

---

<sup>27</sup> Siehe Verbensammlung und Taxonomie spezieller Funktionsverben in Tabelle 52 und Tabelle 53 (Anhang, Kap. 11.4.1) nach Birkhofer 1980 (S.72) und Langlotz 2000 (S.277); sowie Begriffsbestimmung in VDI-2221 1993.

quantitative, deterministische oder probabilistische Werte und qualitative, linguistische Aussagen. Dabei kann zwischen expliziten und impliziten qualitativen technischen Bewertungskriterien unterscheiden werden (Breiing, Knosala 1997, S.7). Explizite Kriterien stellen ausdrückliche unternehmensseitige Anforderungen dar, während implizite Kriterien Einschränkungen, Gültigkeitsbereiche o. ä. darstellen, die sich aus den naturwissenschaftlichen Gesetzen ableiten lassen. Expliziten Anforderungen können bei Nichterfüllung zum Ausschluss der Lösungsvariante führen oder nur zu einer entsprechenden rangmäßigen Beurteilung (Breiing, Knosala 1997, S.15).

### **3.1.3.4 Eine Definition der Technologierelevanzanalyse für diese Arbeit**

In Anlehnung an BULLINGER (Bullinger 1994a, S.101) wird die funktionsbasierte Technologierelevanzanalyse von Nanotechnologie in dieser Arbeit wie folgt definiert: **Die Technologierelevanzanalyse wird verstanden als die Analyse und Bewertung des Innovationspotenzials der Nanotechnologie (als Systemfunktion) im Rahmen der Produktfindung hinsichtlich einer funktionalen Problemlösung (als Zweckfunktion) in einem Produkt für eine vorhandene oder denkbare funktionale Anforderung auf Nutzerseite.**

Die Technologierelevanzanalyse unterstützt die Produktfindung in der Produktplanung mit dem Ziel mittelinduzierter oder radikaler Innovationen. Als Nanotechnologie werden hier Nanomaterialien und -strukturen mit besondere Eigenschaften (i. S. d. Nanotechnologie-Definition, Kap. 3.2.1) verstanden, die in Materialien und Oberflächen zum Einsatz kommen. Die Relevanz ergibt sich aus dem Innovationspotenzial geeigneter Ziel-Mittel-Kombinationen. Es werden hierfür Erfüllungsgrad und Lösungsbeitrag der Systemfunktion für die Zweckfunktionen in Produkten sowie deren Anwendungsnutzen und Anwendungsreife bewertet. Die Zweckfunktionen können Basis-, Leistungs- oder Begeisterungsanforderungen sowie substituierende, komplementäre oder neue Anwendungsfelder im Produkt betreffen. Unter Produkte werden auch Produktionsprozesse mit eingeschlossen ein.

### **3.1.4 Zusammenfassung und Ableitung der Problemstellung**

Neue Technologien sind ein wesentlicher Impulsgeber und Treiber für Innovationen, realisiert als neue Ziel-Mittel-Kombination. Sie bilden die Grundlage für verbesserte Produkte, bieten neue technische Lösungsmöglichkeiten und verschaffen Zutritt zu ganz neuen Märkten. Dadurch helfen sie, die Wettbewerbspositionen aufzubauen und die Zukunftsfähigkeit zu sichern.<sup>28</sup> Innovative und technologiebasierte Unternehmen müssen nach Neuen Technologien als neuem Mittel für Innovationen Ausschau halten. Deren Leistungsmerkmale als (zukünftige) Schlüsseltechnologie und Anwendungskontext müssen analysiert und der Nutzen für existierende oder neue Produkte bewertet werden. Dadurch können sie an Technologiesprüngen partizipieren und die Wettbewerbsfähigkeit erhalten.

Als kritisch wird der „Erst-Kontakt“ mit der Neuen Technologie angesehen. Das Wissen über die Neue Technologie und deren Leistungsmerkmale ist (noch) nicht vorhanden, da der Wissensbereich außerhalb des eigenen Kernbereichs liegt, einer großen Dynamik unterliegt oder eine neue Wissensdomäne darstellt. Es fehlt ein Verständnis von der Technologie, um diese adaptieren zu können. Auf der einen Seite steht der Technologie-Push, angetrieben durch die wissenschaftlichen Entwicklungen und auf der anderen der Markt-Pull durch Kundenanforderungen und gewünschten Produkteigenschaften. Beide müssen zusammengeführt werden, um relevante An-

---

<sup>28</sup> Vgl. Bullinger 1994a (S.2); Spath et al. 2001 (S.27); Day et al. 2000 (S.vi); Spath et al. 2003 (S.11) und Hauschildt 2004 (S.11).

wendungen der Technologie zur Bedürfnisbefriedigung zu ermitteln (Specht, D. et al. 1999, S.720; Ewald 1989, S.53).

Speziell bei der Nanotechnologie muss die Technologierelevanzanalyse kontextabhängig, d.h. vor dem Hintergrund der Produktanwendung erfolgen (vgl. Gerybadze 2004, S.124). Ausgangspunkt ist die Suche und Generierung von neuen Produktideen (Produktfindung) in der Produktplanung (VDI 1983, S.28). Ziel ist es, die technologischen Leistungspotenziale in die Ideenfindung einfließen zu lassen und so neue Produktideen zu generieren. Dabei können sowohl bekannte produkttechnische Probleme Ausgangspunkt sein, als auch ganz neue Produkteigenschaften erkannt werden, die durch die Technologie erst ermöglicht werden. Dadurch werden in den frühen Phasen neben der Analyse von Marktpotenzialen auch Lösungspotenziale einer neuen, evtl. noch nicht ausgereiften Technologie eingebunden.

Betrachtungsgegenstand der Relevanzanalyse ist die Funktion einer Technologie: Sie übersetzt und abstrahiert zum einen die spezifischen Lösungsansätze der Technologie, sodass diese durch Außenstehende erfasst und Ziel-Mittel-Kombinationen gebildet werden können (vgl. Spath et al. 2003, S.11; Hauschildt 2004, S.11; Ropohl 2006, S.111). Gerade bei Neuen Technologien besteht noch kein ausdifferenziertes Bild über Anwendungsmöglichkeiten (Saad et al. 1991, S.65). Zum anderen dient die Bewertung der Zielerreichung des Lösungsbeitrags für die gesuchte Zweckfunktion. Die effektive und effiziente Durchführung der Relevanzanalyse bedarf der prozessbezogenen und methodischen Unterstützung, um die Komplexität der Entscheidung zu reduzieren, ein transparentes Vorgehen zu schaffen und die Zielerreichung zu gewährleisten (vgl. Schuh et al. 2005).

## 3.2 Nanotechnologie

Die Nanotechnologie zählt zu den Emerging Technologies oder Neuen Technologien und wird als eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts angesehen, die Auswirkungen auf und für nahezu alle Branchen hat. Grundlage der Nanotechnologie sind Erkenntnisse und Möglichkeiten, definierte neue Funktionalitäten und Eigenschaften von Materialien und Strukturen, die allein von Effekten im Nanometerbereich ( $10^{-9}\text{m}$ ) abhängig sind, gezielt und bewusst aufzubauen.

Die Anfänge der Nanotechnologie nach heutigem Verständnis gehen zurück auf den amerikanischen Physik-Nobelpreisträger Richard Feynman, der 1959 in seiner Rede „There is plenty of room at the bottom“ die Leitvision der Nanotechnologie formulierte.<sup>29</sup> Bedeutende Wegmarkierungen der Entwicklung sind seither u. a. die „Namensgebung“ der Nanotechnologie 1974 durch den Japaner Norio Taniguchi,<sup>30</sup> die Entwicklung des Rastertunnelmikroskops durch die Forscher und Physik-Nobelpreisträger Gerd Binnig und Heinrich Rohrer, wodurch es überhaupt erst möglich wurde, Atome scharf abzubilden und zu manipulieren, das Schreiben eines IBM-Logos mit 35 einzelnen Atomen, oder auch die kritisch betrachteten Arbeiten von Eric Drexler<sup>31</sup>

---

<sup>29</sup> In dieser Rede wies Feynman auf die unbegrenzten Möglichkeiten der Miniaturisierung hin: *„What would the properties of materials be if we could really arrange the atoms the way we want them? [...] Atoms on a small scale behave like nothing on a large scale, for they satisfy the laws of quantum mechanics. [...] At the atomic level, we have new kinds of forces and new kinds of possibilities, new kinds of effects“* (vgl. Bushan 2004, S.ix).

<sup>30</sup> In einem wissenschaftlichen Artikel gebrauchte der Wissenschaftler Norio Taniguchi den Begriff Nano-Technology: *„Nano-technology mainly consists of the processing of separation, consolidation, and deformation of materials by one atom or one molecule“* (Taniguchi 1974).

<sup>31</sup> Eric K. Drexler ist Forscher und Vorsitzender des Foresight Institute in den USA. In seinen Arbeiten beschreibt er z.B. den Einsatz von Nanorobotern (Drexler 1986; Drexler 1992; Drexler, Peterson 1994).

zur molekularen Nanotechnologie. Eine ausführliche Darstellung der geschichtlichen Entwicklung der Nanotechnologie findet sich bei HULLMANN, ROYAL SOCIETY, PASCHEN et al. und ILFRICH (Hullmann 2001, S.151f; Royal Society 2004, S.5f; Paschen et al. 2004; Ilfrich 2004).

### 3.2.1 Definition der Nanotechnologie

Eine einheitliche Definition der Nanotechnologie<sup>32</sup> oder eine einheitliche Abgrenzung des Technologiefelds gibt es nicht. Nanotechnologie ist weder eine abgegrenzte spezifische Technologie oder Technologie-Gruppe, noch beschreibt sie zurzeit in bedeutsamem Umfang marktgängige Produkte (Fleischer, Grunwald 2005, S.137; Decker et al. 2004). Die Abgrenzung zu verwandten Feldern wie Mikroelektronik oder Biotechnologie ist ebenfalls unscharf – auch weil die Nanotechnologie aus der Konvergenz naturwissenschaftlicher Disziplinen stammt (siehe Deutscher Bundestag 2004, S.7/19; Royal Society 2004, S.5; Bachmann 1998, S.123).

Eine häufig genutzte Definition von Nanotechnologie, die diese auch gegenüber den Nanowissenschaften abgrenzt, gibt die ROYAL SOCIETY (Royal Society 2004, S.vii).<sup>33</sup> Sie definiert „Nanowissenschaften“ als die Untersuchung von Phänomenen und Manipulation von Material in der atomaren, molekularen oder makromolekularen Größenskala, in der die Eigenschaften sich signifikant unterscheiden von denen in höherer Größenskala, und „Nanotechnologie“ als die Gestaltung, Charakterisierung, Produktion und Anwendung von Strukturen, Geräten und Systemen, indem Form und Größe in der Nanometerskala kontrolliert werden.

Weitere Definitionen für die Nanotechnologie werden in Kap. 11.2.1, Tabelle 48 aufgeführt.

### 3.2.2 Phänomenologische Grundlagen der Nanotechnologie

Die große Bedeutung und die hoffnungsvollen Erwartungen an die Nanotechnologien liegen in den Nanoobjekten, die *„durch geschickte Kombination von Größe und Material Funktionen, welche sie als Agglomerat von größerer Festkörper gleichen Materials nicht besäßen“* ermöglichen (Bachmann 1998, S.2). Der zugrunde liegende interdisziplinäre Ansatz vereint physikalische Gesetzmäßigkeiten, chemische Stoffeigenschaften und biologische Prinzipien. Für das Design von Materialien und Strukturen in der nm-Dimension werden die beiden prinzipiellen Herangehensweisen Top-Down und Bottom-Up genutzt, die sich im Zugang zum nm-Bereich auf der Längenskala unterscheiden (Bachmann 1998; Bushan 2004, S.10; Royal Society 2004, S.25; Deutscher Bundestag 2004, S.20f).

Tabelle 2 zeigt die wesentlichen phänomenologischen Merkmale der Nanotechnologie in der Definitionen der Royal Society (siehe Kap. 3.2.1).

---

<sup>32</sup> Die Bezeichnung „Nano“ leitet sich von der Größenordnung des betrachteten Bereichs ab, dem Nanometer (nm, 10<sup>-9</sup> m). Das Wort „Nano“ kommt aus dem griechischen und heißt „Zwerg“ (nannos).

<sup>33</sup> Im Original lautet die Definition: *„We define nanoscience as the study of phenomena and manipulation of materials at atomic, molecular and macromolecular scales, where properties differ significantly from those at a larger scale; and nanotechnologies as the design, characterisation, production and application of structures, devices and systems by controlling shape and size at the nanometre scale“* (Royal Society 2004, S.vii).

Tabelle 2: Phänomenologische Aspekte der Nanotechnologie

Phänomenologischer Aspekt	Definition (nach Royal Society 2004)	Beschreibung
Größen-Aspekt	„...Nanometerskala...“	Der Größen-Aspekt charakterisiert den interessierenden Größenbereich, der wenigstens in einer Dimension unter 100 nm liegen muss (Deutscher Bundestag 2004, S.7). Dies schließt den Bereich dünner Schichten bzw. der Beschichtungstechnik im µm-Bereich aus.
Material-/Struktur-Aspekt	„...indem Form und Größe [in der Nanometerskala] kontrolliert werden...“ „...Manipulation von Material auf atomarer, molekularer oder makromolekularer Größenskala...“	Der zweite wichtige Aspekt stellt die gezielte und bewusste Beeinflussung der Form und Größe solcher Partikel heraus, wodurch sich die Nanotechnologie von den früheren Arbeiten z.B. der Molekularchemie unterscheidet.
Aspekt der Eigenschaften	„...in der die Eigenschaften sich signifikant unterscheiden von denen in höherer Größenskala...“	Der Aspekt der Eigenschaften stellt die Nutzbarmachung neuer Effekte und Eigenschaften heraus, die für die Nanotechnologie konstituierend sind. In den Nanowissenschaften werden die Ursache-Wirkungsbeziehungen erforscht, während deren zweckbezogene Anwendung in Form von wirkstrukturellen Eigenschaften als Nanotechnologie bezeichnet wird.

Abbildung 8 zeigt die beiden Herangehensweisen der Nanotechnologie und den Zusammenschluss von Physik, Chemie und Biologie. Der Top-Down-Ansatz repräsentiert vor allem die physikalische Vorgehensweise. Ausgehend von der Mikrotechnik werden Materialien und Strukturen weiter miniaturisiert, z.B. durch Lithografie zur Chip-Herstellung. Die meisten Materialien und Strukturen der bisherigen Nanotechnologie-Anwendungen werden auf diese Weise hergestellt. Der Bottom-Up-Ansatz ist durch eine chemische und biologische Sichtweise geprägt: Komplexe Strukturen werden aus den atomaren oder molekularen Bausteinen durch chemische Synthese, Self-Assembly- und Positionierverfahren gezielt aufgebaut. In der Literatur wird ein Überblick über Herstellungsverfahren gegeben (Haas, Heubach 2007, Fhg-ISC, Fhg-ISI 2003).

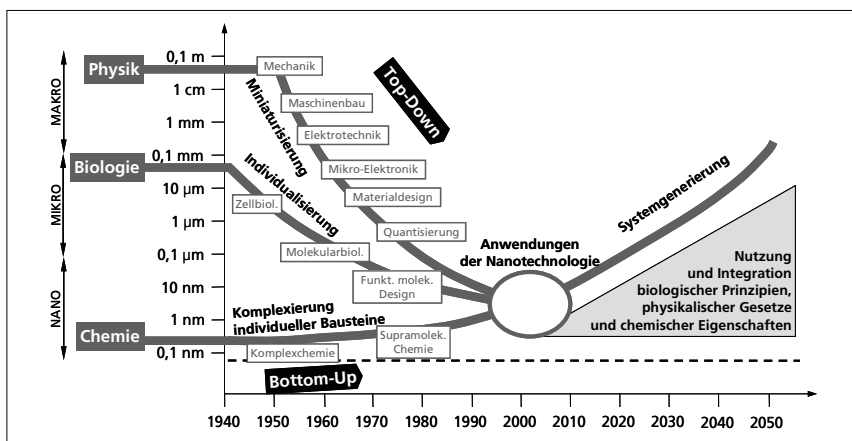


Abbildung 8: Kopplung der Mikro- und Nanowelt (Bachmann 1998; Luther et al. 2004)

Neben der skalenorientierten Herangehensweise der Nanotechnologie in Abbildung 8 ist für die Eigenschaften der Nanotechnologie grundlegend, dass im nm-Bereich nicht mehr die Gesetzmäßigkeiten der Festkörperphysik gelten. Charakteristisch und funktionsbildend sind vielmehr das große Oberflächenvolumen-Verhältnis, das quantenmechanische Verhalten dieser Materialbausteine sowie vielfach Selbstorganisationsphänomene. Abbildung 9 gibt einen Überblick über die geänderte Sichtweise einzelner Merkmale beim Übergang in den nm-Bereich (vgl. Haas, Heubach 2007, in Anlehnung an Bachmann 1998, S.20).

Bisherige Betrachtung	Änderung der Betrachtungsweise durch Nanotechnologie	Neue Betrachtungsweise
Festkörpereigenschaften	Nanopartikel verändern ihre typischen Festkörpereigenschaften und werden eher als großes Molekül mit elektronischen, chemischen oder optischen Eigenschaften betrachtet.	Bindungseigenschaften (Quantenmechanik)
Volumen dominiert	Nanopartikel haben ein sehr großes Oberflächen-Volumen-Verhältnis. Oberflächenatome sowie deren chemische, thermische oder magnetische Eigenschaften dominieren.	Oberfläche dominiert
Einfache Miniaturisierung	Statt Miniaturisierung können Nanopartikel/-strukturen durch Selbstorganisationsphänomene aufgebaut werden, in Anlehnung an Mechanismen in der Natur.	Synthese u. atomare Manipulation (Kombination mit Selbstorganisationsprozessen)

Abbildung 9: Neue Betrachtungsweise ausgewählter Eigenschaften beim Übergang in die Nanoskala (vgl. Haas, Heubach 2007, in Anlehnung an Bachmann 1998)

Tabelle 3 stellt die nutzen- und funktionsbildenden Aspekte der Nanotechnologie zusammen (Royal Society 2004; Bachmann 1998; Luther et al. 2004). Diese leiten sich aus der Dimension und der Geometrie von Nanomaterialien und -strukturen ab und betreffen die chemischen, physikalischen und biologischen Materialeigenschaften.

Tabelle 3: Nutzen- und funktionsbildende Aspekte der Nanotechnologie

Bezug zu	Effekt	Nutzen- und funktionsbildender Aspekt
Dimension	Größeneffekte	Fortschreitende Miniaturisierung in den Nano-Bereich erlaubt neue Anwendungsgebiete bzw. die Unterbringung von Funktionalitäten auf engstem Raum.
	Struktureffekte	Verständnis und bewusster Aufbau von Strukturen ermöglicht es, Eigenschaften gezielt zu beeinflussen, ihre Nanoskaligkeit einzustellen und in Gesamtsysteme zu integrieren.
Geometrie	Grenzflächeneffekt	Funktionalisierung von Materialgrenzflächen durch die Gestaltung von Strukturen auf molekularer Ebene und das große Oberflächen/Volumen-Verhältnis <sup>34</sup>
Disziplinen	Neue Chemie	Die vergrößerte Oberfläche von Nanomaterialien ermöglicht neue chemische Prozesse u. a. durch die Änderung von Schmelz- und Siedepunkt, chemischer Reaktivität und katalytischer Ausbeute.
	Neue Physik	Quantenmechanisches Verhalten führt zu einer neuen technischen Physik von Partikeln und Werkstoffen z.B. durch Änderung von Farbe, Transparenz, Härte, Magnetismus, elektrischer Leitfähigkeit
	Neue Biologie	Die molekulare Erkennung führt zu neuen Anwendungen, die biologische Bausteine einsetzen, auf Funktionsprinzipien der Natur zurückgreifen, biotechnologische Prozesse unterstützen oder biokompatible und biofunktionale Materialien herstellen.

<sup>34</sup> Mit abnehmender Größe von Molekülen und Partikeln steigt der Anteil der Oberflächenatome bzw. das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen: Nanopartikel der Größe 30 nm haben 5% der Atome an der Oberfläche, bei 10 nm Größe sind es 20%, und bei 3 nm großen Partikeln liegen 50% der Atome an der Oberfläche (Royal Society 2004).



### 3.2.3 Charakterisierung der Nanotechnologie als Neue Technologie

Die Nanotechnologie steckt noch am Anfang ihrer Entwicklung (Roco, Bainbridge 2001, S.5; de Vries 2005, S.62; Bushan 2004, S.vii; Renn, Roco 2006, S.153; Brune et al. 2006, S.287). Eine klare Zuordnung der Nanotechnologie zu einem Technologietyp (siehe Tabelle 1) wird in der Literatur nicht vorgenommen. Nanotechnologie wird als Schrittmachertechnologie (Gausemeier et al. 2001, S.59; Tschirky 1998, S.233), Schlüsseltechnologie (Paschen et al. 2004, S.1; Luther et al. 2004, S.I; Bachmann 1998) oder Basistechnologie mit Zukunft bezeichnet (Bachmann 1998; Stiller 2005). Die Sichtweise der Nanotechnologie als Schlüsseltechnologie beruht auf ihren wissenschaftlichen Grundlagen und dem ausgeprägten Querschnittscharakter sowie ihres zukünftigen Potenzials, grundlegende Veränderungen in ganzen Technologiefeldern zu bewirken und sich damit auch auf die gesellschaftliche Entwicklung auszuwirken (vgl. Dolata 1993, S.744f; BMBF 2005, S.64; Bachmann 1998, S.7; Deutscher Bundestag 2004, S.6). Vor dem Hintergrund ihres noch frühen Entwicklungsstandes wird aber deutlich, dass die Benennung als Schlüsseltechnologie nicht auf den Lebenszyklus, sondern auf das tiefgreifende und wettbewerbsentscheidende Technologiepotenzial abzielt. Aufgrund dieses Querschnittscharakters wird Nanotechnologie auch als Enabling Technology oder Plattform-Technologie bezeichnet (vgl. Paschen et al. 2004, S.28; BMBF 2006c, S.11; Shea 2005). Damit wird die Universalität der Nanotechnologie verdeutlicht, die sich auf Materialeigenschaften, Anwendungsbereiche und Produktfunktionen bezieht.

Entsprechend der Typisierung als Schlüsseltechnologie sind die Erwartungen an die Durchschlagskraft von nanotechnologischen Innovationen groß, wie Umfragen unter Technologieexperten zeigen (siehe Fhg-ISI 1998; VDI-TZ 2004; Technology Review 2005, S.28, Holtmannspötter et al. 2006). Jedoch ist es nicht eindeutig möglich, Die Art der Neuheit durch Nanotechnologie zu fassen. In Technik-Kreisen und in den Medien werden nanotechnologiebasierte Innovationen oftmals generalisiert als radikal mit disruptiven Auswirkungen beschrieben. Die nächste industriellen Revolution oder der 6. Kondratieff-Zyklus wird demnach durch Nanotechnologie ausgelöst werden (Bushan 2004, S.1, Wonglimpiyarat 2005, S.1350). Nach JONES werden durch inkrementelle Nanotechnologie die Eigenschaften von Werkstoffen verbessert, z.B. in der Chemie oder den Werkstoffwissenschaften. Die evolutionäre Nanotechnologie treibt die Miniaturisierung, z.B. in der Elektronik, weiter, wogegen die radikale Nanotechnologie die futuristischen Visionen einschließt (Jones 2004, S.7).

Betrachtet man aber die Trajektorie des technischen Problemlösens,<sup>35</sup> so wird mit der Nanotechnologie generell ein technischer Paradigmenwechsel vollzogen (siehe Abbildung 9), was den Charakter der Radikalität aller ihrer technologischen Auswirkung unterstreicht. Aus Anwendungssicht *„vollzieht sich derzeit aber eher eine evolutionäre als revolutionäre Entwicklung“* (Luther et al. 2004, S.15). Letztendlich ist durch Nanotechnologie für Unternehmen beides möglich: Verbesserte Eigenschaften von Materialien, die vom Nutzer als inkrementelle Verbesserung wahrgenommen werden, aus Technologiesicht aber eine radikale Neuigkeit durch den Einsatz von Nanopartikeln darstellt; oder revolutionäre Neuheiten, die z.B. auf einer Technologiesubstitution beruhen und ein völlig neues nanotechnologisches Konzept verfolgen.

In Kap. 3.2.5 (Abbildung 10) wird deshalb eine Ziel-Mittel orientierte Sichtweise für die Einordnung der Innovationsneuigkeit durch Nanotechnologie zugrunde gelegt, um die Zielsetzung der Nanotechnologie-Anwendung als Schwerpunktlegung für diese Arbeit einzugrenzen.

---

<sup>35</sup> Siehe hierzu Dosi 1982; Osterloh, von Wartburg 1998 (S.143).

### 3.2.4 Strukturierungsansätze der Nanotechnologie

Für die Nanotechnologie gibt es bisher noch keine allgemein gültige und einheitliche Strukturierung der Wissensdomäne oder dessen, was Nanotechnologie ist (siehe Fleischer, Grunwald 2005, S.137; Decker et al. 2004, S.10; Hullmann 2001, S.151).<sup>36</sup> Allerdings gibt es neben den vielen definitorischen Ansätzen (siehe Kap. 3.2.1 und 11.2.1) Strukturierungsansätze und Herangehensweisen, um das Gebiet der Nanotechnologie weiter zu detaillieren. In Tabelle 4 sind Strukturierungsmerkmale der Nanotechnologie aus der Literatur und deren Ausprägungen in einem morphologischen Kasten dargestellt. Die Merkmale decken die Bereiche Anwendung (Industriebranchen, Teildisziplinen, Anwendungsfelder), Funktionalität (Wirkmechanismus, Funktionalitäten, Prozessierbarkeit) und Materialien (Einsatzarten, Materialgruppen, Materialien, Baueinheiten, Dimension Nanoskaligkeit, Basisstruktur, Aufbau) ab.

Tabelle 4: Morphologischer Kasten mit Merkmalen und Ausprägungen der Nanotechnologie

Merkmal	Ausprägung											
<b>Nano-Teildisziplin</b> (Bachmann 2002)	Nano-elektronik		Nanoanalytik		Nano-fabrikation		Nanooptik		Nanochemie		Nano-biotechnologie	Nano-materialien
<b>Anwendungsbranche</b> (BMBF 2006c; Bachmann 1998)	Auto-mobil	Optik	Luft- & Raum-fahrt		Produkti-on	Bau-wesen	IKT	Textil	Umwelt/Energie	Chemie/Materia-lien	Medizin/Gesund-heit	
<b>Anwendungsfeld</b> (Deutscher Bundestag 2004)	Oberflächen-funktionalisie-rung/-ver-edelung		Katalyse, Chemie, Werkstoffsyn-these		Energieum-wandlung und -nutzung		Konstruktion		Sensoren und Aktuatoren		Informations-verarbeitung/-übermittlung	Lebenswissen-schaften
<b>Wirkmechanismus</b> (Luther et al. 2004)	Quantenmechanisches Verhalten				Vergrößerte Oberfläche				Molekulare Erkennung			
<b>Funktionalität</b> (Deutscher Bundestag 2004)	mechanisch		geometrisch		elektrisch		magnetisch		optisch		chemisch	biologisch
<b>Prozessierbarkeit</b> (Fhg-ISC, Fhg-ISI 2003)	Intrinsische Nanomaterialien						Prozess-Nanomaterialien					
<b>Einsatzart</b> (Roco et al. 1999)	Nanomaterialien				Nanowerkzeuge				Nanosysteme			
<b>Material</b> (Steinbeis-Europa-Zentrum 2005)	C-basierte Nanomateria-lien		Nano-komposite		Metalle und Legierungen		Biologische Nanomateria-lien		Nano-polymere		Nanogläser	Nano-keramiken
<b>Material</b> (Willems & van den Wildenberg 2004)	Na-nostru-ktu-riert	Nano-partikel/-pulver	Nano-kapseln	Nano-poren	Nano-fasern	Fullere-ne	Nano-drähte	CNT	Dendri-me	Molek. Elektro-nik	Quantum Dots	Dünn-filme
<b>Baueinheit</b> (Bachmann 1998)	Grenzflächen				Schichten				Strukturen			
<b>Dimensionalität</b> (Royal Society 2004)	In einer Dimension nanoskalig				In zwei Dimensionen nanoskalig				In drei Dimensionen nanoskalig			
<b>Basisstruktur</b> (Deutscher Bundestag 2004)	punktförmig		linienförmig		Schichtstruktur			Porenstruktur		Komplexe Struktur		

Für die Identifikation von unternehmensspezifischen Anwendungsfeldern sind die Zugänge zur Nanotechnologie über die Industriebranchen, Teildisziplinen oder Anwendungsfelder nur insofern hilfreich, als dass sie aufzeigen, in welchen Branchen Anwendungen bereits existieren, entwickelt werden oder naheliegend erscheinen. In einigen Branchen, z.B. Elektronik, Optik oder

<sup>36</sup> Standardisierungs- und Normierungsaktivitäten sind mittlerweile gestartet, z.B. Standardisierungsvorschläge bei der ISO für eine Begriffsdefinitionen, eingereicht durch das British Standardisation Institute (BSI), die in der ISO/TC 229 Nanotechnologies beraten werden (siehe PAS 71:2005 2005; Rashba, Gamota 2003).

Medizintechnik haben sich spezifische Anwendungsfelder deutlich herauskristallisiert oder wurden Nanosysteme entwickelt. Ihre Nichtbeherrschung führt zum Verlust der Wettbewerbsfähigkeit, z.B. im Bereich der Elektronik (Iden, Heubach 2007). Daneben gibt es aber das große, zunächst anwendungsunspezifische Feld der Nanomaterialien, die neben den branchenspezifischen Feldern ebenfalls eine Teildisziplinen der Nanotechnologie darstellen (Bachmann 2002, S.20). Sie eröffnen eine Vielzahl an unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten für Unternehmen (siehe Kap. 3.2.5).

Zielführender ist deshalb eine Annäherung im ersten Schritt über die Funktion der Nanotechnologie als Zweck bzw. Ziel der Anwendung sowie im zweiten Schritt über die Materialien, die die Funktionen bereitstellen (Mittel der Anwendung) und die Art der Anwendung determinieren. Dadurch können Ziel-Mittel-Kombinationen gebildet werden, welche die technologische Grundlage für neue Produktideen und damit Innovationen bilden.

Beide, die Funktionalität und die Materialien, strukturieren folglich in dieser Arbeit einen operablen Zugang zur Nanotechnologie (siehe Kap. 4.2.1 und 6.1). Im Folgenden werden die funktionalen und strukturellen Grundlagen der Nanotechnologie dargestellt.

### 3.2.4.1 Wirkmechanismen und Funktionalitäten

Die naturwissenschaftlichen Wirkmechanismen der Nanotechnologie, auch Nanoeffekte genannt, sind das quantenmechanische Verhalten für eine neue technische Physik, die vergrößerte Oberfläche für neue Chemieprozesse sowie die molekulare Erkennung mit neuen Bioanwendungen (siehe Tabelle 3 sowie Luther et al. 2004, S.19). Diese bilden die Grundlagen für die fundamentalen Eigenschaften von Nanomaterialien und -strukturen (siehe Tabelle 4). Tabelle 5 zeigt beispielhaft die verbesserten und neuen nutzbaren Eigenschaften von Nanomaterialien und -strukturen (Paschen et al. 2004, S.65, siehe auch Anhang Kap. 11.2.2, Tabelle 49).

**Tabelle 5: Verbesserte und neue Eigenschaften von Nanomaterialien und -strukturen (Paschen et al. 2004)**

<b>Funktionalität</b>	<b>verbesserte und neue nutzbare Eigenschaften</b>
mechanisch	Härte, Bruchfestigkeit/-zähigkeit, Superplastizität, Tribologie, Hochtemperaturstabilität
geometrisch	Porengrößen mit atomarer Genauigkeit (Membrane, poröse Körper), atomare Selektivität/Präzision, hohes Oberflächen-Volumen-Verhältnis
elektrisch	Zusätzliche elektronische Zustände (Quantenpunkt-/ Quantentrogzustände), elektronische Oberflächenzustände beeinflussen elektronische Eigenschaften, Quantelung der elektrischen Ladung
magnetisch	(Super-)Paramagnetismus, ferromagnetische Eigenschaften, Magnetowiderstandseffekte (XMR)
optisch	keine Lichtreflexion an Nanopartikel/Transparenz, spezifische Streueffekte, Lichtabsorption oder -emission eines bestimmten Wellenlängenbereichs
chemisch	Hohe chemische Reaktivität/vergrößerte Oberflächenenergie, erhöhte Sinteraktivität, Bindungsselektivität, spezifische Selektivität und Reaktivität sowie chemische Stabilität
biologisch	Wechselwirkung von Nanopartikel mit biologischen Systemen, Membrangängigkeit von Nanopartikel, biologische Adressierung und Maskierung von Nanopartikel, Selbstorganisationsprozesse

Die funktionalen Nanomaterialien und -strukturen können als intrinsische Nanomaterialien eingesetzt werden, indem sie die anwendungsrelevanten Produkteigenschaften beeinflussen, oder als Prozess-Nanomaterialien zu Verarbeitungsvorteilen von Produkten führen, die später jedoch nicht Teil der Produktfunktionalität sind (Fhg-ISC, Fhg-ISI 2003, S.13).

### 3.2.4.2 Nanomaterialien und Basisstrukturen

Nanomaterialien und -strukturen bilden die wirkstrukturelle Grundlage für die Eigenschaften der Nanotechnologie. Basisstrukturen sind die „Building Blocks“ genannten Nanopartikel und Schichten (siehe Siegel et al. 1999, S.5). Nanoskalige Basisstrukturen können folgende Geometrie haben (Paschen et al. 2004, S.34):

- *punktförmige Basisstrukturen* (in drei Dimensionen nanoskalig) z.B. kristalline oder amorphe Nanopartikel, Nanopulver, Nanometalloxide, Fullerene oder Quantum Dots.
- *linienförmige Basisstrukturen* (in zwei Dimensionen nanoskalig) z.B. Nanoröhren/CNTs, Nanodrähte, Nanostäbe oder Nanogräben.
- *Schichtstrukturen* (in einer Dimension nanoskalig) mit Schichtdicken im nm-Bereich z.B. Schichten aus Si, ultradünne organische Schichten, Hybridpolymere oder Dünnschichten.
- *Porenstrukturen* z.B. nanoporöse/-strukturierte Materialien und Oberflächen mit schwammartigen oder schaumartigen porösen Strukturen.
- *Komplexe Strukturen* wie supramolekulare Strukturen.

In dieser Arbeit werden die Basisstrukturen der Nanotechnologie in „Nanomaterialien“ und „Nanostrukturen“ kategorisiert in Anlehnung an die PAS 71:2005 (PAS 71:2005 2005):

- *Nanomaterialien* sind wenigsten in einer Dimension nanoskalige Materialien (punkt-, linien- oder schichtförmig) mit neuen Eigenschaften im Sinne der Nanotechnologie-Definition. Ebenso zu den Nanomaterialien zählen die Kompositmaterialien mit nanoskaligen Komponenten, z.B. als Polymermatrix, Hybridpolymer oder Keramik (vgl. Fhg-ISC, Fhg-ISI 2003, S.12).
- *Nanostrukturen* sind nanoskalig strukturierte Oberflächen (Topographie von Oberflächen) oder Poren in einem Material.

Zu den Nanomaterialien gehören die (vgl. Steinbeis-Europa-Zentrum 2005):

- *Kohlenstoffbasierte Nanomaterialien* z.B. als CNTs, Fullerene oder DLC
- *Nanokomposite* in eine Polymer-, Keramik- oder Metallmatrix
- *Metalle und Legierungen* z.B. als Eisen- und Nicht-Eisenmetalle, oxidische Verbindungen (z.B. mit Cu, Ni, Zn, Co, Zr), Leichtmetalle (wie Ti, Al, Mg), Edelmetalle (Ag, Au, Pt, Pd)
- *Biologische Nanomaterialien* wie z.B. Proteine, Nukleinsäuren, Kohlenhydrate, „kleine Moleküle“
- *Nanopolymere* z.B. als Nanomaterialien in einem Polymer, Polymerkomposit oder Hybridpolymerlacke
- *Nanogläser* z.B. als amorphe ( $\text{SiO}_2$ ) und nicht amorphe (ITO) Partikel
- *Nanokeramiken* z.B. als oxidische und nichtoxidische Keramiken, Silikate, Schwermetalle und deren Komposite

Nanomaterialien als Baueinheit wirken je nach Anwendungsgebiet und struktureller Ausgestaltung (Bachmann 1998, S.16) an den Material-Grenzflächen (innere und äußere Grenzflächen, die im nm-Bereich für Materialeigenschaften verantwortlich sind, großes Oberflächen-Volumenverhältnis), in bzw. als Schichten (Oberflächenfunktionalisierung, Dispersionen und Beschichtungen) oder durch Strukturen (Strukturierung von Oberflächen im nm-Maßstab).

### 3.2.5 Ziel-Mittel-Kombinationen durch Nanotechnologie: Eine Schwerpunktlegung für diese Arbeit

Gemäß der Betrachtung von technologischen Innovationen als neue Ziel-Mittel-Kombination in Kap. 3.1.1 wird im Folgenden eine Schwerpunktlegung hinsichtlich der Zielstellung und der Mittel der Nanotechnologie-Anwendung vorgenommen.

#### Ziel-Aspekt der Nanotechnologie: Mittelinduzierte oder radikale Innovationen

Der Ziel-Aspekt der Nanotechnologie-Anwendung wird vielfach in der Leistungssteigerung von Produkten, einem Kunden-Mehrwert sowie einer Realisierung neuer Funktionseigenschaften von Produkten gesehen.

Innovationen durch Nanotechnologie basieren meistens auf einem neuen Mitteleinsatz (neue Systemfunktion, siehe Kap. 3.1.3.3), der eine bekannte/geforderte Zweckfunktion (Mittelinduzierte Innovation)<sup>37</sup> oder eine neue Zweckfunktion (radikale Innovation) erfüllt (Spath et al. 2003, S.11). Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf diesen Innovationsarten. Innovationen durch Nanotechnologie, in denen das Mittel auf etablierten Systemfunktionen aufbaut, sind ebenso denkbar. Sie bedeuten aber, dass die Wirkmechanismen der Nanotechnologie im Unternehmen verstanden sind und diese entweder bekannte Bedürfnisse befriedigen oder in neue Märkte transferiert werden. Die zweck- oder inkrementelle Innovationen sind nicht Schwerpunkt dieser Arbeit. Abbildung 10 zeigt die Innovationsarten durch Nanotechnologie in einem Ziel-Mittel-Portfolio für Innovationen (nach Spath et al. 2003, S.11; Hauschildt 1993; Veryzer 1998, S.307).

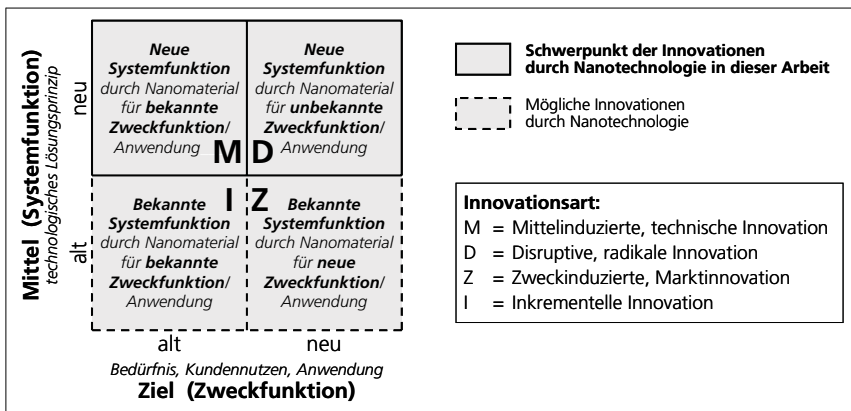


Abbildung 10: Innovationsarten durch Nanotechnologie: Schwerpunktlegung für diese Arbeit (eigene Zusammenstellung, aufbauend auf Spath et al. 2003 und Hauschildt 1993)

Die Nutzenpotenziale und Einsatzstrategien von Nanotechnologie sind vielfältig und reichen von der Realisierung von Kernfunktionen über die Schaffung von Zusatznutzen bis hin zu Einsparpotenzialen in der Produktherstellung und -nutzung (siehe Tabelle 6).

<sup>37</sup> Nach SPATH ET AL zielen mittelinduzierte Innovationen „darauf ab, mit neuen Technologien und innovativen Produktkonzepten die Wettbewerbsstellung des Unternehmens bei bisherigen Kundengruppen bzw. Märkten zu verbessern“ (Spath et al. 2003, S.10).

Tabelle 6: Beispiele für Anwendungsziele und -strategien von Nanotechnologie und Neuheit hinsichtlich Ziel-Mittel-Kombination (eigene Darstellung)

Mittel	Ziel	Anwendungsziel	Einsatzstrategien (siehe auch Porter 2000)	Beispiele
●	◐	<b>Technologiesprung</b> durch ein neues technisches Paradigma oder eine erheblich Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Systemen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Vorreiterrolle:</b> Definition neuer Stand der Technik, Paradigmenwechsel</li> <li>• <b>Differenzierung, Kostenführerschaft:</b> Optimierung von Kernfunktionen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• neue Polymer- oder C-basierte Speicherchips (übertreffen die Speicherdichte herkömmlicher Systeme, anvisiert sind eine Speicherdichte von rund 150 Gb/cm<sup>2</sup>)</li> <li>• neue Farbstoff- oder organische Solarzellensysteme</li> </ul>
●	●	<b>Funktionalisierung</b> von Oberflächen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Differenzierung</b></li> <li>• <b>Kundenvorteil:</b> Schaffung eines Produkt-Mehrwerts (Preisspielraum nach oben durch Zusatznutzen)</li> <li>• Oberfläche als Teil der Produktfunktion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• antimikrobielle Beschichtungen</li> <li>• photokatalytische Beschichtungen,</li> <li>• IR-schaltbare transparente Beschichtungen</li> <li>• Bond-Debond-Klebeverbindungen</li> </ul>
●	◐	<b>Materialien</b> mit neuen oder verbesserten Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialsubstitution</li> <li>• Verbesserung der Materialeigenschaften</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CNTs mit besonderen mechanischen, optischen, elektrischen, thermischen, sensorischen und aktorischen Eigenschaften</li> <li>• Nanokomposite</li> </ul>
●	○	<b>Ressourceneffizienz</b> durch Reduktion des Ressourcenverbrauchs oder Materialsubstitution	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steigerung der Effizienz (auf Herstellungsseite: Preisspielraum nach unten)</li> <li>• <b>Anbietervorteil:</b> Kostenführerschaft durch Optimierung von Kosten, Zeit, Qualität</li> <li>• Umweltfreundlichkeit von Materialien/Oberflächen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Korrosionsschutzschichten aus Nanoceramics ohne Schwermetalle</li> <li>• nm-dünne Nanolacke</li> <li>• umweltfreundliche Antifouling-Beschichtung</li> </ul>

Legende: Ziel/Mittel ● – neu; ◐ – neu oder alt; ○ – alt

### Mittel-Aspekt der Nanotechnologie: Nanomaterialien und funktionalisierte Oberflächen

Hinsichtlich des Mittel-Aspekts soll in dieser Arbeit der Schwerpunkt auf den Nanomaterialien und deren Anwendung in funktionalisierten Oberflächen und Werkstoffen liegen. Sie stellen eines der besonders relevanten technologischen Teilgebiete der Nanotechnologie dar, wie Abbildung 11 darstellt (Luther et al. 2004, S.39; Bachmann 2002, siehe auch Tabelle 4).

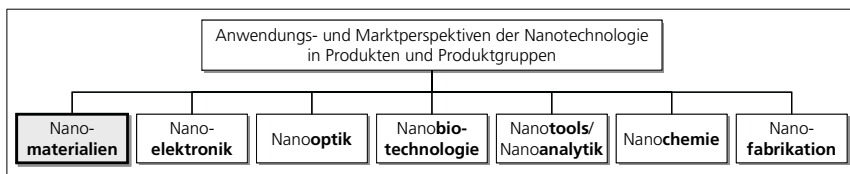


Abbildung 11: Relevante technologische Teilgebiete der Nanotechnologie (Luther et al. 2004; Bachmann 2002)

Nanomaterialien bieten aufgrund ihrer Universalität und Kombinationsmöglichkeiten auf Anwendungsseite eine große Vielfalt, aber auch eine Komplexität bei der Kombination von Funktion, Material und Applikation (siehe Kap. 6.1.4 sowie Anhang Kap. 11.2.2, Tabelle 49; vgl. Spath et al. 2007). Des Weiteren sind mit der Funktionalisierung von Oberflächen weitere, möglicher-

weise neue Randbedingungen und Umfeldparameter der Anwendung verbunden, die neuerlich in die Bewertung der Technologierelevanz mit einbezogen werden müssen.

Die grundlegende Bedeutung der Nanomaterialien als Ausgangsmaterial der Nanotechnologie wurde bereits aufgezeigt (Kap. 3.2.4.2). Auf sie entfielen, neben der Nanoelektronik die größten Aufwendungen des BMBF im Rahmen der BMBF-Schwerpunkthemen. Die Oberflächenfunktionalisierung durch Nanobeschichtungen zählt zu den wichtigsten und vielfältigsten Anwendungsgebieten der Nanotechnologie (Luther et al. 2004, S.32/135; Fhg-ISC, Fhg-ISI 2003, S.25/44; vgl. Tabelle 10). Grundlage sind Nanomaterialien oder -strukturierungen, die als Schutz- oder Funktionsschicht arbeiten.

Abbildung 12 zeigt die Relevanz nanotechnologischer Funktionen nach einer Umfrage des VDI Technologiezentrum GmbH im Auftrag des BMBF im Rahmen der ITA-Studie „Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt“ (Luther et al. 2004). Die Bewertung der Unternehmen zeigt, dass der Oberflächenfunktionalisierung die höchste Relevanz zugemessen wird, weitere priorisierte Eigenschaften wie optische Effekte, verbesserte Werkstoffeigenschaften, Sensor- oder Schutzfunktion haben ebenfalls ein breites Anwendungsspektrum. Sie kommen als Funktions- oder Schutzschicht von Oberflächen zum Einsatz oder verbessern die Materialeigenschaften und bauen auf den Nanomaterialien auf.

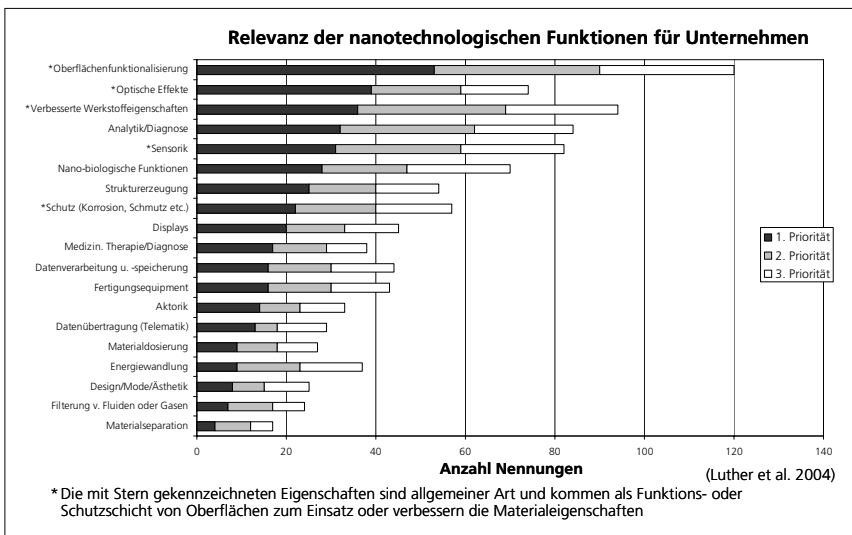


Abbildung 12: Relevanz der nanotechnologischen Funktionen (Luther et al. 2004)

Die Bedeutung unterschiedlicher Oberflächenbeschichtungen zeigt eine Analyse der „Forschungsgenda Oberfläche“ der Deutschen Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e.V. (DFO 2006). Ein großes Zukunftspotenzial haben demnach selbstreinigende Oberflächeneigenschaften, Sensorik, tribologische Eigenschaften, Kratzfestigkeit, Härte und Elastizität von Beschichtungen, Langzeitbeständigkeit und chemische Beständigkeit sowie optische Eigenschaften von Oberflächen (DFO 2006, S.13).

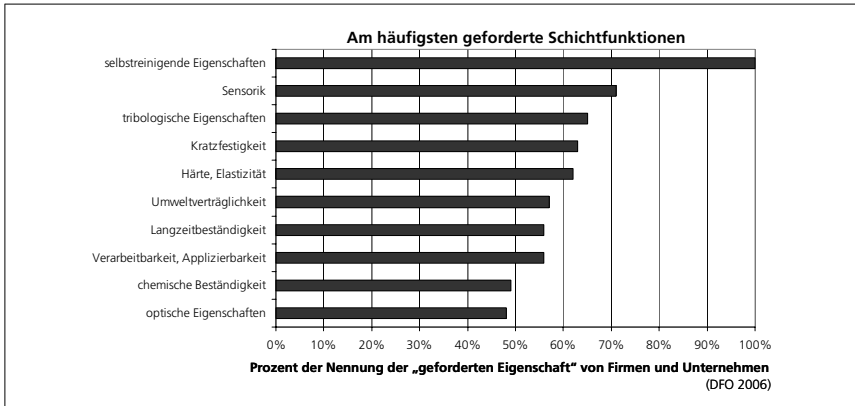


Abbildung 13: Die zehn wichtigsten geforderten Schichtfunktionen (DFO 2006)

Das große Markt- und Technologiepotenzial nanotechnologisch funktionalisierter Oberflächen zeigt auch eine Umfrage von Fraunhofer IAO und Fraunhofer ISI im Forschungsvorhaben INANU, dargestellt in Tabelle 7. Darin wurden konkrete Anwendungsideen von Unternehmen aus der Reinigungs-, Badarmaturen- und Anlagenbau-Branche für neue Beschichtungsfunktionalitäten mit Nanotechnologie identifiziert. Diese wurden in einer Expertenbefragung hinsichtlich ihres Realisierungszeitraums, FuE-Aufwand, Markt- und Technologiepotenzial, Umwelteffekte und Bedeutung der Lösung bewertet (Heubach, Angerer 2007).

Tabelle 7: Auswertung einer Expertenbefragung zu nanofunktionalisierten Oberflächen

Anwendungsidee	Realisierungszeitraum	FuE-Aufwand	Marktpotenzial	Technologiepotenzial	Umwelteffekte	Bedeutung der Lösung für...
<b>Kratzfestigkeit</b> von dreidimensionale PE- und PP-Kunststoffgehäusen	2006-2010	●	●	●	Rohstoffeffizienz	Wirtschaft
<b>Anti-Fingerprint</b> von Sanitär-Armaturen (gebürstetem Edelstahl, poliertem Edelstahl, Chrom etc.)	Bereits realisiert	●	●	●	unspezifisch	Wirtschaft
<b>Diffusionsperme</b> als Beschichtungen für wasserführende Metallbauteile zur Reduktion von Ni-/Pb-Auswaschung	2006-2010	●	●	●	Gesundheitsschutz	Gesellschaft
<b>Antistatik</b> -Beschichtungen für Kunststofffolien	2006-2010	●	●	●	Rohstoffeffizienz	Technologie
<b>Antimikrobielle</b> Beschichtungen in Lebensmittel verarbeitenden Betrieben (Großküche, Schlachtereie) zur Verhinderung der Besiedlung mit MO	2006-2010	●	●	●	Gesundheitsschutz	Gesellschaft
<b>Antimikrobielle</b> Innenbeschichtungen für Schmutzwasserbehälter zur Verhinderung der Besiedelung mit MO und der Bildung von Biofilmen	2006-2010	●	●	●	Gesundheitsschutz	Wirtschaft
<b>Photokatalytische</b> Innenbeschichtungen keimfreier Verpackung von medizinischen Instrumenten und Medikamenten in PE- und PP-Schalen	2006-2010	●	●	●	Gesundheitsschutz	Gesellschaft
<b>Superhydrophobe</b> Beschichtung von Glas durch Wachsreservoirtechnik	2011-2015	●	●	●	Abfallvermeidung	Technologie

Legende: ● – groß; ● – mittel; ○ – klein/gering

FuE-Aufwand: „groß“ entspr. > 500.000 Euro; „mittel“ entspr. 500.000 - 50.000 Euro; „klein/gering“ entspr. < 50.000 Euro

Marktpotenzial: „groß“ entspr. > 500 Mio. Euro; „mittel“ entspr. 500 - 50 Mio. Euro; „klein/gering“ entspr. < 50 Mio. Euro

Technologiepotenzial: „groß“ entspr. „Vielzahl von Anwendungen“; „klein/gering“ entspr. „auf eine Anwendung beschränkt“



Am Beispiel der antimikrobiellen Beschichtung können die Zusammenhänge von Nanomaterial, Zweck- und Systemfunktion und Applikation verdeutlicht werden. Unterschiedliche Materialien und Systemfunktionen stellen die Zweckfunktion „Reduktion bzw. Verhinderung von Verkeimung, Biofilm, MO-Aufwuchs“ bereit.

**Tabelle 8: Oberflächenfunktionalisierung durch Nanotechnologie am Beispiel der antimikrobiellen Beschichtung**

<b>Wirkprinzip</b>	Biologisch-chemische Wechselwirkungen an Oberflächen			
<b>Zweckfunktion</b>	Reduktion bzw. Verhinderung von Verkeimung, Biofilm, MO-Aufwuchs			
<b>Nanomaterial (Wirkstruktur)</b>	ZnO-Nanopartikel	TiO <sub>2</sub> -Nanopartikel	Ag-Nanopartikel	Hybrid-Polymer mit Konservierungsstoff
<b>Wirkort</b>	Oberfläche (Kontakt)	Oberfläche	Oberfläche (Kontakt) oder kontinuierliche Abgabe in Umgebung	Oberfläche (Kontakt) oder kontinuierliche Abgabe Umgebung
<b>Systemfunktion</b>	Antimikrobiell	Photokatalytisch	Antimikrobielle	Antimikrobielle
<b>Wirkmechanismus</b>	antiseptische Wirkung von ZnO	oxidative Zersetzung von org. Substanzen UV+H <sub>2</sub> O → H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +OH <sup>-</sup>	Enzym-Blockung durch Silber-Ionen	biozide Agenzien (z.B. Polyammoniumsalze)
<b>Applikation</b>	Herkömmliches Lacksystem (transparent)	Herkömmliches Lacksystem (transparent)	Herkömmliches Lacksystem (nicht-transparent)	Hybridpolymere (transparent)
<b>Stand der Anwendung</b>	Marktfähige Produkte (Pharmazie, ...)	Marktfähige Produkte (Bau, Haushalt, ...)	Marktfähige Produkte (Medizin, Haushalt, ...)	Marktfähige Produkte (Verpackung, ...)

### 3.2.6 Hemmnisse der Bewertung und Anwendung von Nanotechnologie

#### Ungenügender Wissensstand über die Lösungspotenziale der Nanotechnologie

Patent- und Marktanalysen zeigen, dass bisher vor allem große Unternehmen wie Infineon, DaimlerChrysler, Carl Zeiss, Siemens, BASF, Bayer, Degussa u. a. und Start-Ups auf dem Gebiet der Nanotechnologie arbeiten (vgl. Luther et al. 2004; Rieke, Bachmann 2004, S.444; Reitberger 2002, S.12; Heinze 2004, S.442). Der klassische Mittelstand in Deutschland kann bisher nicht im gewünschten Maße an den Möglichkeiten der Nanotechnologie partizipieren. Studien zeigen, dass große Unternehmen die Nanotechnologie adaptieren konnten, wogegen der Mittelstand teilweise nur durch populär-wissenschaftliche Darstellungen der Nanotechnologie informiert ist. D.h. dass es die Nanotechnologie gibt, ist bekannt, welche spezifischen Potenziale sie aber bietet weniger. Ein klares Bild dessen, was Nanotechnologie zu leisten vermag fehlt. Trotz Initiativen ist die Vertrautheit mit dem Thema Nanotechnologie und das Wissen über deren Grundlagen, was als technische Regeln formuliert wird, noch steigerungsfähig (vgl. Festel Capital 2006; Hessen Agentur 2005a, S.16; BMBF 2006c, S.14; Grunwald 2006, S.63; Mann, S. 2006, S.7).

Unternehmen, die sich der Nanotechnologie nähern, sehen sich mit zwei wesentlichen Herausforderungen konfrontiert (vgl. Kingon et al. 2004, S.6/7): Erstens erschwert die große und rasant wachsende Menge an Informationen sowie die neuen verwendeten Termini die zielführende und anwendungsorientierte Verarbeitung der Informationen, wie Untersuchungen zeigen. Und zweitens fehlt damit auch das Wissen, welche Fragen in Bezug auf Anwendungen, Randbedingungen, Lösungsansätzen etc. zu stellen sind, d.h. welche Bedarfe im Unternehmen hinsichtlich der neuen Technologie bestehen.

## Große Entwicklungsdynamik der Nanotechnologie

Die Nanotechnologie zeigt eine große Entwicklungsdynamik, vor allem im Grundlagenbereich. Dies belegen Patent- und Literaturanalysen (Heinze 2004; Huang et al. 2005; Zhou, Leydesdorff 2006). Große Förderprogramme für Nanowissenschaft und -technologie wie z.B. der EU oder der Bundesregierung lassen eine weitere Steigerung erwarten (Europäische Union 2006, S.38; BMBF 2006c). Die unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten sind heute bei weitem noch nicht in ihrem vollen Ausmaß bekannt, erste Ansatzpunkte für Innovationen sind gerade entdeckt (Luther et al. 2004, S.113). Um die zukünftige mögliche Entwicklung der Nanotechnologie aufzuzeigen, wurden verschiedene ITA-Studien durchgeführt und Technologie-Roadmaps erstellt.<sup>38</sup> Allgemein lässt der Querschnittscharakter eine schnelle und breite Diffusion des technologischen Fortschritts erwarten. Nanotechnologische Anwendungen sind Ursache und zugleich Ergebnis der Fortschritte auf anderen nanotechnologischen Anwendungsgebieten. Neue Erkenntnisse in den Nanowissenschaften kommen aufgrund der Universalität auch anderen Anwendungsgebieten zugute (vgl. Shea 2005, S.190). Dies führt dazu, dass der gegenwärtige Wissensstand nur eine Momentaufnahme darstellt und noch nicht abgeschlossen ist. Eine endgültige Zusammenstellung dessen, was Nanotechnologie zu leisten vermag, ist nicht möglich. Daraus folgt, dass generische Zugänge gefunden werden müssen, die auch zukünftige Entwicklungen mit abdecken können.

Bereits jetzt können einige branchen- und industriespezifische nanotechnologische Entwicklungen identifiziert werden, z.B. in der IKT- oder Optik-Industrie, wo die Einsatzmöglichkeiten der Nanotechnologie bekannt sind und Roadmaps z.B. abgestimmt werden. Dem steht aber das große Feld der zunächst anwendungsunspezifischen Nanomaterialien gegenüber (Kap. 3.2.5). Ihre Entwicklung wird von einzelnen Zielanwendungen vorangetrieben, durch ihre breite funktionale Basis ergeben sich Rückkopplungen und Abhängigkeiten mit anderen Anwendungen im Sinne eines Transfers oder einer Beschleunigung (Shea 2005, S.190).

## Treiber und Barrieren der Nanotechnologie-Anwendung

Die bisherige Entwicklung der Nanotechnologie ist stark technologie- oder möglichkeitsgetrieben (vgl. Spath et al. 2004, S.10; Rieke, Bachmann 2004, S.435; Hessen Agentur 2005a, S.17), BACHMANN spricht von „*innovationsorientierter Grundlagenforschung als Zukunftsvorsorge*“ (Bachmann 1998, S.10). Die größte Aufgabe und zugleich Herausforderung ist es deshalb, geeignete kommerzielle Anwendungen für die Nanotechnologie zu finden. Die Umsetzung der Erkenntnisse aus der Nanoforschung in Produkte und Verfahren findet – besonders in der Mittelständischen Industrie Deutschlands – nur zögerlich statt, von einem Valley of Death ist hier die Rede (Iden, Heubach 2007, S.12/28, sowie Markham 2002). Gründe sind u. a. die noch zu zaghafte Verbreitung von Ansätzen der Nanotechnologie in einzelne Branchen, weshalb auf den unterschiedlichen Handlungsebenen die Ergebnisverwertung mit einer realistischen Einschätzung von Chancen und Risiken intensiviert werden muss (vgl. BMBF 2006c, S.13).

Das komplexe Zusammenwirken von Technologie-Push und Markt-Pull muss verbessert und beschleunigt werden. Konkrete Anwendungsmöglichkeiten können nur durch eine Parallelstrategie von Push und Pull erkannt werden. Insofern sind neue Innovationskonzepte vonnöten, die das Wertschöpfungsketten-Denken aufgreifen und Industrie und Wissenschaft zusammenführen

---

<sup>38</sup> ITA-Studien siehe Malanowski 2003; Cleemann, Peiffer 1992 (S.110); Fleischer et al. 2004; Dietz 2004; Paschen et al. 2004; Steinfeldt et al. 2004; Luther et al. 2004; Farkas et al. 2004 und Royal Society 2004. Material- und Technologie-Roadmaps siehe Steinbeis-Europa-Zentrum 2005; AIRI Nanotec IT 2006; Naumanen 2004; Willems & van den Wildenberg 2005a; Willems & van den Wildenberg 2005b; Willems & van den Wildenberg 2005c; Willems & van den Wildenberg 2005d und SusChem 2005.

(Iken, Heubach 2007, S.28/29; Zweck 2005, S.177; BCG 2006, S.77; Brune et al. 2006, S.6). Zudem genügt es nicht, sich auf eine nanotechnologische Anwendung zu fokussieren, vielmehr lassen die vielfältigen Verbindungsmöglichkeiten von Technologien und Anwendung zahlreiche Kombinationen erwarten, sodass der breite technologische Push der Nanotechnologie auf viele prinzipiell möglichen Problemfelder treffen kann – diese gilt es zu identifizieren.

### **Fehlende strukturierte operable Zugänge zur Nanotechnologie**

Trotz der großen Entwicklungsdynamik wurden bereits verschiedene Versuche unternommen, strukturierte Zugänge zur Nanotechnologie anzubieten, die Nutzern einen Einstieg erleichtern und sie spezifisch an mögliche Anwendungen heranführen. Im Rahmen des EU-Forschungsprojekts NanoRoadSME wurde z.B. eine Datenbank mit Roadmaps zu ausgewählten nanotechnologischen Funktionen erstellt (Steinbeis-Europa-Zentrum 2005). Diese beziehen sich aber auf einzelne Branchen, im Fokus steht der zeitliche Entwicklungsaspekt von Materialien. Außerdem unterliegen Datenbanken immer dem Problem, kontinuierlich aktualisiert werden zu müssen. Unternehmen benötigen aber gerade bei der Auswahl und Analyse von relevanten Nanomaterialien und -funktionen Hilfestellung, um die Ableitung von nanotechnologischen Funktionen aus eigenen Problemfeldern und damit die konkrete Hinführung zur Nanotechnologie zu unterstützen. Andere Ansätze stellen die Verbindung von Nanofunktionen und Anwendungsgebiete spezifisch für die Umwelttechnik in Anwendungslandkarten dar (Heubach et al. 2005, S.26), oder das Unternehmen wird anhand von Leitfragen an nanotechnologische Lösungen in der Produktion herangeführt (Haas, Heubach 2007).

### **Zusammenfassung**

Tabelle 9 fasst die bisherigen Hemmnisse der Bewertung und Anwendung von Nanotechnologie als Defizite zusammen und stellt die Anforderungen gegenüber.

**Tabelle 9: Zusammenfassung von Defiziten und Anforderungen der Nanotechnologie aus Anwendungs- und Bewertungssicht**

<b>Defizit bzw. Handlungsfelder</b>	<b>Anforderung</b>
[D1] Der Kenntnisstand über die Lösungspotenziale der Nanotechnologie für Produkte ist in Unternehmen ungenügend aufgrund der Neuheit des Technologiefeldes und deren naturwissenschaftlichen Grundlagen, einer rasant zunehmenden Wissensbasis sowie fehlender Erfahrungswerte mit der neuen Technologie.	[A1] Es wird ein Transfer von Anwendungswissen der Nanotechnologie gefordert, der Unternehmen befähigt, Anwendungsfelder zu identifizieren und Lösungsansätze und Nutzen zu bewerten. Hierfür soll auf implizites Wissen zurückgegriffen und eine Outside-In-Strategie für die Wissensakquise verfolgt werden.
[D2] Die Entwicklung der Nanotechnologie zeigt eine große Dynamik mit unterschiedlichen Entwicklungsständen; dadurch gibt es noch kein ausdifferenziertes und ausgereiftes Technologiefeld mit bekannten Anwendungsgebieten.	[A2] Die Ansätze der Nanotechnologie sollen abstrahiert werden, sodass unabhängig vom aktuellen Entwicklungsstand die prinzipiellen Lösungsansätze der Nanotechnologie aufgezeigt werden können.
[D3] Die Entwicklung der Nanotechnologie ist stark technologiegetrieben, eine Umsetzung in Anwendungen und Produkte findet jedoch nur zögerlich statt.	[A3] Technologie-Push und Markt-Pull müssen kombiniert und verzahnt werden und die daraus resultierenden vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten umfassend analysiert werden.
[D4] Es fehlt ein strukturierter Zugang zur Nanotechnologie, der operabel für die Identifikation von Anwendungsfeldern ist und diese Aufgabe unterstützt.	[A4] Es werden Zugänge zu Nanotechnologie benötigt, die Unternehmen anwendungsorientiert ein Verständnis über die Wirkmechanismen und Funktionalitäten von Nanotechnologie vermitteln und im Zusammenhang mit Planungs- und Entscheidungsprozessen operabel sind.

### 3.3 Prozessmodelle der Produktplanung

Wie in Kap. 3.1.1 bereits kurz dargelegt wurde, ist die Produktfindung zentraler Aufgabenbereich der Produktplanung mit dem Ziel, durch systematischen Methodeneinsatz Ideen für neue innovative Produkte zu suchen oder zu sammeln und zu bewerten (VDI 1983, S.V/25).<sup>39</sup> Dies erfolgt in einem kreativen Prozess in den frühen Phasen (Fuzzy Front End) des Innovationsprozesses.<sup>40</sup> Insofern wird die Produktplanung als planerischer, auf die Identifikation und Bewertung von neuen Produktideen abzielender Teil des Innovationsprozesses verstanden (siehe Abbildung 2, Kap. 3.1.1). Darin wird der Einsatz neuer Technologien in Produkten als Problemlösung gedanklich vorweggenommen und eine zielgerichtete Entscheidung vorbereitet. FuE-Arbeiten oder die Realisierung in Form der Produktentwicklung und -konstruktion schließen sich daran an (vgl. Wöhe 2002, S.103; Patzak 1982, S.78; Pleschak, Sabisch 1996, S.1; VDI-2221 1993, S.8).

Die Produktplanung ist gekennzeichnet durch den antizipativen Charakter und die ihr zugrunde liegende abstrahierende Problemdefinition (Heinen 1991, S.64). Dieses Problem wird als Bearbeitungsprozess mit Eingangs- und Ausgangsgrößen gelöst. Die Prozesssicht der Produktplanung beschreibt die Abfolge von Phasen, die logisch und funktionsübergreifend verknüpft sind und der Erstellung des Produktes dienen (Müller 1990, S.16; Pleschak, Sabisch 1996, S.20). Die Phasenabfolge in der Produktentwicklung erfolgt allerdings nicht stringent und sequenziell, Überlappungen und parallele Abläufe sind möglich. Die Phasenvorstellung dient vielmehr der konzeptionellen Strukturierung, indem die einzelnen Aktivitäten und Arbeitsinhalte definiert werden und so ein effizientes und effektives Vorgehen gewährleistet wird (Hauschildt 2004, S.455; siehe auch Ernst 2002, S.337; Grupp 1997, S.16; Specht, G. et al. 2002, S.128).

Zur Planung im engeren Sinne gehören im Anschluss an die Zielvorgabe die Phasen Problemanalyse, Lösungssuche und Beurteilung/Bewertung; die Planung im weiteren Sinne schließt noch die Phase Entscheidung mit ein (vgl. Wild 1982, S.37). Im Rahmen dieser Arbeit wird der Schwerpunkt auf die Prozesse der Produktplanung im engeren Sinne gelegt, die auch mit der VDI-Richtlinie 2220<sup>41</sup> übereinstimmen (VDI-2220 1980).

In der wissenschaftlichen Literatur finden sich eine Vielzahl an Prozessmodellen für die Beschreibung und Detaillierung der Phasen der Planung innovativer Produkte.<sup>42</sup> Dabei werden unterschiedliche Schwerpunkte gelegt (Verworn, Herstatt 2002, S.3): Deskriptive Prozessmodelle beschreiben allein empirische Beobachtungen, normative Prozessmodelle hingegen – hierzu gehören die im Folgenden vorgestellten und diskutierten Modelle – einen idealtypischen Ablauf des

---

<sup>39</sup> Eine einheitliche Definition der Produktplanung gibt es in der Literatur nicht (vgl. VDI 1983, S.25; Seidel 2005, S.11), zum Teil werden synonyme Begriffe wie Produktentwicklungsprozess verwendet. Allen Ansätzen ist jedoch gemein, dass es sich um die frühe Phase des Innovationsprozess handelt und neue Produktideen gefunden werden sollen mit dem Ziel der Innovation (vgl. Gausemeier et al. 2001, S.43; Andreasen 2005, S.257; Eversheim et al. 2003, S.27; Schäppi 2005, S.274; VDI-2220 1980, S.2).

<sup>40</sup> Der Innovationsprozess wird nach PLESCHAK und SABISCH auf einen Problemlösungsprozess mit dem Ziel einer technisch-wirtschaftlichen Lösung zurückgeführt (vgl. Pleschak, Sabisch 1996, S.1/26; Vahs, Burmester 2005, S.45). Dieser läuft allgemein in den Schritten *Problemanalyse*, *Problemelemente definieren*, *Lösungssuche*, *Beurteilung/Bewertung/Auswahl* und *Umsetzung* (teilweise wird die *Umsetzung* nicht als Teil des Problemlösungsprozesses betrachtet, Problemlösungsprozesse finden sich bei Frese et al. 1996, S.3-44; Patzak 1982, S.134/138; Saak 2006; Müller 1990, S.16; Andreasen 2005, S.251; VDI-2221 1993, S.3; Bruns 1991, S.4). Die Produktplanung und speziell ihre Teilfunktion „Produktfindung“ sind Bestandteil der *Problemanalyse* und *Aufgabenstellung* (siehe auch Abbildung 14).

<sup>41</sup> VDI-Richtlinie 2220: Produktplanung – Ablauf, Begriffe und Organisation (VDI-2220 1980).

<sup>42</sup> Siehe Vahs, Burmester 2005 (S.82/128); Pleschak, Sabisch 1996; Andreasen 2005; Ulrich, Eppinger 2004; Gerybadze 2004 (S.21f); Brockhoff 1999 (S.36ff); Strebel 2003 (S.49); Lindemann 2005; Erichson 2002 (S.417); Albers, Herrmann 2002; Cooper, Kleinschmidt 1986; Cooper 2001; Herstatt, Verworn 2003b und Verworn, Herstatt 2000.

Planungs- bzw. Innovationsprozesses beschreiben, der auf praktischen Erfahrungen beruht und der Prozesssystematisierung und -strukturierung im Unternehmen dient.

Im Folgenden werden einzelne Ansätze der Produktplanung in der Literatur vorgestellt und in Bezug auf die Ausgangsfragestellung dieser Arbeit kritisch gewürdigt.

### **3.3.1 Produktplanung nach VDI 2220**

Die VDI-Richtlinie 2220<sup>43</sup> strukturiert die Produktplanung und schafft eine einheitliche Terminologie (VDI-2220 1980). Die Produktplanung ist untergliedert in die Einzelschritte Produktfindung, Produktplanungsverfolgung und Produktüberwachung (siehe Abbildung 14 und Abbildung 48, Anhang Kap. 11.3.1). Der Produktfindung als zentralen Aktionsbereich der Produktplanung vorgelagert ist die Analyse des Unternehmenspotenzials und die Festlegung der Suchfelder. Suchfelder beschreiben die Produktfindung determinierende Aktionsbereiche, innerhalb derer nach neuen Produktideen gesucht werden soll. Sie orientieren sich an den Unternehmenspotenzialen und -zielen sowie Markt- und Technologieentwicklungen (siehe Abbildung 46, Anhang Kap. 11.1.2). Wie die relevanten technologischen Trends, die möglicherweise außerhalb der bisherigen Suchbereiche liegen (vgl. Kap. 3.1.2.3), systematisch und zielführend identifiziert und Informationen hierzu eingeholt werden können wird jedoch nicht näher erläutert.

Die Produktfindung schließt sich an die Suchfeldfestlegung und Charakterisierung des Unternehmenspotenzials an. Aufgrund der grundlegenden Bedeutung für die Unternehmensstrategie gehört sie zur mittel- bis langfristigen Planung (VDI 1983, S.30). Die Produktfindung erfolgt in den Teilschritten Ideenfindung, Selektion und Produktdefinition mit Realisierungsvorschlägen (siehe Abbildung 14).

Der Schritt der Ideenfindung wird methodisch gestaltet durch intuitive und systematische Ideensuch- und Kreativitätsmethoden wie Ideen-Delphi oder Morphologisches Schema zur Suche und Sammlung interner und externer Ideen. Darin sollen neue Produktideen innerhalb der definierten Suchfelder und aufbauend auf dem Unternehmenspotenzials ermittelt werden. Es werden bereits Problemlösungen als Produktidee gefunden, oder zunächst Problemideen aus den Suchfeldern abgeleitet und beschrieben, für die Lösungen gefunden werden müssen. Eine Produktidee ist ein Vorschlag für ein neues, aussichtsreiches und realisierbar erscheinendes Produkt. Sie wird formalisiert beschrieben anhand der Funktion (Aufgabe) des Produktes, dem Arbeitsprinzip, das die Wirkungsweise und technische Lösung auf der Grundlage der physikalischen oder chemischen Gesetzmäßigkeiten bezeichnet, sowie weiteren charakteristischen Daten, die das Leistungsvermögen quantifizieren (VDI 1983, S.82).

---

<sup>43</sup> VDI-Richtlinie 2220: Produktplanung - Ablauf, Begriffe und Organisation (VDI-2220 1980). Gemeinsam mit der VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte (VDI-2221 1993), VDI-Richtlinie 2222: Konstruktionsmethodik, Blatt 1 und Blatt 2 (VDI-2222(BI.1) 1997; VDI-2222(BI.2) 1982) und VDI-Richtlinie 2223: Methodisches Entwerfen technischer Produkte (VDI-2223 2004) bildet sie das VDI-Richtliniengerüst für Produktplanung, Aufgabestellung, Entwicklung und Konstruktion (VDI-2222(BI.1) 1997, S.4).

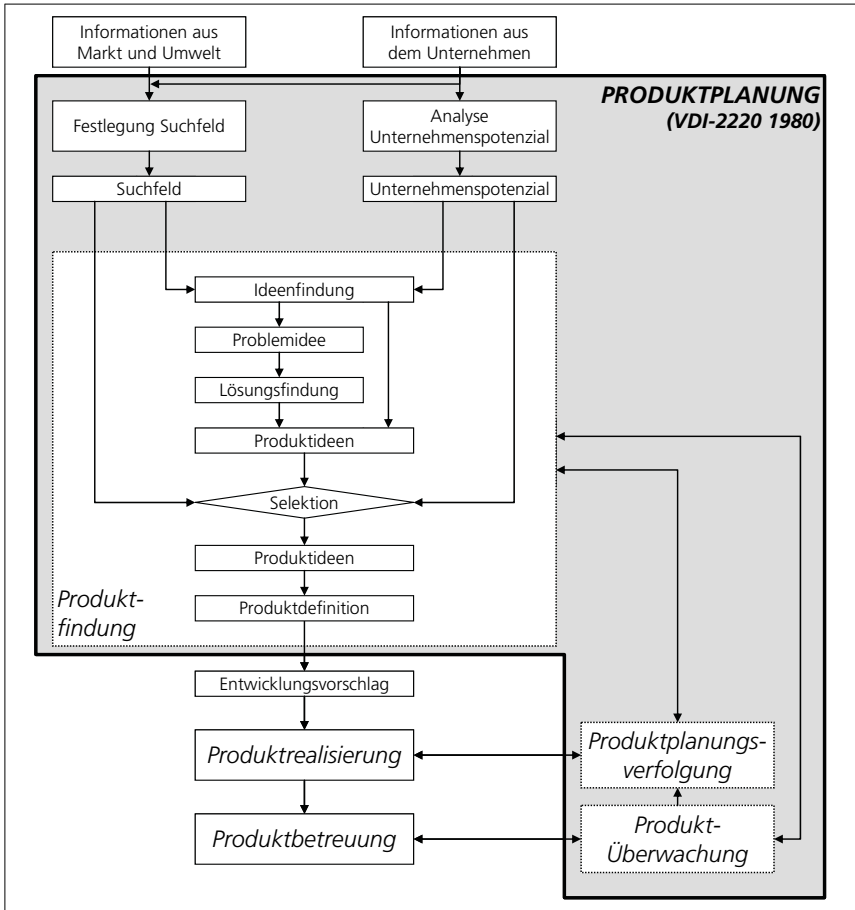


Abbildung 14: Ablaufplan der Produktplanung nach VDI-Richtlinie 2220 (VDI-2220 1980) mit anschließender Produktrealisierung und Produktbetreuung

Anschließend werden die Produktideen in einem mehrstufigen Prozess bewertet und selektiert (siehe Tabelle 10). Das Vorgehen zeigt die zyklische Wiederkehr der Bewertungsfragestellung mit zunehmender Detaillierung und Verbesserung der Informationsbasis. Der Aufwand und Umfang für die Informationsakquisition und die Bewertung nimmt zu, was kennzeichnend für das Fuzzy Front End ist (vgl. Specht, G. et al. 2002, S.128; Herstatt, Verworn 2003b, Verworn, Herstatt 2003).<sup>44</sup>

<sup>44</sup> COOPER zeigt anhand von Analyse der Kosten- und Zeitaufwänden in den einzelne Phasen von Innovationsprojekten beispielweise, dass knapp 3% des Gesamtaufwandes für eine erste technische Bewertung aufgebracht werden (Cooper 2001, S.41). Im Stage-Gate-Ansatz nach COOPER wird ein Zeitaufwand von max. 10 Personentagen für die erste Phase („Reichweite festlegen“) angesetzt, und für technische Analysen in der zweiten Phase („Rahmen ab-

Tabelle 10: Stufen der Ideenbewertung und -auswahl in der Produktfindung (VDI-2220 1980)

Stufe	Prozessinput	Prozessschritt	Selektion	Bewertungskriterien	Zeitablauf
1	Erfahrung	Grobbewertung auf Basis der Erfahrung der Teilnehmer	einfache Punktebewertung	allg. Oberbegriffe und Trends	im Anschluss an Ideenfindung
2	Kurzanalysen	Qualitative Feinbewertung	Nutzwertanalyse	Patent, Know-how, Kompetenzen, Leistung,	nach ca. 2 Wochen
3	Detailanalysen	Qualitativ-quantitative Bewertung	Kennzahlermittlung	...	innerhalb von 3-6 Monate

Die letzte Phase innerhalb der Produktfindung ist die Produktdefinition. Hier werden in einem Realisierungsvorschlag die technischen Anforderungen an das Produkt mit der Funktion, dem Arbeitsprinzip und weitere charakteristische Daten beschrieben. Je nach Neuigkeitsgrad des geplanten Produktes für das Unternehmen und den Markt kann dieser Vorschlag konkretisiert werden (VDI-2220 1980, S.8).

Der Ansatz der Produktplanung nach der VDI 2220 bietet kein spezifisches Vorgehen zur Integration von neuartigen Lösungsansätzen neuer Technologien in die Produktfindung. Jedoch bietet das Vorgehensmodell mit der Unterteilung in Problem- und Produktideen eine Strukturierungssystematik, die zusammen mit der Terminologie nach VDI Richtlinie 2221<sup>45</sup> ein hilfreiches Grundgerüst für die Technologierelevanzanalyse der Nanotechnologie liefert. Der Ansatz muss jedoch in Bezug auf den systematischen Zugang zur Nanotechnologie und die Identifikation von nanotechnologiespezifischen Problemiddeen angepasst sowie um die Integration impliziten Wissens erweitert werden.

### 3.3.2 Produktplanung nach GAUSEMEIER

Die strategische Produktplanung nach GAUSEMEIER et al. besteht aus den Tätigkeiten Potenzialfindung, Produktfindung, Geschäftsplanung und Produktkonzipierung mit dem Ziel der Entwicklung Erfolg versprechender Produktkonzeptionen (Abbildung 49, Anhang Kap. 11.3.1). Sie stellt den ersten Entwicklungszyklus im Produktinnovationsprozess dar, die beiden folgenden Zyklen sind die Produktentwicklung und Prozessentwicklung (Gausemeier et al. 2001, S.43f).

Zunächst werden die Erfolgspotenziale in Bezug auf Kunden und Märkte und die Handlungsoptionen mit Hilfe der Szenarioanalyse, QFD und Portfolioanalyse methodisch erfasst. Darauf aufbauend werden in der Produktfindung mit Unterstützung von Kreativitäts- und Problemlösungstechniken neue Produkt- und Dienstleistungsideen gesucht und ausgewählt. Die Suche nach innovativen Lösungspotenzialen durch Neue Technologien wird nicht explizit ausgeführt. Anhand des S-Kurvenkonzepts wird eine Verortung der Produkttechnologien in den Kategorien Schlüssel-, Schrittmacher-, Basis- oder ausgereifte Basistechnologie vorgenommen. Dieses Raster ist für die Nanotechnologie jedoch zu unspezifisch (siehe Kap. 3.1.2.1). Des Weiteren erfolgt die Technologieanalyse für ein Produkt und nicht für Produktfunktionen, was für die Nanotechnologie jedoch notwendig ist, da sie kein Produkt-, sondern eine Enabling Technology darstellt. Die Identifikation von schwachen Signalen ist Teil der Strategiekontrolle und losgelöst von den Pha-

---

stecken“) sollen nicht mehr wie 10% der anvisierten Entwicklungskosten verwendet werden (Cooper 2001, S.134/199). Ein ähnliche Abschätzung findet sich bei Bürgel und Zeller, zitiert in HERSTATT und VERWORN, wonach 75 bis 80% der Produktlebenskosten in dieser frühen Phase bestimmt werden, der Aufwand dafür allerdings nur 5 bis 7% der Gesamtkosten beträgt (Herstatt, Verworn 2003b).

<sup>45</sup> nach VDI-2221 1993, siehe Kap. 11.1.1.1.

sen der Produktplanung, eine explizite Verbindung von identifiziertem technologischem Lösungspotenzial und Problemidentifikation bzw. Ideenfindung fehlt.

Anschließend wird die Geschäftsstrategie mit den zu bedienende Märkten festgelegt, dann die Produktstrategie erfasst sowie ein Geschäftsplan erstellt. Mit der Produktkonzipierung schließt dieser Zyklus an den nachfolgenden Zyklus Produktentwicklung an. Hier werden Prinziplösungen mit den groben funktionsbestimmenden Spezifikationen, die auf physikalischen und logischen Wirkungsweisen basieren, für das neue Produkt erarbeitet.

### **3.3.3 Produktplanung der InnovationRoadMap nach EVERSHEIM**

Das W-Modell der InnovationRoadMap zur Planung von Produktinnovationen nach BRANDENBURG und EVERSHEIM umfasst alle produktplanerischen Teilschritte von der Zielsetzung bis zur Umsetzungsplanung (Brandenburg 2002, S.51; Eversheim et al. 2003, S.32). Es ist in die sieben Phasen Zielbildung, Zukunftsanalyse, Ideenfindung, Ideenbewertung, Ideendetaillierung, Konzeptbewertung und Umsetzungsplanung gegliedert (Abbildung 50, Anhang Kap. 11.3.3). Die Zukunftsanalyse, Ideenfindung und Umsetzungsplanung sollen periodisch wiederholt werden.

Für die Arbeit hier sind die Zukunftsanalyse und besonders die Ideenfindung von Bedeutung. In der Zukunftsanalyse werden Globaltrends (nach Aeberhard 1996), z.B. relevante Technologien erfasst und daraus ein Wirkmodell für die Innovationspotenziale, die entweder eine Problem- oder eine Lösungsidee beschreiben, abgeleitet. Eine weitere Ausgestaltung von Such- und Auswahlkriterien für Technologien erfolgt nicht. Eine systematische Syntax zur Formulierung von Innovationspotenzialen und Zukunftsprojekten wird definiert, für Technologien wird jedoch kein strukturierter Beschreibungsansatz dargelegt.

Die darauf folgende Ideenfindung ist unterteilt in die Analyse der Innovationsaufgabe und die Sammlung und Generierung von Produktideen. Die Innovationsaufgabe wird strukturiert, in eine funktionale Sicht transformiert und das „Ideale Produkt“ formuliert. Hierfür werden im Unternehmen bereits entwickelte oder bekannte Lösungen gesammelt, z.B. mit Hilfe von FAST-Diagramm, Patentanalyse, Wertanalyse oder Kreativitäts- und Problemlösungstechnik (Akiyama 1994; DIN EN-12973 2002; Eversheim et al. 2003, S.76). Anschließend werden erste grobe Produktideen gesammelt und generiert, z.B. durch den Einsatz der TRIZ-Methodik (siehe Kap. 3.4.3) oder Bionik. Lösungsprinzipien von Neuen Technologien sind jedoch (noch) nicht in den etablierten Konstruktionsmethoden wie TRIZ integriert, sodass diese bei der Generierung von Produktideen unberücksichtigt bleiben (siehe Kap. 3.4.3). Die Produktideen werden anschließend strukturiert, verdichtet und durch sinnvolle Kombination von Problem- und Lösungsidee detailliert.

Die Produktideen werden in der Ideendetaillierung hinsichtlich ihrer Lösungskonzeption und Realisierung vertieft und anschließend anhand eines Kriteriensystems in einem Portfolio-System bewertet. Die Bewertung bezieht den Unternehmensnutzen, die Zukunftsträchtigkeit und das Technologiepotenzial mit ein.

### **3.3.4 Produktplanung des Chain-Link-Modells nach KLINE und ROSENBERG**

KLINE und ROSENBERG haben mit dem Chain-Link-Modell einen Modellansatz für einen rückgekoppelten Innovationsprozess vorgestellt, der eine Abkehr von den linear-sequenziellen Modellen darstellt (Kline, Rosenberg 1986; Kline 1985b; Gerybadze 2004, S.26f; Grupp 1997, S.16).<sup>46</sup> Kern ist die Verbindung der Handlungsebenen Forschung und Wissen mit den innerbetrieblichen

---

<sup>46</sup> Weitere rückgekoppelte Modelle finden sich z.B. bei Kameoka et al. 2001 und Schmidt-Tiedemann 1982.



Abläufen des Innovationsprozesses. Die Ebene Wissen (knowledge) stellt die gegenwärtige Gesamtheit des gespeicherten Wissens dar, während Forschung (research) dieses Wissen korrigiert bzw. Neues hinzufügt. Das Chain-Link-Modell repräsentiert damit einen Modellansatz, der explizit die Interaktionen zwischen den Innovationsphasen und Wissenschaft und deren Einfluss auf den Prozess verdeutlicht und abbildet.

Das Modell besteht aus den Einzelschritten Problem/latenter Bedarf, Invention/Analytisches Design, Entwicklung/Test, Redesign/Produktion sowie Markteinführung/Distribution (Abbildung 51, Anhang, Kap. 11.3.4). Im ersten Schritt starten Analysen potenzieller Märkte und geforderte Problemlösungen Such- und Entdeckungsaktivitäten. In der Inventionsphase werden Lösungsbeiträge aus der Forschung eingebunden und auf den Wissensspeicher zurückgegriffen. Gleichzeitig kann die Problemartikulation auch den Forschungs- und Wissensgewinn vorantreiben. Die Suche für technische Problemlösungen erfolgt zunächst im Wissensspeicher. Erst wenn die notwendigen Informationen nicht erhalten werden können, wird die Forschungsebene eingebunden. D.h. Forschung hat gewöhnlich nicht die Initialzündung für Innovationen, indem sie in die Problemidentifikation eingebunden wird, sondern dient als Problemlösung (OECD 1997, S.38). Das Lösungspotenzial neuer Technologien entsteht aber gerade im möglichkeitsgetriebenen Bereich zwischen Forschung und Wissen, sodass die beiden Ebenen nicht getrennt werden können. Außerdem zeigt das Modell nicht, wie das wissenschaftliche und technologische Wissen methodisch und zielführend mit dem Innovationsprozess in Berührung kommt (Grupp 1997, S.18). Die Stärke des Chain-Link-Modells ist jedoch die direkte Verbindung und Hervorhebung von Wissenschaft mit dem Innovationsprozess.

### **3.3.5 Vergleich verwandter Ansätze**

Tabelle 11 zeigt den Vergleich der vorgestellten Ansätze der Produktplanung mit der Zielsetzung des eigenen Ansatzes. Die Vergleichskriterien leiten sich aus der Zielsetzung (Kap. 2.1) und der Zusammenfassung und Ableitung der Problemstellung (Kap. 3.1.4) ab. Sie betreffen die phasenbezogene Schwerpunktlegung des Ansatzes, die besondere Berücksichtigung neuer Technologien, die zugrunde gelegte Systematik zur Lösungsfindung, den Innovationsimpuls sowie die Wissensakquise und -integration.

Tabelle 11: Vergleich bestehender Ansätze der Produktplanung in der Literatur

Vergleichskriterien	Schwerpunkt des Ansatzes auf			Neue Technologien	Systematik zur Lösungsfindung			Innovationsimpuls		Wissensakquise und -integration					
	Frühe Phasen: Ideenfindung, Lösungssuche	Ganzheitlicher Prozessansatz: Innovation, Methoden-Set	Späte Projektphase: Produktkonzeption/-entwicklung		„Front Loading“ von Neuen Technologien in frühe Phasen (Ideenfindung)	Lösungsaufbau auf etablierten/bekanntem Technologien	Systematische Ziel-Mittel-Kombination (Problem-Technologielösung)	Ebenenmodell Produkt – Funktion – Technologie	Systematischer Zugang zu spezifischen/Neuen Technologien	Technologie-Push Innovation	Markt-Pull Innovation	Integration von Push und Pull	Explizites Wissen	Implizites Wissen	Inside-Out
Ansätze der Produktplanung nach															
Gausemeier et al. 2001	●	●	●	○	●	●	○	○	○	●	●	●	○	●	●
Eversheim 2003/Brandenburg 2002	●	●	●	○	●	●	●	○	○	●	●	●	●	●	●
Kline, Rosenberg 1986	●	●	●	●	●	○	○	○	●	○	●	●	●	○	○
VDI-2220 1980	●	●	○	○	●	●	●	○	○	●	●	●	●	●	●
Zielsetzung des eigenen Ansatzes	●	●	○	●	○	●	●	●	○	○	●	●	●	●	●

Legende: ● – Schwerpunkt; ◐ – wird teilweise behandelt, ○ – nicht behandelt/Gegenstand des Ansatzes

### 3.3.6 Zusammenfassung von Defiziten und Anforderungen

In der Produktplanung werden kunden- und technologie-seitige Impulse für neue Produktideen aufgegriffen, selektiert sowie formalisiert und in eine entscheidungsreife Form überführt. Somit wird die Grundlage für die Realisierung der geplanten Innovation erarbeitet. Diese frühen Phasen sind in hohem Maße erfolgrelevant, aber auch verbesserungsbedürftig (Pannenbäcker 2001, S.37). Innovationen, die auf einem Technologiesprung oder dem Einsatz neuer Technologien gründen, werden in den frühen Phasen entschieden.

#### Abgrenzung zwischen Produktinnovations- und Technologieentwicklungsprozess

Zwischen dem Produktplanungs- und dem Technologieentwicklungsprozess besteht jedoch vielfach eine Abgrenzung. Zum einen wird in der Produktplanung davon ausgegangen, dass die zugrunde liegende Technologie bereits existiert, zum anderen sind die beiden Entwicklungsprozesse nur unzureichend integriert (Marx et al. 2004, S.963; Durrani et al. 1998, S.524). Die Ursachen sind zum einen darin begründet, dass nicht nur Produkte und Neue Technologien unterschiedliche Herangehensweisen und Wissensdomänen darstellen, sondern die Prozessmodelle entweder stärker wirtschaftswissenschaftlichen oder ingenieurwissenschaftlichen Ansätzen folgen. Daraus folgt auf der einen Seite ein hoher Abstraktionsgrad und die überwiegend theoretischen Behandlung von strategischen Managementfragestellungen. Auf der anderen Seite rücken operative, technologie-umsetzungsorientierte und konstruktiven Fragestellungen in den Mittelpunkt (siehe Brandenburg 2002, S.23).

Die Sichtweise vieler Modelle, nach der wissenschaftliche Erkenntnisse zur Technologie werden, dann in Innovationen zum Einsatz kommen und in den Markt diffundieren, dient der vereinfachten Darstellung der Technologieentstehung und -verwertung (vgl. Grupp 1997, S.17; Schmidt-Tiedemann 1982). Diese strenge Linearität kann aber in der Praxis nicht aufrecht erhalten wer-

den – das Beispiel Nanotechnologie beweist dies, da Wissenschaft, Technik und Wirtschaft interagieren und der Querschnittscharakter der Nanotechnologie diese Abgrenzung und Monokausalität nicht zulässt (vgl. Shea 2005). Insofern besteht für Querschnittstechnologien weiterer Forschungsbedarf in Bezug auf unterstützende Methoden und integrative Ansätze, um die breite funktionelle Lösungsbasis in Entscheidungsprozesse zu integrieren (Gomeringer 2007, S.126).

### **Fehlende Methoden zur Wissens- und Technologieintegration**

Das Vorgehen in der Produktplanung und die Erkenntnisse aus der Technologieentwicklung müssen mit ihren unterschiedlichen Laufzeiten, Treibern, Akteuren und Erfahrungswelten gekoppelt werden. Der Aufwand für die Identifikation der unternehmerischen Bedürfnisse und die Adaption der neuen Technologie nimmt dabei zu. Die Komplexität und Unsicherheit von Marktfragestellungen in den frühen Phasen wird ergänzt und verschärft um den Aspekt der Unsicherheit über das technologische Lösungspotenzial (Verzyer 1998, S.308, Herstatt, Verwon 2003a, S.11). Deshalb wird von einer Lücke in den frühen Phasen zwischen den Forschungskompetenzen auf der einen und Kommerzialisierungskompetenzen für die Produktentwicklung auf der anderen Seite gesprochen, was besonders für die Nanotechnologie gilt (Markham 2002, S.32; Iden, Heubach 2007).

Benötigt werden sowohl ein formaler Prozess als auch adaptive Fähigkeiten (Markham 2002, S.32; Zahn 2004, S.127): Die Fähigkeit, relevantes Wissen schnell und zielführend identifizieren und aufnehmen zu können, dieses aber auch effizient und effektiv verarbeiten zu können. Die Aufgabe besteht deshalb darin, formalisiert das Wissen über das Lösungspotenzial neuer Technologien in die frühen Phasen der Produktplanung einfließen zu lassen, und zwar nicht nur als Reaktion auf ein erkanntes Problem, sondern als Impuls für die Identifikation von neuen Anwendungsfeldern.

Die Prozessmodelle führen jedoch nicht weiter aus, wie Neue Technologien im Prozess methodisch identifiziert und das Wissen über sie eingebunden werden soll (vgl. Ajamian, Koen 2002, S.2; Grupp 1997, S.16f, Durrani et al. 1998, S.524). Erweiterungen z.B. des Stage-Gate-Prozesses (Cooper 2001) als Technology-Stage-Gate (Ajamian, Koen 2002; Cooper et al. 2002) oder der Discontinuous Product Innovation Process (Verzyer 1998) greifen dieses Dilemma richtigerweise auf, beschränken sich aber auf die Erweiterung des Phasenmodells und des Kriteriensets. Wie aber methodisch konkretisiert und formalisiert Zugang zu Neuen Technologien geschaffen wird, die sich – möglicherweise – noch im Stadium der Technologieentwicklung befinden (vgl. Abbildung 2), bleibt unberücksichtigt.

Dort, wo jedoch methodische Unterstützungsleistung vorgeschlagen wird, sind diese entweder unspezifisch und wenig zielgerichtet für den Einsatz neuer Technologien wie z.B. bekannte Kreativitätstechniken wie Brainstorming, Methode 635, Ideen-Delphi, Morphologischer Kasten. Oder die Anwendung ist für Unternehmen sehr zeitaufwändig und komplex und damit nur bedingt praxistauglich.<sup>47</sup> Offensichtlich fehlen skalierbare und flexible Ansätzen.

### **Fehlender formalisierter operabler Zugang zu Neuen Technologien**

Ein weiteres Problemfeld betrifft die Ideenfindung basierend auf Neuen Technologien. Die größten Schwierigkeiten betreffen die Problem- und Funktionsidentifikation, also die Definition der Anforderungen, aus denen dann leicht Lösungsprinzipien mit Hilfe der Konstruktionsmethodik abgeleitet werden können (VDI 1983, S.84). Allerdings gibt es für die Nanotechnologie noch keine strukturierten Zugänge, wie sie z.B. in Konstruktionskatalogen bereit gestellt werden. D.h.

---

<sup>47</sup> siehe Schuh et al. 2005; Aeberhard 1996 (S.69) und Jakob et al. 2006 (S.226).

das intuitive oder systematisch-diskursive Vorgehen zur Ideenfindung wird dadurch erschwert, dass nicht automatisch die Funktionslösung der neuen Technologie bereit steht bzw. aus den Anforderungen abgeleitet werden kann. Ein Ansatz bietet die Abstraktion der funktionalen Lösungsmöglichkeiten einer Technologie, die als grobe Lösungskonzepte in die Ideenfindungsphase einfließen und die Problemidentifikation unterstützen.

### Zusammenfassung

Tabelle 12 fasst die Defizite der Produktplanung mit Neuen Technologien und die daraus abgeleiteten Anforderungen zusammen.

Tabelle 12: Zusammenfassung von Defiziten und Anforderungen der Produktplanung

Defizit	Anforderung
[D5] Produktplanungs- und Technologieentwicklungsprozess sind besonders in den frühen Phasen nicht gekoppelt oder verschränkt, vielmehr wird impliziert, dass für die Ideenfindung die Technologie bereits ausgereift existiert, sodass Neue Technologien nur schwer eingebunden werden können.	[A5] Es wird bereits in den frühen Phasen eine Integration von Nanotechnologie in den Produktplanungsprozess benötigt, um das Lösungspotenzial der Nanotechnologie umfassend und systematisch zu erfassen.
[D6] Vorliegende Methoden zur Wissensintegration und Technologieanalyse in den frühen Produktplanungs-Phasen sind für Neue Technologien wenig praxistauglich, da sie zu komplex oder unspezifisch in der Anwendung sind, sowie den Wissensaustausch nicht ausreichend systematisieren.	[A6] Es werden einfache, flexible und adaptive Methoden zur Wissensintegration und Technologieanalyse benötigt, die anschlussfähig im Produktplanungsprozess sind. Diese sollen systematisch die Einbindung von (besonders implizitem) Wissen über die Nanotechnologie im Produktplanungsprozess gewährleisten.
[D7] Für die Einbindung neuer Technologien fehlt eine Formalisierung zur Technologiebeschreibung, die das Adaptieren der Technologien operationalisiert.	[A7] Es wird eine im Prozess verankerte Formalisierung und Abstraktion der Funktionalitäten von Nanotechnologie benötigt, wodurch auch die Ideenfindung anhand der Lösungsprinzipien der Nanotechnologie gesteuert wird.

### 3.4 Methodische Ansätze zur funktionsorientierten Technologieanalyse und -bewertung

Heuristische Technologiebewertungsmethoden sind ein wesentliches Instrument der Produktplanung (Müller 1990, S.17; Gausemeier et al. 2000, S.23/34, Specht, D., Möhrle 2002, S.187, Patzak 1982). In der Literatur finden sich zahlreiche Analyse- und Bewertungsmethoden für Technologien mit unterschiedlichen Zielstellungen.<sup>48</sup> Im Folgenden werden die Methoden Technologiekalender, House of Technology, TRIZ, Morphologische Klassifikation sowie Funktionanalyse nach VDI 2801 diskutiert und kritisch gewürdigt. Sie alle dienen der Technologieanalyse und -bewertung auf der Basis eines funktionalen Wertbegriffs und bauen auf einer Zerlegung des produkttechnischen Systems auf, um die Leistungsmerkmale und Gestaltungselemente zu identifizieren und zu bewerten.

<sup>48</sup> Siehe Kap. 11.4 im Anhang; sowie Brandenburg 2002 (S.21); Spielberg 2002 (S.29); VDI 1983 (S.102); Brankamp 1996 (S.7-5); Kobe 2001 (S.65f); VDI-2221 1993; Bonnet 1994 (S.45f); VDI-3780 2000 (S.31); Reger 2001b (S.267); Opehy 2005; Lindemann 2005; Spath et al. 2001 und Wildemann 1999 (S.73).

### 3.4.1 Technologiekalender

Der Technologiekalender ist eine Methode zur Analyse und Bewertung von Produktionstechnologien im Rahmen der Technologieplanung. Es werden Produktionstechnologien mit den Produktbaugruppen und -technologien kombiniert und deren zeitlichen Entwicklungslinien synchronisiert. Neben der zeitlichen Projizierung zukünftiger Technologien, Produkte und Produktionsverfahren können auch die notwendigen Ressourcen – Kompetenzen, Kapital, Anlagen – entsprechend eingeplant werden (Westkämper 1986 und Westkämper 2004, S.158; Specht, D., Möhrle 2002, S.351; Specht, G. et al. 2002, S.153).

Der Aufbau eines unternehmensspezifischen Technologiekalenders besteht aus den vier Modulen Produktanalyse, Technologiezuordnung, Bewertung und Darstellung (siehe Eversheim et al. 1993a und Eversheim et al. 1993b). In der Produktanalyse werden zunächst die Produkte, die das größte Nutzenpotenzial für technologische Innovationen erwarten lassen, ausgewählt und in Komponenten oder funktionale Bauteile zerlegt. In der Technologiezuordnung werden dann durch Produkt-Technologie-Verknüpfung<sup>49</sup> die Bauteile mit den Produktionstechnologien kombiniert, für die ein Einsatz prinzipiell denkbar ist. Daraufhin werden in der Bewertung die Kombinationen in einem Portfolio-Bewertungsansatz analysiert und hinsichtlich der wirtschaftlichen und technischen Eignung sowie der organisatorischen Potenziale bewertet. Abschließend werden in der Darstellung die Bauteil-Produktionstechnologie-Kombinationen mit der zeitlichen Entwicklung in einem Technologiekalender eingetragen.

Das methodische Vorgehen des Technologiekalenders benötigt entsprechende Informationen zu verschiedensten Produktionstechnologien, die umfassend und vollständig vorgehalten werden müssen (Hedrich et al. 1995, S.78; Schuh et al. 1992, S.35). Der Zugang zu solchen Informationsquellen und insbesondere die konsistente Bereitstellung und kontinuierliche Nachführung aktueller Informationen ist jedoch mit großem Aufwand verbunden. Informationen über Neue Technologien wie Nanotechnologie werden in solchen Datenbanken oftmals noch gar nicht vorgehalten, sodass sich die Produkt-Technologie-Verknüpfungen auf etablierte Technologien beschränken. Für die Auswahl relevanter Produkte in der Produktanalyse gibt es keine spezifischen technologie- oder funktionsbezogene Kriterien, vielmehr sind zunächst die allgemeinen Treiber Kosten, Zeit und Qualität der Ausgangspunkt für die Analyse. Für einen Einsatz der Nanotechnologie ist dies jedoch nicht ausreichend. Sie ermöglicht neue Funktionalitäten, deren Identifikation und Bewertung zunächst außerhalb der Kriterien Kosten, Zeit oder Qualität liegen, weil sie neue Bedürfnisse befriedigen oder neue Märkte schaffen. Darüber hinaus werden nur Technologien mit Relevanz für die Produktion analysiert, die zwar ein wichtiges, aber nicht das einzige Anwendungsfeld der Nanotechnologie darstellt (vgl. Haas, Heubach 2007).

### 3.4.2 Das House of Technology

Das House of Technology nach BULLINGER et al. hat seinen Ursprung im Quality Function Deployment (QFD)<sup>50</sup> (Bullinger et al. 2003). Im QFD werden Anforderungen und technische Merkmale in einem House of Quality zusammengeführt und bewertet. Korrelationen zwischen den technischen Merkmalen zeigen Widersprüche oder Entwicklungsrichtungen auf. In Analogie dazu wurde das House of Technology (HoT) weiterentwickelt (Bullinger et al. 2003; Lentjes, Richter 2004). Darin wird in einer Relationsmatrix die Beziehung zwischen den Funktionen eines

---

<sup>49</sup> Siehe Specht, D., Behrens 1999 (S.721) und Bullinger 1994a (S.156).

<sup>50</sup> Das QFD unterstützt den Produktentwicklungsprozess, indem Kundenanforderungen zielführend in die Umsetzung im Produkt eingebunden werden. In der Produktplanungsphase kommt QFD zum Einsatz, um die Produkt-Gestaltungsmerkmale zu identifizieren, die die Kundenerwartungen erfüllen (Mai 1997; Hoffmann 1996).

Produktes und verschiedenen Technologieelementen abgebildet mit dem Ziel, die gesuchte Lösung durch einen Technologieverbund zu identifizieren. Grundlage ist die grafische Funktions-Technologiezuordnung nach SPECHT und BEHRENS (Specht, D. et al. 1999, S.720; Specht, D., Behrens 1999). Im HoT werden die Technologieverbünde als anwendungsspezifische Kombination von Technologieelementen hinsichtlich ihrer Relevanz für Funktionen bewertet. Die Korrelation zwischen einzelnen Technologieelementen wird ebenfalls analysiert und beurteilt.

Das methodische Vorgehen zur Erstellung eines HoT zeigt jedoch nicht, wie ein Modell der Produktfunktionen hergeleitet wird – dabei bestimmt die Art und Detaillierung der Funktionszerlegung wesentlich die Lösungssuche und -auswahl. Neue Technologien, deren Anwendung sich zunächst nicht aus einem erstellten Funktionsmodell ergeben, z.B. weil neue Eigenschaften bereitgestellt werden oder weil die Funktionsbeschreibung zu konkret oder lösungsnah beschrieben werden, können dann nicht in die Bewertung mit einfließen. Für die Analyse der Nanotechnologie reicht es zudem nicht aus, Technologieelemente miteinander zu vergleichen – vielmehr müssen Lösungskonzepte mit unterschiedlichen Funktionen und Wirkstrukturen verglichen werden, d.h. die Sichtweise auf die Nanotechnologie muss sowohl detaillierter als auch strukturierter erfolgen.

Allerdings bietet der Ansatz des HoT eine transparente und kompakte Darstellung der Bewertungskategorien Funktion und Technologie. Auch die Korrelationsmatrix weist zu Recht auf die Verschränkung von Technologien hin. Für die Nanotechnologie muss die Relation jedoch innerhalb der Technologie (Kombination unterschiedlicher Materialien und Funktionen) und auf Systemebene (Kombination von Nanotechnologie mit anderen Technologien) analysiert werden.

### 3.4.3 Theorie des erfinderischen Problemlösens – TRIZ

Die TRIZ-Methodik<sup>51</sup> ist ein systematischer Ansatz zur Lösung typischer Entwicklungsprobleme. Hierzu wird ein abstrahiertes Problem als technischer Widerspruch beschrieben, der durch den systematischen Einsatz verschiedener Werkzeuge in einem definierten Vorgehen aufgelöst und so eine neue Lösungsalternativ aufgezeigt wird. Tabelle 13 zeigt die Werkzeuge im methodischen Rahmen von TRIZ.

Tabelle 13: Werkzeuge im methodischen Rahmen von TRIZ (Herb et al. 2000)

Gruppe	Beispiele für Werkzeug
Systematik	Innovations-Checkliste, Problemformulierung, Objektmodellierung
Wissen	Effekt-Datenbank, Internet-Recherche, Patent-Recherche
Analogien	Stoff-Feld-Analyse, Widerspruchsanalyse <sup>52</sup> , Innovative Grundprinzipien (siehe Tabelle 58) Separationsprinzipien, Standardlösungen, Grundsätze der technischen Evolution

Kernelement der TRIZ-Methodik ist die Abstraktion eines Problems, um dann anhand einer standardisierten Problembeschreibung nach Standardlösungen zu suchen (siehe Abbildung 53, Anhang Kap. 11.4.5). In der Problemformulierung wird eine einheitliche Terminologie für die funk-

<sup>51</sup> TRIZ ist das russische Akronym des kyrillischen „Theorie des erfinderischen Problemlösens“ (Terninko et al. 1998, S.16/32/35). Die Methode hat ihren Ursprung in den Arbeiten des russischen Mathematikers Genrich Altschuller, der 1946 eine Vielzahl an Patenten hinsichtlich ihrer Lösungsmechanismen analysierte und daraus allgemeine Lösungsprinzipien ableitete. Diese werden zur Auflösung eines technischen Widerspruchs während der Ideenfindung und Produktentwicklung herangezogen.

<sup>52</sup> Die Werkzeuge Stoff-Feld-Analyse und Widerspruchsanalyse werden teilweise auch zu der Gruppe der Wissens-Werkzeuge gezählt (Terninko et al. 1998, S.16).

tionale Beschreibung eines Problems vorgegeben (aktives Verb + Substantiv) und das Problem in funktionale Teilprobleme zerlegt. Durch die Objektmodellierung wird die Ausgangssituation des Problems in einzelne Objekte und ihre Beziehungen destruiert (Herb et al. 2000).

Die Widerspruchsanalyse beschreibt ein systematisches Vorgehen zur Identifikation neuer Lösungsalternativen für einen formulierten technischen Widerspruch. Das eigene Problem wird dabei als ein Widerspruch zweier technischer Parameter beschrieben. Zu jeder Kombination werden spezifische Lösungsprinzipien bereitgestellt. Innerhalb von TRIZ dient die Effekt-Datenbank der Katalogisierung und Bereitstellung grundlegender Effekte, um alternative Funktionen zur Problemlösung zu suchen (siehe Tabelle 58, Klein 2002, S.212).<sup>53</sup> Komplexe Prozessmodelle wie die „Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie“ (WOIS) wurden entwickelt mit dem Ziel, eine spezifischere Durchführung der TRIZ-Werkzeuge zu unterstützen (vgl. Möhrle 2005, S.10; Linde, Hill 1993).

Die Stärke der TRIZ-Methodik ist das systematische Vorgehen, das es ermöglicht, standardisierte Lösungen zu identifizieren. Allerdings beruhen diese Lösungsvorschläge auf der Patentanalyse von Altschuller – mögliche neue Lösungsansätze durch Neue Technologien sind somit sowohl methodisch wie inhaltlich unberücksichtigt.<sup>54</sup> Eine vollständige Identifikation und Bewertung nanotechnologischer Lösungspotenziale, abgebildet durch Funktion, Nanomaterial und Randbedingungen, wird dadurch nicht erreicht, weil die Ansätze zur Lösung von Widersprüchen und die physikalischen Grundeffekte zu allgemein formuliert sind. Des Weiteren muss zur Problemidentifikation nicht das Problem, sondern die mögliche Lösung abstrahiert werden, um den Bedarf für eine Neue Technologie zu identifizieren. Nicht die konkrete Problemstellung des Produktes ist der Ausgangspunkt, sondern die konkrete Problemlösung durch die Nanotechnologie (siehe Abbildung 23).

Hinzu kommt, dass die TRIZ-Methodik in den letzten Jahren zwar wieder verstärkt in das Blickfeld des methodischen Erfindens gerückt ist, aber nur bei der Hälfte der Unternehmen bekannt ist und fast gar nicht eingesetzt wird (Einsatzhäufigkeit 4%, Schuh et al. 2005).

### 3.4.4 Morphologische Klassifikation

Die Methode der Morphologischen Klassifikation ist wie die Funktionenanalyse (Kap. 3.4.5) eine rational-heuristische Suchmethode, die auf einer strengen Systematik aufbaut und den Anwender bei der Reduktion komplexer Sachverhalte unterstützt (Zwicky 1989). Ziel ist es, komplexe Probleme in die einzelnen, voneinander unabhängigen Parameter zu zerlegen, alle denkbaren Ausprägungen der einzelnen Parameter zu sammeln und somit den Lösungsraum in einem morphologischen Kasten aufzuspannen. Neue Lösungsvarianten werden dann durch neuartige Kombinationen oder neuen Einbezug der Parameterausprägungen entwickelt.<sup>55</sup>

Die Anwendung des Morphologischen Kastens erfolgt in den Schritten Analyse und Verallgemeinerung des Problems, Bestimmung der Parameter, Sammlung der Ausprägungen, kombinatorische Lösungssynthese und abschließend das Herausfinden geeigneter Lösungen in einem iterativen Prozess (Schlicksupp 2004, S.80). Das kreative Element liegt in der Identifikation und systematischen Kombination der Elemente. Die Auswahl der relevanten Lösungskombinationen

---

<sup>53</sup> Tabelle 58 im Anhang, Kap. 11.4.5 zeigt die 39 technischen Parametern (linke Spalte), die spezifische Lösungsprinzipien (mittlere Spalte) und die grundlegenden Effekte (rechte Spalte).

<sup>54</sup> Vereinzelt gibt es neuere Ansätze, z.B. die Widerspruchsmatrix zu ergänzen oder neu zu strukturieren (siehe Mann, D. 2005; Hill 2005; Vincent et al. 2005).

<sup>55</sup> Vgl. Opey 2005 (S.116); Gierl, Helm 2002 (S.317) und Lindemann 2005 (S.251).

aus dem theoretischen Lösungsraum bereitet bei entsprechendem Umfang jedoch beträchtliche Schwierigkeiten.

Trotz der klaren Strukturierung von Lösungsparametern und deren Ausprägungen wird die morphologische Methode im Rahmen der Ideenfindung und Produktentwicklung kaum eingesetzt. In Umfragen setzen gerade ein Drittel der befragten Unternehmen die morphologische Methode ein, und dies auch nur manchmal (Gaul, Volkmann 2000; Spath et al. 2001, S.42). Dies liegt unter anderem daran, dass die morphologische Methode zwar ein einfaches und praxistaugliches Hilfsmittel zur Strukturierung von Lösungsparametern ist. Komplexere Zusammenhänge und kausale Abhängigkeiten zwischen den Parametern können jedoch nicht abgebildet werden. Die Frage der richtigen und zielführenden Parametrisierung des Problems bleibt bestehen. Insofern ist die morphologische Methode für eine Relevanzanalyse der Nanotechnologie ungeeignet.

### **3.4.5 Funktionenanalyse nach VDI 2803**

Die Funktionenanalyse nach VDI-Richtlinie 2803 ist ein methodischer Ansatz zur Analyse der Funktionsstruktur von Objekten und zentraler Bestandteil der Wertanalyse (VDI-2803 1996).<sup>56</sup> Das Objekt, Produkte, Prozesse oder Dienstleistungen, wird in seine funktionale Struktur, d.h. seine Komponenten oder Elemente gegliedert. Somit wird die Grundlage für die Analyse seiner Wirkungen, Zwecke und Konzepte geschaffen. Durch die Abstraktion und Dekomposition soll eine lösungsnahе Beschreibung des Produktes und eine Erweiterung des Suchfelds für neue technische Lösungsmöglichkeiten erreicht werden. Die Funktionen werden dabei hinsichtlich ihres Nutzen-Beitrags gegliedert sowie die Komplexität der Funktionszusammenhänge durch Abbildung in einem Funktionsbaum reduziert.

Das Vorgehen in der Funktionenanalyse besteht aus der Sammlung, der Gliederung und der Strukturierung der Ist-Funktionen; woraus dann die Soll-Funktionen abgeleitet werden (VDI-2803 1996, S.5). In einem kreativen Prozess werden zunächst die Objekt-Funktionen gesammelt und abstrakt beschrieben. Gemäß der Konvention werden Funktionen durch einen „Substantiv Verb“-Term begrifflich dargestellt (z.B. „Flüssigkeit fördern“). Anschließend werden die Funktionen nach Gebrauchs- und Geltungsfunktionen sowie Haupt- und Nebenfunktionen gegliedert. Darauf aufbauend werden die Funktionen dann in einem Funktionsbaum in ihrem logischen, physikalischen, technologischen oder ablaufbezogenen Zusammenhang zugeordnet und strukturiert. Dadurch werden hierarchische Zweck-Mittel-Ketten gebildet (Abbildung 15). Von links nach rechts wird das „Wie“ der höheren Ebene beschrieben, und von rechts nach links in der nächst höheren Position das „Warum“. Unerwünschte Funktionen sind solche, die vermeidbar oder unvermeidbar, aber nicht gewünscht sind (z.B. „Wärme erzeugen“ einer Glühlampe).

---

<sup>56</sup> VDI-Richtlinie 2803 Blatt 1: Funktionenanalyse - Grundlagen und Methoden. Zur Wertanalyse siehe DIN EN-12973 2002; VDI-2800 2000 und VDI-2805 2004.



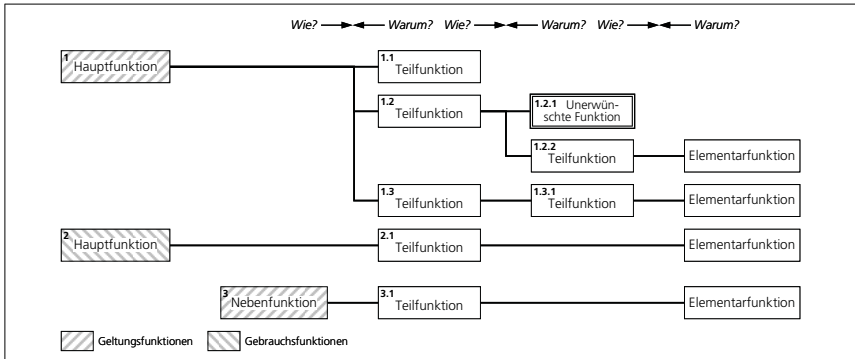


Abbildung 15: Funktionsbaum mit Gesamt-, Teil- und Elementarfunktionen sowie unerwünschten Funktionen (nach VDI-2803 1996)

Auf der Grundlage der Ist-Darstellung in einem Funktionsbaum wird dann der funktionale Soll-Zustand beschrieben. Durch diese Strukturierung und Abstrahierung sollen neuartige Ideen provoziert und Alternativen zu den betrachteten Produkten und den technologischen, wirkstrukturellen Realisierungen der Funktionen geschaffen werden (VDI-2803 1996, S.8, Akiyama 1994, S.66).

Der Erfolg der Funktionsanalyse ist stark vom Abstraktionsgrad und der handhabbaren Tiefe der Funktionenzerlegung abhängig (vgl. Ulrich, Eppinger 2004, S.101). Der Schluss von den abstrahierten Funktionen auf neue Lösungskonzepte bleibt weitgehend im kreativen, intuitiven und damit wenig systematischen Bereich. Durch die Funktionenzerlegung werden die Funktionen jedoch so allgemein wie möglich formuliert, sodass auch Lösungen durch die Nanotechnologie in Betracht kommen können. Allerdings werden in dieser Sichtweise die gestalterischen und strukturellen Elemente eines Produktes wie das Produktgehäuse, Trägerstrukturen oder Oberflächen nicht berücksichtigt, sie stellen aber ein wesentliches Anwendungsfeld z.B. für die mechanischen Eigenschaften von Nanomaterialien dar. Des Weiteren können durch Nanotechnologie Produkte dadurch veredelt werden, indem Oberflächen eine Funktion erhalten, d.h. die Funktion kann nicht isoliert betrachtet werden, sondern muss mit einem Gestaltobjekt im Zusammenhang analysiert werden.

Obwohl die Funktionsanalyse die Abstraktion zur Lösungssuche unterstützt, wird sie in der Ideengenerierung nicht standardmäßig angewandt, im Vergleich zu ihrem Bekanntheitsgrad wird sie unterdurchschnittlich häufig eingesetzt (Gaul, Volkmann 2000; Paral 2003, S.16).

### 3.4.6 Vergleich der beschriebenen Methoden

Tabelle 14 zeigt den Vergleich bestehender methodischer Ansätze zur funktionsorientierten Technologieanalyse und -bewertung mit der Zielsetzung des eigenen Ansatzes. Die Vergleichskriterien leiten sich aus der Zielsetzung (Kap. 2.1) und der Zusammenfassung und Ableitung der Problemstellung (Kap. 3.1.4) ab. Sie betreffen das Analyseobjekt, den Anwendungskontext der Methode, die Art der Wissensakquise, den Innovationsimpuls sowie Aufwand und Flexibilität des Einsatzes.

Tabelle 14: Vergleich bestehender Methoden zur Technologieanalyse

Vergleichskriterien  Ansätze der Produktplanung	Analyse-objekt		Anwendungs-kontext				Wissen-sakquise		Technolo-giebezug		Innovations-impuls			Einsatz	
	Analyse von Funktionselementen (Funktionalität)	Analyse von Gestaltungselemente (Wirkstruktur)	Synthese	Analyse	Bewertung	Planung	Implizites Wissen	explizites Wissen	spezifische Technologie	unspezifischer/generalisierte Ansatz	Technologie-Push (TP)	Markt-Pull (MP)	Integration von TP und MP	Aufwand	Flexibilität
Technologiekalender (Eversheim et al. 1993a; Eversheim et al. 1993b)	◐	○	●	◐	●	●	○	●	●	○	◐	●	○	●	○
House of Technology (Bullinger et al. 2003)	◐	○	●	◐	●	○	○	●	○	●	○	●	○	◐	●
TRIZ (Klein 2002)	●	◐	◐	◐	○	○	○	●	●	○	○	●	○	●	○
Morphologische Methode (Zwicky 1989)	◐	◐	●	○	○	○	◐	●	○	●	○	○	○	◐	●
Funktionsanalyse <sup>57</sup> (VDI-2803 1996)	●	○	●	○	○	○	◐	●	○	●	○	○	○	◐	◐
Zielsetzung des eigenen Ansatzes	●	●	●	●	●	◐	●	●	●	○	○	○	●	◐	●

Legende: ● – Schwerpunkt bzw. hoch; ◐ – wird teilweise behandelt bzw. mittel; ○ – nicht behandelt/Gegenstand der Methode bzw. gering

### 3.4.7 Zusammenfassung von Defiziten und Anforderungen

Hinsichtlich der Zielsetzung dieser Arbeit können in der Praxis Defizite methodischer Ansätze zur funktionsorientierten Technologieanalyse und -bewertung identifiziert werden, woraus Anforderungen an das zu entwickelnde Verfahren abgeleitet werden.

#### Geringe Einsatzhäufigkeit und Bekanntheitsgrad

Ein wesentlicher Grund für den Nicht-Einsatz von Methoden in Problemlösungsprozessen und Entscheidungssituationen ist die fehlende Methodenkenntnis auf Anwenderseite sowie die Komplexität des Methodeinsatzes. Einfache Portfolio-Methoden sind in der industriellen Praxis bekannt und kommen häufig zum Einsatz. Dahingegen ist die TRIZ-Methodik nach einer Umfrage bei der Hälfte der Unternehmen bekannt, wird jedoch fast gar nicht angewandt (siehe Paral 2003, S.17; Jakob et al. 2006; Schuh et al. 2005, S.14; sowie Mahajan, Wind 1992, S.133). Ähnliches wurde auch für die Delphi-Methode oder QFD beobachtet. Gründe sind u. a. der große Aufwand und die Komplexität der Methode, die eine große Erfahrung und Methodenverständnis voraussetzt, sowie die fehlende Flexibilität.

<sup>57</sup> Der Schwerpunkt der Funktionsanalyse liegt in der Synthese des funktionalen Gerüsts des zu analysierenden Produkts mit der Darstellung und Hierarchisierung der Funktionen. Eine Analyse der möglichen Lösungsansätze wird somit nur vorbereitet, ist aber nicht expliziter Teil der Funktionsanalyse.

Zudem fehlt die Transparenz über das volle Nutzenpotenzial des Methodeneinsatzes. Aufwand und Ergebnis können nur schwer gegeneinander aufgerechnet werden – heuristische Methoden der Problemlösung führen nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zum gewünschten Ergebnis (Specht, D., Möhrle 2002, S.187). Deshalb wird das Kosten-Nutzen-Verhältnis oftmals zugunsten der Kosten und damit gegen die Methode entschieden. Methoden werden, dies zeigen auch die Untersuchungen, erst dann in der Praxis angewandt, wenn die Aufgaben nicht mehr mit den routinemäßigen Abläufen bewerkstelligt werden können (Paral 2003, S.15). Gerade dann müssen aber nutzerfreundliche, flexible und aufwandsarme Methoden bereitgestellt werden, um im neuen Aufgabenfeld ein methodisch sicheres Arbeiten zu ermöglichen.

### **Unzureichende methodische Unterstützung der Problemidentifikation**

Ein zentrales Problem, das hinter dem vermeintlichen Aufwand-Nutzen-Missverhältnis liegt, ist die fehlende umfassende Verknüpfung des Innovationsprozesses und seine Aufgaben mit den unterstützenden Methoden (Paral 2003, S.17). Indem aber das Problem konstituiert wird, wird gleichzeitig nicht nur die Problemlösung, sondern auch die geeignete Methode zur Lösung implizit bestimmt (Grunwald 2006, S.62). Insofern müssen aufgabenspezifische Methoden bereitgestellt werden. Für die methodische Ausgestaltung der Ideengenerierung besteht noch großer Bedarf. Methoden zur Unterstützung des Problemlösens werden erfolgreich eingesetzt, selten ist jedoch bekannt, wie man Probleme entdeckt und definiert (Mahajan, Wind 1992, S.134; Patzak 1982, S.163). So konzentrieren sich viele methodische Ansätze und wissenschaftliche Arbeiten auf die Problemlösung und setzen die Aufgabenstellung, die aus der Ideengenerierung abgeleitet ist, voraus.<sup>58</sup>

Eine systematische und formalisierte Unterstützung der Problemidentifikation folgt dem Zusammenhang Funktion → Wirkprinzip → Gestaltung (vgl. Pahl et al. 2005, S.102; VDI-2222(BI.1) 1997, S.21). Die methodische Herangehensweise entspricht dem Vorgehen der Produktentwicklung, Ziel ist allerdings die Konstruktion eines Problems (siehe auch Tabelle 56). Dadurch wird der Identifikationsprozess formalisiert und ein Verständnis über die funktionalen Grundlagen und Zusammenhänge der Technologie geschaffen. Für die Nanotechnologie wird so Verständnis-Wissen übermittelt und das Unternehmen zur Adaption der Nanotechnologie befähigt (Zahn 2004, S.127; Zahn 1995; S.4/15, siehe Abbildung 7).

### **Mangelhafte Integration neuer Technologien**

Der im vorhergehenden Abschnitt genannte Aspekt der Unterstützung der Problemidentifikation durch Methodeneinsatz ist besonders relevant für Neue Technologien, um ein Verständnis über die Technologie zu schaffen (Kap. 3.1.2.3 und 3.1.3.3). Dieser technologiespezifische Zugang zur zielführenden Übersetzung der Leistungs- und Anwendungsfähigkeit der Nanotechnologie in die Produkt- und Nutzensicht wird aber bisher von keiner Methode vollständig geleistet.

Gründe sind der generische Charakter der Methoden und das Fehlen von Informationen aus der Nanotechnologie: Methoden wie z.B. Funktionenanalyse oder House of Technology müssen einen generischen Charakter haben, um universell einsetzbar zu sein. Dadurch kann aber der Analyse- und Bewertungsprozess nicht effektiv unterstützt werden, weil der spezifische Zugang zur Nanotechnologie (Kap. 3.2.4) nicht abgebildet wird. Eine praktikable Lösung besteht in der Anpassung und Kombination solcher Methoden. Zum anderen sind die Lösungsansätze der Nanotechnologie in Methoden wie TRIZ oder Konstruktionskataloge, die Lösungsinhalte bereits integriert haben, noch nicht explizit enthalten. Ursache ist die fehlende Analyse und Auswertung

---

<sup>58</sup> Siehe z.B. die Arbeiten von Spielberg 2002; Leemhuis 2005; Langlotz 2000 und Lanza 1999 (vgl. Tabelle 11).

der Nanotechnologie für die Lösungsprinzipien oder die Fokussierung auf eine spezifische Technologie wie der Produktionstechnologie. Ein Ansatz wäre, den technologiespezifischen Inhalt durch die Nanotechnologie zu ergänzen oder auszutauschen.<sup>59</sup> Aufgrund der geringen Einsatzhäufigkeit dieser Methoden und der statischen Informationsbasis, die dem dynamischen Charakter der Nanotechnologie nicht gerecht wird, wird dieser Weg jedoch nicht weiter verfolgt. Es wird vielmehr gefordert, relevante praxistaugliche Methoden anzupassen und zu kombinieren, die auch einen Zugang zum expliziten und impliziten Wissen über die Nanotechnologie ermöglichen.

### Zusammenfassung

Tabelle 15 fasst die Defizite von Methoden der Technologieanalyse und -bewertung und die daraus abgeleiteten Anforderungen zusammen.

Tabelle 15: Zusammenfassung von Defiziten und Anforderungen von Methoden der Technologieanalyse und -bewertung

Defizit	Anforderung
[D8] Relevante Methoden haben eine geringe Einsatzhäufigkeit und einen geringeren Bekanntheitsgrad aufgrund Unkenntnis im Unternehmen, großer Komplexität oder fehlender Praxistauglichkeit.	[A8] Es sollen einfache, flexible und aufwandsarme Methoden angewandt werden, die effizient und effektiv die Technologierelevanzanalyse unterstützen und die Durchgängigkeit der Anwendung gewährleisten.
[D9] Die Problemidentifikation aufgrund eines technologischen Leistungspotenzials wird in den frühen Produktplanungs-Phasen nur unzureichend methodisch unterstützt; es fehlen aufgaben- und technologiespezifische Methoden zur Identifikation von Problemen/Produktideen.	[A9] Der Methodeneinsatz soll besonders die Identifikation von Problemen anhand der Funktion der Nanotechnologie unterstützen.
[D10] Nanotechnologie-Kontext ist noch nicht in Problemlösungs-Methoden integriert (in Form von Lösungskonzepten, Materialdatenbanken, etc.), da bisher eine operable Strukturierung fehlt und die Nanotechnologie sich noch hochdynamisch entwickelt.	[A10] Eine Forderung wäre, Methoden um den fachlichen nanotechnologischen Inhalt zu ergänzen – aufgrund der geringen Einsatzhäufigkeit dieser Methoden und der statischen Informationsbasis wird dieser Ansatz jedoch nicht weiter verfolgt (siehe [D8]). Vielmehr sollen geeignete praxistaugliche Methoden angepasst werden, um einen Zugang zum expliziten und impliziten Wissen zu ermöglichen.

### 3.5 Zusammenführung und Abgleich der Hemmnisse und Defizite

In den Kap. 1, 3.1 und 3.2 wurde deutlich, dass Nanotechnologie kein Produkt, sondern vielmehr Enabling Technology ist, deren Relevanz sich aus dem Lösungspotenzial für innovative Produktideen ergibt. Innerhalb dieses Aufgabenfeldes können in der Praxis Hemmnisse und Defizite erkannt werden. Sie betreffen zum einen die Nanotechnologie als Technologie und deren Anwendung (siehe Kap. 3.2.6, Tabelle 9). Zum anderen beziehen sie sich auf das Vorgehen bei der Produktplanung (siehe Kap. 3.3.6, Tabelle 12) sowie geeignete Analyse- und Bewertungsmethoden (siehe Kap. 3.4.7, Tabelle 15) und berühren methodische Fragestellungen.

Somit adressieren die dem Verfahren zu Grunde liegenden Defizite der Technologierelevanzanalyse von Nanotechnologie unterschiedliche Ebenen: Einerseits die Anwendung der Nanotechnologie und deren spezifische Hemmnisse aus Unternehmenssicht, die nach einem geeigneten methodischen Vorgehen verlangen, das den gegenwärtigen Merkmalen der Nanotechnologie

<sup>59</sup> Siehe z.B. die Integration der Biotechnologie in die TRIZ-Methodik bei Vincent et al. 2005; Mann, D. 2005 und Hill 2005.

Rechnung trägt; und andererseits die methodische Defizite in der Planung von Produkten mit Neuen Technologien und deren Bewertung, was die Erweiterung und Weiterentwicklung bestehender Methoden und Modelle notwendig macht. Um hieraus konsistente und operable Anforderungen an das zu entwickelnde Verfahren ableiten zu können, werden die Hemmnisse der Bewertung und Anwendung von Nanotechnologie (Kap. 3.2.6) und die Defizite der Prozessmodelle und methodischen Ansätze (Kap. 3.3.6 und 3.4.7) in einer Matrix zusammengeführt und ein Abgleich der Defizite vorgenommen (Tabelle 16). Dadurch wird erreicht, dass die Anforderungen aus den Defiziten, die methodischen Fragestellungen betreffenden auch die bisherigen Anwendungshemmnisse der Nanotechnologie berücksichtigen und integrieren (siehe Kap. 5).

Tabelle 16: Zusammenführung und Abgleich der Defizite und Hemmnisse

<b>Hemmnisse der Bewertung und Anwendung von Nanotechnologie</b>  <b>Defizite in der Produktplanung und in den Methoden der Technologieanalyse und -bewertung</b>	Der Kenntnisstand über die Lösungspotenziale der Nanotechnologie für Produkte ist in Unternehmen ungenügend.	Die Entwicklung der Nanotechnologie zeigt eine große Dynamik mit unterschiedlichen Entwicklungsständen.	Die Entwicklung der Nanotechnologie ist stark technologiegetrieben, eine Umsetzung in Anwendungen findet nur zögerlich statt.	Es fehlt ein strukturierter Zugang zur Nanotechnologie, der operabel für die Identifikation von Anwendungsfeldern ist.	Allgemeine, nanotechnologiespezifische Defizite.
<b>i) Zusammenführung von Nanotechnologie und Produktfindung in der Produktplanung (Kap. 5.1)</b>					
Produktplanungs- und Technologieentwicklungsprozess sind besonders in den frühen Phasen nicht gekoppelt oder verschränkt.	●	○	●	○	○
<b>ii) Funktionsbasierter Zugang zur Nanotechnologie (Kap. 5.2)</b>					
Für die Einbindung neuer Technologien fehlt eine Formalisierung zur Technologiebeschreibung, die das Adaptieren der Technologien operationalisiert.	○	●	○	●	○
Nanotechnologie-Kontext ist noch nicht in Problemlösungs-Methoden integriert.	○	●	○	●	○
<b>iii) Methodische Unterstützung der Identifikation und Bewertung von Produktideen (Kap. 5.3)</b>					
Methoden zur Wissensintegration und Technologieanalyse in den frühen Produktplanungs-Phasen sind für Neue Technologien wenig praxistauglich.	●	○	○	●	○
Die Problemidentifikation aufgrund eines technologischen Leistungspotenzials wird in den frühen Produktplanungs-Phasen nur unzureichend methodisch unterstützt; es fehlen aufgaben- und technologiespezifische Methoden zur Identifikation von Problemen/Produktideen.	●	○	○	●	○
<b>iv) Anwendbarkeit des Verfahrens (Kap. 5.4)</b>					
Relevante Methoden haben eine geringe Einsatzhäufigkeit und Bekanntheitsgrad aufgrund Unkenntnis, großer Komplexität oder fehlender Praxistauglichkeit.	○	○	○	○	●

Legende: ● – Übereinstimmung der Defizite/Anforderungen; ○ – keine Übereinstimmung

## **Zusammenführung von Nanotechnologie mit den Anwendungsfeldern in den frühen Phasen**

Eine der wesentlichen Herausforderungen für den Nanotechnologieeinsatz ist die Identifikation von nanotechnologiespezifischen Anwendungsfeldern in der Ideenfindung für neue Produkte oder -eigenschaften. Produktplanungs- und Technologieentwicklungsprozess sind jedoch nicht im notwendigen Maße verzahnt, um bereits frühzeitig im Planungsprozess Einflüsse neuer Technologien zu ermöglichen oder die neuen Produktanforderungen in die Technologieentwicklung zurückzuspielen. Diese Lücke der unterschiedlichen Domänen auf Prozessebene hat ihre Analogie auf Wissens Ebene: Aufgrund der Neuheit und Dynamik der Nanotechnologie fehlt bei den meisten Unternehmen der Kenntnisstand über die Lösungspotenziale der Nanotechnologie für das Unternehmen. Produktprobleme und Nanotechnologie können nicht zusammengebracht werden, sodass die technologiegetriebene Entwicklung der Nanotechnologie häufig noch nicht zielführend in Anwendung überführt werden kann. Im Zentrum des Verfahrens muss deshalb die Verbindung von Technologie (Push) und Anwendung (Pull) bzw. von Produktplanung und Nanotechnologie in der Ideenfindung stehen. Es sollen Probleme identifiziert werden, für die Nanotechnologie auch eine prinzipielle technische Lösung bieten kann, und es soll implizites Wissen eingebunden werden (siehe Kap. 5.1).

## **Funktionsbasierter Zugang zur Nanotechnologie**

Ein weiteres, sich anschließendes Defizit betrifft den funktionsbasierten Zugang zur Nanotechnologie. Es fehlt ein operabler Zugang, um die Nanotechnologie mit dem Ideenfindungsprozess zu verbinden und die Relevanz zu bewerten (siehe Kap. 3.2.6). Durch Abstraktion soll ein Verständnis dessen, was die grundlegenden Merkmale der Nanotechnologie sind und wie sie zusammenhängen – z.B. Wirkprinzip, Funktion, Nanomaterial, Applikation, Lösungsidee – erarbeitet werden. Dieser Zugang wird durch vorhandene Ansätze nicht methodisch gelöst. Nanotechnologie ist noch zu neu und geprägt durch eine dynamische Entwicklung. Der geforderte Technologiezugang zur Ideenfindung soll die Identifikation von Anwendungsfeldern für die Nanotechnologie unterstützen, unabhängig von den nanowissenschaftlichen Entwicklungen, und auf einer funktionalen Abstraktion der Nanotechnologie aufbauen (siehe Kap. 5.2).

## **Methodische Unterstützung der Identifikation und Bewertung von Produktideen**

Neben dem bereits im vorhergehenden Abschnitt diskutierten notwendigen Zugang zur Nanotechnologie und den daraus ersichtlichen Lösungspotenzialen muss eine methodische Unterstützung der Identifikation und Bewertung von Produktideen durch Methoden der Technologieanalyse und -bewertung gewährleistet werden. Eine geeignete methodische Vorgehensweise speziell in diesen frühen Phasen der Ideenfindung fehlt, Methoden sind häufig aufgrund ihrer Komplexität und ihres großen Aufwandes für Unternehmen nur bedingt praxistauglich oder systematisieren den Wissensaustausch nur unzureichend. Eine nanotechnologiespezifische Herangehensweise ist hierfür erforderlich. Besonders die Informationsgewinnung durch Einbindung von implizitem Wissen muss formalisiert werden (siehe Kap. 5.3).

## **Anwendbarkeit des Verfahrens**

Die Defizite der Anwendung von Methoden in Produktplanungsprozessen sind nicht nur nanotechnologiespezifisch. Sie betreffen generell die Anwendbarkeit des Verfahrens: Fehlende Methodenkenntnis auf Anwenderseite, Komplexität des Methodeneinsatzes sowie eine unzureichende oder falsche Kosten-Nutzen-Abwägung führen dazu, dass Methoden vergleichsweise selten zum Einsatz kommen oder als wenig praxistauglich angesehen werden (siehe Kap. 3.4.7). Daraus leiten sich die Forderungen ab, dass die anzuwendenden Methoden durchgängig, effizient und praxispflichtig in der Anwendung sowie anpassbar sein sollen (siehe Kap. 5.4).

## **4 Entwicklung eines Verfahrens zur funktionsbasierten Technologierelevanzanalyse der Nanotechnologie für die Produktplanung**

Wie die Ausführungen in Kap. 1 und 3 zeigen, erfordert das große Nutzenpotenzial der Nanotechnologie für Produkte eine unternehmensspezifische Analyse und Bewertung ihrer Relevanz für Anwendungen. Die Relevanzanalyse und -bewertung setzt sich zusammen aus der Bewertungsperspektive („relevant hinsichtlich was“) und dem Bewertungsobjekt („relevant für was“). Die Relevanz der Nanotechnologie erfolgt aus den neuen und verbesserten Funktionen der Nanomaterialien und -beschichtungen, um die Eigenschaften und Leistungsfähigkeit von Produkten zu verbessern oder Grundlage für ganz neue Produkte und Lösungsansätze zu schaffen.

Die Technologierelevanzanalyse der Nanotechnologie wird in dieser Arbeit (in Anlehnung an Bullinger 1994a, S.101) definiert als die im Rahmen der Produktplanung durchgeführte Analyse und Bewertung des Innovationspotenzials der Nanotechnologie (Systemfunktion) für eine funktionale Problemlösung (Zweckfunktion) in einem Produkt für eine vorhandene oder denkbare Nutzeranforderung. Grundlage ist eine methodische Unterstützung und systematische Vorgehensweise sowie ein operabler Zugang zur Nanotechnologie (siehe Kap. 3.2.4). Es müssen hierfür Analyse- und Bewertungsansätze definiert und in unternehmerische Planungs- und Entscheidungsprozesse eingebunden (siehe Kap. 3.1.3) sowie eine entsprechende Informationsversorgung sichergestellt werden (siehe Kap. 3.1.2.3).

Basierend auf diesen Erkenntnissen wird ein Verfahren entwickelt, das die Relevanzanalyse der Nanotechnologie in die strategische Produktplanung nach VDI 2220 (VDI-2220 1980) integriert. Der Analyse liegt eine funktionsbasierte Betrachtungs- und Bewertungssicht zugrunde. Sie lehnt sich an bekannten Beschreibungselementen aus der Konstruktion an. Wirkprinzipien der Nanotechnologie steuern die Identifikation von Problemen mit technischem Lösungsbedarf als neue Ziel-Mittel-Kombination. Bewertungskriterium für diese Kombinationen sind der funktionale Lösungsbeitrag der nanotechnologischen Lösung sowie der Nutzen der Problemlösung. Das schrittweise Vorgehen wird unterstützt durch eine adäquate Informationsversorgung und die Einbindung von Experten der Nanotechnologie.

Das Verfahren unterscheidet sich von bisherigen Ansätzen darin, dass nicht nur die Problemlösung, sondern auch die Problemidentifikation unter Berücksichtigung der Wirkmechanismen der Nanotechnologie als systematisch-diskursiver Prozess ausgestaltet wird. Ein neuartiger Strukturierungsansatz für die Nanotechnologie wird aufgezeigt, der als Übersetzung zwischen dem Nano- und dem Anwendungsbereich dient. Implizites Wissen von Experten wird gezielt eingebunden.

Zunächst wird ein Ebenenmodell des Technologie-Push und Markt-Pull als Grundlage für die weiteren Überlegungen und die Entwicklung des Verfahrens in Kap. 4.1 dargestellt, bevor in Kap. 4.2 die einzelnen Entwicklungsbestandteile des Verfahrens vorgestellt werden.

### **4.1 Ebenenmodell des Technologie-Push und Markt-Pull für Ziel-Mittel-Kombinationen**

Die Entwicklung nanotechnologischer Eigenschaften und Materialien wird stark von den erforschten Möglichkeiten auf Materialseite beeinflusst und vorangetrieben (Technologie-Push), während sich die Produkteigenschaften nach Nutzerbedürfnissen und Marktanforderungen ausrichten (Markt-Pull). Zwischen den beiden Perspektiven Produkt und Technologie dient die Funktionsicht der Abstraktion und als Bindeglied (Abbildung 16, linke Seite). Nanomaterialien und -

strukturen stellen vielfältige Funktionen bereit, die in ganz unterschiedlichen Produkten Anwendung finden können. Umgekehrt kann ein Produkt prinzipiell ganz unterschiedliche Funktionalitäten der Nanotechnologie nutzen (siehe Tabelle 8, Kap. 3.2.5 und 11.2.2). Um nun aus Produkt- und Nanotechnologiesicht die richtigen Lösungspfade identifizieren zu können, fungiert die Funktionssicht als Bindeglied zwischen Produkt und Nanotechnologie. Sie ermöglicht es, Nutzeranforderungen in Nanofunktionen zu übersetzen und umgekehrt, sowie diejenigen Wünsche und Funktionen auszuwählen, für die eine Übereinstimmung identifiziert wird. Um Ziel-Mittel-Kombinationen (vgl. Kap. 3.1.1 und Abbildung 6) aufstellen zu können, wird die Funktionssicht in Anlehnung an DIN EN-1325(BI.1) 1996 (S.4) und Spielberg 2002 (S.66f) spezifiziert durch die Zweck- und Systemfunktion (siehe Kap. 3.1.3.3): Zweckfunktionen sind nutzerbezogene Funktionen, die ein Nutzerbedürfnis erfüllen. Systemfunktionen sind produktbezogene Funktionen, die der Erfüllung der nutzerbezogenen Funktionen dienen und die in Beziehung gebracht werden zu verfügbaren Technologien. (Abbildung 16, rechte Seite)

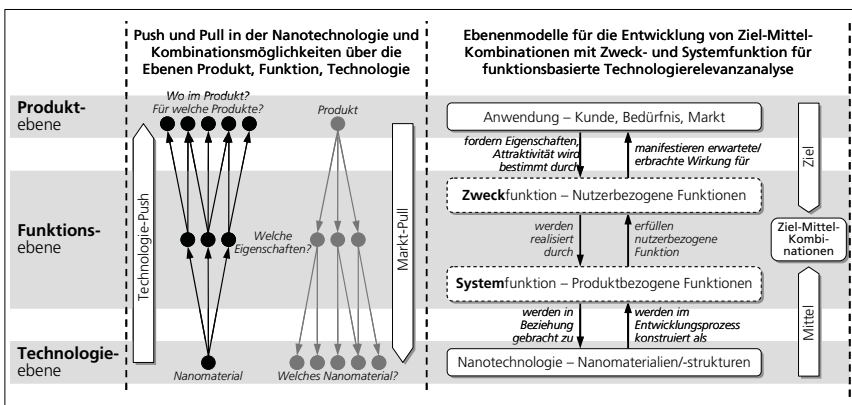


Abbildung 16: Ebenenmodell für die Kombination von Nanotechnologie und Anwendung durch Ziel-Mittelkombinationen durch Zweck- und Systemfunktion (eigene Darstellung)

## 4.2 Bestandteile des Verfahrens

Das Verfahren stellt einen Problemlösungsprozess dar, der aus den einzelnen Subsystemen „Prozess“ (Programmsystem), „Methoden und Handlungsträger“ (Wirksystem) und „Nanotechnologie“ als Betrachtungsobjekt (Objektsystem) aufgebaut ist und diese konzeptionell integriert (vgl. Patzak 1982, S.30). Das übergeordnete Ziel ist die funktionsbasierte Relevanzanalyse der Nanotechnologie, das durch das Verfahren sowie die Definition der unternehmensspezifischen Zielsetzung (Phase 1 des Verfahrens) konkretisiert wird. Die Elemente des Wirksystems (Methoden und Handlungsträger) und des Objektsystems (Betrachtungsobjekt „Nanotechnologie“) werden im Folgenden mit ihrer Zielstellung und Entwicklungsperspektive vorgestellt. In Kap. 4.2.3 werden die einzelnen Prozessschritte des Verfahrens näher erläutert.

### 4.2.1 Materialien und Funktionen der Nanotechnologie (Objektsystem)

Den Funktionen kommt im Verfahren die Aufgabe des Bindeglieds zwischen den technologischen Lösungsansätzen und gewünschten Produkteigenschaften zu. Durch Abstraktion sollen Übereinstimmungen identifiziert und Ziel-Mittel-Kombinationen bewertet werden (siehe Kap. 3.1.2.2, Abbildung 16). Eine entsprechende Strukturierung der Nanotechnologie ist Voraussetzung



zung, um Informationen zu Materialien, Funktionen und Wirkprinzipien verarbeitbar zu machen. So wird in diesem Verfahren auf Beschreibungsansätze aus der Konstruktion zurückgegriffen, um sowohl Anwendungsgebiete (Problemideen) als auch technologische Lösungsansätze (Lösungsideen) beschreiben zu können.

Die Eigenschaften von nanotechnologischen Partikeln und Strukturen sind die Grundlage für die bereitgestellten Funktionen der Nanotechnologie (siehe Kap. 3.2.4.1). Diese Funktionen bauen auf einem „Wirkprinzip“ auf, sie gelten für einen „Wirkort“ und beruhen auf einer „Wirkstruktur“ (Nanomaterial/-struktur) (vgl. Anhang Kap. 11.2.2, Tabelle 49).

Die Auswahl potenzieller Anwendungsfelder für die Nanotechnologie erfolgt vor dem Hintergrund der Wirkprinzipien der Nanotechnologie. Das Analyseobjekt – ein Produkt, für das die Relevanz der Nanotechnologie bewertet wird – wird in geeignete Systemelemente zerlegt, für die die Nanotechnologie prinzipiell Lösungsmöglichkeiten bereitstellt. Durch die Zusammenführung von Problem- und Lösungsideen werden neue Ziel-Mittel-Beziehungen geschaffen, die als „Innovationspotenzial“ bezeichnet werden.

#### **4.2.2 Methoden und Handlungsträger der Technologierelevanzanalyse (Wirksystem)**

Die Relevanz der Nanopartikel und -strukturen für Produkte beruht zunächst in ihrem technischen Leistungssteigerungspotenzial, wodurch neue oder verbesserte Produkteigenschaften realisiert werden können. Die Identifikation, Bewertung und Auswahl der prinzipiellen technisch-funktionalen Realisierungsmöglichkeiten schafft die Grundlage für alle weiteren produktions-technischen, betriebswirtschaftlichen, toxikologischen oder kompetenzorientierten Analysen und Maßnahmen.

Für die Anwendung ergibt sich die Relevanz aufgrund der Bedeutung der geforderten Produkteigenschaften hinsichtlich des Produktes bzw. der Befriedigung eines Kunden- oder Marktbedürfnisses (siehe Kap. 3.1.3). Die Relevanz der Nanotechnologie besteht zunächst in der prinzipiellen Möglichkeit, eine geforderte Funktion bereitstellen zu können, dem Grad der Erfüllung der Lösungsidee sowie deren Realisierungsmöglichkeiten.

Die Bereitstellung der relevanten Informationen über Funktionen und Wirkstrukturen der Nanotechnologie erfolgt über Einbindung von Nanotechnologie-Experten mit verschiedenen Wissensgebieten (Generalisten und Spezialisten).

#### **4.2.3 Strukturierung des Verfahrens (Aufgabensystem)**

Auf Grundlage der oben genannten Bestandteile wird in der vorliegenden Arbeit das Verfahren in einzelne Phasen gegliedert. Das phasenorientierte Vorgehen der Relevanzanalyse ist an den Ablauf der Produktfindung (siehe Abbildung 3) innerhalb der Produktplanung nach VDI 2220 (VDI-2220 1980) angelehnt. Dieser repräsentiert einen allgemeinen Problemlösungsprozess im Kontext des Innovationsprozesses. Das zu entwickelnde Verfahren besteht aus den folgenden Phasen (siehe Abbildung 17):

- Phase 1: Definition der Zielsetzung
- Phase 2: Identifikation und Beschreibung von Problemideen
- Phase 3: Identifikation und Auswahl von Lösungsideen
- Phase 4: Bewertung des Innovationspotenzial
- Phase 5: Planung von Maßnahmen

In der **Phase 1** wird das Ziel der Analyse definiert. Hierzu gehört die Umfeldanalyse, die allgemeine, zunächst unspezifische Anforderungen und Trends aus dem Markt, dem Umweltschutz

oder der Produktpalette aufnimmt (Schritt 1.1). Erste Bewertungsparameter für die Auswahl und Bewertung der Lösungsideen werden definiert (Schritt 1.2).

In der **Phase 2** werden Problemeideen identifiziert und beschrieben. Nanotechnologische Wirkprinzipien bilden die Grundlage für die Identifikation von Problemen mit Lösungsbedarf (Schritt 2.1). Darauf wird der produktseitige Lösungsbedarf (Problemeideen) funktional beschrieben und seine strategische Bedeutung für das Unternehmen bewertet (Schritt 2.2).

In der **Phase 3** werden zunächst nanotechnologische Lösungskonzepte zum Lösungsbedarf gesucht (Schritt 3.1). Problemeideen und Lösungskonzepte werden in einem House of Nanotechnology zusammengeführt und relevante Ziel-Mittel-Kombinationen in einem Portfolio-Ansatz ausgewählt (Schritt 3.2). Darauf aufbauend werden zum einen die Randbedingungen der Problemeideen detailliert beschrieben (Schritt 3.3) sowie parallel für die ausgewählten Problemeideen entsprechende nanotechnologische Lösungsideen gesucht und ausgearbeitet (Schritt 3.4). Für die Recherche von Lösungskonzepten und -ideen werden Experten zielgerichtet eingebunden.

In der **Phase 4** werden die Innovationspotenziale, Kombinationen von Problemeideen und die Lösungsideen in Technologieforen zusammengeführt und mit Experten analysiert (Schritt 4.1). Die Innovationspotenziale werden dann anhand der Bewertungskriterien und ihres Leistungsbeitrags in einer Nutzwertanalyse bewertet und damit die Technologierelevanz spezifiziert (Schritt 4.2).

In der **Phase 5** werden schließlich die weiteren Maßnahmen abhängig von Relevanz und Anwendungsreife aus einem Portfolio abgeleitet und geplant.

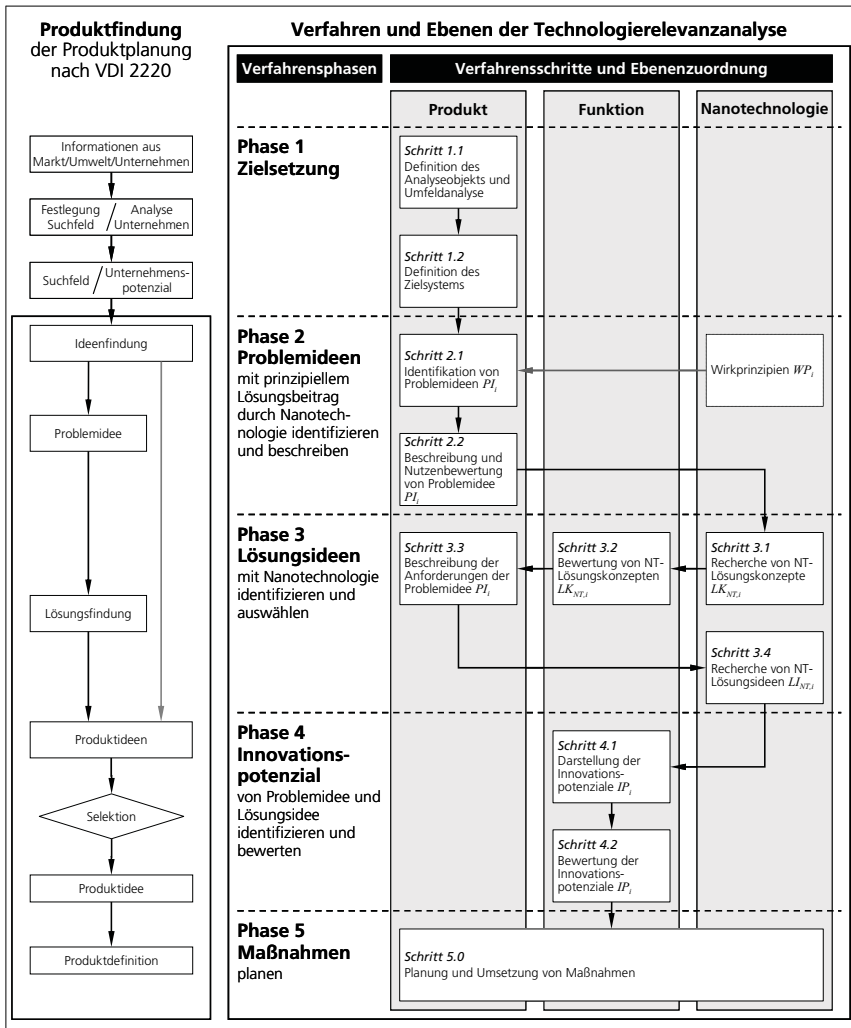


Abbildung 17: Phasen und Einzelschritte des Verfahren mit der Analogie zur dem Vorgehen der Produktfindung in der Produktplanung

### 4.3 Charakterisierung und Einordnung des Verfahrens

Abbildung 18 charakterisiert das Verfahren. Demnach ordnet sich das Verfahren in die frühen Phasen der Ideenfindung und -selektion sowie Produktdefinition des Innovationsprozesses ein. Diese Phasen entsprechen der Produktplanung und innerhalb dessen speziell der Produktfindung. In der Produktfindung sollen durch das Verfahren Produktideen auf Basis der Nanotechnologie für mittelinduzierte oder radikale Innovationen identifiziert werden. Sie sollen sich komplementär, substituierend oder neuartig zu den bisher angewandten Technologien stellen. Das

Verfahren baut auf systematisch-diskursiven Methoden auf und besteht aus der Analyse, Synthese und Bewertung der Funktion der Produktidee. Hierfür wird der Informationsbedarf durch einen Outside-In-Ansatz verfolgt, indem implizites Wissen von personalen Trägern der Nanotechnologie erfasst wird.

<b>Merkmal</b>	<b>Ausprägung</b>							<b>Quelle</b>
Innovationsprozess	<b>Ideenfindung und -selektion</b>		<b>Produktdefinition</b>		Produkt-/Prozessentwicklung	Markteinführung, Durchsetzung		Herstatt, Verworn 2003a, S.9
Produktentwicklung	<b>Produktplanung</b>		Produktrealisierung		Produktbetreuung			VDI-2220 1980, S.3
Produktplanungsfunktionen	<b>Produktfindung</b>		Produktplanungsverfolgung		Produktüberwachung			VDI-2220 1980, S.3
Innovationsarten	<b>Mittelinduzierte</b>		<b>Radikale</b>		Zweckinduzierte	Inkrementelle		Spath et al. 2003, S.11
Anwendungskontext	<b>Substituierend</b>		<b>Komplementär</b>		<b>Neu</b>			Bullinger 1994a
methodisches Vorgehen	Intuitiv/einfallsbetonte				<b>systematisch-diskursive</b>			VDI 1983, S.86
Bewertungskriterium	<b>Funktion</b>	Kosten	Struktur	Zeit	Qualität	Umwelt	Arbeitswissenschaft	Vahs, Burmester 2005, S.190
Informationsbedarf	Inside-Out				<b>Outside-In</b>			Reger 2001b, S.263
Wissensart	<b>Implizit</b>				explizit			Petkoff 1998, S.60
Technologie-träger	<b>Personale Träger</b>		Informationelle Träger		Materielle Träger			Ewald 1989, S.40

Abbildung 18: Einordnung und Charakterisierung des Verfahrens

## 5 Anforderungen an das Verfahren

Im Folgenden werden, aufbauend auf dem ermittelten Stand des Wissens (Kap 3) und der Defizite (Kap. 3.5, Tabelle 16) Anforderungen an das Verfahren zur funktionsbasierten Technologie-relevanzanalyse der Nanotechnologie formuliert.

### 5.1 Anforderungen an die Zusammenführung von Nanotechnologie und Produktfindung in der Produktplanung

Relevante Anwendungsfelder, die einen Mehrwert versprechen, determinieren das Innovationspotenzial von Nanomaterialien und -strukturen. Die Identifikation und Analyse dieser Anwendungsfelder stellt folgende Anforderungen an das Verfahren:

- **Effektivität der Problemidentifikation und Ideenfindung:** Die Identifikation von Produktideen soll effektiv sein, indem bereits in den frühen Phasen solche Probleme identifiziert werden, für die Nanotechnologie eine prinzipielle technische Lösung bieten kann, d.h. Anwendung und Nanotechnologie zielführend zusammengeführt werden.
- **Umfassende Analyse:** Die Nanotechnologie besitzt ein breites Anwendungsspektrum, entsprechend soll im Verfahren die Identifikation von Anwendungsfeldern umfassend erfolgen und die vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten analysiert werden.
- **Systematik der Wissensintegration:** Die Suche nach relevanten Anwendungsfeldern durch die Nanotechnologie ist geprägt durch Kreativität, Unsicherheit und dem Betreten von Neuland. Trotzdem soll die Erfassung relevanter Informationen systematisch erfolgen und besonders implizites, außerhalb der bisherigen Wissensbereiche liegendes Wissen einbinden (Outside-In-Strategie, Reger 2006, S.315).

### 5.2 Anforderungen an einen funktionsbasierten Zugang zur Nanotechnologie

Die Relevanzanalyse der Nanotechnologie setzt voraus, dass deren Möglichkeiten technischer und struktureller Art im Analyse- und Bewertungsprozess bekannt sind und integriert werden können. Daraus ergeben sich folgende Anforderungen:

- **Funktionsbasierter Technologiezugang:** Es soll dem Verfahren eine zweckbezogene Beschreibung und Strukturierung der Domäne Nanotechnologie zugrunde gelegt werden, die es erlaubt, nanotechnologisches Wissen in das Verfahren zu integrieren. Im Zentrum steht die Funktion zur Verständigung über das Lösungspotenzial der Nanotechnologie sowie als Bewertungskriterium (VDI-2803 1996).
- **Zweckmäßigkeit:** Die Beschreibung und Strukturierung der Nanotechnologie soll zielführend sein, indem sie alle relevanten Elemente enthält, die für die funktionsbasierte Analyse der Anwendungsfelder sowie der nanotechnologischen Problemlösungsrelevanz notwendig sind (vgl. Patzak 1982, S.270). Es sollen damit Ziel (Wirkfunktionen) und Mittel (Wirkstrukturen) der Nanotechnologie kombiniert werden.
- **Methodenanpassung und -kombination:** Es sollen geeignete praxistaugliche Methoden angepasst und kombiniert werden, um einen Zugang zu den nanotechnologischen Funktionen und das Wissen der Nanotechnologie zu ermöglichen.
- **Allgemeingültigkeit:** Die Beschreibung der Nanotechnologie als Grundlage für das Verfahren soll unabhängig von den nanowissenschaftlichen Entwicklungen Gültigkeit besitzen.

Eine explizite Darstellung aller möglichen Effekte von Nanomaterialien ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht möglich. Auf molekularer Ebene herrscht eine große Variabilität und Kombinationsmöglichkeit, zukünftige Entwicklungen müssen mit berücksichtigt werden, deren Entwicklung zum Großteil noch nicht absehbar ist, und auch der jetzige Stand kann nur unvollständig erfasst werden, weil z.B. nicht alle Eigenschaften von Nanomaterialien veröffentlicht werden.

### 5.3 Anforderungen an die methodische Unterstützung der Identifikation und Bewertung von Produktideen

Die Bewertung und Auswahl geeigneter Ziel-Mittel-Kombinationen aus Anwendung und Nanotechnologie bedarf zweckmäßiger Methoden, an die folgende Anforderungen zu stellen sind:

- **Identifikation von Produktidee und Bewertung der Relevanz:** Die eingesetzten Methoden des Verfahrens sollen mögliche Produktideen identifizieren helfen. Es sollen eindeutige und nachvollziehbare Aussagen zur Relevanz der Nanotechnologie gegeben und zur Komplexitätsreduktion beigetragen werden. Die Bewertungskriterien betreffen die funktionale Lösungsmöglichkeit der Nanotechnologie und die Bedeutung der möglichen Anwendung aus Kunden- und Marktsicht (Vahs, Burmester 2005, S.192f).
- **Informationsgewinnung:** Das Verfahren soll den notwendigen Informationsumsatz zur Bewertung der Relevanz steuern, hierzu gehören neben der Informationsverarbeitung durch Methoden auch die aufwandsarme Informationsgewinnung durch die gezielte Einbindung von Experten (Pahl et al. 2005, S.65).
- **Anschlussfähigkeit und Einfachheit der Bewertung:** Das Verfahren soll in der Anwendung einfach sein und durch ein transparentes, standardisiertes Vorgehen anschlussfähig und integrierbar sein im Technologiemanagement des Unternehmens.

### 5.4 Anforderungen an die Anwendbarkeit des Verfahrens

Folgende allgemeine Anforderungen an die Anwendbarkeit des Verfahrens ergeben sich aus den in Kap. 3.5 formulierten Kriterien:

- **Durchgängigkeit:** Das Verfahren soll keine Brüche oder Widersprüche im zweckmäßigen Vorgehen und der Informationsgewinnung und -verarbeitung aufweisen (Patzak 1982, S.310), die zwangsläufig zu Verzögerungen oder zum Abbruch des Verfahrens führen.
- **Effiziente und praxismgerechte Anwendung:** Der Nutzen der Durchführung der Nanotechnologieanalyse muss den Aufwand rechtfertigen. Das Verfahren soll von Unternehmen, besonders KMUs, ohne großen Aufwand durchgeführt werden können (Patzak 1982, S.309). Hierbei können jedoch Zielkonflikte zwischen Aufwand und Umfang der zu analysierenden Objekte auftreten. Die Methoden sollen in ihrer Anwendung einfach zu handhaben und praxistauglich sein und den Aufwand für die Informationserfassung reduzieren (Vahs, Burmester 2005, S.194).
- **Anpassbarkeit:** Das Verfahren und seine implementierten Methoden sollen im Rahmen der Zielstellung des Verfahrens sowohl auf die unternehmensspezifische Ausgangssituation und Zielstellung als auch auf zukünftige Änderungen des Analyseobjekts oder der Informationsgrundlage anpassbar sein, insbesondere indem nur einzelne Schritte des Verfahrens wiederholt werden müssen (Frese et al. 1996, S.3-49).

Diese Anforderungen bilden die Grundlage für die Konzeption des Verfahrens.

## 6 Konzeption des Verfahrens zur funktionsbasierten Technologierelevanzanalyse der Nanotechnologie für die Produktplanung

Auf der Grundlage des in Kap. 4 beschriebenen Verfahrensansatzes und der in Kap. 5 genannten Anforderungen an das Verfahren wird im Folgenden das Verfahren zur funktionsbasierten Technologierelevanzanalyse von Nanotechnologie für die Produktplanung entwickelt. Es besteht aus fünf Phasen und ist in Abbildung 19 dargestellt.

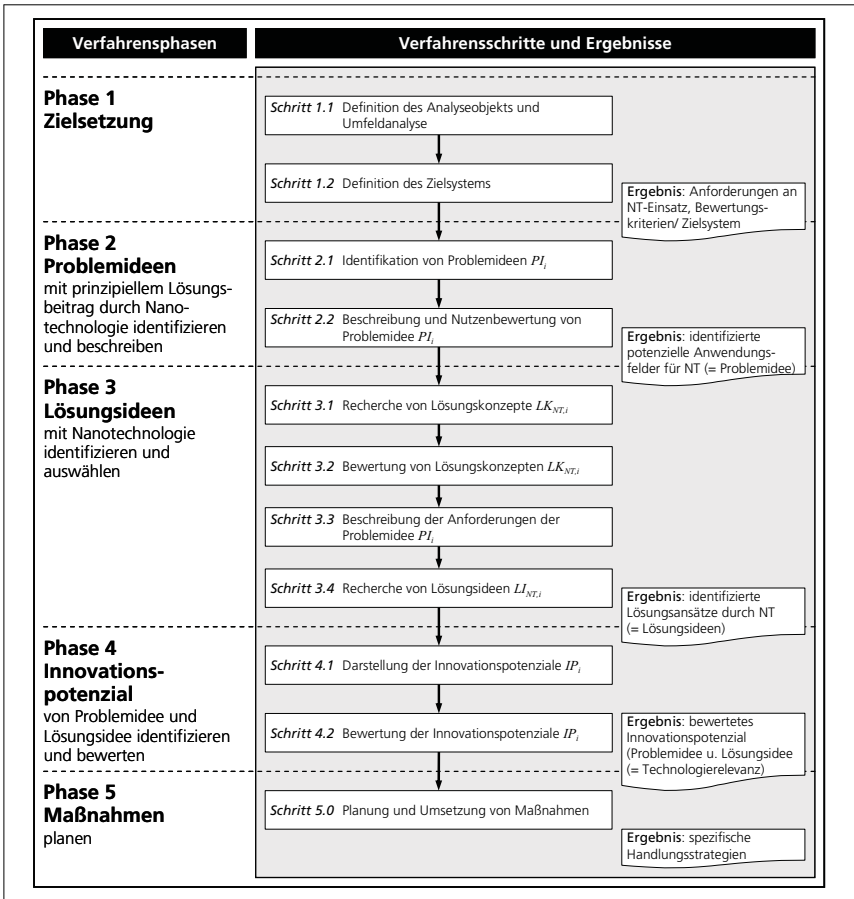


Abbildung 19: Phasen, Einzelschritte und Ergebnis des Verfahrens zur funktionsbasierten Technologierelevanzanalyse

Das schrittweise Vorgehen wird nicht als streng lineare Abfolge verstanden. Da das Verfahren auf unvollständigen Informationen aufbaut (vgl. Kap. 3.1.2.3 und 3.3.1), kann es notwendig

sein, Rückkopplungen und Schleifen innerhalb und zwischen den Phasen durchzuführen (vgl. Müller 1990, S.19f).

## 6.1 Terminologie relevanter Begriffe des Verfahrens

Für die methodische Ausgestaltung der einzelnen Verfahrensschritte und der Formalisierung des Zugangs zur Nanotechnologie wird im Folgenden eine Terminologie notwendiger Verfahrenselemente aufbauend auf der VDI-Richtlinie 2221<sup>60</sup> definiert. Die Begriffe „Problemee“ und „Lösungsidee“ sind an die VDI-Richtlinie 2220<sup>61</sup> angelehnt.

### 6.1.1 Wirkprinzip $WP_i$

Materielle (Nanomaterialien und -strukturen) und phänomenologische Aspekt (Eigenschaften und Effekte) sind neben dem Größenaspekt definitorische Wesensmerkmale der Nanotechnologie. Wie in Kap. 3.2.4.1 dargestellt, baut die Wirkung der Nanotechnologie als Ziel-Mittel-Kombination auf Materialien und deren Funktion auf. Ein Wirkprinzip  $WP_i$  wird demnach durch eine Wechselwirkung und einen Wirkort dargestellt:

- Die *Wechselwirkung* bezeichnet das *Ziel* der Ziel-Mittel-Kombination, indem die Art der Wirkung, die durch die Funktion prinzipiell erreicht werden kann, dargestellt wird.
- Der *Wirkort* beschreibt das *Mittel* der Ziel-Mittel-Kombination, indem der Ort, an dem die Wechselwirkung erfolgt, dargestellt wird. Dies kann eine (Kontakt)-Fläche oder ein Raum sein.

Mit Hilfe der Wirkprinzipien wird Anwendern ein Zugang zu den Nutzungsmöglichkeiten der Nanotechnologie geschaffen. Die Wirkprinzipien  $WP_i$  dienen als „Black Box“, um Analogien zu den produktseitigen Funktions- und Objektelementen herstellen zu können und die Verarbeitbarkeit in den nächsten Verfahrensschritten zu ermöglichen.

Im Folgenden werden Ziel (Wechselwirkung) und Mittel (Wirkort) des Wirkprinzips dargestellt.

### Die Wechselwirkung des Wirkprinzips $WP_i$

Das Ziel der Wirkprinzipien  $WP_i$  baut auf Kategorien von Funktionalitäten der Nanotechnologie auf (siehe Kap. 3.2.4.1). Als Grundlage wurden Kategorisierungen in der Literatur vereinheitlicht und zu Wirkprinzipien verallgemeinert. Die auf diese Weise abgeleiteten zentralen Eigenschaftskategorien sind „mechanisch“, „elektrisch“, „magnetisch“, „optisch“, „thermisch/thermodynamisch“ (physikalische Eigenschaften) sowie „chemisch“ und „biologisch“ (siehe Anhang Kap. 11.1.1.2, Tabelle 41). Diese Kategorien können abstrahiert werden als:

- *Grenzflächen-Wechselwirkungen stofflicher Art* (mechanische, biologische oder chemische) zwischen Körpern,<sup>62</sup> sowie
- *Feld-Wechselwirkungen nicht-stoffliche Art* (elektrisch, magnetisch, optisch, thermisch/thermodynamisch).<sup>63</sup>

---

<sup>60</sup> VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte (VDI-2221 1993, S.39, siehe Kapitel 11.1).

<sup>61</sup> VDI-Richtlinie 2220: Produktplanung - Ablauf, Begriffe und Organisation (VDI-2220 1980).

<sup>62</sup> Die stofflichen Wechselwirkungen sind 2-Phasen Grenzflächen-Wechselwirkungen von festen, flüssigen oder gasförmigen Stoff mit einer Oberfläche.



Diese Wechselwirkungen der Wirkprinzipien  $WP_i$  sind in Abbildung 20 dargestellt.

### Der Wirkort als Mittel eines Wirkprinzips $WP_i$

Die Nanomaterialien und -strukturen sind das Mittel eines Wirkprinzips  $WP_i$ . Ihr Wirkort gibt an, ob sie im Material oder an der Oberfläche eines Materials wirken (siehe Kap. 3.2.4.2 sowie Anhang Kap. 11.1.1.3, Abbildung 45):

- Der *Wirkort in einem Material* wird ermöglicht z.B. als Nanokomposit, Nanowerkstoff, offene/geschlossene Porenstruktur oder in einer Suspension. Generell ist der Wirkort eingebettet in eine dreidimensionale Struktur.
- Der *Wirkort an der Oberfläche* wird ermöglicht z.B. als nm-dicke Beschichtung, Beschichtung mit einem Nanomaterial oder nanostrukturierte Oberfläche.

Die Definition des Wirkorts dient der Einteilung aus Anwendungs- und Applikationssicht. In der Nanodimension sind es fast immer Grenzflächenwechselwirkungen der Nanomaterialien bzw. deren Partikeloberfläche, die zu den besonderen Eigenschaften führen (Kap. 3.2.2). Die Wirkorte der Wirkprinzipien  $WP_i$  sind ebenfalls in Abbildung 20 dargestellt.

### Zusammenstellung von Wirkprinzipien $WP_i$

Abbildung 20 zeigt den Aufbau der Wirkprinzipien  $WP_i$  aus Wechselwirkung und Wirkort.

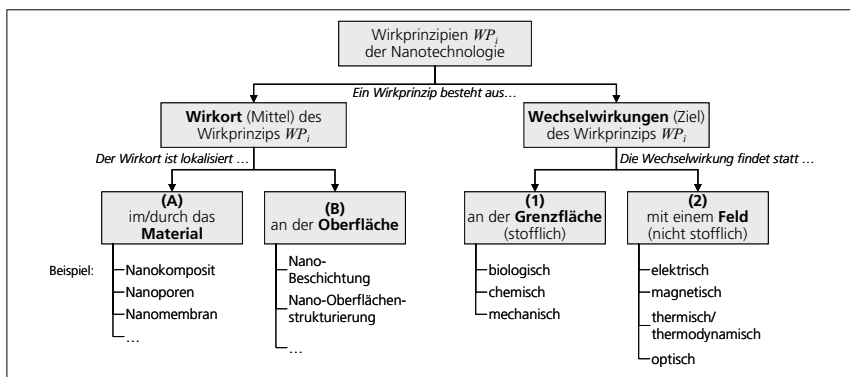


Abbildung 20: Kategorisierung von Wechselwirkung und Wirkort der Wirkprinzipien

Aus der Kombination von Wechselwirkung und Wirkort können die folgenden Wirkprinzipien  $WP_i$  definiert werden:

**Wirkprinzip  $WP_{1A}$ :** Die Wirkung erfolgt durch eine Feld-Wechselwirkung mit einem Material.

**Wirkprinzip  $WP_{1B}$ :** Die Wirkung erfolgt durch eine Feld-Wechselwirkung mit einer Oberfläche.

**Wirkprinzip  $WP_{2A}$ :** Die Wirkung erfolgt durch eine Grenzflächen-Wechselwirkung mit einem Material.

<sup>63</sup> Hierzu zählen die physikalischen Felder (elektrische und elektro-magnetische Wechselwirkung) sowie „thermische/thermodynamische“ und „optische“ Strahlung.

**Wirkprinzip  $WP_{2B}$ :** Die Wirkung erfolgt durch eine Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche.

Innerhalb eines Wirkprinzips  $WP_i$  kann eine weitere Einteilung dahingehend getroffen werden, ob sich die Wirkung auf Eigenschaften des Materials bezieht (Schutz als Funktion/Schutzschicht), oder ob eine extensive, nach außen gerichtete Wirkung (extensive Funktion/Funktionsschicht) erzeugt werden soll (vgl. Birkhofer 1980). Die Tabelle 17 zeigt Beispiele nanotechnologischer Anwendungen mit Schutzfunktion oder als extensive Funktion für die Wirkprinzipien  $WP_i$ .

Tabelle 17: Konkrete Beispiele für Wirkprinzipien

Wirkprinzip $WP_i$		Beispiele für	
		Schutz als Funktion/Schutzschicht	Extensive Funktion/Funktionsschicht (Oberflächenfunktionen)
$WP_{1A}$	Feld-Wechselwirkung mit einem Material	IR-Schutz, UV-Schutz, Antistatik, ...	Logik-Bausteine, Sensorik, elektrische/thermische/magnetische Leitfähigkeit, Farbe/Optik, ...
$WP_{1B}$	Feld-Wechselwirkung mit einer Oberfläche	IR-schaltbar, TCO/Antistatik, Thermochromie, Anti-Reflex, ...	Farbe/Licht, thermische Eigenschaften, ...
$WP_{2A}$	Grenzflächen-Wechselwirkung mit einem Material	Kratzfestigkeit, mechanische Stabilität, ...	Chemische Bindung/Reaktivität, Adsorption, Absorption, Membrane, ...
$WP_{2B}$	Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche	Nicht-Verschmutzung/Easy-to-Clean, Adhäsion, Kratzfestigkeit, Superhydrophobie, Anti-Fog, ...	Photokatalytisch, katalytisch, Bond/Debond, biozid/antimikrobiell, Bio-Adressierbarkeit, ...

### 6.1.2 Wirkstruktur $WS_{NT,i}$

Eine nanotechnologische Wirkstruktur  $WS_{NT,i}$  ist definiert durch ein Nanomaterial oder eine Nanostruktur im Sinne der Nanotechnologie-Definition. Sie stellt eine nanotechnologische Systemfunktion  $SF_{NT,i}$  bereit (Kap. 3.2.1). Durch eine Wirkstruktur  $WS_{NT,i}$  können verschiedene Systemfunktion  $SF_{NT,i}$  (exklusiv) realisiert oder kombiniert werden. Wirkstrukturen  $WS_{NT,i}$  werden auf unterschiedliche Weise als Applikation  $AP_i$  (Kap. 6.1.4), z.B. als Partikel, Beschichtung, Dünnschicht, Komposit oder Strukturierung (Kap. 3.2.4.2) angewandt.

Beispiele für Wirkstrukturen  $WS_{NT,i}$  sind nanoskalige  $TiO_2$ -Partikel, CNTs oder nanostrukturierte Oberflächen (siehe Kap. 3.2.4.2).

### 6.1.3 Systemfunktion $SF_{NT,i}$

Eine nanotechnologische Systemfunktion  $SF_{NT,i}$  ist eine auf ein Objekt ausgerichtete lösungsneutrale Wirkung einer Wirkstruktur  $WS_{NT,i}$  (vgl. Abbildung 16). Sie beschreibt eine nutzbare Eigenschaft der Nanotechnologie, die durch ihre Wirkung die Eigenschaft bzw. Funktion eines Produktes betrifft (Zweckfunktion  $ZF_i$ , Kap. 6.1.5). Systemfunktionen  $SF_{NT,i}$  können mechanischer, elektrischer, magnetischer, optischer, thermisch/thermodynamischer, chemischer oder biologischer Art sein oder auf diesen Kategorien aufbauen. Sie zeigen die Wirkung in bzw. durch eine Applikation  $AP_i$  (Kap. 6.1.4).

Beispiele für Systemfunktionen  $SF_{NT,i}$  sind die Wärmeleitfähigkeit, der photokatalytische Effekt, die Antireflex-Eigenschaft, die elektrische Leitfähigkeit oder die Oberflächenhärte. Im Anhang Kap. 11.2.2 in Tabelle 49 werden beispielhaft weitere Systemfunktionen  $SF_{NT,i}$ , Wirkstrukturen  $WS_{NT,i}$  und Wirkort/Applikation der Nanotechnologie dargestellt.

### 6.1.4 Applikation $AP_i$

Als Applikation  $AP_i$  wird die Trägerstruktur bezeichnet, die die Wirkstruktur  $WS_{NT,i}$  enthält oder aufnimmt (z.B. Komposit, Nanopolymer), aus ihnen aufgebaut ist (z.B. Nanoschaum, nanoporöser Kristall) oder als Trägergerüst (z.B. als Beschichtung, Lack oder Nanostruktur) dient.<sup>64</sup>

Im Anhang werden in Abbildung 45 (Kap. 11.1.1.3) beispielhaft Wirkorte (Oberflächen und Materialien) dargestellt sowie in Tabelle 49 (Kap. 11.2.2) Applikationen den einzelnen Systemfunktionen  $SF_{NT,i}$ , Wirkstrukturen  $WS_{NT,i}$  gegenübergestellt.

### 6.1.5 Zweckfunktion $ZF_i$

Eine Zweckfunktion  $ZF_i$  ist eine nutzerbezogene, manifestierte Funktion, funktionale Aufgabe oder Eigenschaft eines Produktes, um die an das Produkt gestellten Nutzerbedürfnisse zu befriedigen (vgl. Abbildung 16). Zweckfunktionen  $ZF_i$  können Gebrauchs- oder Geltungsfunktionen, Haupt- oder Nebenfunktion sein und bestimmen die Markt- und Nutzerattraktivität. Sie werden explizit, implizit oder nicht artikuliert gewünscht oder gefordert.

Eine Zweckfunktion  $ZF_i$  wird durch

- den Term „Substantiv Verb“, z.B. „Material sterilisieren“, „Flüssigkeit leiten“ oder
- als Eigenschaft durch ein „Substantiv“ (bzw. substantiviertes Adjektiv), z.B. „Superhydrophobie“, „Kratzfestigkeit“

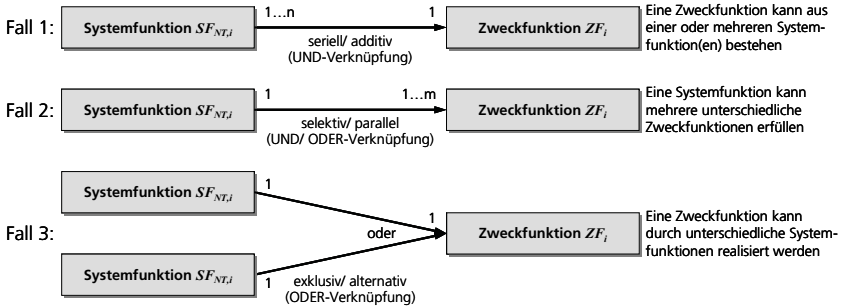
beschrieben.<sup>65</sup> Tabelle 18 zeigt die Kombinationsmöglichkeiten von Zweckfunktion und Systemfunktion.

**Tabelle 18: Kombination von Zweckfunktion und Systemfunktion**

	Kombinationsarten	Kombination Zweck- und Systemfunktion	Beispiel
Fall 1	seriell/additiv (UND-Verknüpfung)	Eine Zweckfunktion $ZF_i$ ist aus einer oder mehreren Systemfunktion(en) $SF_{NT,i}$ aufgebaut	Reduktion Biofilm durch Schicht mit <i>antimikrobiellen</i> und <i>hydrophoben</i> Eigenschaften sowie <i>Diffusionssperre</i>
Fall 2	selektiv/parallel (UND/ODER-Verknüpfung)	Eine Systemfunktion $SF_{NT,i}$ ermöglicht verschiedene Zweckfunktionen $ZF_i$	<i>Photokatalytisch</i> für <i>sterile</i> Oberflächen, <i>Wasserreinigung</i> , <i>Easy-to-Clean</i> oder <i>Halbleiter</i> für Solarzelle
Fall 3	exklusiv/alternativ (ODER-Verknüpfung)	Eine Zweckfunktion $ZF_i$ wird durch unterschiedliche Systemfunktionen $SF_{NT,i}$ realisiert	Sterilität durch <i>antimikrobiell</i> wirksame oder <i>photokatalytisch</i> aktive Nanomaterialien

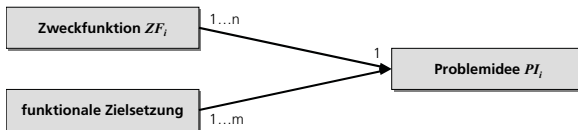
<sup>64</sup> Die Unterscheidung zwischen Wirkstruktur und Applikation ist nicht immer eindeutig, z.B. sind organisch-anorganische Hybrid-Polymere Wirkstruktur und Applikation in einem. Die Unterscheidung macht jedoch deutlich, dass Werkstoffe und Bauteile Funktionsträger sind und einen Kundennutzen bieten, während auf Technologieseite die Nanomaterialien besondere Eigenschaften zeigen, die im Bauteil oder Produkt integriert werden.

<sup>65</sup> siehe VDI-2803 1996 (S.2) sowie Verbensammlung und Taxonomie spezieller Funktionsverben bei Birkhofer 1980 (S.72) und Langlotz 2000 (S.277) (Tabelle 52 und Tabelle 53 im Anhang, Kap. 11.4.1).



### 6.1.6 Problemidee $PI_i$

Eine Problemidee  $PI_i$  ist eine funktionale Problemstellung oder Anforderung des Analyseobjekts mit technischem Lösungsbedarf. Sie repräsentiert einen Bedarf für eine nanotechnologische Anwendung und wird durch eine oder mehrere Zweckfunktion(en)  $ZF_i$ , Anforderungen der Anwendung sowie gewünschter/n funktionaler/n Veränderung(en) beschrieben. Die gewünschte Veränderung kann darin bestehen, dass die Material- oder Produkteigenschaften verbessert werden sollen, neue Anforderungen kunden- und marktseitig gestellt werden, die bisherige Funktion durch Nanotechnologie substituiert werden soll oder sich neue Lösungsmöglichkeiten aufgrund der Wirkprinzipien ergeben.

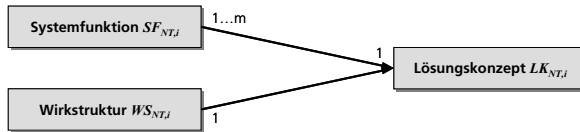


Die Identifikation der Problemideen  $PI_i$  erfolgt durch Dekomposition des Analyseobjekts auf Basis der Wirkprinzipien  $WP_i$ . Sie stellen aufgrund der Übereinstimmung der funktionalen Anforderungen mit einem Wirkprinzip  $WP_i$  ein potenzielles Anwendungsfeld für die Nanotechnologie dar.

Beispiele für eine Problemidee sind die Verbesserung der Fließigenschaften von Kunststoffen im Spritzgussprozess, die Substitution der Sterilisation einer Verpackungsoberfläche oder die Kühlung einer heißen Oberfläche.

### 6.1.7 Lösungskonzept $LK_{NT,i}$

Ein nanotechnologisches Lösungskonzept  $LK_{NT,i}$  beschreibt grundlegend die wirkstrukturelle Realisierung einer einzelnen oder kombinierter Systemfunktion(en)  $SF_{NT,i}$  durch eine Wirkstruktur  $WS_{NT,i}$  (siehe auch Kap. 11.2.2 in Tabelle 49).



Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  dienen einer ersten Einschätzung von Realisierungsmöglichkeiten:

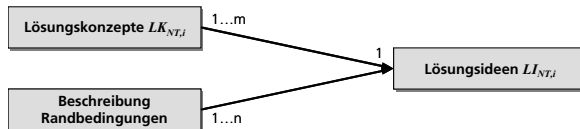
- Kann die gewünschte Zweckfunktion überhaupt erzielt werden?
- Wenn ja, welche nanotechnologischen Ansätze (Materialien und Strukturen) gibt es?

Das gewünschte Lösungskonzept  $LK_{NT,i}$  zeigt in Verbindung mit der Problemidee  $PI_i$ , ob es überhaupt eine prinzipielle technische Lösung durch die Nanotechnologie gibt und wie diese gestaltet sein könnte.

Beispiele für Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  sind die antimikrobielle Beschichtung durch Silber-Nanopartikel, das Additiv Polybutylenterephthalat zur Fließeigenschaftenverbesserung von Kunststoffen oder die Wärmeleitfähigkeit von CNT.

### 6.1.8 Lösungsidee $LI_{NT,i}$

Eine nanotechnologische Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  beschreibt die nanotechnologische Anwendung einer Wirkstruktur  $WS_{NT,i}$  zur Realisierung einer geforderten Funktion der Problemidee  $PI_i$ . Sie wird durch ein oder mehrere Lösungskonzept(e)  $LK_{NT,i}$  sowie der Systembeschreibung der Randbedingungen definiert anhand der Zielkriterien  $Z_3$  und  $Z_4$  z.B. hinsichtlich Applikation, Leistungsparameter oder Wechselwirkungen mit dem Umfeld.



Die Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  erlaubt vor dem Hintergrund der zugehörigen Problemidee  $PI_i$  eine realistischen Bewertung der Anwendungsmöglichkeiten, des Lösungsbeitrags und der Anwendungsreife.

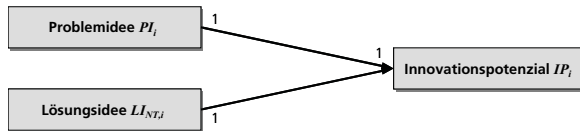
Die Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  setzt sich aus einem oder mehreren Lösungskonzept(en)  $LK_{NT,i}$  zusammen, unterschiedliche Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  können zu einer Problemidee  $PI_i$  gehören.

### 6.1.9 Innovationspotenzial $IP_i$

Das Innovationspotenzial  $IP_i$  repräsentiert eine Ziel-Mittel-Kombination. Es setzt sich zusammen aus einer Problemidee  $PI_i$  als marktseitigem Bedarf und einer zugehörigen Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  als potenzielle technische Lösung.<sup>66</sup> Das Innovationspotenzial  $IP_i$  ist ein Maß für die Relevanz der

<sup>66</sup> Der Begriff des Innovationspotenzials wird in der Literatur unterschiedlich definiert. BRANDENBURG beschreibt ein Innovationspotenzial als ein neuer Bedarf (Problem, Bedürfnis, Marktanforderung) oder eine neue Lösung (neue Lösung, neue Anwendung), die zu Entwicklungsaktivitäten führen (Brandenburg 2002, S.68). SPECHT und MÖHRLE hingegen bezeichnen das Innovationspotenzial als materielle, personelle und organisatorische Ressourcen, die dem Unternehmen für die Innovationsaktivitäten bereit stehen (Specht, D., Möhrle 2002). TSCHIRKY legt ebenfalls eine eher potenzialorientierte Managementkonzeption zugrunde, wonach das Innovationspotenzial die verfügbaren In-

Nanotechnologie im unternehmerischen Kontext. Das Innovationspotenzial  $IP_i$  ist dann hoch, wenn die Problemeidee  $PI_i$  ein großes Anwendungspotenzial besitzt und der spezifische Lösungsbeitrag einer Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  groß ist bzw. die geforderten Eigenschaften erreicht werden können.



Es können mehrere Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  für eine Problemeidee  $PI_i$  bewertet werden, jede Kombination ist für sich ein Innovationspotenzial  $IP_i$ .

### 6.1.10 Modell der relevanten Begriffe des Verfahrens

Abbildung 21 zeigt das Modell der Verfahrenselemente, ihre Zusammenhänge sowie ihre Bearbeitung in dem jeweiligen Verfahrensschritt.

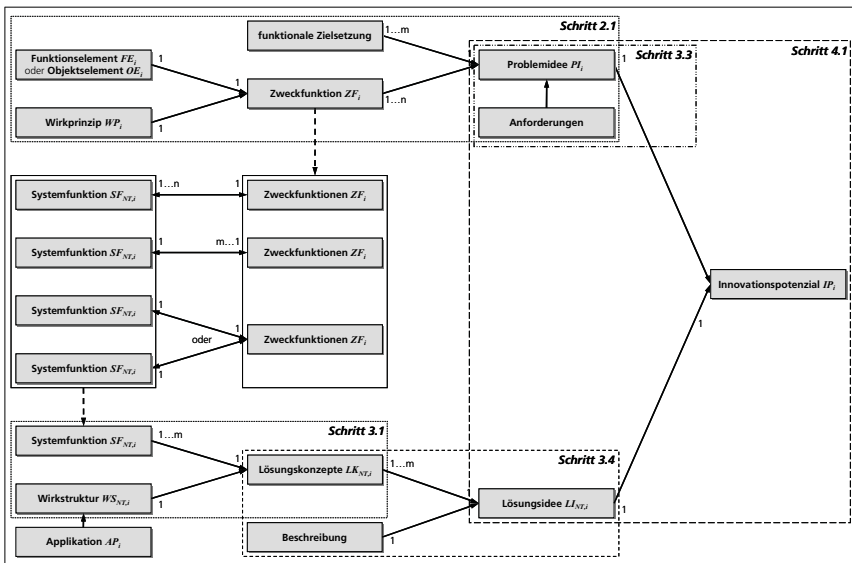


Abbildung 21: Modell mit Verfahrenselementen zur Analyse der Technologierelevanz

Ausgehend von einem Wirkprinzip  $WP_i$  und einem Funktions- oder Objektelement  $FE_i$  bzw.  $OE_i$  wird die Zweckfunktion  $ZF_i$  identifiziert und daraus die Problemeidee  $PI_i$  mit den Zielsetzungen

novationskompetenzen von Mitarbeitern sowie Führungs- und Ausfertigungsebenen darstellt (Tschirky 1998, S.264). In dieser Arbeit besteht das Innovationspotenzial hingegen aus einer neuen Kombination von Problem mit prinzipieller Lösung als Ziel-Mittel-Kombination, deren Relevanz sich aus dem großen Anwendungsnutzen und dem erfüllten Lösungsbeitrag ergibt.

konstituiert. Für die Zweckfunktion(en) wird nach geeigneten Systemfunktion(en)  $SF_{NT,i}$  gesucht. Diese beschreiben gemeinsam mit der zugehörigen Wirkstruktur  $WS_{NT,i}$  das Lösungskonzept  $LK_{NT,i}$ , das zusammen mit einer detaillierten Beschreibung eine Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  darstellt. Problem- und Lösungsidee bilden gemeinsam ein Innovationspotenzial  $IP_i$ , welches hinsichtlich der problemideeseitigen Anforderungen bewertet wird.

## **6.2 Phase 1: Definition der Zielsetzung**

### **6.2.1 Ziel der Verfahrensphase**

Für die Relevanzanalyse der Nanotechnologie für das unternehmerische Produktspektrum ist es zunächst notwendig, die Zielsetzung der Analyse zu definieren und den Analysegegenstand abzugrenzen. Durch eine Umfeldanalyse werden die allgemeinen, zunächst unspezifischen Anforderungen und Trends aus dem Markt, dem Umweltschutz oder der Produktpalette aufgenommen. Darauf aufbauend wird ein Zielsystem definiert und daraus erste allgemeine Bewertungskriterien abgeleitet, die den Bewertungsrahmen für die Lösungskonzepte und Lösungsideen vorgeben.

### **6.2.2 Methodisches Vorgehen**

Die Phase 1 gliedert sich in die beiden Schritte „Definition des Analyseobjekts und Umfeldanalyse“ und „Definition des Zielsystems“.

#### **6.2.2.1 Schritt 1.1: Definition des Analyseobjekts und Umfeldanalyse**

Zu Beginn der Technologierelevanzanalyse wird ein interdisziplinäres Projektteam aus unternehmensinternen und möglicherweise externen Mitarbeitern zusammengestellt, das den Ablauf der Analysephasen überwacht, fachliche Bewertungen vornimmt und als Informationstransferstelle innerhalb des Unternehmens fungiert. Es wird anschließend das Analyseobjekt festgelegt sowie eine Umfeldanalyse durchgeführt.

#### **Festlegung des Analyseobjekts**

Mit der Festlegung des Analyseobjekts wird der Suchraum nach Problemlösungen definiert. Es kann sich dabei um ein strategisches Geschäftsfeld, die komplette Produktpalette, eine Produktgruppe, ein Produkt, eine Baugruppe, ein Bauteil usw. oder um eine virtuelle Vorstellung des Produktes, z.B. auf der Grundlage von Kundenbefragungen, handeln. Für die Analyse ist es notwendig, dass das Analyseobjekt einen Bezug zu einem Produkt – als strukturelle Realisierung einer Kundenanforderung – oder einer vom Markt geforderten Leistung hat.

#### **Umfeldanalyse**

Durch eine Umfeldanalyse werden aus Informationsquellen wie Trendstudien, Benchmark- und Konkurrenzanalysen, Marktstudien oder Kundenbefragungen Erfolgsfaktoren für den möglichen Einsatz der Nanotechnologie erfasst. Erfolgsfaktoren sind externe Treiber, die Notwendigkeiten zum Handeln aufzeigen, externe Potenziale, die auf neuen Chancen hindeuten, oder interne Anforderungen aus der Unternehmensstrategie oder der Produktoptimierung. Im Mittelpunkt steht die Frage, welchen allgemeinen Handlungsnotwendigkeiten oder -chancen sich das Unternehmen gegenüber sieht.

Neben der Umfeldanalyse werden Zielsetzungen aus der Unternehmens-, Produkt- und Marktstrategie abgeleitet, z.B. Pläne für neue Geschäftsfelder oder Positionierung als besonders umweltfreundliches Unternehmen, Qualitätsführer, Innovator oder Hochpreissegmentanbieter (vgl. Porter 2001). Außerdem können interne Anforderungen zur Produktoptimierung oder Produkt-

gestaltung, z.B. „Langlebigkeit erhöhen“ oder „Produkt weiter miniaturisieren“, als Ziele aufgenommen werden. Dadurch soll gewährleistet werden, dass die erarbeiteten Innovationspotenziale mit der Unternehmensstrategie übereinstimmen oder diese unterstützen (siehe Tabelle 42, Anhang Kap. 11.1.2).

### 6.2.2.2 Schritt 1.2: Definition des Zielsystems

Die Anwendung der Nanotechnologie muss mit den allgemeinen Zielen und Anforderungen des Unternehmens übereinstimmen. Diese sind neben problemideespezifischen Anforderungen (Kap. 6.4.2.3) Teil des Bewertungssystems für die Relevanz der Nanotechnologie. Hierfür wird ein Zielsystem definiert, das aus Sach- und Formalzielen besteht. Das Zielsystem setzt sich zusammen aus den Zielen der unternehmerischen Technologiestrategie ( $Z_1$ ), allgemeinen Zielen aus der Umfeldanalyse ( $Z_2$ ), Festforderungen ( $Z_3$ ) sowie den spezifischen Anforderungen jeder einzelnen Problemidee ( $Z_4$ ) (Tabelle 19). Die Anforderungen der Problemidee werden in Schritt 3.3 spezifiziert (Kap. 6.4.2.3). Festforderungen oder Muss-Kriterien helfen, im Laufe des Verfahrens Lösungen auszuschließen. Beispiele hierfür sind „Die Lösung soll die Umweltfreundlichkeit verbessern“ oder „Die Lösung muss mit den Regularien der FDA konform sein“. Durch das Zielsystem ist gewährleistet, dass die Bewertung der Relevanz der Nanotechnologie mit der Unternehmensstrategie und den allgemeinen Trends übereinstimmt oder diese unterstützt. Aus dem Zielsystem werden dann in Schritt 4.2 Bewertungskriterien abgeleitet.

Die Kategorien des Zielsystems sind in Tabelle 19 dargestellt. Die Ziele  $Z_1$ - $Z_3$  betreffen das Analyseobjekt, während die Ziele  $Z_4$  sich auf die Problem- und Lösungsidee beziehen. Die Ziele  $Z_4$  werden erst in Schritt 3.3 formuliert, wenn das Produktkonzept steht (vgl. Ulrich, Eppinger 2004, S.74).

Tabelle 19: Aufbau des Zielsystems für die Bewertungskriterien

Kategorie (Art des Ziels und Herleitung)	Bezugssystem	Zielbildung	Einsatz in	Beispiele für Ziele
$Z_1$ Allg. Ziele aus der Technologie-Strategien (Sachziel, deduktiv)	Analyseobjekt	Schritt 1.1	Schritt 2.1 Schritt 2.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologieführerschaft</li> <li>• Veränderung Preisspielraum: Kostenführerschaft oder Differenzierung</li> <li>• Neue Märkte mit etablierten Produkten</li> </ul>
$Z_2$ Allg. Ziele für die Umsetzung aus der Umfeldanalyse (Sachziel, deduktiv)	Analyseobjekt	Schritt 1.2	Schritt 2.1 Schritt 2.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allgemeine Trends</li> <li>• Miniaturisierung von Bauteilen/Funktionen</li> <li>• Verbesserung der Qualität</li> </ul>
$Z_3$ Allg. Muss-Kriterien/Festforderungen (Sachziel, deduktiv)	Analyseobjekt	Schritt 1.2	Schritt 3.2 Schritt 4.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konformität mit FDA-Richtlinien</li> <li>• Frei von RoHS-Stoffen</li> <li>• Werkstattmäßige oder nachträgliche Applikation</li> </ul>
Die Anforderungen der Zielkategorie $Z_4$ werden erst in Schritt 3.3 (Kap. 6.4.2.3, Tabelle 26) formuliert.				
$Z_4$ Anforderungen an die Lösungsidee $L_{N,T,i}$ (Formalziel, induktiv)	Problemidee Lösungsidee	Schritt 3.3	Schritt 4.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anforderungen an Funktion und Leistung</li> <li>• Anforderungen an Gestalt/technisches Design</li> <li>• Anforderungen an Produktion</li> <li>• Anforderungen aus Umfeldbedingung</li> <li>• Anforderungen an die Umsetzung/Markteinführung</li> <li>• Anforderungen des Umweltschutzes</li> </ul>

Die Ziele  $Z_1$ ,  $Z_2$  und  $Z_3$  werden deduktiv aus der Unternehmensstrategie, aus der Umfeldanalyse und den internen Anforderungen entwickelt. Sie werden inhaltlich gruppiert und gegebenenfalls hierarchisch in Ober- und Unterziele gegliedert. Die Ziele müssen im weitesten Sinne die Produkteigenschaften oder den Anwendungsnutzen betreffen. Sie müssen hinsichtlich des Verfahrens und der nanotechnologischen Lösungen realisierbar, operational und eindeutig formuliert sein. Ziele sollten sich nicht überschneiden oder ihre Erfüllung von anderen Zielen abhängig sein



(vgl. Brose 1982, S.342). Die Zielstellungen müssen im Verlauf des Verfahrens immer wieder neu überprüft und gegebenenfalls neu priorisiert oder ergänzt werden. Völlig neue Lösungsansätze durch Nanotechnologie können z.B. Festforderungen obsolet machen, weil sie ein neues technisches Prinzip oder Materialien einsetzen.

### 6.2.3 Ergebnis der Verfahrensphase

Ergebnis der Phase 1 ist die Definition des Zielsystems als Grundlage für die Bewertungskriterien sowie die Festlegung des Analyseobjekts.

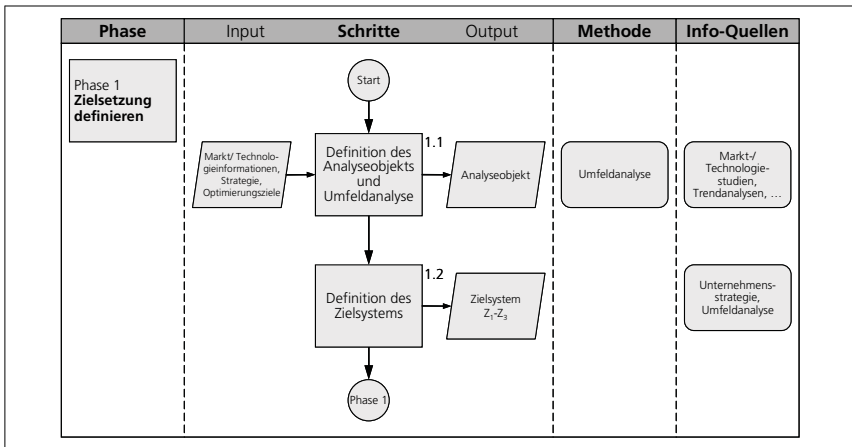


Abbildung 22: Ablauf, Methodeneinsatz und Informationsquellen der Phase 1

## 6.3 Phase 2: Identifikation und Beschreibung von Problemideen

### 6.3.1 Ziel der Verfahrensphase

Ziel der Phase 2 ist es, Problemideen  $PI_i$  zu identifizieren und zu beschreiben. Dies wird erreicht, indem durch Dekomposition des Analyseobjekts auf Problemideen  $PI_i$  geschlossen wird.

### 6.3.2 Methodisches Vorgehen

Die Identifikation von Problemideen  $PI_i$  erfolgt durch eine systematisch-diskursive Vorgehensweise, indem das Analyseobjekt durch Dekomposition zerlegt wird (siehe Patzak 1982, S.65/199; Pahl et al. 2005, S.39; VDI 1983, S.86). Der Aufbau der Wirkprinzipien aus Wechselwirkung und Wirkort definiert die Herangehensweise, wie das Analyseobjekt zerlegt werden soll. Die Identifikation von Problemideen  $PI_i$  beruht auf der Ähnlichkeit oder Analogie einer Kundenanforderung, eines Verbesserungspotenzials, einer Problemstellung, einer Eigenschaft oder eines Materials des Analyseobjekts mit einem Wirkprinzip  $WP_i$  (Schritt 2.1). Die Problemideen  $PI_i$  werden anschließend mit der Zweckfunktion  $ZF_i$  beschrieben und ihr Nutzen bewertet (Schritt 2.2).

In dieser Phase steht die breite Sammlung von möglichst vielen Problemideen  $PI_i$  im Vordergrund, ohne Berücksichtigung vorhandener oder realistischer Lösungsmöglichkeiten.

### 6.3.2.1 Schritt 2.1: Identifikation von Problemideen

Grundlage für die Identifikation von Problemideen  $PI_i$  sind die Wirkprinzipien  $WP_i$ , deren Aufbau aus Wechselwirkung und Wirkort die Dekomposition<sup>67</sup> des Analyseobjekts vorgeben. Das Analyseobjekt muss in solche Teilelemente zerlegt werden, die es erlauben, Ähnlichkeiten oder Analogien mit den Wirkprinzipien herstellen zu können. Die Wechselwirkung korrespondiert mit der Funktionsstruktur, wohingegen der Wirkort sich auf die Objektstruktur bezieht. Das Analyseobjekt muss demnach funktionslogisch und objekt-bezogen in einzelne Teile dekomponiert werden. Die Funktionsstruktur bildet den Zweck und die Wirkung, die Objektstruktur die Produktgestalt ab. Dadurch werden die beiden Fragestellungen, welche Nanofunktionen für das Analyseobjekt genutzt werden können und welche Materialien und Oberflächen von den Nanofunktionen profitieren können methodisch umgesetzt.<sup>68</sup> Abbildung 23 zeigt die Abstraktion der Nanotechnologie als Wirkprinzipien und die Dekomposition des Analyseobjekts, um auf Problemideen schließen zu können.

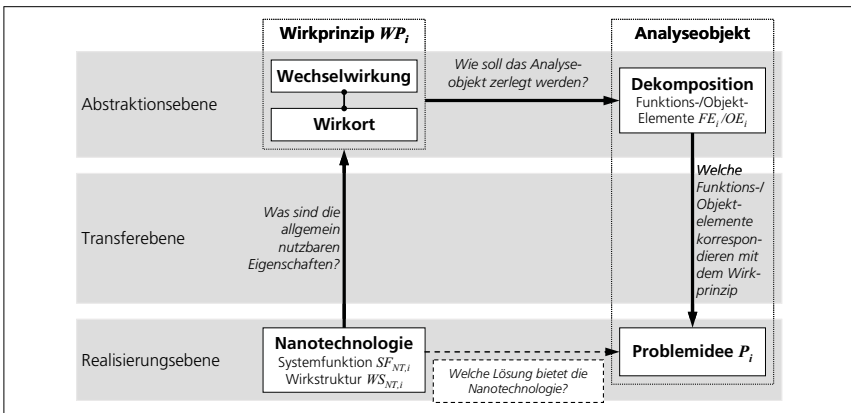


Abbildung 23: Sichtweise der Dekomposition mittels Wirkprinzipien

Die in Abbildung 23 dargestellte Herangehensweise, von der Abstraktion der Nanotechnologie mittels Wirkprinzipien  $WP_i$  auf Problemideen  $PI_i$  in der Realisierungsebene zu schließen, stellt ein umgekehrtes Vorgehen dar zum „Wechsel in die abstrakte Ebene“ in der TRIZ-Methodik (vgl. Abbildung 53, Anhang Kap. 11.4.5).

#### Dekomposition des Analyseobjekts in Funktions- sowie Objektmodell

Die Dekomposition des Analyseobjekts folgt der Strategie „vom Ganzen zum Teil“ mit dem Ziel, den Analyseraum durch Auswahl und Begrenzung sukzessive einzuengen, um die Funktionselemente  $FE_i$  und die Objektelemente  $OE_i$  zu erhalten (vgl. Patzak 1982, S.129f). Hierfür wird ein

<sup>67</sup> Zur Dekomposition siehe VDI-2803 1996; Akiyama 1994 und Patzak 1982.

<sup>68</sup> Wie in Kap. 3.2.4 und 3.2.5 bereits gezeigt wurde, erlauben die Möglichkeiten der Nanotechnologie es, Materialien und Oberflächen mit einer spezifischen Funktion auszustatten. Die Funktionalisierung von Oberflächen durch Nanotechnologie stellt meistens eine neue Ausrüstung dar mit einer Funktion, die bisher entweder auf andere Art realisiert wurde, oder deren Anwendung neu für das Produkt ist. Diese funktionale Ausrüstung ist bisher jedoch nicht Teil der Produktfunktion, weshalb die Ideenfindung durch Dekomposition auch Oberflächen und Materialien einbeziehen muss, die bisher keine Produktfunktion enthalten.

hierarchisches Modell sowohl für die Funktionsstruktur als auch für die Objektstruktur entwickelt, das den logischen Zusammenhang bzw. Aufbau abbildet:

- *Funktionsmodell* (gemäß der Wertanalyse, siehe DIN EN-12973 2002 und Akiyama 1994) Das Ziel der hierarchischen Zerlegung in *Funktionselemente FE<sub>i</sub>* ist es, den funktionalen Aufbau des Analyseobjekts zu erhalten. Die Funktionengliederung und -strukturierung in einer Baumstruktur basiert auf der Funktionenanalyse in der Wertanalyse (siehe DIN EN-12973 2002). Die einzelnen Funktionen werden unabhängig von ihrer strukturellen Ausgestaltung abgebildet und orientieren sich allein an dem Zweckaufbau des (geplanten) Produktes.
- *Objektmodell* (vgl. dem Baummodell technischer Systeme, siehe Hubka, Eder 1992, S.94) Das Ziel der hierarchischen Zerlegung in *Objektelemente OE<sub>i</sub>* ist es, die Gestalt des Analyseobjekts mit Oberflächen und Materialien zu erhalten, für die dann in einem nachfolgenden Schritt ebenfalls geprüft wird, ob funktionale Anforderungen bestehen, die mit den Wirkprinzipien korrespondieren.

Das Vorgehen zur Dekomposition ist an die VDI-Richtlinie 2803<sup>69</sup> und AKIYAMA angelehnt (Akiyama 1994) und erfolgt für die Funktionsstruktur und die Objektstruktur analog. An oberster Stelle steht das Analyseobjekt, das von oben nach unten von der allgemeinen Sicht in die einzelnen Teile hierarchisch zerlegt wird. Die Funktions- und Objektelemente *FE<sub>i</sub>*, bzw. *OE<sub>i</sub>* werden mit abnehmender Stellung im Baum zunehmend konkreter und spezifischer, bis diese nicht weiter zerlegt werden können. Das Vorgehen orientiert sich an der Frage „Welche Funktion hat das Element?“ für die Funktionsstruktur bzw. „Welche Objekte hat das Element?“ für die Objektstruktur. Die Strukturierung und Benennung der Funktionselemente *FE<sub>i</sub>* muss auf zweckmäßige Art abstrakt bleiben, sodass für die Beschreibung der möglichen gesuchten Alternative oder neuen Funktion bzw. Gestalt der nötige Freiraum besteht (vgl. VDI-2803 1996, S.5). Wenn ein bereits bestehendes Objekt analysiert wird, stehen die Elemente *FE<sub>i</sub>* bereits in Verbindung zu den Objektelementen *OE<sub>i</sub>*, sodass diese in einem Modell dargestellt werden können. Beim Vorgehen ist immer wieder abzuwägen zwischen einer handhabbaren Strukturierung des Produktes und der notwendigen Detaillierung. Abbildung 24 zeigt den Aufbau des hierarchischen Funktionsmodells und das Vorgehen der Dekomposition.

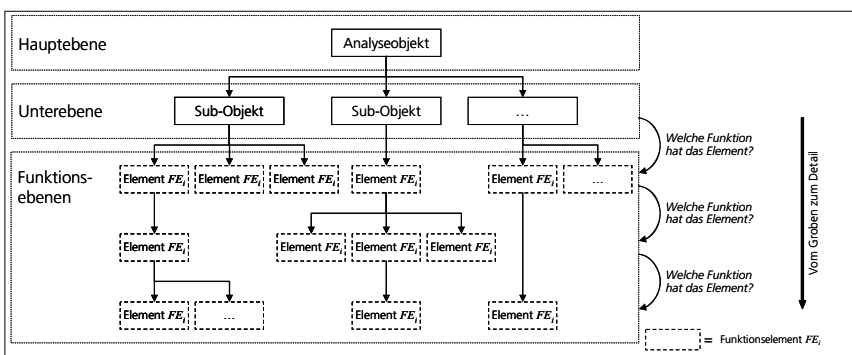


Abbildung 24: Modell der funktionslogischen Dekomposition eines Analyseobjekts

<sup>69</sup> VDI-Richtlinie 2803 (Blatt 1): Funktionenanalyse – Grundlagen und Methoden (VDI-2803 1996).

Das Ergebnis dieses Teilschritts ist jeweils ein Modell der Funktions- und Objektelemente  $FE_i$  und  $OE_i$  des Analyseobjekts.

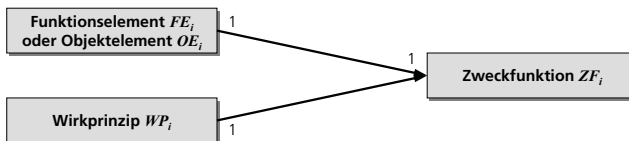
### Ableitung und Auswahl von Funktions- und Objektelementen

Aus dem vorherigen Schritt werden dann solche Funktions- und Objektelemente  $FE_i$  und  $OE_i$  ausgewählt, deren Funktion oder funktionale Anforderung eine prinzipielle Übereinstimmung mit den Wechselwirkungen der Wirkprinzipien  $WP_i$  zeigen (Abbildung 25).

Für die Funktionselemente  $FE_i$  erfolgt über die Funktion (z.B. sterilisieren, leiten, statisch entladen) eine direkte Analogiebildung oder Zuordnung zum Wirkprinzip  $WP_i$ . Für die Objektelemente  $OE_i$  muss zunächst die funktionale Anforderung identifiziert werden, für dann die Übereinstimmung überprüft wird. Beispielweise kann das Objektelement „Oberfläche einer Schnecke“ im Spritzgussprozess das Problem haben, dass der Kunststoff an der Schnecke anhaftet. Die funktionale Anforderung lautet dann „Anhaftung von Kunststoff verhindern“. Somit wird dieser Oberfläche ebenfalls eine gewünschte Funktion zugewiesen, für die die Übereinstimmung mit den Wechselwirkungen der Wirkprinzipien dann geprüft wird. Die Auswahl der Funktions- und Objektelemente  $FE_i$  und  $OE_i$  erfolgt durch die Leitfragen:

- „Welche Funktionselemente  $FE_i$  lassen sich auf Wechselwirkungen stofflicher Art bei Grenz-/Oberflächen (mechanisch, biologisch, chemisch) oder nicht-stofflicher Art von Feldern (optisch, elektrisch, thermisch, magnetisch) zurückführen?“ und
- „Welche Objektelemente  $OE_i$  (Materialien und Oberflächen) sind mit funktionalen Anforderungen verbunden, die ebenfalls auf die Wechselwirkungen zurückgeführt werden können?“.

Jedes Funktions- oder Objektelement  $FE_i$  und  $OE_i$  wird dann in eine gesuchte Zweckfunktion  $ZF_i$  überführt.



Die Abbildung 25 zeigt den Auswahlprozess für die relevanten Funktions- und Objektelemente  $FE_i$  und  $OE_i$  in einem Ablaufdiagramm.

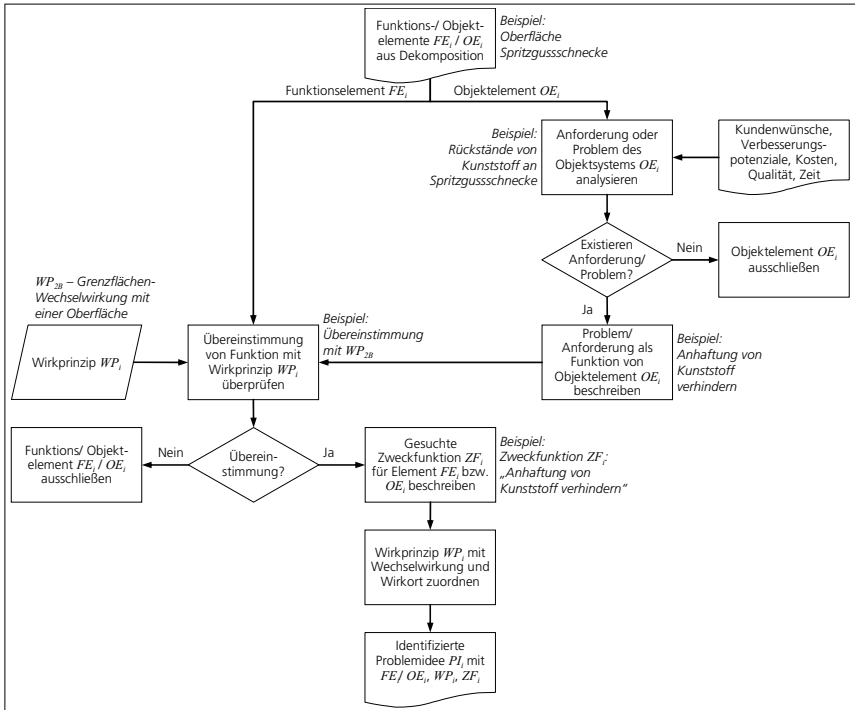


Abbildung 25: Ablaufdiagramm für die Auswahl relevanter Funktions- und Objektelemente (Darstellung nach DIN-66001 1983)

### Problemdefinition und funktionale Zielsetzung der Problemlösungen

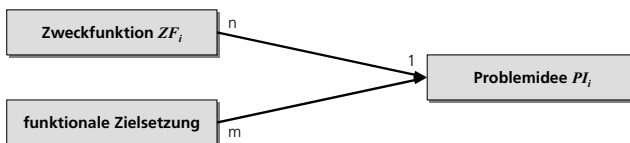
Die funktionalen Zielsetzungen des Einsatzes der Nanotechnologie leiten sich aus dem Technologieeinsatz als konkurrierendes, komplementäres oder neues Technologiefeld ab. Die möglichen funktionalen Zielsetzungen sind in Tabelle 20 dargestellt.

Jedes im vorherigen Teilschritt ausgewählte Funktions- oder Objektelemente  $FE_i$  oder  $OE_i$  ist dahingehend zu analysieren, ob eines oder mehrere der funktionalen Zielsetzungen in Tabelle 20 auf das Element zutreffen und eine entsprechende Optimierung, Veränderung oder Neugestaltung gewünscht oder erforderlich ist oder – im Fall der Substitution – durch Mitbewerber drohen kann. Anhand der funktionalen Zielsetzung für die Problemlösung  $PI_i$  wird so jeder Zweckfunktion  $ZF_i$  eine geforderte Veränderung oder Neugestaltung als Soll-Zustand zugeordnet. Wenn für ein Element  $FE_i$  oder  $OE_i$  bzw. eine Zweckfunktion  $ZF_i$  die Anforderung nicht explizit genannt werden kann, aber eine weitere Analyse gewünscht wird, wird als Standard-Anforderungen die „Substitution“ gewählt. Elemente  $FE_i$  oder  $OE_i$ , für die keine Lösung gewünscht ist oder kein Veränderungspotenzial besteht, werden ausgeschlossen.

Tabelle 20: Funktionale Zielsetzung der Problemeidee für den Nanotechnologie-Einsatz

Funktionale Zielsetzung der Problemeidee $PI_i$	Einsatzzweck für die Nanotechnologie
<b>Optimierung</b> des Systems	Optimierung des Funktions- oder Objektelemente $FE_i$ oder $OE_i$ , hinsichtlich seiner mechanischen, elektrischen, magnetischen, optischen, thermischen/thermodynamischen, chemischen oder biologischen Eigenschaften (Zweckfunktion $ZF_i$ ). Dadurch soll eine Verbesserung, ein ökonomischer (Kosten, Qualität, ...) oder ökologischer (Materialeinsatz, Umweltauswirkung, ...) Nutzen oder Mehrwert erreicht werden.
<b>Integration</b> des Systems	Integration oder Kombination von Zweckfunktionen $ZF_i$ in einem oder mehrerer Funktions- oder Objektelemente $FE_i$ oder $OE_i$ .
<b>Substitution</b> des Systems (Material oder Funktion)	Substitution einer mechanischen, elektrischen, magnetischen, optischen, thermischen/thermodynamischen, chemischen oder biologischen Zweckfunktion $ZF_i$ eines Elements $E_i$ durch eine neue nanotechnologische Lösung  Materialsubstitution eines eingesetzten Materials eines Funktions- oder Objektelemente $FE_i$ oder $OE_i$ durch eine neue Wirkstruktur $WS_{NT,i}$
<b>Neues System</b> (Material oder Funktion)	Neues Funktionsprinzip (bzw. erstmalige Realisierung) einer mechanischen, elektrischen, magnetischen, optischen, thermischen/thermodynamischen, chemischen oder biologischen Zweckfunktion $ZF_i$ eines Funktions- oder Objektelemente $FE_i$ oder $OE_i$  Neue Materialgestaltung eines eingesetzten Materials eines Funktions- oder Objektelemente $FE_i$ oder $OE_i$ durch eine neue Wirkstruktur $WS_{NT,i}$

Anschließend wird jede Zweckfunktion  $ZF_i$  oder mehrere zusammen mit ihren jeweiligen Anforderungen an die Art und den Grad der Veränderung in eine Problemeidee  $PI_i$  überführt:



Eine Problemeidee muss eindeutig beschrieben werden können hinsichtlich der Anforderungen, die hinter dem Problem stehen, und die gesuchte Lösung der Zweckfunktion  $ZF_i$  muss technischer Natur sein.

### 6.3.2.2 Schritt 2.2: Beschreibung und Nutzenbewertung von Problemeidee

In Schritt 2.2 werden die im vorherigen Schritt identifizierten Problemeideen  $PI_i$  lösungsorientiert beschrieben. Die Beschreibung der Problemeidee  $PI_i$  skizziert den Problemkomplex, ausgehend von dem zugehörigen Funktions- oder Objektelemente  $FE_i$  oder  $OE_i$ , der Zweckfunktion  $ZF_i$ , der Zielsetzung und der Anforderung, so, dass nach Analogien im Lösungsraum ‚Nanotechnologie‘ gesucht wird. Die Problemeidee  $PI_i$  werden nach ihrer Bedeutung anhand der Erfolgsfaktoren „Anwendungsnutzen“, „Marktpotenzial“, „Anwendungsbreite“ und „Zielübereinstimmung mit Strategie“ priorisiert.

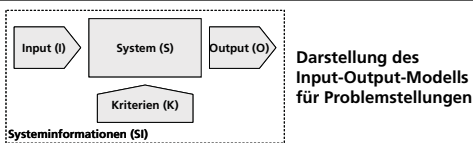
#### Beschreibung der Problemeidee

Die Beschreibung der Problemeidee  $PI_i$  ist von zentraler Bedeutung, da sie für die weitere Bearbeitung den Korridor für die Lösungskonzepte einschränkt. Sie dient als Blaupause dessen, was als Lösung gesucht wird, und sie definiert den Suchraum für Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  und -ideen  $LI_{NT,i}$ , sowie für Technologie-Experten. Zudem unterstützt sie als Schnittstelle den Transfer von Informationen mit der Wissensdomäne Nanotechnologie (vgl. 3.1.2.3).

Problemeideen  $PI_i$  werden in Anlehnung an die allgemeine Darstellung von Problemstellungen als Input-Output-Modell formuliert (vgl. Patzak 1982). Die einzelnen Beschreibungselemente der Problemeidee  $PI_i$  sind in Tabelle 21 aufgeführt.

Tabelle 21: Beschreibungselemente der Problemeidee

Systemelement	Bezug zu Verfahrenselementen	Beschreibung
(I): Ist-Zustand	Funktions-/Objektelemente $FE_i/OE_i$ ; mit der Produkt-Bauteil-Struktur	Beschreibung des Ist-Zustandes des Funktions- oder Objekt-Elements $FE_i$ oder $OE_i$ mit der strukturellen Ausgestaltung (bzw. bei einem virtuellen Analyseobjekt bisherige vergleichbare Lösungsansätze).
(S): Funktion	Wirkprinzip $WP_i$ Zweckfunktion $ZF_i$ Funktionale Zielsetzung (Tabelle 20)	Beschreibung der gesuchten Zweckfunktion $ZF_i$ und funktionale Zielsetzung sowie das zugrunde liegenden Wirkprinzip $WP_i$ .
(K): Kriterien	Kriterien/definierte Randbedingungen für die Anwendung	Beschreibung von Randbedingungen der Problemeidee in Ergänzung/Spezifizierung zu den allg. Kriterien aus Kap. 6.2.2.2 sowie zu einem späteren Zeitpunkt im Verfahren detailliert in Kap. 6.4.2.3 (siehe auch Tabelle 26); sowie weitere untergeordnete Anforderungsfunktionen.
(O): Soll-Zustand	Funktionale Zielstellung (Tabelle 20) sowie Anforderungen mit evtl. gewünschten qualitativen/quantitativen Zielparameter (qualitativ: weniger, stärker, ...; quantitativ: Messgrößen, Werte, Faktoren, ...)	Beschreibung der geforderten Zielstellung für die Problemeidee $PI_i$ , z.B. durch Skizzierung dessen „was geschehen soll“ u. a.; Eine weitere Detaillierung findet zu einem späteren Zeitpunkt des Verfahrens statt (Kap. 6.4.2.3, siehe auch Tabelle 26).
Systeminformationen (SI)	-	Zugehörigkeit zu einem strategischen Technologiefeld, Produktverantwortlicher, ...



Die Problemeidee  $PI_i$  wird ergänzt um weitere Systeminformationen wie z.B. Zugehörigkeit zu einem strategischen Technologiefeld oder Produkt-Verantwortlichkeiten. Durch die systematische Darstellung sollen Lösungen durch Logik und Analogie aus der Problemeidee-Beschreibung entwickelt, modular aufgebaut sowie etwaige Interaktion, gegenseitige Bedingungen oder Ausschluss, innerhalb der Lösung aufgezeigt werden. Ziel ist es, über eine logische Verknüpfung von Zweckfunktionen  $ZF_i$  über die Systemfunktion  $SF_{NT,i}$  auf Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  und -ideen  $LI_{NT,i}$  zu schließen. Die systematische Beschreibung der Problemeideen dient auch der geforderten offenen Gestaltung des gesamten Verfahrens mit der Möglichkeit, auch außerhalb des nanotechnologischen Lösungsraums nach technischen Problemlösungsalternativen zu suchen.

### Nutzen (Priorität) der Problemeidee

Der Nutzen der Problemeidee  $PI_i$  ergibt sich aus der Attraktivität ihrer Lösung aus Funktions-, Markt-, Technologie- und Unternehmensperspektive.<sup>70</sup> Der Nutzen setzt sich aus den Erfolgsfak-

<sup>70</sup> Nach PEIFFER haben Technologien allgemein dann ein großes strategisch-technisches Potenzial, wenn sie für die relative Kostenposition und Differenzierung im Wettbewerb eine wichtige Rolle spielen, oder wenn andererseits ihre Substitution sich auf weite Teile des Produktspektrums (Querschnittscharakter) auswirken (Peiffer 1992, S.128). Demnach schlägt er eine einfache ABC-Kategorisierung technischer Systeme zur Bewertung der Bedeutung vor: A-Technologien (Basistechnologien sowie Schrittmachertechnologien der Branche mit strategischer Relevanz für das

toren strategischer Anwendungsnutzen, Marktpotenzial, Anwendungsbreite und Zielübereinstimmung mit Strategie zusammen (Tabelle 22). Durch die Nutzenbewertung werden im Laufe des Verfahrens nur solche Problemeideen  $PI_i$  weiterverfolgt, deren Lösung auch einen entsprechenden Nutzen erwarten lässt und damit eine hohe Priorität für das Unternehmen besitzt. Für jeden Erfolgsfaktor wird eine einfache Abschätzung des Nutzens der Problemeideen  $PI_i$  durch eine ordinale Punkteskala mit „geringer Nutzen“, „mittlerer Nutzen“ und „hoher Nutzen“ genommen (vgl. ABC-Kategorisierung).

Tabelle 22: Erfolgsfaktoren für den Nutzen der Problemeideen

Erfolgsfaktoren	Sichtweise	Parameter	Einflussgrößen für Bewertung	Werteskala (vgl. ABC-Analyse)
Strategischer Anwendungsnutzen	Funktionssicht	$NU1_i$	Kundenattraktivität und Neuigkeitsgrad (Siehe Tabelle 23 und Kap. 11.1.3)	1 Punkt = geringer Nutzen
Marktpotenzial	Marktsicht	$NU2_i$	Marktgröße, Umsatz, ...	2 Punkte = mittlerer Nutzen
Anwendungsbreite	Technologie-sicht	$NU3_i$	Übertragbarkeit der Problemeidee $PI_i$ auf andere Produkte, Produktgruppen, ...	3 Punkte = hoher Nutzen
Zielübereinstimmung mit Strategie	Unternehmenssicht	$NU4_i$	Zielübereinstimmung mit Zielsystem ( $Z_1, Z_2$ ) aus Schritt 1.2	

*Erfolgsfaktor Anwendungsnutzen (Nutzen  $NU1_i$ )*

Der Erfolgsfaktor „strategischer Anwendungsnutzen“ setzt sich aus Kundenattraktivität und Neuigkeitsgrad zusammen (vgl. Sauerwein 2000, S.26). Hintergrund ist die Analyse, welchen Stellenwert die Problemeidee  $PI_i$  und ihre Lösung für das technische Unternehmenspotenzial hat. Gelingt durch die Problemlösung dem Unternehmen eine signifikante technologische Weiterentwicklung, z.B. durch Neugestaltung oder Substitution einer Funktion, so ist dies höher zu bewerten als wenn eine komplementäre Funktion oder ein einzelner Prozessschritt mit operativem Charakter optimiert wird. Die Nutzenbewertung ( $NU1_i$ ) ist in Tabelle 23 dargestellt. Im Anhang Kap. 11.1.1.2 wird die Kombination von Kundenattraktivität und Neuigkeitsgrad und der daraus resultierende Nutzen detailliert hergeleitet (siehe Tabelle 44, Seite 173).

Tabelle 23: Anwendungsnutzen der Problemeidee: Kundenattraktivität und Stellung der Lösungsfunktion (Neuigkeitsgrad)

		Neuigkeitsgrad			
		Verbesserung der Leistung	Komplementär zur Leistung	Substitution/ Neue Leistung	
Kundenattraktivität	Begeisterungsanforderung	○	○	● <sup>1</sup>	<sup>1</sup> Hoher Nutzen bei Realisierung einer neuen Funktion <sup>2</sup> Hoher Nutzen bei signifikanter und als Alleinstellungsmerkmal im Wettbewerb geltender Optimierung der Produkt- oder Funktionsleistung <sup>3</sup> Hoher Nutzen bei Optimierung der Basisanforderung mit internem Mehrwert und bei neuen Produkten
	Leistungsanforderung	● <sup>2</sup>	◐ <sup>2</sup>	● <sup>2</sup>	
	Basisanforderung	○	◐ <sup>3</sup>	● <sup>3</sup>	

Legende: ● – hohe Priorität (3 Punkte); ◐ – mittlere Priorität (2 Punkte); ○ – geringe Priorität (1 Punkt)

*Erfolgsfaktor Marktpotenzial (Nutzen  $NU2_i$ )*

Die Bewertung des Nutzens der Problemeidee  $PI_i$  hinsichtlich ihres „Marktpotenzials“ ( $NU2_i$ ) be-

Unternehmen), B-Technologien (Strategische Schlüssel- und Querschnittstechnologien des Unternehmens) und C-Technologien (Komponenten- und Prozessschritttechnologien mit operativen Charakter).



zieht Marktgröße, Umsatz und andere Einflussgrößen mit ein. Die Problemeidee  $PI_i$  hat dann eine große Priorität, wenn die Bedeutung des Produktes für Marktdurchdringung oder die Erlösstruktur, relativ gesehen zur unternehmerischen Gesamtsituation groß ist. Handelt es sich um einen Nischenmarkt in der Marktstrategie oder werden vergleichsweise sehr kleine Umsätze mit diesem Produkt erzielt, so ist der Nutzen  $NU_2$ , im Blick auf das Marktpotenzial gering.

*Erfolgsfaktor Anwendungsbreite (Nutzen  $NU_3$ )*

Wenn die Problemeidee  $PI_i$  eine große „Anwendungsbreite“ besitzt, sodass z.B. die technische Lösung auf viele Produkte übertragen werden kann, die Lösung der zugrunde liegenden Problemstellung auch andere FuE-Bereiche unterstützen kann, oder damit grundlegende technische Fragestellungen mit breiter Wirkung für die Technologiekompetenz des Unternehmens gelöst werden können, dann ist der Nutzen  $NU_3$  entsprechend hoch.

*Erfolgsfaktor Zielübereinstimmung (Nutzen  $NU_4$ )*

Die Problemeidee  $PI_i$  hat dann einen großen Nutzen  $NU_4$ , wenn sie mit den Zielen des Unternehmens, definiert in den Zielsystemen  $Z_1$  und  $Z_2$ , konform geht und deren Erreichung bzw. operative Ausgestaltung unterstützt (siehe zur Beurteilung der strategischen Relevanz ausführlich bei Gerybadze 2004, S.173ff).

Die Priorität  $PRIO_i$  der Problemeidee  $PI_i$  ergibt sich aus der Addition der Einzelnutzen der vier Erfolgsfaktoren (Formel 1). Die Priorität  $PRIO_i$  der Problemeidee  $PI_i$  ist dimensionslos.

$$NU_1 + NU_2 + NU_3 + NU_4 = PRIO_i$$

Formel 1: Berechnung der Priorität  $PRIO_i$  der Problemeidee  $PI_i$

Beträgt die Priorität  $PRIO_i$  der Problemeidee  $PI_i$  4 – 5 Punkte, dann ist der Nutzen gering, bei 6 – 8 Punkten hat sie einen mittleren Nutzen. Ist der Wert der Priorität  $PRIO_i$  9 – 12 Punkte, dann besitzt die Problemeidee  $PI_i$  eine hohe Priorität bzw. der Nutzen ist hoch.

### 6.3.3 Ergebnis der Verfahrensphase

Ergebnis der Phase 2 ist die Identifikation der Problemeideen  $PI_i$  und deren Beschreibung sowie die Priorisierung ihres Nutzens.

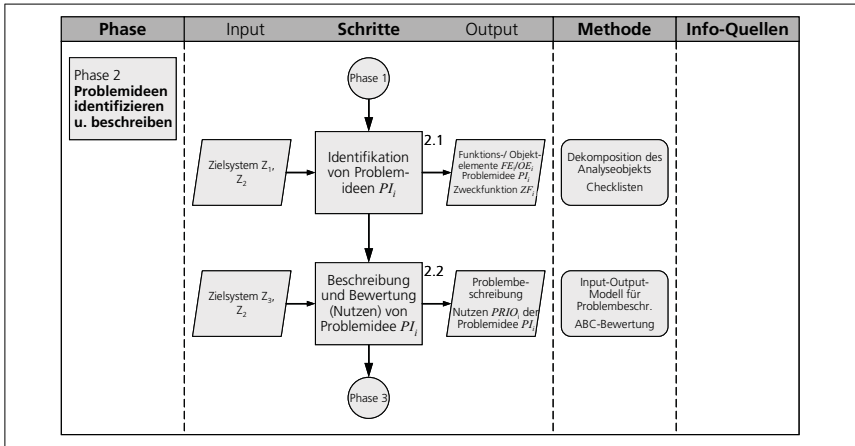


Abbildung 26: Ablauf, Methodeinsatz und Informationsquellen der Phase 2

## 6.4 Phase 3: Identifikation und Auswahl von Lösungsideen

### 6.4.1 Ziel der Verfahrensphase

Ziel der Phase 3 ist, ausgehend von den identifizierten Problemideen  $PI_i$  und den zugrunde liegenden Zweckfunktionen  $ZF_i$  entsprechende Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  zu identifizieren und auszuwählen.

### 6.4.2 Methodisches Vorgehen

Um die Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  identifizieren und auswählen zu können, werden zunächst entsprechende Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  für die gesuchten Zweckfunktionen  $ZF_i$  recherchiert (Schritt 3.1). Sie werden in einem „House of Nanotechnology“ zusammengeführt und ihre prinzipielle Eignung bewertet (Schritt 3.2). Hierfür werden in einem Portfolio-Ansatz relevante und vielversprechende Ziel-Mittel-Kombinationen aus Problemidée  $PI_i$  und Systemfunktion(en)  $SF_{NT,i}$  ausgewählt. Darauf aufbauend werden die Randbedingungen der Problemidée  $PI_i$  detailliert beschrieben (Schritt 3.3) sowie parallel die ausgewählten Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  als Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  weiter spezifiziert (Schritt 3.4). Die qualitative Bewertung in Schritt 3.2 basiert auf Experten-Know-how sowie einer Auswertung von Informationsquellen (siehe Tabelle 10).

#### 6.4.2.1 Schritt 3.1: Recherche von Lösungskonzepten

Ausgangspunkt für die Recherche entsprechender Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  sind die Systemfunktionen  $SF_{NT,i}$ . Sie stellen die Lösungsseite zu der Zweckfunktion  $ZF_i$  und der funktionalen Zielsetzung der Problemidée  $PI_i$  dar. Um für das Verfahren die notwendigen, gewöhnlich außerhalb des Wissensbereichs des Unternehmens liegenden Informationen darüber zu erhalten, ob und wenn ja welche Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  für eine spezifische Problemidée  $PI_i$  existieren, muss auf andere Quellen zurückgegriffen werden. Deshalb wird hier ein kooperativer, offener Ansatz gewählt, um die Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  zu recherchieren, indem die Informationen durch Einbindung von Experten mit Übersichtswissen in der Nanotechnologie sowie durch die Nutzung von weiteren Informationsquellen wie Literatur, Internet u. a. gewonnen werden sollen.

Der Aufwand für die Recherche bewegt sich in Abhängigkeit der Anzahl der Problemeideen  $PI_i$  im Rahmen einer qualitativen Feinbewertung durch Kurzanalysen (vgl. Tabelle 10). Im Vordergrund steht die Quantität identifizierter Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$ .

### Definition eines Suchrasters

Zunächst wird ausgehend von der Problemeidee  $PI_i$  und der gesuchten Zweckfunktion  $ZF_i$  ein Suchraster für die Systemfunktion  $SF_{NT,i}$  definiert, d.h. es werden Begriffe für die Expertenidentifikation und Recherche in der Literatur bestimmt, die die gesuchte Funktion der jeweiligen Problemeidee  $PI_i$  be- und umschreiben. Semantische Begriffsnetze oder Thesauri können gegebenenfalls die begriffliche Erweiterung der Problembeschreibung unterstützen.<sup>71</sup>

### Expertenidentifikation

Anhand des Suchrasters werden dann Experten identifiziert. Grundlage sind Primär- und Sekundärquellen, die hinsichtlich Informationen zu Technologieexperten für einzelne Kriterien des Suchrasters, aber auch nach Informationen zu Systemfunktion  $SF_{NT,i}$  und den Wirkstrukturen  $WS_{NT,i}$  ausgewertet werden.

Zu diesem Zeitpunkt des Verfahrens werden Experten mit Übersichtswissen, so genannte Übersichtsexperten oder Generalisten eingebunden (vgl. Kap. 3.1.2.3). Diese besitzen Anwendungswissen und können für ihren jeweiligen Kompetenzbereich einen breiten Überblick über bekannte Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  geben oder einschätzen, ob die gesuchte Zweckfunktion  $ZF_i$  überhaupt realisierbar ist und wie das Lösungskonzept  $LK_{NT,i}$  gegebenenfalls gestaltet sein kann. Durch die Auswahl und Einbindung der Experten wird das implizite Domänenwissen der Nanotechnologie in den Bewertungsprozess eingespeist. Die Auswahl der Experten wird auf eine handhabbare Zahl beschränkt, die aber dafür umfassend über Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  Auskunft geben können.

Anhand einer einfachen Zuordnung und Bewertung des Kompetenzgrades der identifizierten Experten („eher klein“, „mittel“, „eher groß“) wird überprüft, ob für alle Problemeideen  $PI_i$  Experten gefunden wurden bzw. welche Aussagekraft die Informationen der Experten haben („konnte keine Aussage machen“, „konnte Hinweise geben“, „konnte detailliert Auskunft geben“).

### Auswertung von Informationsquellen

Die Auswertung von Informationsquellen bezieht implizites Wissen (Experten) und explizites Wissen in Form von Primär- und Sekundärliteratur wie z.B. Technologie-Studien, Roadmaps, Forschungsberichte, sowie Patente und Datenbanken im Internet mit ein. Die Dokumente werden anhand des Suchrasters ausgewertet und Informationen zu Systemfunktionen  $SF_{NT,i}$  und den jeweiligen Wirkstrukturen  $WS_{NT,i}$  gewonnen. Ebenfalls können Datenbanken mit Katalogen für Wirkstrukturen  $WS_{NT,i}$ , Nanoprodukten, Funktions-Material-Inventare oder auch Patent-Datenbanken genutzt werden.<sup>72</sup>

Das Wissen der Übersichtsexperten wird durch schriftliche Befragung oder durch Interviews erfasst (Schritt 3.1.3). Anhand eines Interviewleitfadens oder Fragebogens werden systematisch

---

<sup>71</sup> Siehe z.B. Suchfeldparameter bei Brankamp 1996 (S.7-3).

<sup>72</sup> Im Anhang, Kap. 11.1.5 sind Beispiele für Internetquellen zu Experten und Institutionen, Datenbanken und Verzeichnisse, Internet-Portale, Forschungsprogramme und Regierungsaktivitäten sowie Publikationsserver zur Nanotechnologie aufgeführt (Tabelle 45).

die benötigten Informationen erhoben. Grundlage hierfür bilden die Begriffe des Suchrasters, die Problemeidee  $PI_i$  und die Zweckfunktion  $ZF_i$ .

Die Dokumentenauswertung und Befragung von Experten läuft parallel ab, d.h. man verschafft sich einen Überblick durch Internetrecherche und Auswertung der vorhandenen Literatur und führt dann mit bekannten oder neu identifizierten Experten Interviews durch. Die Auswertung von implizitem Expertenwissen und explizit in Dokumenten verfasstem Wissen bedingt sich gegenseitig, indem z.B. Experten auf weitere Studien und Forschungsarbeiten hinweisen und vice versa. Ebenso können die Experten nach weiteren Experten befragt werden.

### Darstellung von Lösungskonzepten

Aus der Expertenbefragung und Literaturrecherche werden die Informationen zu Systemfunktionen  $SF_{NT,i}$  und Wirkstrukturen  $WS_{NT,i}$  strukturiert als Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  abgelegt. Die Beschreibung kann, bei entsprechenden vorliegenden Informationen oder Angaben von Experten, ergänzt werden durch Umsetzungsaspekte. Die Beschreibungsaspekte sind in Tabelle 24 beschrieben.

Tabelle 24: Beschreibung der Lösungskonzepte

<b>Funktionaler</b> Aspekt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Systemfunktion <math>SF_{NT,i}</math></li> <li>Leistungsparameter der Systemfunktion <math>SF_{NT,i}</math></li> <li>Kombinationsmöglichkeit des Lösungskonzepts <math>LK_{NT,i}</math> mit einem oder mehrerer Lösungskonzept(e) <math>LK_{NT,i}</math> aufgrund               <ul style="list-style-type: none"> <li>(a) verschiedener funktionaler Eigenschaften der Wirkstruktur <math>WS_{NT,i}</math> oder</li> <li>(b) aufgrund der Kombinationsmöglichkeiten verschiedener Wirkstruktur <math>WS_{NT,i}</math> in einem Werkstoff/Oberflächenbeschichtung</li> </ul> </li> </ul>
<b>Struktureller</b> Aspekt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wirkstruktur <math>WS_{NT,i}</math></li> <li>Einsatz der Wirkstruktur <math>WS_{NT,i}</math> als Applikation <math>AP_i</math></li> </ul>
<b>Umsetzungs</b> aspekt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stand der Entwicklung (Grundlagenforschung/Labormuster; Angewandte Forschung/Prototypen; Anwendung/Pilotanwendung/Massenprodukt)</li> <li>Kosteneinschätzung (kostengünstig/teuer, was sind Kostentreiber?)</li> <li>Applikationsverfahren (z.B. Lackieren, Tauchen, Spritzen, Sputtern, PVD, CVD, ...)</li> <li>Gibt es Erfahrung mit ähnlichen Fragestellungen, analogen Anwendungen, ... auf die aufgebaut werden kann? Können allgemeine Aussagen gemacht werden über die Applikationsverfahren und -arten</li> <li>Erste Bewertung der möglichen Realisierbarkeit des Lösungskonzepts <math>LK_{NT,i}</math> vor dem Hintergrund des Anwendungskontext der Problemeidee <math>PI_i</math></li> </ul>
<b>Kompetenz</b> -Aspekt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Welches sind die Technologie-Fachexperten/Forschungseinrichtungen zu den jeweiligen Lösungskonzepten?</li> </ul>

#### 6.4.2.2 Schritt 3.2: Bewertung von Lösungskonzepten

In Schritt 3.2 werden die im vorherigen Schritt identifizierten Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  hinsichtlich ihrer Relevanz bewertet und für die weitere Analyse ausgewählt. Somit wird der Lösungsraum für die weitere Analyse eingeschränkt. Die Relevanz ergibt sich aus dem Nutzen der Lösung der Problemeidee  $PI_i$  und der prinzipiellen Erfüllungsmöglichkeit des Lösungskonzepts  $LK_{NT,i}$ . Anhand dieser ersten Grobbewertung sollen Lösungen, die unter technischen Gesichtspunkten nicht realisierbar erscheinen, oder die unter Marktaspekten nicht die notwendigen Potenziale oder Bedeutung aufweisen, ausgeschlossen werden.

#### Das House of Nanotechnology

Der Bewertungsvorgang der Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  wird in einem „House of Nanotechnology“ (HoNT) in Anlehnung an das „House of Technology“ (Bullinger et al. 2003) strukturiert und dokumentiert (Abbildung 27). Darin wird die Problemlösungsrelevanz der einzelnen identifizierten



## Die Bewertung des Erfüllungsgrads

Die technologischen Relevanz leitet sich aus dem prinzipiellen Erfüllungsgrad  $EG_i$  des Lösungskonzepts  $LK_{NT,i}$  anhand der in Tabelle 25 dargestellten Kriterien ab. Der Erfüllungsgrad  $EG_i$  berücksichtigt nicht nur die Funktionserfüllung, sondern auch Einschränkungen der prinzipiellen Nutzungsmöglichkeit, z.B. durch Muss-Kriterien (Schritt 1.2), sowie die prinzipielle Umsetzbarkeit, z.B. Herstellungsverfahren oder Applikation. So kann die spezielle Lackaushärtung einer Beschichtung eine Anwendung für eine bestimmte Problemlösung  $PI_i$  unmöglich machen. Informationsgrundlage für diese qualitative Feinbewertung (vgl. Tabelle 10) ist die Dokumentation der recherchierten Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  (Schritt 3.1).

Tabelle 25: Bewertung der prinzipiellen Erfüllungsmöglichkeit der Lösungskonzepte

Kriterium	Fragestellung	Indikatoren	Werteparameter
Nutzungsmöglichkeit $NM_i$	Ist die prinzipielle Nutzungsmöglichkeit gegeben?	Z.B. hinsichtlich bestimmter Randbedingungen oder Muss-Kriterium (vgl. Kap. 6.2.2.2, Schritt 1.2)	0 = nein 1 = ja/denkbar
Funktionserfüllung $FF_i$	Kann die geforderten Zweckfunktion $ZF_i$ prinzipiell durch ein Lösungskonzept $LK_{NT,i}$ realisiert werden?	Funktionserfüllung der Systemfunktion(en) $ZF_i$ ( $i=1 \dots n$ )	0 = nein 0,5 = unklar 1 = ja
Anwendbarkeit $AW_i$	Ist die prinzipielle Umsetzbarkeit durch das Unternehmen gegeben?	Z.B. hinsichtlich dem Herstellungsverfahren oder der Applikation $AP_i$	0 = nein 1 = ja/denkbar

Der Erfüllungsgrad  $EG_i$  jedes einzelnen Lösungskonzepts  $LK_{NT,i}$  berechnet sich aus dem Produkt der Werte für die Nutzungsmöglichkeit  $NM_i$ , der Funktionserfüllung  $FF_i$  und der Anwendbarkeit  $AW_i$  (siehe Formel 2). Der Erfüllungsgrad  $EG_i$  ist dimensionslos.

$$NM_i \cdot \prod_{i=1}^n FF_i \cdot AW_i = EG_i$$

Formel 2: Berechnungsformel für den Erfüllungsgrad  $EG_i$  des Lösungskonzepts  $LK_{NT,i}$

Ist die prinzipielle Nutzungsmöglichkeit  $NM_i$  oder Anwendbarkeit  $AW_i$  durch das Unternehmen nicht gegeben, so ist der Erfüllungsgrad gleich Null (Wert = 0), unabhängig vom Grad der Funktionserfüllung. Die Funktionserfüllung  $FF_i$  wird in diesem Bewertungsschritt grob anhand der Kategorien „ja“ (Funktionserfüllung ist prinzipiell nach dem Kenntnisstand gegeben), „unklar“ (Funktionserfüllung ist nach dem Kenntnisstand unklar, weil z.B. Informationen fehlen oder Rückfragen bestehen) oder „nein“ (Funktionserfüllung ist nach dem Kenntnisstand nicht gegeben) abgeschätzt. Ist die prinzipielle Nutzungsmöglichkeit und Anwendbarkeit eines Lösungskonzepts gegeben (Werte = 1), dann steigt der Erfüllungsgrad aufgrund der Abschätzung der Funktionserfüllung die Werte zwischen > 0 und 1 an. Besteht das Lösungskonzept  $LK_{NT,i}$  aus mehreren Systemfunktionen  $SF_{NT,i}$  wird der Gesamtwert für die Funktionserfüllung aus dem Produkt der Einzelwerte für jede Systemfunktion  $SF_{NT,i}$  berechnet.

Die Werte für die Funktionserfüllung bieten nur grobe Anhaltswerte, da zu diesem Zeitpunkt des Verfahrens quantifizierbare Kriterien weitestgehend fehlen und die Informationsgrundlage insgesamt noch nicht detailliert genug ist.

## Das Nutzen-Erfüllungsgrad-Portfolio

Die Auswahl der Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$ , die als Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  detailliert werden sollen, erfolgt in einem Portfolio-Ansatz. Darin werden die beiden unabhängigen Dimensionen „Technologiesicht“ (Erfüllungsgrad) und „Anwendungssicht“ (Nutzen) der Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  gegenübergestellt und daraus Maßnahmen für das weitere Vorgehen abgeleitet (Abbildung 28).

Ein Kreissegment im Portfolio repräsentiert eine Ziel-Mittel-Kombination aus Problemidee  $PI_i$  mit Lösungskonzept  $LK_{NT,i}$ . Die Qualität der vorliegenden Informationen wird durch die Farbe des Kreissegments symbolisiert (grau = „gut“; weiß = „schlecht“). Auf der Abszisse des Portfolios wird der Erfüllungsgrad  $EG_i$  (Feld [6] des HoNT) abgetragen. Auf der Ordinate wird die Priorität  $PRIO_i$  der Problemidee  $PI_i$  eingeordnet (Feld [2] des HoNT). Abbildung 28 zeigt das Nutzen-Erfüllungsgrad-Portfolio.

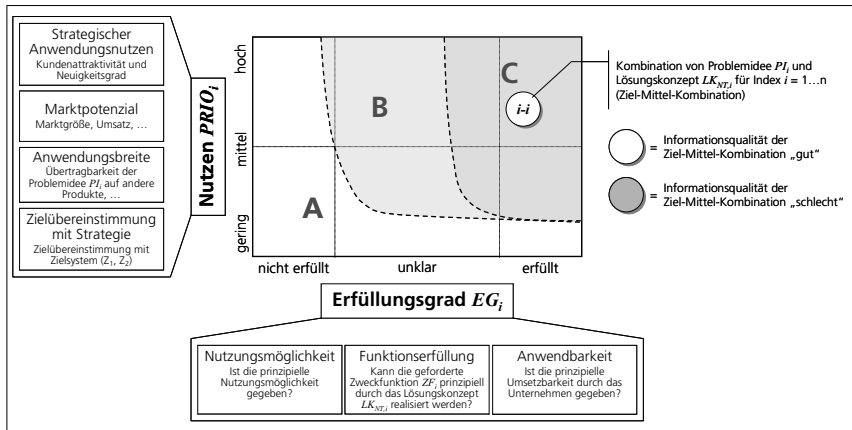


Abbildung 28: Nutzen-Erfüllungsgrad-Portfolio (eigene Darstellung)

Aus der Positionierung der  $PI_i$ - $LK_{NT,i}$  Kombination im Portfolio werden die relevanten Ziel-Mittel-Kombinationen mit einem erwarteten hohen Nutzen und Erfüllungsgrad für das weitere Verfahren ausgewählt.

- **Bereich A: Lösungskonzept ablehnen:**  
Das Lösungskonzept  $LK_{NT,i}$  wird als Ansatz für die Problemidee  $PI_i$  nicht weiter verfolgt, da aus technischen oder Umsetzungsgründen eine Realisierung i) nicht sinnvoll ist, da die Funktionserfüllung nicht gegeben ist, ii) nicht möglich ist, da die Nutzungsmöglichkeit nicht gegeben ist oder iii) nicht realistisch erscheint, da die Anwendbarkeit nicht gegeben ist. Oder die Problemidee  $PI_i$  hat nur einen sehr geringen Nutzen, sodass der Aufwand für die weiteren Analysen als nicht gerechtfertigt angesehen wird.
- **Bereich B: Lösungskonzept detaillieren/erneut prüfen:**  
Der Lösungsbeitrag des Lösungskonzepts  $LK_{NT,i}$  für die Problemidee  $PI_i$  ist inhaltlich noch unklar bzw. nicht eindeutig zu bewerten. Einzelne Kriterien gemäß Tabelle 25 können nicht bewertet werden, z.B. die Herstellungsverfahren oder die Art und Weise der Applikation  $AP_i$ . Die Problemidee  $PI_i$  hat aber einen großen Nutzen, sodass eine erneute Prüfung erforderlich ist. Es erfolgt eine Iteration bzw. ein Rücksprung zu Schritt 3.1, um entsprechende inhaltliche Ergänzungen vorzunehmen und Fragen zu klären. Auf dieser Grundlage wird dann eine erneute Bewertung des Erfüllungsgrades vorgenommen.
- **Bereich C: Lösungskonzept als Lösungsidee ausarbeiten:**  
Das Lösungskonzepts  $LK_{NT,i}$  wird als Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  weiter detailliert und mit den entsprechenden Experten vertieft (Schritt 3.4). Die zugehörige Problemidee  $PI_i$  wird im folgenden Schritt 3.3 detailliert spezifiziert.

### 6.4.2.3 Schritt 3.3: Beschreibung der Anforderungen der Problemeidee

Zur Vorbereitung der detaillierten Analyse werden die in Schritt 3.2 ausgewählten Problemeiden  $PI_i$  detailliert spezifiziert, indem besonders erfolgsrelevante oder kritische Anforderungen an die Lösungs idee  $LI_{NT,i}$  und deren Anwendung beschrieben werden (Tabelle 26). Damit wird das bereits in Schritt 1.2 aufgestellte Zielsystem (Tabelle 19) um die Kategorie  $Z_4$  „Anforderungen an die Lösungs idee“ erweitert. Gleichzeitig fließen in die Beschreibung der Anforderungen mögliche lösungs ideespezifische Randbedingungen ebenfalls mit ein.

Tabelle 26: Anforderungskategorien (Zielsystem  $Z_4$ ) für die Beschreibung der Randbedingungen (nach Breiing, Knosala 1997)

Anforderungskategorie	Einzelanforderungen (Auswahl)
Anforderungen an <b>Funktion und Leistung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Funktionsspezifische Leistungsdaten der Lösungs idee: Messwerte, Parameter, Toleranz, ...</li> <li>• Wirkungsgrade</li> <li>• Funktionelle Schnittstellen</li> </ul>
Anforderungen an den <b>Betrieb</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebrauchsdauer, Zuverlässigkeit</li> <li>• Wartbarkeit, Instandsetzbarkeit</li> <li>• Betriebssicherheit</li> </ul>
Anforderungen an <b>Gestalt/technisches Design</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberflächengestaltung</li> <li>• Art der Applikation (Material/Substrat: Holz, Metall, Kunststoff, ...)</li> </ul>
Anforderungen an <b>Produktion</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktionsverfahren für Nanomaterialien</li> <li>• Applikationsweise (werkstattmäßig, in Produktion, ...)</li> <li>• Applikationsverfahren für die Anwendung (Verfahrenstechnik, Maschinen, Zeit, Kosten, ...)</li> <li>• Handhabung von Nanomaterialien, Halbzeugen, ...</li> <li>• Prozesskette</li> </ul>
Anforderungen an <b>Prüfverfahren und Qualitätssicherung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geltung von Prüfverfahren und -tests</li> <li>• Art und Weise der Durchführung von Prüfverfahren und -tests</li> </ul>
Anforderungen aus <b>Umfeldbedingung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klimatische Bedingungen (Temperatur, Feuchte,...)</li> <li>• Mechanische Belastungen</li> <li>• Chemische Belastung (Wechselwirkung/Kontakt mit anderen Substanzen, Wasser, Chemikalien, Reinigungsmittel, ...)</li> <li>• Relevante Richtlinien und rechtliche Rahmenbedingungen</li> </ul>
Anforderungen an die <b>Umsetzung/Markteinführung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anwendungs-/Entwicklungsstand der Lösungs idee</li> <li>• Kostenstruktur (System- und reine Materialkosten)</li> <li>• Bisherige Erfahrung in Anwendungen</li> <li>• Inbetriebnahme</li> <li>• Aufwand Wartung/Instandsetzung</li> </ul>
Anforderungen des <b>Umweltschutzes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ressourceneffizienz</li> <li>• Umweltschonung</li> <li>• Toxizität</li> </ul>
<b>Spezifische Anforderungen des Zielsystems <math>Z_3</math></b>	spezifische Anforderungen aus Schritt 1.2 (Kap. 6.2.2.2, Tabelle 19) z.B. Festforderungen, Muss-Kriterien

Die Beschreibung der Anforderungen der Problemeidee  $PI_i$  basiert auf allgemeinen Anforderungen von Produktsystemen.<sup>73</sup> Diese werden erweitert und ergänzt um problemeidespezifische Einzelanforderungen und Festforderungen aus dem Zielsystem  $Z_3$  von Schritt 1.2 (Tabelle 19).

<sup>73</sup> z.B. Anforderungsfamilien und Einzelforderungen bei Breiing, Knosala 1997 (S.22); Erfolgskriterien für Produktideen bei Brankamp 1996 (S.7-6); Factor and Subfactor Ratings for a new Product bei O'Meara 1961 (S.84); Bewertungs- und Entscheidungskriterien bei Patzak 1982 (S.271); Kriterienkatalog für technologische Innovationen bei Brose 1982 (S.347).



Tabelle 26 zeigt die Anforderungskategorien mit ausgewählten Einzelanforderungen (nach Breiung, Knosala 1997, S.22). Die Anforderungskategorien dienen als Bewertungskriterien für die Bewertung des Innovationspotenzials  $IP_i$  der Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  in Schritt 4.2 (Kap. 6.5.2.2).

Für jede Problemeidee  $PI_i$  werden die entsprechenden Anforderungen ausgewählt sowie geeignete qualitative oder quantitative Zielwerte definiert. Diese Zielvorschriften können z.B. durch Extremierung wie Minimierung oder Maximierung eines Zielwertes oder durch Festwertregel durch Vorgabe bestimmter Werte näher bestimmt werden. Die Anforderungen werden jedoch zu diesem Zeitpunkt nicht detailliert und umfassend beschrieben, vergleichbar einem Lasten- oder Pflichtenheft. Zum einen ist der erforderliche Aufwand in dieser Verfahrensphase zu groß und zum anderen fehlt noch das notwendige Detailwissen auf Lösungsseite, um entsprechende Vorgaben machen zu können. Vielmehr werden durch die Konkretisierung von Anforderungen der Anwendungskontext der Problemeidee  $PI_i$  genauer spezifiziert und entscheidungsrelevante Merkmale hervorgehoben.

#### 6.4.2.4 Schritt 3.4: Recherche von Lösungsideen

In Schritt 3.4 werden die zur weiteren Ausarbeitung ausgewählten Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  aus dem Bereich C im Nutzen-Erfüllungsgrad-Portfolio (Abbildung 28) als Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  weiter ausgestaltet, um sie hinsichtlich der Anforderungen der Problemeidee  $PI_i$  bewerten zu können.

Die Recherche und Integration von Wissen über die Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  erfolgt durch Einbindung von Fachexperten oder Technologiespezialisten für die jeweiligen Systemfunktionen  $SF_{NT,i}$  und Wirkstrukturen  $WS_{NT,i}$ . Es wird ein problemideespezifischer Wissenstransfer initiiert, in dem lösungssuchende und die - anbietende Seite durch den Wissens- und Erfahrungsaustausch über Marktbedürfnisse und Technologiepotenziale profitieren. Zusätzlich können weitere Informationsquellen wie Produktdatenblätter, Forschungsberichte oder Technologiestudien zu einzelnen Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  und Systemfunktionen  $SF_{NT,i}$  genutzt werden. Für die Ausarbeitung und Diskussion der Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  wird gegenüber der Informationserfassung der Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  mehr Zeit und Aufwand investiert (vgl. Tabelle 10). So ist zum einen der Analyse- und Lösungsraum eingeschränkt, sodass sich die Anzahl der zu analysierenden Problem- und Lösungsideen  $PI_i$  und  $LI_{NT,i}$  verringert hat. Zum anderen wurden die Anforderungen (Schritt 3.3) detailliert beschrieben, sodass eine umfassendere Analyse und Bewertung möglich wird.

Die Recherche von Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  verläuft analog zur Recherche der Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  (Schritt 3.1) in folgenden Schritten: 1.) Definition des Suchrasters, 2.) Expertenidentifikation und -auswahl, 3.) Auswertung von Informationsquellen und 4.) Darstellung der Lösungsideen  $LI_{NT,i}$ . Es werden Fachexperten oder Technologiespezialisten eingebunden, die fachspezifisches Know-how zu einer bestimmten Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  im Bewertungsprozess beisteuern können, z.B. Patenthalter oder Forscher. Dieses Know-how kann sich auf Wirkstrukturen  $WS_{NT,i}$  wie CNTs, Hybridpolymere oder Metalloxide beziehen, einzelne Funktionalitäten wie Superhydrophobie, antimikrobielle Ausrüstung oder chemische Wasserstoffspeicherung betreffen oder ganze Materialkategorien wie Nanopartikel, Nanofasern oder komplexe Nanostrukturen umfassen.

Die Auswahl der Fachexperten erfolgt anhand folgender Kriterien:

- *Spezifische Technologiekompetenz* für eine Systemfunktion(en)  $SF_{NT,i}$  mit Wirkstruktur  $WS_{NT,i}$  und Entwicklungs- und Forschungs-Know-how sowie Erfahrung zu bisherigen Anwendungen oder Entwicklungen.
- *(Direkter) Zugang zu Entwicklungs- und Forschungskapazitäten*, um evtl. notwendige Labortests oder die Umsetzung möglicher Maßnahmen (Schritt 5.0) entwicklungsseitig begleiten oder Forschungsarbeiten durchführen zu können.

- *Wertschöpfungsketten-übergreifendes Wissen und Handlungskompetenz*, um einen der Technologie- und Wertschöpfungskettenposition des Unternehmens nahen Zugang zu Wissens- und Entwicklungskompetenzen für die Systemfunktion(en)  $SF_{NT,i}$  und Wirkstruktur(en)  $WS_{NT,i}$  zu ermöglichen.<sup>74</sup>

Die Suche nach Fachexperten sowie weiteren Informationsquellen erfolgt analog zu Schritt 3.1. Fachexperten können auch durch die Befragung der Übersichtsexperten identifiziert werden, oder sie kommen aus dem gleichen Unternehmen oder Institution wie der Übersichtsexperte.

### 6.4.3 Ergebnis der Verfahrensphase

Ergebnis der Phase 3 ist die Bewertung und Auswahl von Lösungskonzepten  $LK_{NT,i}$  und deren Ausgestaltung als Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  mit Hilfe der Fachexperten sowie die detaillierte Beschreibung der zugrundeliegenden Problemideen  $PI_i$ .

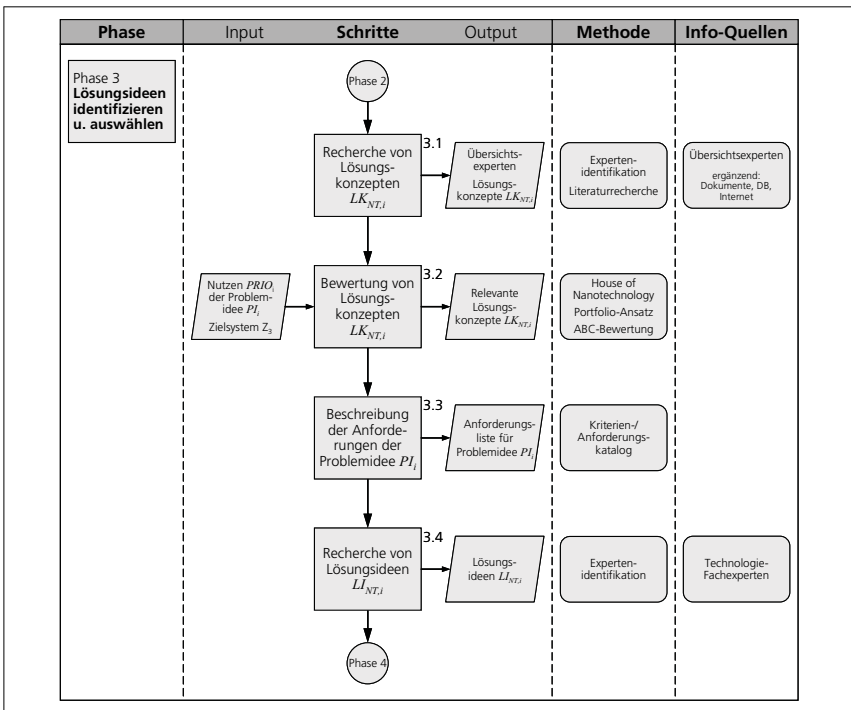


Abbildung 29: Ablauf, Methodeneinsatz und Informationsquellen der Phase 3

<sup>74</sup> Dieses Kriterium ist deshalb wichtig, weil in der Nanotechnologie die Wertschöpfungskette mehrere Partner und Stufen umfasst. FuE, Verarbeitung und Produktion der Nanopartikel sowie der Bauteile und Produkte müssen integriert werden (vgl. Abbildung 47, Anhang Kap. 11.2.3).

## 6.5 Phase 4: Bewertung des Innovationspotenzials

### 6.5.1 Ziel der Verfahrensphase

Das Ziel von Phase 4 ist es, das Innovationspotenzial  $IP_i$  einer Kombination von Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  und Problemeidee  $PI_i$  durch eine qualitative Feinbewertung zu bestimmen und Standardstrategien für die Umsetzung des Innovationspotenzials  $IP_i$  und das weitere Vorgehen abzuleiten.

### 6.5.2 Methodisches Vorgehen

In der Phase 4 werden zunächst die Innovationspotenziale  $IP_i$  dargestellt, indem in Expertenrunden<sup>75</sup> Problemeideen  $PI_i$  und Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  zusammengeführt werden (Schritt 4.1). Die jeweiligen Ziel-Mittel-Kombinationen aus Problemeidee und Lösungsidee werden dann in einem iterativen, abgeschlossenen Prozess anhand der Anforderungen aus Schritt 3.3 in einer Nutzwertanalyse bewertet. Die Innovationspotenziale werden anschließend in einem Portfolio-Ansatz hinsichtlich Anwendungsreife sowie prognostiziertem funktionalem Lösungsbeitrag der Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  eingeordnet (Schritt 4.2).

#### 6.5.2.1 Schritt 4.1: Darstellung der Innovationspotenziale

Ein Innovationspotenzial  $IP_i$  setzt sich zusammen aus einer Problemeidee  $PI_i$  und einer Lösungsidee  $LI_{NT,i}$ . Die Darstellung und Bewertung der Innovationspotenziale  $IP_i$  erfolgt in spezifischen Expertenrunden, in denen die relevanten Akteure aus dem Unternehmen und die Technologie-Fachexperten zusammengeführt werden. Darin werden aus Unternehmenssicht die Problemeidee  $PI_i$  aus Schritt 2.3 mit den Anforderungen des Zielsystems  $Z_4$  aus Schritt 3.3 vorgestellt. Aus Technologiesicht wird die Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  anhand der in Tabelle 27 beispielhaft dargestellten Leitfragen vorgestellt.

---

<sup>75</sup> Als Expertenrunden sind hier moderierte Workshops oder Fachgespräche des Projektteams mit den Fachexperten gemeint, in denen Anwendungskontext und Anforderungen der Problemeidee  $PI_i$  sowie die Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  präsentiert und der Lösungsbeitrag gemeinsam bewertet werden.

Tabelle 27: Leitfragen für die Ausarbeitung von Lösungsideen

Beschreibungskategorie	Leitfragen für die Ausarbeitung von Lösungsideen $LI_{NT,i}$
<b>Nanotechnologisches Lösungsprinzip</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ist die technische Machbarkeit gegeben?</li> <li>Welche Lösungsprinzipien liegen zugrunde?</li> </ul>
<b>Randbedingungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Welche Randbedingungen determinieren die Anwendung?</li> <li>Gibt es Restriktionen der Anwendung hinsichtlich Funktionalität, Applikation, Dauerhaftigkeit, Toxikologie, u. a.?</li> <li>Welche Randbedingungen sind zweckfunktions-spezifisch?</li> <li>Welche Randbedingungen sind zweckfunktionsneutral/-unspezifisch?</li> </ul>
<b>Leistungsparameter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Welche Leistungsparameter und -werte beschreiben die Eigenschaften?</li> <li>Wie ist die anvisierte Lösung für die Problemeidee <math>PI_i</math> einzuschätzen?</li> <li>Gibt es mögliche technologische Alternativen?</li> </ul>
<b>Produktion, Applikation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Welche Produktions- und Applikationsverfahren stehen bereit? (Bei Beschichtungen z.B. Spritz-/Tauchlackieren mit thermischer oder UV-Aushärtung, Sputtern, Gasphasenabscheidungsverfahren wie PVD und CVD, u. a.)</li> </ul>
<b>Technologie- und Marktpotenzial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wie groß wird das Technologiepotenzial (Übertragbarkeit der Lösung) eingeschätzt?</li> <li>Welche Funktionskombinationen sind gegebenenfalls möglich?</li> <li>Welches Marktpotenzial wird erwartet?</li> <li>Welche Anwendungen wurden bisher bereits realisiert oder sind anvisiert?</li> </ul>
<b>Entwicklungsstand</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wie ist der Entwicklungsstand gegenwärtig?</li> <li>Welche zukünftigen Entwicklungen sind zu erwarten, was sind die Triebkräfte?</li> <li>Welcher Realisierungszeitraum ist für marktfähige Entwicklung notwendig?</li> <li>Wie groß ist der Realisierungsaufwand (Budget) für die Anwendung?</li> </ul>
<b>Umweltschutz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Welche positiven und negativen Umwelt- und Nachhaltigkeitseffekte gibt es? (Gesundheitsschutz, Ressourceneffizienz, Integrierte Produktpolitik, Emissionsminderung, Abfallvermeidung)</li> </ul>

Besonders die Randbedingungen der Anwendung der Lösungsidee  $LI_{NT,i}$ , die den Einsatz einschränken könnten, müssen zu diesem Zeitpunkt erfasst werden. Die Randbedingungen werden eingeteilt in:

- zweckfunktionsneutrale/-unspezifische und
- zweckfunktionsabhängige Randbedingungen.

Beispielsweise sind UV-Licht und Feuchte eine Zweckfunktions-neutrale Voraussetzung für die antimikrobiellen Eigenschaften von photokatalytischen  $TiO_2$ -Nanobeschichtungen, unabhängig vom Umfeld der Anwendung ist dies eine Randbedingung der Anwendung. Die einstellbare Dauerhaftigkeit einer Beschichtung mit Silber-Nanopartikel ist hingegen eine zweckfunktions-spezifische Randbedingung.

### 6.5.2.2 Schritt 4.2: Bewertung der Innovationspotenziale

In Schritt 4.2 wird das Innovationspotenzial  $IP_i$  anhand des erwarteten Lösungsbeitrags der Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  vor dem Hintergrund der Anforderungen des Zielsystems  $Z_i$  aus Schritt 3.3 in einer Nutzwertanalyse analysiert. Das Innovationspotenzial  $IP_i$  von Problemeidee  $PI_i$  und Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  ist allgemein dann hoch, wenn die Problemeidee  $PI_i$  einen großen Nutzen besitzt und der spezifische Lösungsbeitrag einer Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  groß ist bzw. die geforderten Eigenschaften erreicht werden können.<sup>76</sup> Der Lösungsbeitrag und die Anwendungsreife des Innovationspo-

<sup>76</sup> Der Nutzen der Problemeidee  $PI_i$  wurde bereits in Schritt 3.2 bewertet. Folglich werden in Phase 4 nur solche Kombinationen aus Problemeidee  $PI_i$  und Lösungskonzept  $LK_{NT,N}$  weiterverfolgt, die einen großen Nutzen versprechen.

tenzials  $IP_i$  werden in ein Portfolio übertragen, um in Phase 5 Standardstrategien für weitere Maßnahmen ableiten zu können (Innovationspotenzial-Portfolio in Abbildung 30).

### Nutzwertanalyse zur Bewertung der Lösungsideen

Für jede Problemidee  $PI_i$  wird der Lösungsbeitrag der entsprechenden Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  als Nutzwert in einer Nutzwertanalyse berechnet. Grundlage ist die gemeinsame Einschätzung und Bewertung der Mitglieder einer Expertenrunde in einem diskursiven Prozess. Die Anwendung der Nutzwertanalyse bietet eine intensive und rationale Auseinandersetzung mit den Anforderungskriterien wie mit den Lösungsalternativen und strukturiert den komplexen Bewertungsvorgang (siehe Lindemann 2005, S.253; Zweck 2005, S.191).

Im Folgenden wird das Vorgehen der Nutzwertanalyse kurz skizziert, eine detaillierte Darstellung ist im Anhang, Kap 0 gegeben. Das Vorgehen besteht aus den Teilschritten Aufstellung des Zielsystems, Gewichtung der Ziele, Umrechnung der Zielerreichungsgrade in Nutzwerte und Bestimmung des Gesamtnutzens durch additive oder multiplikative Verknüpfung (vgl. Zangemeister 1976).

i) Aufstellung des Zielsystems (Bewertungskriterien)

Das Zielsystem der Nutzwertanalyse besteht aus Bewertungskriterien und setzt sich zusammen aus dem Zielsystem  $Z_4$  (Schritt 3.3, Kap. 6.4.2.3), den spezifische Anforderungen des Zielsystems  $Z_3$  (Schritt 1.2, Kap. 6.2.2.2) sowie möglichen Randbedingungen der Lösungsidee (Schritt 4.1, Tabelle 27).<sup>77</sup> Diese werden inhaltlich strukturiert und gegebenenfalls gruppiert sowie ein Wertebereich mit gewünschtem Zielwert angegeben. Die Zielwerte können sich an einer bestehenden Anwendung orientieren, z.B. wenn die Systemfunktion substituiert werden soll, oder neu aufgestellt werden, wenn es sich um eine neu zu realisierende Zweckfunktion handelt. Festforderungen des Zielsystems  $Z_3$  werden extra aufgeführt.

ii) Gewichtung der Ziele (Gewichtungsfaktor  $g_i$ )

Anschließend werden die Anforderungen hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Berechnung des Lösungsbeitrags durch die Gewichtungsfaktoren  $g_i$  gewichtet.<sup>78</sup> Formel 3 zeigt die Bedingungen für den Gewichtungsfaktor  $g_i$ .

$$\sum_{i=1}^n g_i = 1; (n = \text{Anzahl Anforderungen}) \quad \text{und} \quad g_i = \{g \in Q \mid 0 < g_i \leq 1\}$$

**Formel 3: Gewichtungsfaktor  $g_i$**

Haben alle Anforderungen die gleiche Gewichtung oder wurden z.B. nur die kritischsten Anforderungen formuliert, so wird der Gewichtungsfaktor  $g_i = 1$  oder  $g_i = 1/n$  gesetzt.

<sup>77</sup> Erfordert z.B. die photokatalytisch aktive  $TiO_2$ -Nanobeschichtungen für die Wirkung UV-Licht und Feuchte, bei der Problemidee handelt es sich aber um einen geschlossenen, lichtundurchlässigen Behälter, so könnte ein entsprechendes Muss-Kriterium lauten: „Antimikrobielle Wirkung in geschlossenem, lichtundurchlässigem Behälter“

<sup>78</sup> Die Gewichtungsfaktoren sollen im Rahmen der Nutzwertanalyse allerdings weniger eine mathematische Genauigkeit suggerieren, die aufgrund der Datengrundlage und der Nicht-Linearität der Zielerreichungsgrade nicht haltbar ist. Ein kleiner Gewichtungsfaktor kann zudem durch einen großen Teilnutzen-Wert überkompensiert werden. Auch darf aus dem Gesamtnutzen nicht die Annahme getroffen werden, dass einzelne Kriterien beliebig durch andere ersetzbar sind. Vielmehr sollen die verschiedenen Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  untereinander verglichen werden und im Rahmen der Darstellung der Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  und deren Einschätzung in den Technologie-Expertenforen durch die Gewichtungsfaktoren die Bedeutung der einzelnen Kriterien für ihren Lösungsbeitrag aufgezeigt werden.

iii) Umrechnung der Zielerreichungsgrade in Teilnutzwerte  $TN_i$

Anschließend wird für jedes Innovationspotenzial  $IP_i$  der Zielerreichungsgrad der Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  für jede Anforderung des Zielsystems (Bewertungskriterien) bestimmt. Die Zielerreichung entspricht dem Teilnutzen  $TN_i$  der Nutzwertanalyse. Eine 3-stufige Ordinalskala bestimmt die Zielerreichung für jedes Bewertungskriterium: Der Teilnutzen  $TN_i$  hat den Wert  $TN_i = 1$ , wenn das Ziel „nicht erfüllt“ wird; den Wert  $TN_i = 3$ , wenn das Ziel „teilweise erfüllt“ wird oder eine abschließende Bewertung nur durch weitere Analysen, z.B. eine Machbarkeitsstudie oder Tests im Labor erfolgen kann; und den Wert  $TN_i = 9$ , wenn das Ziel „erfüllt“ wird. Bei Festforderungen werden dem Lösungsbeitrag bei Nichterfüllung der Teilnutzen  $TN_i = 0$  zugewiesen, andernfalls erhält es den Wert  $TN_i = 1$ . Der Teilnutzen  $TN_i$  ist dimensionslos.

Zu Brücksichtigen ist bei der Bewertung der Zielerreichung, dass die Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  unterschiedliche Entwicklungsstände haben kann, sodass die Zielerreichung für bestimmte Anforderungen nur abgeschätzt oder prognostiziert werden kann. Außerdem führt die Bewertung einer Festforderungen als „nicht erfüllt“ zu einer Bewertung „kein Lösungsbeitrag“ durch die Lösungsidee  $LI_{NT,i}$ . Dies kann bei Unsicherheiten in der Prognostizierung der Leistungsfähigkeit zu einer unverhältnismäßigen Abwertung führen und damit zu einem Ausschluss für die weitere Verfolgung.

iv) Bestimmung des Gesamtnutzens  $GN_i$

Der Gesamtnutzen  $GN_i$  jeder Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  wird errechnet aus der additiven Verknüpfung der gewichteten Teilnutzen  $TN_i$ , multipliziert mit dem Produkt der Teilnutzen  $TN_i$  der Festforderungen (Formel 4). Damit ist gewährleistet, dass der Gesamtnutzen  $GN_i = 0$  („kein Lösungsbeitrag“) ist, wenn eines der Muss-Kriterien nicht erfüllt wird.

$$GN_i = \left( \sum_{j=1}^n g_j \cdot TN_j \right) \cdot \left( \prod_i TN_i^{[Festforderung]} \right)$$

**Formel 4: Berechnung des Lösungsbeitrags  $GN_i$  (Gesamtnutzen) einer Lösungsidee  $LI_{NT,i}$**

Der Parameter  $n$  ist die Anzahl der Bewertungskriterien in der Nutzwertanalyse,  $m$  die Anzahl der Festforderungen. Der Gesamtnutzen  $GN_i$  ist dimensionslos und hat den Minimalwert = 0, der Maximalwert entspricht dem Referenzwert  $RW_i$ , der Zielvorgabe der Anwendung. Der Referenzwert  $RW_i$  berechnet sich wie in Formel 5 dargestellt aus der Addition der gewichteten maximalen Teilnutzen  $TN_i = 9$  für „Ziel erfüllt“.

$$RW_i = \sum_{j=1}^n g_j \cdot 9$$

**Formel 5: Referenzwert  $RW_i$  für Lösungsbeitrag (Gesamtnutzen)**

Die Bewertungskriterien (Anforderungen und Festforderungen), die Gewichtungsfaktoren  $g_j$  und die Teilnutzen  $TN_j$  werden in einem Bewertungsschema eingetragen und der Gesamtnutzen  $GN_i$  berechnet (siehe Tabelle 47, Anhang Kap. 0).

### Innovationspotenzial-Portfolio

Das Innovationspotenzial  $IP_i$  wird anschließend in ein Portfolio übertragen (siehe Abbildung 30). Das Portfolio besteht aus den folgenden Dimensionen:

- *Koordinate „Lösungsbeitrag“:*  
Der Lösungsbeitrag eines Innovationspotenzial  $IP_i$  wird im Portfolio auf der Abszisse ab-

getragen. Er zeigt die mögliche Leistungssteigerung oder Substitutionsfähigkeit der Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  als relative Zielerreichung des gewünschten Referenzwertes  $RW_i$  an (vgl. Funktionale Zielsetzung der Problemeidee  $PI_i$ , Tabelle 20, Seite 102). Hierzu wird für jedes Innovationspotenzial  $IP_i$  das Verhältnis von Gesamtnutzen  $GN_i$  zu Referenzwert  $RW_i$  als spezifischer Lösungsbeitrag  $spezGN_i$  gebildet (Formel 6). Der Lösungsbeitrag wird aus der vorherigen Nutzwertanalyse entnommen.

$$\text{Spezifischer Lösungsbeitrag } spezGN_i = \frac{GN_i}{RW_i}$$

Formel 6: Berechnung des spezifischen Lösungsbeitrags  $spezGN_i$

- *Koordinate „Anwendungsreife“:*  
Auf der Ordinate des Portfolios wird die Anwendungsreife der Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  des Innovationspotenzials  $IP_i$  zum Zeitpunkt der Analyse abgetragen. Die qualitative Einordnung beruht auf einer Einschätzung durch die Technologie-Fachexperten. Die Einteilung erfolgt anhand der Kategorien „Grundlagenforschung“, „Labormuster“, „Angewandte Forschung“, „Prototypen“, „Anwendung/Pilotanwendung“, „Massenprodukt“ (vgl. Specht, G. et al. 2002, S.16).  
  
Diese Einordnung dient der Einschätzung, ob bereits eine marktfähige nanotechnologische Lösung existiert bzw. wann damit zu rechnen ist (siehe nachfolgende Dimension „Projektion der Technologieentwicklung“), und sie ermöglicht eine grobe Einschätzung möglicher personeller und finanzieller Aufwände sowie Zeithorizonte, bis ein gewünschter Zielpunkt erreicht sein kann.
- *„Projektion der Technologieentwicklung“ für einen Zeitraum  $t_i$ :*  
Zusätzlich wird die Entwicklungstendenz für das Innovationspotenzial  $IP_i$  vom gegenwärtigen Zeitpunkt  $t_0$  z.B. für die nächsten fünf Jahre ( $t_i = 5a$ ) als Pfeil in Richtung des zu erwartenden Lösungsbeitrags und der zu erwartenden Anwendungsreife abgetragen. Damit werden z.B. die Standardstrategie „Watch and Wait“ und „Position and Learning“ (Phase 5), wie sie DOERING und PARAYRE für Emerging Technologies vorschlagen, präzisiert (Doering, Parayre 2000, S.94).

Das Portfolio wird für das gesamte Analyseobjekt oder eine einzelne Problemeidee  $PI_i$  erstellt.

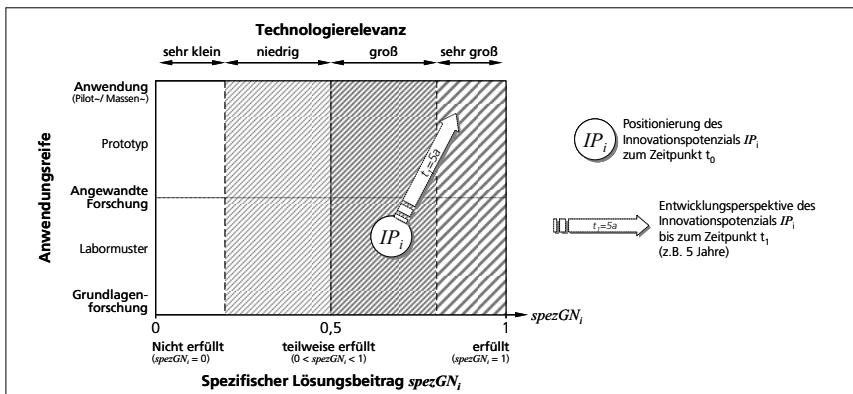


Abbildung 30: Innovationspotenzial-Portfolio

## Ableitung der Technologierelevanz

Aus der Positionierung jedes Innovationspotenzials  $IP_i$  im Portfolio (Abbildung 30) wird dessen gegenwärtige und zukünftig erwartbare Relevanz für das Unternehmen abgelesen, um – je nach Hintergrund der Problemidee  $PI_i$  (siehe Kap. 6.3.2.1) – die Leistungsfähigkeit von Produkteigenschaften zu optimieren, Funktionalitäten zu integrieren oder zu kombinieren, diese zu ersetzen, neue Funktionsprinzipien zu realisieren oder den Materialeinsatz zu substituieren oder neu zu gestalten.

Die Technologierelevanz ist dann sehr groß, wenn der Lösungsbeitrag der Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  den geforderten Eigenschaften entspricht ( $spezGN_i = 1$ ). Ist durch Nichterfüllung eines Muss-Kriteriums der spezifische Lösungsbeitrag  $spezGN_i = 0$ , oder werden sämtliche Anforderungen nicht erfüllt ( $spezGN_i \leq 0,12$  (Dezimalwert von  $1/9$ )), dann ist die Technologierelevanz sehr klein bzw. nicht vorhanden (siehe Abbildung 30).

Um die zeitliche Entwicklung von Anwendungsreife und spezifischem Lösungsbeitrag zu erfassen, kann die Nutzwertanalyse auch zur Analyse des Lösungsbeitrags eines Innovationspotenzials  $IP_i$  für den späteren Zeitpunkt  $t_i$  durchgeführt werden.

### 6.5.3 Ergebnis der Verfahrensphase

Ergebnis der Phase 4 ist die Bewertung der Technologierelevanz für jedes Innovationspotenzial  $IP_i$ . Die Bewertung des Lösungsbeitrags jeder Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  wird in Technologieforen mit den Technologie-Fachexperten gemeinsam vorgenommen, methodisch unterstützt durch eine Nutzwertanalyse und einen Portfolio-Ansatz.

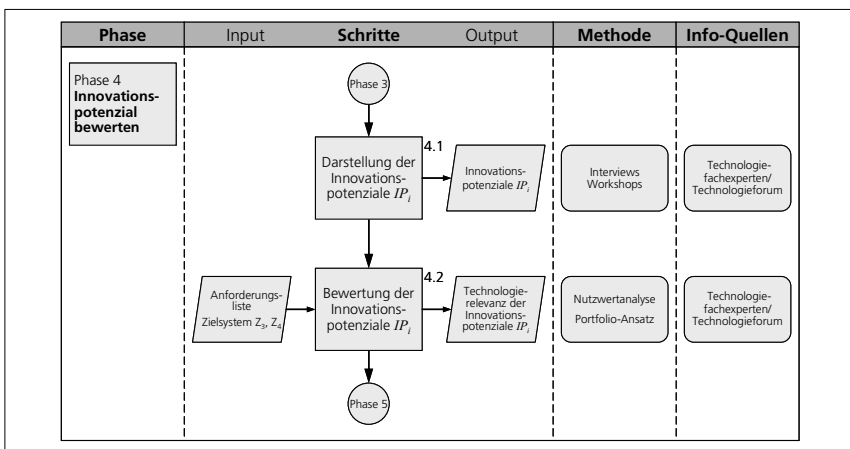


Abbildung 31: Ablauf, Methodeneinsatz und Informationsquellen der Phase 4

## 6.6 Phase 5: Planung der Maßnahmen

### 6.6.1 Ziel der Verfahrensphase

Ziel von Phase 5 ist es, Standardmaßnahmen aus der Bewertung der Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  (Abbildung 30) abzuleiten.



## 6.6.2 Methodisches Vorgehen

Aus dem Portfolio-Ansatz (Abbildung 30) werden geeignete Standardstrategien zur Umsetzung der als besonders relevant eingestuftten Innovationspotenziale  $IP_i$  abgeleitet.

### 6.6.2.1 Schritt 5.0: Planung von Maßnahmen

Die Planung von technologischen Erfolgspotenzialen im Unternehmen bedarf einer zielgerichteten Steuerung durch entsprechende Strategien. Sie geben einen Handlungskorridor vor, innerhalb dessen taktisch-operative Maßnahmen zur Zielerreichung ergriffen werden (vgl. Specht, D., Möhrle 2002, S.308). Normstrategien oder Strategieempfehlungen sind z.B. „Differenzierung“, „Kostenführerschaft“ und „Fokussierung“ (vgl. Porter 1999, S.75). Für die Planung von Maßnahmen zur Umsetzung der Innovationspotenziale  $IP_i$  sollen hier allgemeine Handlungsstrategien der Technologiefrüherkennung und für Neue Technologien herangezogen werden (siehe ausführlich bei Gerpott 2005, S.159; Tschirky 1998, S.261/295; Hinterhuber 1997, S.48; Verwertungsstrategien für Technologien bei Birkenmeier 1998, S.477).

Die Umsetzung der Innovationspotenziale  $IP_i$  greift entsprechend der Einordnung der Innovationspotenziale  $IP_i$  hinsichtlich Anwendungsreife und Lösungsbeitrag zeitliche und technische Handlungsaspekte auf: Welche Maßnahmen sind jetzt zu ergreifen, um das als relevant eingestufte Innovationspotenzial  $IP_i$  zu einem bestimmten Zeitpunkt realisieren zu können? Aus Sicht des Unternehmens bietet sich prinzipiell die Möglichkeit, in Abhängigkeit von der Anwendungsreife und Lösungsbeitrag, das Innovationspotenzial  $IP_i$  sofort zu realisieren, oder weitere Maßnahmen wie Machbarkeitsstudie, FuE oder Monitoring zu initiieren. Im ersten Fall (Realisierung sofort) wird z.B. die „Make or Buy“-Entscheidung getroffen, Lasten- und Pflichtenheft definiert, die Wertschöpfungskette aus- oder aufgebaut und die Umsetzung der technologischen Lösung geplant (Produktionsplanung, Einkauf, Marketing, ...). Im zweiten Fall (weitere Maßnahmen) wird z.B. der Testaufbau definiert und eine Machbarkeitsstudie durchgeführt. Oder es wird die strategische Entscheidung für eigene FuE oder Kooperationen mit Technologiepartner getroffen und Randbedingungen wie z.B. Aufwände, Kapazitäten, Kompetenzen etc. mit einbezogen. Eine weitere Maßnahme kann der Aufbau eines Technologiemonitorings mit Technologieplanung, Ideenspeicher und Netzwerken sein.

Die Standardstrategien bauen auf strategischen Ansätzen zur Planung und Umsetzung der Kommerzialisierung emergenter Technologien auf, wie sie DOERING und PARAYRE vorschlagen (Doering, Parayre 2000, S.94). Diese Strategien haben den Vorteil, dass sie den Technologiereife- und -leistungsgrad mit einbeziehen.<sup>79</sup> Auf dieser Grundlage und der Umsetzungsmöglichkeiten werden drei Standardstrategien für die Planung und Umsetzung der Innovationspotenziale  $IP_i$  definiert. Sie sind abhängig von der Anwendungsreife und der Technologierelevanz der Lösungs idee  $LI_{NT,i}$  zum Zeitpunkt  $t_0$  (jetzt) und der Entwicklungsperspektive bis zu einem späteren Zeitpunkt  $t_1$ , z.B. in fünf Jahren (siehe Tabelle 28). Die drei Standardstrategien sind:

---

<sup>79</sup> Die vier Handlungsstrategien zur Kommerzialisierung von Emerging Technologies nach DOERING und PARAYRE sind (Doering, Parayre 2000, S.94): 1. „Watch and Wait“: Die Unsicherheit über Leistungsfähigkeit der Technologie ist zu groß, um bereits FuE-Aktivitäten zu starten. Jedoch ist das Potenzial der Technologie so groß, dass das Unternehmen das Monitoring der Technologieentwicklung und deren Märkte aktiv vorantreibt. 2. „Position and Learning“: Wenn die Unsicherheit deutlich geringer ist bzw. das Risiko, keine Entwicklungsmaßnahmen zu starten größer ist, dann kann das Unternehmen durch Entwicklungsaktivitäten eine strategische Position einnehmen und einen Lernprozess initiieren. 3. „Sense and Follow“: Diese Handlungsoption nimmt das Unternehmen ein, wenn es davon überzeugt ist, dass die Technologieverbreitung und deren Erfolgspotenzial ausreichend groß ist, um die Kommerzialisierung aktiv voranzutreiben. 4. „Believe and Lead“: Wenn die technologischen Möglichkeiten sehr vielversprechend sind, dann setzt das Unternehmen große Ressourcen darauf, die Technologie in den Markt zu bringen.

- *Strategie A – Ablehnung der Lösungsidee:*  
Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  wird abgelehnt bzw. nicht weiter verfolgt.
- *Strategie B – Weiterverfolgung der Lösungsidee:*  
Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  wird weiter verfolgt und entsprechende Maßnahmen ergriffen, um die Entwicklung zu beobachten, Entwicklungskooperation einzugehen oder die Machbarkeit zu testen (siehe zu Technologie-Früherkennung und Technology Intelligence u. a. Peiffer 1992, Reger 2006, Lichtenthaler 2002, VDI-TZ 1992).
- *Strategie C – Umsetzung der Lösungsidee:*  
Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  realisieren und im Analyseobjekt umsetzen. Gegebenenfalls müssen z.B. erweiterte Analysen sowie Planung und Steuerung von Produktion, Markteinführung unternommen werden, die Kostenstruktur analysiert oder Umweltfragestellungen gesondert betrachtet werden.

Die folgende Tabelle 28 zeigt die Herleitung der Handlungsstrategien für die Planung und Umsetzung relevanter Innovationspotenziale  $IP_i$  aufgrund ihres Entwicklungsstandes und ihrer Leistungsfähigkeit.

**Tabelle 28: Handlungsstrategien zur Umsetzung der Innovationspotenziale**

Standardstrategie	Stand der Lösungsidee $LI_{NT,i}$ Zeitpunkt $t_0$ (Abbildung 30)		Operativ-taktische Umsetzungsmaßnahmen
	Anwendungsreife	Technologierelevanz	
Strategie A: Lösungsidee ablehnen	Grundlagenbereich	sehr klein/niedrig	Lösungsidee $LI_{NT,i}$ nicht weiter verfolgen Maßnahmen: Keine
Strategie B: Lösungsidee weiter verfolgen	Angewandte Forschung/Anwendung	niedrig (zum Zeitpunkt $t_1$ groß)	Sonderfall: Wenn zu erwarten ist, dass durch FuE der spezifische Lösungsbeitrag bis zum Zeitpunkt $t_1$ zu realisieren ist, dann können geeignete Maßnahmen ergriffen werden. Maßnahmen: Monitoring/Beobachtung, FuE
	Grundlagenbereich	groß/sehr groß	Lösungsidee $LI_{NT,i}$ weiter (passiv) verfolgen Maßnahmen: Ideenspeicher, Monitoring (Konferenzen besuchen, Veröffentlichungen auswerten, Netzwerk bilden), evtl. erste Test von Labormuster
	Angewandte Forschung	groß/sehr groß	Lösungsidee $LI_{NT,i}$ weiter (aktiv) verfolgen Maßnahmen: FuE, Machbarkeitsstudie, Testreihen, erweiterte Analysen (Produktion, Markteinführung, Kosten, Umwelt, ...)
Strategie C: Umsetzung	Anwendung	groß/sehr groß	Lösungsidee $LI_{NT,i}$ umsetzen Maßnahmen: erweitere Analysen, Planung und Steuerung von Produktion, Markteinführung, Kosten, Umwelt, ...

Die einzelnen Handlungsstrategien werden direkt aus dem Innovationspotenzial-Portfolio (Abbildung 30) abgeleitet. Die Abbildung 32 zeigt das Innovationspotenzial-Portfolio mit den Bereichen A, B und C, die den Strategien A, B und C entsprechen. Für die Ableitung der spezifischen Handlungsstrategien für die Innovationspotenziale  $IP_i$  muss gegebenenfalls auch die zeitliche Entwicklung bis zum Zeitpunkt  $t_1$  berücksichtigt werden (siehe Tabelle 28).

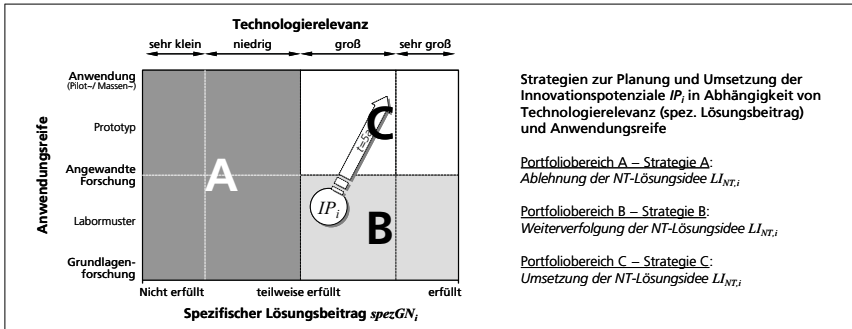


Abbildung 32: Ableitung von Handlungsstrategien aus dem Innovationspotenzial-Portfolio

### 6.6.3 Ergebnis der Verfahrensphase

Ergebnis der Phase 5 ist die Zuordnung von Standardstrategie für die Planung und Umsetzung der Innovationspotenziale  $IP_i$  in Abhängigkeit von Technologierelevanz und Anwendungsreife der Lösungsidee  $LI_{NT,i}$ .

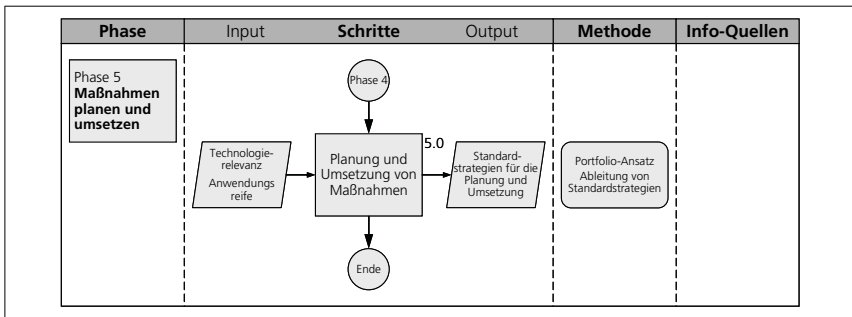


Abbildung 33: Ablauf, Methodeneinsatz und Informationsquellen der Phase 5

## 6.7 Zusammenfassung des Verfahrens

Mit dem entwickelten, aus fünf Phasen bestehenden Verfahren kann eine funktionsbasierte Technologierelevanzanalyse von Nanotechnologie in der Produktplanung durchgeführt werden. Ergebnis des Verfahrens sind bewertete, unternehmensspezifische Produktideen auf Basis der Nanotechnologie mit konkreten Funktionalitäten und Nanomaterialien sowie abgeleitete Maßnahmen zur Umsetzung. Das Verfahren bildet ein in sich geschlossenes systematisch-diskursives Vorgehen im Rahmen der Produktplanung nach VDI-Richtlinie 2220<sup>80</sup> ab, das Iterationen und Rückkoppelungen zwischen den einzelnen Phasen erlaubt.

<sup>80</sup> VDI-Richtlinie 2220: Produktplanung - Ablauf, Begriffe und Organisation (VDI-2220 1980).

In Phase 1 werden zunächst das Analyseobjekt definiert sowie in einer Umfeldanalyse Anforderungen und Trends erfasst. Darauf aufbauend wird ein Zielsystem für die Relevanzanalyse definiert.

In Phase 2 werden zunächst Problemeideen identifiziert, die einen prinzipiellen Bedarf für den Einsatz der Nanotechnologie darstellen. Wirkprinzipien der Nanotechnologie steuern diesen Prozess, indem nur solche Problemeideen erfasst werden, deren Problem mit einem Wirkprinzip korrespondiert. Diese Problemeideen werden anhand der geforderten Zweckfunktion beschrieben und der Nutzen ihrer Problemlösung aus Anwendungssicht bewertet.

Daran anschließend werden in Phase 3 relevante Lösungsideen der Nanotechnologie identifiziert und ausgewählt. Hierfür werden Lösungskonzepte der Nanotechnologie, bestehend aus einer Systemfunktion und einer Wirkstruktur, gesammelt und hinsichtlich ihrer Eignung, die geforderte Zweckfunktion zu realisieren, bewertet. Es werden solche Kombinationen aus Problemeidee und Lösungskonzept im Rahmen des Verfahrens weiter verfolgt, die einen großen Nutzen und funktionale Eignung aufweisen. Die Lösungskonzepte werden als Lösungsidee in Bezug auf die Anforderungen weiter detailliert. Gemeinsam mit der Problemeidee stellen sie ein Innovationspotenzial als Produktidee dar, bestehend aus einem prinzipiellen Bedarf und einer Lösung.

In Phase 4 werden schließlich der Lösungsbeitrag und die Anwendungsreife der Lösungsidee bewertet.

Aus der Bewertung werden in Phase 5 konkrete Maßnahmen für die Umsetzung oder weitere Verfolgung der Innovationspotenziale abgeleitet.

Das Verfahren bezieht Experten der Nanotechnologie zur Erfassung impliziten Wissens mit ein. Es wird eine Terminologie aufgebaut, die den Zugang zur Nanotechnologie im rahmend es Verfahrens operationalisiert.

Durch das Verfahren wird ein schrittweiser Auswahlprozess relevanter Funktionen und Nanomaterialien vorgenommen (Abbildung 34, vgl. Wheelwright, Clark 1994, S.165).

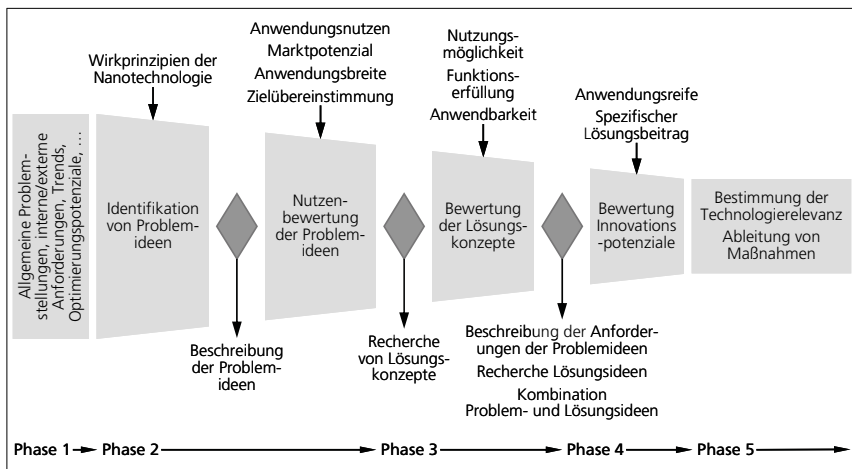


Abbildung 34: Schrittweiser Auswahlprozess relevanter Funktionen und Nanomaterialien im Verfahren

Tabelle 29 zeigt eine Übersicht über die Phasen des Verfahrens, der einzelnen Schritte sowie der angewandten methodischen Elemente.

Tabelle 29: Übersicht über die Phasen des Verfahrens (fortgesetzt)

Phase	Schritt	Angewandte methodische Elemente
<b>1 Definition der Zielsetzung</b>	1.1 Definition des Analyseobjekts und Umfeldanalyse	Umfeldanalyse Definition des Analyseobjekts
	1.2 Definition des Zielsystems	Aufbau eines Zielsystems
<i>Ergebnis: Definiertes Analyseobjekt, allg. Trends und interne/externe Anforderungen, Zielsystem</i>		
<b>2 Identifikation und Beschreibung von Problemideen</b>	2.1 Identifikation von Problemideen	Dekomposition des Analyseobjekts in Funktions- und Objektelemente Identifikation und Auswahl von Problemideen anhand nanotechnologischer Wirkprinzipien Problemdefinition mit Zweckfunktion und funktionaler Zielsetzung des Nanotechnologie-Einsatzes
	2.2 Beschreibung und Nutzenbewertung von Problemideen	Systembeschreibung der Problemidee Einfache Nutzenbewertung (ABC) der Problemidee anhand strategischem Anwendungsnutzen, Marktpotenzial, Anwendungsbreite, Zielübereinstimmung
<i>Ergebnis: Identifizierte Problemideen mit Zweckfunktion und funktionaler Zielsetzung</i>		
<b>3 Identifikation und Auswahl von Lösungsideen</b>	3.1 Recherche von Lösungskonzepten	Definition eines Suchrasters Recherche von Lösungskonzepten (Systemfunktion und Wirkstruktur der Nanotechnologie) Einbindung von Experten der Nanotechnologie mit Übersichtswissen durch leitfragengestützte Interviews Beschreibung der Lösungskonzepte anhand von Leitfragen
	3.2 Bewertung von Lösungskonzepten	Zusammenführung von Problemidee und Lösungskonzept im House of Nanotechnology Bewertung des Erfüllungsgrades der Lösungskonzepte in Bezug auf Nutzungsmöglichkeit, Funktionserfüllung und Anwendbarkeit Auswahl relevanter Kombinationen von Problemidee und Lösungskonzept in einem Nutzen-Erfüllungsgrad-Portfolio
	3.3 Beschreibung der Anforderungen der Problemidee	Detaillierung der Problemidee anhand von Anforderungskategorien technischer Systeme
	3.4 Recherche von Lösungsideen	Recherche von Lösungsideen (aufbauend auf den Lösungskonzepten) Einbindung von Experten der Nanotechnologie mit Fachwissen zu den Lösungsideen (Workshops)
<i>Ergebnis: Bewertete Problemideen nach Nutzen, identifizierte Lösungskonzepte und Lösungsideen</i>		
<b>4 Bewertung des Innovationspotenzials</b>	4.1 Darstellung der Innovationspotenziale	Spezifizierung der Lösungsideen anhand von Leitfragen und Anforderungen der Problemideen Definition von Innovationspotenzialen aus Problem- und Lösungsidee

<b>Phase</b>	<b>Schritt</b>	<b>Angewandte methodische Elemente</b>
	4.2 Bewertung der Innovationspotenziale	Nutzwertanalyse zur Bewertung des Lösungsbeitrags der Lösungsideen Festlegung der Anwendungsreife Bewertung des Innovationspotenzials in einem Portfolio (spezifischer Lösungsbeitrag, Anwendungsreife), Ableitung der Technologierelevanz
<i>Ergebnis: Definierte und bewertete Innovationspotenziale, Bewertung der Technologierelevanz</i>		
<b>5 Planung (und Umsetzung) der Maßnahmen</b>	5.0 Planung und Umsetzung von Maßnahmen	Ableitung von Standardstrategien aus dem Portfolio zur Umsetzung oder Verfolgung des Innovationspotenzials
<i>Ergebnis: Abgeleitete Standardstrategien</i>		

## 7 Umsetzung des Verfahrens

Am Beispiel von zwei Unternehmen wird die Umsetzung des Verfahrens gezeigt. Es handelt sich um einen Hersteller von Füll- und Verpackungsmaschinen (Unternehmen Alpha) und einen Hersteller von Sanitärarmaturen (Unternehmen Beta).

### 7.1 Charakterisierung der Anwender

Beide Unternehmen betreiben keine systematische, in der Aufbauorganisation verankerte Technologie-Früherkennung. Deren Aufgaben werden von der FuE-Abteilung wahrgenommen. In Tabelle 30 sind wichtige Merkmale der Anwender sowie deren Einordnung in der Wertschöpfungskette dargestellt.

Tabelle 30: Charakterisierung der Anwender

Merkmal	Unternehmen Alpha	Unternehmen Beta
Branche	Sondermaschinenbau (Investitionsgüterindustrie)	Sanitärbranche (Gebrauchsgüterindustrie)
Unternehmensgröße	ca. 450 Mitarbeiter (weltweit)	ca. 2.000 Mitarbeiter (Deutschland)
Umsatz	ca. 50 Mio. Euro (2004)	ca. 350 Mio. Euro (2005, Deutschland)
Produkte	Befüllungs- und Verpackungsanlagen für pharmazeutische Produkte und Kosmetika	Badarmaturen
Stellung in der Wertschöpfungskette	Hersteller von Produktionsanlagen	OEM
Vorgelagerte Stufe	Zulieferer von Normteilen, Motoren/Sensoren/Getriebe, Fertigungsteilen	Zulieferer von Normteilen, Fertigungsteilen, Rohstoffe
Nachgelagerte Stufe	Produzenten von Kosmetikartikel und Medikamenten/Medizinprodukten	Fachhandel, Endverbraucher
Kernkompetenz-/aufgaben des Unternehmens	Auftragsspezifische Konstruktion von Füll- und Verpackungsmaschinen, Prozesskompetenz für Abfüll- und Verpackungsprozesse	Design, Produktentwicklung von Armaturen
Systematische Technologiefrüherkennung	Nicht vorhanden, wird teilweise durch Entwicklung und Konstruktion wahrgenommen	Teilweise durch FuE-Abteilung
Eigene materialbezogene Forschung	Nein	Ja
Bisherige Analyse und Bewertungen der Nanotechnologie	Bisher keine Analysen	Ca. 5 Jahre zurückliegend

Im Folgenden werden Ausgangssituation, Zielsetzung, die wichtigsten durchgeführten Arbeiten in den einzelnen Umsetzungsphasen sowie der Nutzen der Anwendung des Verfahrens in den Unternehmen beschrieben.

## 7.2 Anwendung des Verfahrens am Beispiel eines Herstellers von Füll- und Verpackungsmaschinen (Unternehmen Alpha)

### 7.2.1 Ausgangssituation im Unternehmen

Das Unternehmen Alpha ist ein Sondermaschinenbauer (Auftragsfertigung) für halb- und vollautomatische Befüllungs- und Verpackungsmaschinen zur Reinigung, Sterilisierung, Befüllung, Verschließung und Etikettierung von pharmazeutischen Produkten und Kosmetika. Zu den pharmazeutischen Produkten zählen z.B. Diagnostika, Infusions- und Injektionslösungen, Kosmetika sind u. a. Shampoos, Lotions, Cremes, Pasten, Parfums, und andere Spezialformen chemischer oder kosmetischer Medien. Abbildung 35 zeigt die Prinzipskizze einer Füll- und Verpackungsmaschine.

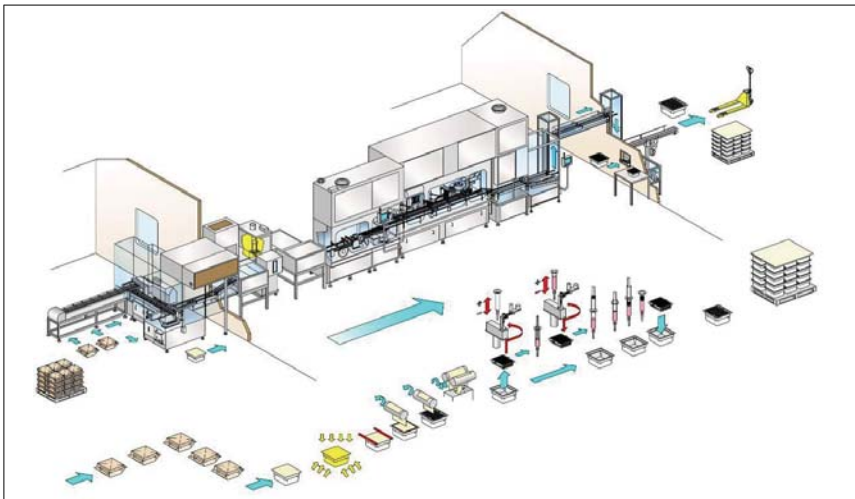


Abbildung 35: Prinzipskizze einer Füll- und Verpackungsmaschine

Die Konstruktion der Maschine bestimmt die laufenden Betriebskosten. Optimierungen der Maschine hinsichtlich Zeit, Kosten und Qualität stellen einen Mehrwert und Kostenvorteil dar. Ansätze sind z.B. die Reduktion des Energieverbrauchs, der Stillstandszeiten oder des Reinigungsaufwandes bei Chargenwechsel, die Optimierung der Prozessüberwachung oder die Leistungssteigerung von einzelnen Prozessschritten.

Aufgrund der Auftragsfertigung ist das Unternehmen kontinuierlich zur Innovation gezwungen. Die innovative Leistung ist die kundenspezifische, anforderungsgerechte und kostengünstige konstruierte Maschine, und weniger die Entwicklung von neuen Materialien. Trotzdem ist das Unternehmen an der Nanotechnologie interessiert, weil es immer wieder auch nach technologischen Lösungen sucht, um die Maschinen zu verbessern.



## 7.2.2 Beschreibung der Anwendung

### 7.2.2.1 Umsetzungsphase 1: Definition der Zielsetzung

Zu Beginn des Projekts wurde ein Projektteam aus technischem Geschäftsführer und der Entwicklungsabteilung zusammengestellt, das die Technologierelevanzanalyse im Unternehmen Alpha begleitete und bearbeitete.

Als Analyseobjekt wurde eine Standard-Füll- und Verpackungsmaschine mit den Standard-Herstellungsprozessen Sterilisierung, Befüllung, Verschließen und Etikettieren von Behältern sowie den Behältern und dem Rohrleitungssystem ausgewählt. Eine weitere Unterteilung der Maschine oder der Prozesse in Bezug auf Kosmetik- oder Pharma-Industrie wurde nicht vorgenommen. Eine Umfeldanalyse wurde im Vorfeld der Analyse nicht durchgeführt.

Die einzelnen Ziele der Technologierelevanzanalyse wurden im Projektteam definiert und entsprechend kategorisiert. Diese waren:

- Die Schaffung eines generellen Verständnisses und Zugang zur Nanotechnologie und ihren Lösungsansätzen.
- Die Identifikation von neuen Produktideen für Produkteigenschaften durch Nanotechnologie sowie die Bewertung von Umsetzungsmöglichkeiten.
- Die Unterstützung der Strategie als Technologieführer ( $Z_1$ ) und der Ausbau des technologischen Vorsprungs, auch in Konkurrenz zum asiatischen Markt bzw. zum Schutz gegen Plagiate.
- Die Verbesserung der Ressourceneffizienz und Steigerung der Maschinenauslastung von Befüllungs- und Verpackungsanlagen in der Produktion sowie eine weitere Erhöhung des Automatisierungsgrades ( $Z_2$ ).
- Die Konformität des Einsatzes der Nanotechnologie in Befüllungs- und Verpackungsanlagen für die pharmazeutische Industrie mit den FDA-Richtlinien ( $Z_3$ ).

### 7.2.2.2 Umsetzungsphase 2: Identifikation und Beschreibung von Problemideen

Die Identifikation und Beschreibung von Problemideen wurde in mehreren Workshops durchgeführt. Es wurde zunächst zur Vorbereitung ein gemeinsames Verständnis der Wirkprinzipien  $WP_i$  geschaffen. Mit dieser Sichtweise konnte das Funktions- und Objektmodell praktikabel aufgebaut werden und sich auf die wesentlichen Funktionen und Objekte (Gehäuse) der Maschine beschränken. Gemäß dem Vorgehen „vom Ganzen zum Teil“ wurde die Maschine in die Hauptprozesse zerlegt und dann das Funktions- sowie Objektmodell aufgebaut. Elemente  $OE_i$  des Objektmodells waren z.B. „Innenseite Rohrleitung Befüllung“, „Scheiben Einhausung Sterilisator“, „Behälter Füllgut“, „Einhausung Kettenförderer“. Abbildung 36 zeigt das Objektmodell der Füll- und Verpackungsmaschine.

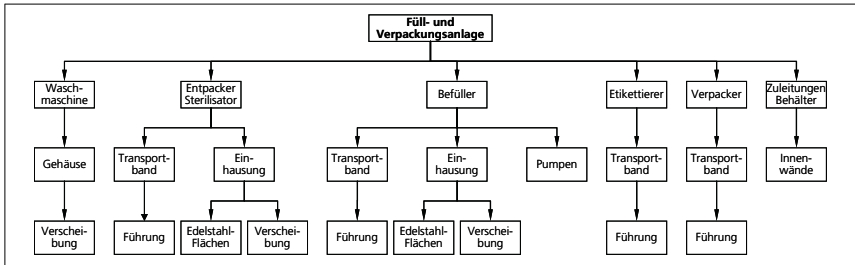


Abbildung 36: Objektmodell der Füll- und Verpackungsmaschine

Anschließend wurde für jedes Funktionselement  $FE_i$  des Funktionsmodells überprüft, ob es auf eines der vier Wirkprinzipien zurückgeführt werden kann oder dieses Wirkprinzip zum Tragen kommt, und für dieses Element allgemeiner Verbesserungsbedarf besteht. Im Objektmodell wurden zunächst solche Objektelemente  $OE_i$  ausgewählt, für die ein Verbesserungsbedarf bestand, und dann die Elemente ausgewählt, welche auf ein Wirkprinzip zurückgeführt werden konnten. Beispielsweise sorgt der Heißdampf im Sterilisator dazu, dass die Scheiben der Einhausung, die auch zur Sichtkontrolle dienen, von innen beschlagen. Dieses Problem kann auf das Wirkprinzip „Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche“ ( $WP_{2B}$ ) zurückgeführt werden. Schließlich wurden die ausgewählten Funktions- und Objektelemente zusammengeführt und Redundanzen oder Dopplungen eliminiert.

Tabelle 31 zeigt die Elemente  $FE_i$  und  $OE_i$ , für die ein Verbesserungspotenzial aufgrund bekannter Nutzeranforderungen oder Probleme in Bezug auf die Zielstellung identifiziert wurde.

Anschließend wurde die funktionale Zielsetzung der gewünschten Zweckfunktionen  $ZF_i$  bestimmt. Dabei handelte es sich um eine Optimierung des Systems ( $ZF_1, ZF_3, ZF_4, ZF_5$ ), um die (neue) Integration einer Funktion ( $ZF_2, ZF_8$ ) oder um die Substitution eines Verfahrens ( $ZF_6, ZF_7$ ). Aus der jeweiligen Zweckfunktion  $ZF_i$  und der funktionalen Zielsetzung wurden Problemeideen  $PI_i$  zusammengestellt.

Am Beispiel des Elements  $OE_5$  (Problemeidee  $PI_5$ , siehe Tabelle 32) und dem zugrunde liegenden Problem der statischen Aufladung der Kunststoffbehältnisse (Spritzen, Ampullen, Flaschen) im Transportband kann die erhoffte Optimierung durch Nanotechnologie deutlich gemacht werden: Bisherige Antistatik-Ausrüstungen des Transportbandes z.B. mit Ruß zeigten nicht die erhoffte Wirkung. Sie führten zu einer Verschmutzung der Kunststoffbehältnisse sowie ungewünschten Reaktionen des Rußes mit dem  $H_2O_2$  bei der Sterilisation. Ein Ansatzpunkt (Lösungskonzept  $LK_{NT,16}$ , siehe Abbildung 37) war der Einsatz von ITO (Indium-Zinn-Oxid), dessen Leitfähigkeit zwischen  $10^4$  und  $10^8 \Omega/sq$  eingestellt werden kann. Durch die Applikation als dünner transparenter Lack könnten entweder die Kunststoffbehältnisse oder die Führungsschienen (an einzelnen Stellen) ausgerüstet werden. Des Weiteren kann die ITO-Ausrüstung auch mit verbessertem mechanischem Schutz kombiniert werden.

Tabelle 31: Ausgewählte Funktions- und Objektelemente des Unternehmens Alpha

Element $E_i$	Problemstellung/Anforderung Zweckfunktion $ZF_i$	funktionale Zielsetzung	Dekom- position	Wirkprinzip
$OE_1$ Führung (Ketten)Transportband	$PI_1$ Reibung an der Führungswand des Kettentransportbands $ZF_1$ „Reibung reduzieren“	Optimierung	Objektmodell	Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche ( $WP_{2B}$ )
$OE_2$ Einhausung	$PI_2$ Bakterielle Verschmutzung der Innenwand der Maschineneinhausung $ZF_2$ „Sterilität“	Integration	Objektmodell	Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche ( $WP_{2B}$ )
$OE_3$ Innenwände von Behältern, Rohren, Pumpen	$PI_3$ Anhaftung an der Innenwand von Abfüllanlagen $ZF_3$ „Anhaftung verhindern“	Optimierung	Objektmodell	Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche ( $WP_{2B}$ )
$OE_4$ Befüllung Spritzen über Pipettenspitzen	$PI_4$ Adhäsion an der Pipettenspitze (bei der Befüllung der Spritzen) $ZF_4$ „Superhydrophobie“	Optimierung	Funktionsmodell	Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche ( $WP_{2B}$ )
$OE_5$ Führung Kettentransportband	$PI_5$ Elektrostatische Abstoßung an der Führungswand des Kettentransportbands (und an den K-Spritzen) $ZF_5$ „Antistatik“	Optimierung	Objektmodell	Feld-Wechselwirkung mit einer Oberfläche ( $WP_{1B}$ )
$FE_6$ Sterilisation der Behälter beim Auspacken aus der Umverpackung	$PI_6$ Sterilisation der aseptische Umverpackung von Behältern und Gebinde $ZF_6$ „Material sterilisieren“	Substitution	Funktionsmodell	Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche ( $WP_{2B}$ )
$FE_7$ Einführung Stopfen in Kunststoff-spritze	$PI_7$ Reibung von Kunststoffspritzen $ZF_7$ „Supergleitfähigkeit“	Substitution	Funktionsmodell	Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche ( $WP_{2B}$ )
$OE_8$ Verschleibung der Waschmaschine	$PI_8$ Beschlagen der Verschleibung der Waschmaschine $ZF_8$ „Anti-Fog“	Integration	Objektmodell	Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche ( $WP_{2B}$ )

Die folgende Tabelle 32 zeigt die Nutzenbewertung der einzelnen identifizierten Problemeideen  $PI_1$  bis  $PI_8$  hinsichtlich ihres strategischen Anwendungsnutzen ( $NU1_i$ ), des erwarteten Marktpotenzials ( $NU2_i$ ) der Lösung der Problemeidee  $PI_i$ , der Anwendungsbreite ( $NU3_i$ ) der Lösung der Problemeidee  $PI_i$  sowie der Zielübereinstimmung mit der Strategie ( $NU4_i$ ). Die Priorität  $PRIO_i$  der Problemeidee  $PI_i$  wurde aus dem Summenwert der vier Nutzenparameter errechnet (siehe Formel 1, S. 105). Ein besonders hoher Nutzen wird z.B. für die Substitutions-Lösung der Problemeideen  $PI_6$  „Material sterilisieren bei der aseptischen Umverpackung von Behältern und Gebinde in der Abfüllung“ erwartet. Der strategische Anwendungsnutzen (Neuigkeitsgrad) ist groß, das Marktpotenzial attraktiv sowie das Lösungskonzept breit anwendbar. Außerdem stimmt die Problemlösung mit der Strategie als Technologieführer überein.

Tabelle 32: Nutzenbewertung der Problemeideen der Füll- und Verpackungsmaschine

Problemeidee	Nutzenparameter				Priorität <i>PRIO<sub>i</sub></i>
	<i>NU1<sub>i</sub></i>	<i>NU2<sub>i</sub></i>	<i>NU3<sub>i</sub></i>	<i>NU4<sub>i</sub></i>	
<i>PI<sub>1</sub></i> Reibung an der Führungswand des Kettentransportbands	1	3	3	2	9
<i>PI<sub>2</sub></i> Bakterielle Verschmutzung der Innenwand der Maschineneinhausung	3	2	2	3	10
<i>PI<sub>3</sub></i> Anhaftung an der Innenwand von Abfüllanlagen	2	3	3	3	11
<i>PI<sub>4</sub></i> Adhäsion an der Pipettenspitze (bei der Befüllung der Spritzen)	2	1	1	2	6
<i>PI<sub>5</sub></i> Elektrostatische Abstoßung an der Führungswand des Kettentransportbands (und an den K-Spritzen)	1	3	3	2	9
<i>PI<sub>6</sub></i> Sterilisation der aseptische Umverpackung von Behältern und Gebinde	3	3	3	3	12
<i>PI<sub>7</sub></i> Reibung von Kunststoffspritzen	3	3	1	3	10
<i>PI<sub>8</sub></i> Beschlagen der Verschleibung der Waschmaschine	2	1	1	1	5

Legende: Nutzen ist 3 – groß; 2 – mittel; 1 – klein

### 7.2.2.3 Umsetzungsphase 3: Identifikation und Auswahl von Lösungsideen

Die Suche nach Lösungskonzepten  $LK_{NT,i}$  für die Problemeideen  $PI_i$  erfolgte durch die Auswertung vorliegender Literatur zu den Eigenschaften von Nanomaterialien, ergänzt um eine Internetrecherche<sup>81</sup>, sowie durch leitfadengestützte Interviews mit Experten mit Übersichtswissen. Schlagworte für die Suche waren „Tribologie“ ( $PI_1$ ,  $PI_7$ ), „Sterilisation/Antimikrobiell/Photokatalytisch“ ( $PI_2$ ,  $PI_6$ ), „Antistatik“ ( $PI_3$ ), „Anti-Beschlag“ ( $PI_8$ ), „Superhydrophobie“ ( $PI_3$ ,  $PI_4$ ,  $PI_8$ ) sowie allgemein „Nanolack“.

Anhand der Schlagworte wurden Experten recherchiert und identifiziert. Hierzu wurde zunächst eine Experten-Datenbank mit rund 200 Experten aus den Bereichen Nanomaterialien und Nano-beschichtungen aufgebaut. Die Experten wurden aus den Nanotechnologie-Kompetenzzentren, Nanotechnologie-Unternehmen, Chemie-Unternehmen mit Nanotechnologieforschung und Fraunhofer-Instituten des Fraunhofer Themenverbundes Nanotechnologie zusammengestellt. Drei Experten aus Unternehmen und Fraunhofer-Instituten wurde für die Interviews ausgewählt:

- Chemieunternehmen B (Interview mit Technologie-Manager Nanomaterialien): Kratzfestigkeit, Antimikrobielle/Photokatalytische Ausrüstung, Antistatische Ausrüstung, Superhydrophobie
- Fraunhofer-Institut C (Interview mit Abteilungsleiter Großflächenbeschichtung): Kratzfestigkeit, Superhydrophobie, Antistatik
- Fraunhofer-Institut D (Interview mit Sprecher Polymer-Oberflächen): Nanolacke (Tribologie), Superhydrophobie, Antimikrobielle Ausrüstung

Für die Interviews wurde ein Gesprächsleitfaden entwickelt, um Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  für die einzelnen Problemeideen  $PI_i$  abzufragen (siehe Tabelle 46, Anhang Kap. 11.1.5). Leitfragen waren z.B. „Wie kann durch Nanotechnologie das Problem der Problemeidee  $PI_i$  gelöst werden?“ bzw. „Welchen Beitrag kann Nanotechnologie leisten“, „Wie lässt sich die Problemeidee  $PI_i$  mit dem vorhandenen Stand der Technik aus Ihrer Sicht realisieren?“, „Wo wird Forschungsbedarf

<sup>81</sup> Siehe hierzu eine Auflistung mit Beispielen von Informationsquellen zur Nanotechnologie im Internet in Tabelle 45 (Anhang Kap. 6.4.2.4).

erwartet?, „Gibt es bekannte Anwendungen im Medizin-Bereich?“ oder „Welche Forschungseinrichtungen haben einschlägiges Know-how?“.

Aus der Expertenbefragung und Literaturrecherche wurden geeignete Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  zusammengestellt, deren Systemfunktion  $SF_{NT,i}$  die Zweckfunktion  $ZF_i$  prinzipiell erfüllen konnte. Tabelle 33 zeigt beispielhaft das Lösungskonzept  $LK_{NT,6}$  „Photokatalytisch reaktive Oberfläche durch  $TiO_2$ “, wodurch ein Selbstreinigungs-Effekt bzw. eine antimikrobielle Ausrüstung erzielt werden kann.

Tabelle 33: Beispiel des Lösungskonzept  $LK_{NT,6}$  „Photokatalytisch reaktive Oberfläche durch  $TiO_2$ “

<b>Lösungskonzept <math>LK_{NT,6}</math></b>	Photokatalytisch reaktive Oberfläche durch $TiO_2$
<b>Bezug zu Problemidee</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>PI_2</math>: Bakterielle Verschmutzung der Innenwand der Maschineneinhausung</li> <li>• <math>PI_6</math>: Sterilisation der aseptische Umverpackung von Behältern und Gebinde</li> </ul>
<b>Systemfunktion <math>SF_{NT,6}</math></b>	Photokatalyse (mit Selbstreinigungs-/antimikrobiellem Effekt)
<b>Wirkstruktur <math>WS_{NT,6}</math></b>	Nanomaterial: Nanoskaliges $TiO_2$ (Anatas-Titandioxid)
<b>Wirkort</b>	Oberfläche (Beschichtung mit Wirkstruktur $WS_{NT,i}$ )
<b>Beschreibung</b>	Unter Lichteinfall (Absorptionsmaximum liegt im UV-B Strahlungsbereich) bilden sich im Titandioxid (Halbleiter) Elektronen-Lochpaare, die an die $TiO_2$ -Oberfläche diffundieren. Bei ausreichender Feuchte und Sauerstoff bilden sich dort Radikale (Wasserstoffperoxid $H_2O_2$ und Hydroxylradikale $OH^\cdot$ ). Diese zersetzen organisches Material und wirken deshalb auch antimikrobiell.
<b>Applikation</b>	Nanomaterial ( $TiO_2$ ) eingebettet in einem porösen, oxidationsstabilen Schichtsystem als transparenter Lack
<b>Randbedingungen</b>	Anwendungsunspezifisch: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorhandensein von UV-Licht, <math>H_2O</math> (mind. 30% Luftfeuchte) und Luft/<math>O_2</math></li> <li>• Geeignete Fläche für den Selbstreinigungseffekt, damit Wasser die organischen Reste abwaschen kann (mechanisches Abtragen)</li> </ul>

Die recherchierten Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  wurden in das House of Nanotechnology (HoNT) übertragen, um sie den zugehörigen Problemideen  $PI_i$  gegenüberzustellen und den Erfüllungsgrad  $EG_i$  zu bewerten (Abbildung 37). Die Bewertung erfolgte anhand der Nutzungsmöglichkeit, der Funktionserfüllung und der Anwendbarkeit des Lösungskonzepts  $LK_{NT,i}$  (siehe Tabelle 25, Kap. 6.4.2.2).



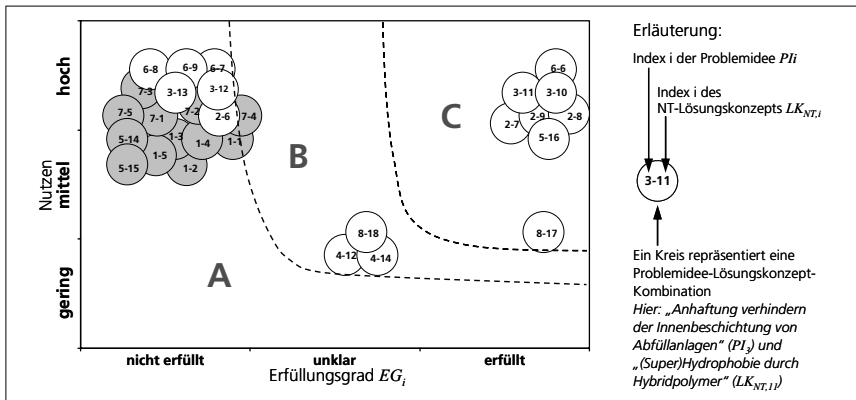


Abbildung 38: Nutzen-Erfüllungsgrad-Portfolio

Aus der Portfolio-Darstellung wurden für die weitere Detaillierung die Kombinationen ausgewählt, deren Nutzen hoch war und der Erfüllungsgrad als erfüllt eingeschätzt wurde (Bereich C im Portfolio):

- Bakterielle Verschmutzung der Innenwand der Maschineneinhausung ( $PI_2$ ) verhindern durch antimikrobielle Ausrüstung durch Silber-Nanopartikel ( $LK_{NT,7}$ )
- Bakterielle Verschmutzung der Innenwand der Maschineneinhausung ( $PI_2$ ) verhindern durch antimikrobielle Ausrüstung durch ZnO-Nanopartikel ( $LK_{NT,8}$ )
- Bakterielle Verschmutzung der Innenwand der Maschineneinhausung ( $PI_2$ ) verhindern durch antimikrobielle Ausrüstung durch Hybridpolymer ( $LK_{NT,9}$ )
- Anhaftung an der Innenwand von Abfüllanlagen ( $PI_3$ ) verhindern durch Superhydrophobie (Reduktion Oberflächenenergie) durch Nanostrukturierung mit Wachspartikel ( $LK_{NT,10}$ )
- Anhaftung an der Innenwand von Abfüllanlagen ( $PI_3$ ) verhindern durch (Super)Hydrophobie durch Hybridpolymer ( $LK_{NT,11}$ )
- Sterilisation der aseptische Umverpackung von Behältern und Gebinde ( $PI_6$ ) ermöglichen durch Photokatalytisch reaktive Oberfläche durch  $TiO_2$  ( $LK_{NT,6}$ )
- Elektrostatische Abstoßung an der Führungswand des Kettentransportbands (und an den K-Spritzen) ( $PI_5$ ) verhindern durch hohe elektrische Leitfähigkeit (Antistatik-Ausrüstung) durch ITO (Indium-Zinn-Oxid) ( $LK_{NT,16}$ )

Zur Vorbereitung der detaillierten Analyse der Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  wurden die ausgewählten Problemideen  $PI_2$ ,  $PI_3$ ,  $PI_5$  und  $PI_6$  anhand der wichtigsten Anforderungen beschrieben. Tabelle 34 zeigt beispielhaft die detaillierte Beschreibung der Problemidee  $PI_6$  mit den spezifischen Anforderungen, die eine etwaige Lösung durch nanoskaliges  $TiO_2$  erfüllen muss.

Tabelle 34: Beschreibung der Anforderungen am Beispiel der Problemeidee  $PI_6$

Formblatt zur Beschreibung der Anforderungen der Problemeidee $PI_6$		
Unternehmen:	Unternehmen Alpha	Analyseobjekt: Füll- und Verpackungsmaschine
Problemeidee $PI_i$ und Lösungs idee $LI_{NT,i}$		
Funktionselement $FE_6$	Auspacker/Sterilisator	
Problemeidee $PI_6$	Sterilisation der aseptische Umverpackung von Behältern und Gebinde	
Funktionale Zielsetzung	Verbesserung der Wirksamkeit, neues technisches Konzept/Substitution (bisher E-beam)	
Problembeschreibung	Nach dem Auspacken der Behälter mit dem Spritzen-Nest aus dem Umverpackungsbeutel muss der Behälter nochmals sterilisiert werden, um eine Verkeimung durch die Übertragung von Keimen auf der Beuteloberfläche auf den Behälter zu verhindern. Bisher erfolgt die Sterilisierung mit E-beam.	
Wirkstruktur $WS_{NT,6}$	Nanoskaliges $TiO_2$ (Antanas-Titandioxid)	
Lösungskonzept $LK_{NT,6}$	Photokatalytisch reaktive Oberfläche durch $TiO_2$	
Experte		
Name	Herr Dr. Claus Lang-Koetz	
Funktion	Leiter Forschung Nanomaterialien	
Unternehmen	Chemics AG	
Adresse	Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart	
Anforderungen der Problemeidee an die Lösungs idee		
Funktion und Leistung	Sterilisierung	Reduktion des Keimwachstums um 6log-Stufen (bisherige Reduktion bei UV-Bestrahlung log3 bis log4-Stufen)
	Prozess	Gasdurchlässigkeit der Tyvek®-Folie darf nicht verschlechtert werden
Betrieb	Dauerhaftigkeit der Funktion	2-5 Jahre
	Applikation der Beschichtung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tyvek®-Folie ist ein Fasergeflecht, auf Rolle gewickelt</li> <li>Einzelteile (vor Verklebung) beschichten (gute Klebverbindung gewährleisten)</li> </ul>
Gestalt/technisches Design	Substrat der Anwendung	Tyvek® (=PE), PP-Wannen (Verpackung der Nester für Spritzen), PE-Beutel (Umverpackung für PP-Wannen)
	Transparenz	nicht erforderlich
Prüfverfahren und Qualitätssicherung		<ul style="list-style-type: none"> <li>mikrobiologisches Labor</li> <li>Messung der Druckdifferenz</li> <li>Test auf Produktionsanlage/Simulation des Handlings</li> <li>chemisches Labor</li> </ul>
Umfeldbedingung	Temperaturbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Raumtemperatur bis 60°C</li> <li>Tyvek®-Folie wird bei ca. 135°C verklebt mit Wanne (3,0s bis 7,0s)</li> <li>PE-Beutel werden verschweißt bei 140°C</li> </ul>
	Feuchte	normale Luftfeuchtigkeit
	Kontakt/Wechselwirkung mit anderen Substanzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>ETO (Ethylenoxid)</li> <li><math>\gamma</math>-Strahlung</li> </ul>
Umweltschutz	Effizienz	Verbesserung der Prozess- und Ressourceneffizienz
Anforderungen Zielsystems $Z_3$	weitere geforderte Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> <li>keinen Einfluss auf Medikamenteneigenschaften</li> <li>FDA- Konformität/USP Class IV</li> </ul>

Für die ausführliche Diskussion und Bewertung der Relevanz der ausgewählten Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  wurden Experten aus dem Chemieunternehmen B und dem Fraunhofer-Institut D ausgewählt, die auch schon in den Interviews befragt wurden, sowie ein Experte eines weiteren Che-



mieunternehmens E zu der superhydrophoben Beschichtung mit Wachsdepottechnik identifiziert. Alle ausgewählten Experten hatten Zugriff auf Entwicklungs- und Forschungskapazitäten im Unternehmen oder der Forschungseinrichtung und Erfahrung sowohl mit der Nanoforschung als auch der Entwicklung von Produkten oder Halbzeugen. Die Beschreibungen der jeweiligen Problemeidee  $PI_i$  (siehe Tabelle 34) wurde den Experten zugesandt zur Vorbereitung des Workshops.

Parallel zu den Workshops (mit ausgewählten Experten) wurde gemeinsam mit der Anwendung im Unternehmen Beta für einige Problemeideen  $PI_i$  eine schriftliche Befragung unter rund 200 Experten durchgeführt, um die Ergebnisse der Workshops und die Bewertung der Innovationspotenziale abzusichern (siehe Tabelle 7).<sup>82</sup> In einem Fragebogen wurden für die einzelnen Kombination aus Problemeidee  $PI_i$  und Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  u. a. der Realisierungszeitraum, der FuE-Aufwand, das Markt- und Technologiepotenzial sowie Umwelteffekte abgefragt. Die Kombination von Problemeidee  $PI_3$  (Anhaftung verhindern an der Innenwand von Abfüllanlagen) mit dem Lösungskonzept  $LK_{NT,10}$  (Nanostrukturierung mit Wachspartikel bzw. Wachsreservoirtechnik) wurde von den befragten Experten z.B. erst für den Zeitraum 2011 bis 2015 als realisierbar eingeschätzt. Die notwendigen FuE-Aufwände sind beträchtliche (> 500.000 Euro), während das Markt- und Technologiepotenzial nur als mittel eingestuft wurde (Marktpotenzial 500 – 50 Mio. Euro). Einige Experten machten deutlich, dass eine superhydrophobe Ausrüstung nur für 3-Phasensysteme geeignet ist oder die Technik für die gewünschte Funktion ungeeignet ist.

#### 7.2.2.4 Umsetzungphase 4: Bewertung des Innovationspotenzials

In den jeweiligen Workshops mit den Fach-Experten wurden gemeinsam mit dem Projektteam des Unternehmens Alpha die Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  analysiert, die zu dem Fachgebiet des Experten gehören, und das Innovationspotenzial  $IP_i$  bewertet. Die Workshops wurden entsprechend dem Problemlösungsvorgehen aus der Problemdefinition, Konzeptanalyse sowie Bewertung und Auswahlentscheidung aufgebaut:

- Problemdefinition: Zunächst wurden die problemeidespezifischen Anforderungen durch das Unternehmen Alpha geschildert sowie der Anwendungshintergrund erläutert, um ein gemeinsames Problemverständnis zu schaffen.
- Konzeptanalyse: Anschließend erfolgt eine kurze Vorstellung der Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  durch den Experten mit den lösungsideespezifischen Kriterien der möglichen Anwendung. Leitfragen hierfür waren z.B. die technische Machbarkeit, das zugrunde gelegte Lösungsprinzip, Leistungsparameter, bisher durchgeführte Tests, das Technologiepotenzial aus Sicht der Entwickler oder Applikationsverfahren (siehe Tabelle 27, Kap. 6.5.2.1). Dadurch konnte das Unternehmen Alpha einen zielführenden Überblick über das Potenzial der Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  erlangen.
- Bewertung und Auswahlentscheidung: Beide Anforderungsgruppen, die der Problemeidee und die der Lösungsidee wurden dann zusammengeführt und zu einem Anforderungskatalog für die Bewertung verdichtet und der Lösungsbeitrag der Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  bewertet.

Die Durchführung der einzelnen Workshops zeigte, dass nicht alle Anforderungen zu Beginn vollständig erfasst werden konnten. Ein Grund war, dass das jeweilige „Gegensystem“ aus Problemeidee- oder Lösungsidee-Sicht unbekannt war. Somit waren die relevanten Merkmale, nach

---

<sup>82</sup> Die Befragung wurde gemeinsam für die Unternehmen Alpha und Beta durchgeführt. 50 Experten antworteten (Rücklaufquote von 20%), 39 Fragebogen davon waren auswertbar. Detaillierte Ergebnisse finden sich bei (Heubach, Angerer 2007). Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 in Kap. 3.2.5 dargestellt.

denen die Problem- oder Lösungsidee beschrieben werden musste, nur unvollständig bekannt. Erst in der gemeinsamen Diskussion konnte das Bewertungsraster definiert werden. Folgende Innovationspotenziale  $IP_i$  wurden für den Bewertungsvorgang aus Problemeideen  $PI_i$  (Ziel) und Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  (Mittel) zusammengestellt:

- $IP_1$  ( $PI_2$  und  $LI_{NT,7}$ ): Die Sterilität der Maschineneinhausung im Befüller wird ermöglicht durch die Funktionsintegration einer antimikrobiellen Ausrüstung mit Silber-Nanopartikel in einem Lack an der Innenwand.
- $IP_2$  ( $PI_2$  und  $LI_{NT,8}$ ): Die Sterilität der Maschineneinhausung im Befüller wird ermöglicht durch die Funktionsintegration einer antimikrobiellen Ausrüstung mit ZnO-Nanopartikel in einem Lack an der Innenwand.
- $IP_3$  ( $PI_2$  und  $LI_{NT,9}$ ): Die Sterilität der Maschineneinhausung im Befüller wird ermöglicht durch die Funktionsintegration einer antimikrobiellen Ausrüstung mit einer Hybridpolymer-Beschichtung mit Konservierungsstoffen an der Innenwand.
- $IP_4$  ( $PI_3$  und  $LI_{NT,10}$ ): Die Anhaftung von flüssigen und viskosen Stoffen in Abfüllanlagen (Behälter, Rohre, etc.) wird reduziert durch die Funktionsoptimierung einer superhydrophoben Ausrüstung durch Nanostrukturierung mit Wachsreservoirtechnik in einer Beschichtung an der Rohr-/Behälterinnenwand.
- $IP_5$  ( $PI_3$  und  $LI_{NT,11}$ ): Die Anhaftung von flüssigen und viskosen Stoffen in Abfüllanlagen (Behälter, Rohre, etc.) wird reduziert durch die Funktionsoptimierung einer superhydrophoben Ausrüstung mit einer Hybridpolymer-Beschichtung an der Rohr-/Behälterinnenwand.
- $IP_6$  ( $PI_6$  und  $LI_{NT,6}$ ): Der Prozess der Sterilisation der Spritzenbehälter-Außenwand nach dem Auspacken aus der Umverpackung wird substituiert durch eine photokatalytisch reaktive Behälter-Oberfläche mit  $TiO_2$  und durch UV-Licht.
- $IP_7$  ( $PI_5$  und  $LI_{NT,16}$ ): Die elektrostatische Abstoßung von Kunststoffbehältnissen untereinander und an der Führungswand des Kettentransportbands im Sterilisator und Befüller wird verhindert durch die Funktionsoptimierung einer Antistatik-Ausrüstung (hohe elektrische Leitfähigkeit) mit Indium-Zinn-Oxid (ITO) in einer Beschichtung als kleiner transparenter Ring auf der Spritze.

Für jedes Innovationspotenzial  $IP_i$  wurde in dem Workshop der Gesamtnutzen der Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  aufgrund der Anforderungen bewertet. Tabelle 35 zeigt beispielhaft die Nutzwertanalyse des Innovationspotenzial  $IP_5$ . Für jede Anforderung wurde der Teilnutzen  $TN_i$  der Lösungsidee  $LI_{NT,9}$  in einer einfachen ABC-Bewertung (9-3-1 Punktesystem) bestimmt.

Die Anforderungen wurden aus dem Zielsystem sowie den problemidee- und lösungsideespezifischen Anforderungen zusammengestellt. Die meisten Anforderungen könnten durch eine oleophobe oder superhydrophobe Hybridpolymer-Beschichtung prinzipiell erreicht werden. Besonders die Festforderungen „keinen Einfluss auf Medikamenteneigenschaften“ und „einfaches applizieren durch Unternehmen Alpha“ könnten erfüllt werden, letzter Punkt z.B. durch Fluten der Rohre. Insgesamt zeigte sich, dass die Frage der Applikation neben den Leistungsparametern der gewünschten Systemfunktion eine große Rolle in der Bewertung des Lösungsbeitrags spielt.

Tabelle 35: Bewertung des Innovationspotenzial am Beispiel des Innovationspotenzials  $IP_5$

<b>Innovationspotenzial <math>IP_5</math></b> <b>Anhaftung von flüssigen und viskosen Stoffen in Abfüllanlagen wird reduziert durch eine superhydrophoben Ausrüstung mit Hybridpolymer-Beschichtung an der Rohr-/Behälterinnenwand (Funktionsoptimierung)</b>	<b>Referenz <math>RW_i</math></b> <b>Problemeidee <math>PI_5</math></b>	<b>Teilnutzen</b> <b>Lösungsidee <math>LI_{NT,11}</math></b>
<b>Anforderungen der Problemeidee <math>PI_5</math> und Lösungsidee <math>LI_{NT,11}</math></b>	Teilnutzen $TN_i$	Teilnutzen $TN_i$
Oleophobisierung mit Randwinkel für Wasser von 95 – 105°C	9	9
Zusätzliche antimikrobielle Ausrüstung	9	9
Substrat: Edelstahl (Güte 1.44.04), Glas, Kunststoff (PE, PET, POM, PEEK)	9	3
Rohrinnenweite ist 20 mm	9	9
Langlebigkeit der Funktion (wünschenswert 20 Jahre)	9	3
Temperaturbedingung der Anwendung (RT, Sonderfälle: Abfüllung zw. 4°C und 60°C, Reinigung mit Wasser bis max. 85°C, evtl. Sterilisation mit Dampf bei 135°C)	9	9
Transparenz	9	9
Wechselwirkung/Kontakt mit anderen Substanzen (Reinigungs- und Desinfektionsmittel: Säuren, Laugen, Tenside, Wasser, Alkohol, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	9	3
mechanisch beanspruchbar (Wischdesinfektion, ...)	9	9
Aushärtung thermisch	9	9
<b>Festforderungen der Problemeidee <math>PI_5</math></b>		
keinen Einfluss auf Medikamenteneigenschaften		1
einfaches applizieren durch Unternehmen Alpha		1
<b>Referenzwert der Problemeidee (Summe <math>TN_i</math> der Anforderungen) <math>PI_5</math></b>	<b>90</b>	
<b>Lösungsbeitrag:</b> (Summe $TN_i$ der Anforderungen, multipliziert mit den $TN_i$ der Festforderungen)		<b>72</b>

Legende: Ziel der Anforderung: 9 – erfüllt; 3 – teilweise erfüllt; 1 – nicht erfüllt

Der Gesamtnutzen  $GN_5$  als Lösungsbeitrag der Lösungsidee  $LI_{NT,9}$  wurde mit folgender Formel berechnet (siehe Formel 4, S. 118):

$$GN_i = \left( \sum_{i=1}^n g_i \cdot TN_i \right) \cdot \left( \prod_i TN_i^{[Festforderung]} \right)$$

Mit dem Gewichtungsfaktor  $g_i = 1$  ergab der Lösungsbeitrag  $GN_5$  der Lösungsidee  $LI_{NT,11}$ :

$$GN_5 = (9 + 9 + 3 + 9 + 3 + 9 + 9 + 3 + 9 + 9) \cdot (1 \cdot 1) = 72$$

Zur Übertragung des Lösungsbeitrags des Innovationspotenzials  $IP_5$  in das Innovationspotenzial-Portfolio wurde dann der spezifische Lösungsbeitrag  $spezGN_5$  errechnet (siehe Formel 6, S. 119):

$$spezGN_5 = \frac{GN_5}{RW_5} = \frac{72}{90} = 0,8$$

Für das Beispiel des Innovationspotenzials  $IP_5$  beträgt der spezifischer Lösungsbeitrag  $spezGN_5$  0,8. D.h. die Lösungsidee  $LI_{NT,11}$  des Hybridpolymers mit superhydrophoben oder oleophoben Eigenschaften konnte prinzipiell die Anforderungen weitestgehend erfüllen, sodass eine weitere detaillierte Analyse mit Tests vielversprechend erscheint.

Dieser Vorgang wurde für jedes Innovationspotenzial  $IP_i$  durchgeführt. Anschließend wurden alle spezifischen Lösungsbeiträge  $spezGN_i$  der Innovationspotenziale  $IP_i$  in das Innovationspotenzial-Portfolio übertragen. Die Bestimmung der Anwendungsreife wurde ebenfalls in den jeweili-

gen Workshops vorgenommen. Eine Projektion der Technologieentwicklung für einen Zeitraum  $t_1 = 5$  Jahre wurde für die Lösungsidee  $LI_{NT,10}$  „superhydrophobe Ausrüstung durch Nanostrukturierung mit Wachsreservoirtechnik“ aufgrund der schriftlichen Befragung sowie der Experteneinschätzung vorgenommen.

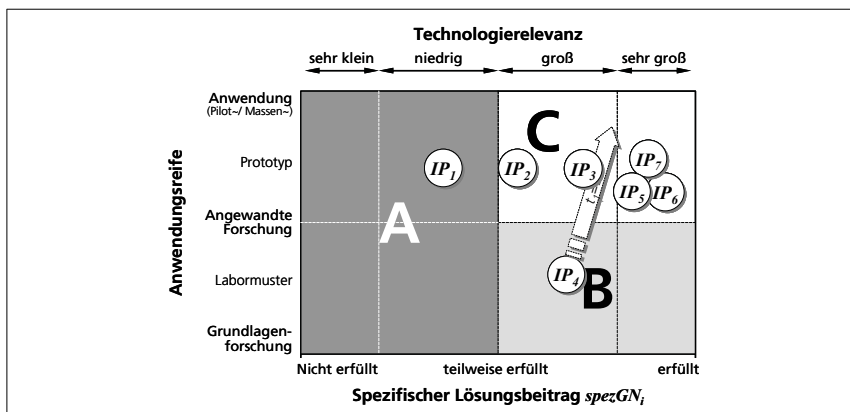


Abbildung 39: Innovationspotenzial-Portfolio für das Unternehmen Alpha

Die Verortung der einzelnen Innovationspotenziale  $IP_i$  zeigte, dass die oleophobe Hybridpolymer-Beschichtung ( $LI_{NT,11}$ ) zur Verringerung der Anhaftung von flüssigen und viskosen Stoffen in Abfüllanlagen ( $IP_5$ ), die photokatalytische Beschichtung mit  $TiO_2$  ( $LI_{NT,6}$ ) zur Sterilisierung der Außenwand der Spritzen-Behälter ( $IP_6$ ) und die Antistatik-Ausrüstung mit Indium-Zinn-Oxid ( $LI_{NT,16}$ ,  $IP_7$ ) eine sehr große Technologierelevanz besitzen und sich bereits (für Anwendungen vergleichbarer Art) im Prototypenstadium befinden. Der Einsatz superhydrophober Wachsdepot-Beschichtungen ( $LI_{NT,10}$ ) in Behältern und Leitungen von Kosmetik-Abfüllanlagen war von den Leistungsparametern vielversprechend, allerdings ist die Technik noch weitestgehend im Laborstadium. Zudem konnte nicht abschließend geklärt werden, ob Wachspartikel in die flüssigen und viskosen Stoffe übergehen können. Das Vorhandensein von Silber-Ionen ( $LI_{NT,7}$ ) in der Maschineneinhausung im Befüller wurde aufgrund restriktiver Gesetze und den Grundlagen des Good Manufacturing Practice (GMP) als kritisch angesehen, weshalb die Relevanz als eher niedrig eingestuft wurde. Gleiches gilt für ZnO-Nanopartikel ( $LI_{NT,8}$ ).

### 7.2.2.5 Umsetzungsphase 5: Planung und Umsetzung der Maßnahmen

Entsprechend der Verortung der einzelnen Innovationspotenziale  $IP_i$  im Innovationspotenzial-Portfolio (Feld A, B oder C) und der gemeinsamen Diskussionen von Projektteam und Technologieexperten wurden Strategien für das weitere Vorgehen festgelegt. Für die Innovationspotenziale  $IP_5$ ,  $IP_6$  und  $IP_7$  sowie  $IP_4$  (aufgrund der Entwicklungsprognosen) wurden entsprechend der Anwendungsreife weitere Maßnahmen für Test und Analysen mit den jeweiligen Experten vereinbart (Strategie C) mit dem Ziel, an realen Bauteilen die Applikation sowie Funktionsfähigkeit zu testen und den Entwicklungsaufwand abzuschätzen (Machbarkeitsstudie). Die Innovationspotenziale  $IP_1$ ,  $IP_2$  und  $IP_3$  wurden nicht weiter verfolgt.

- Für das Innovationspotenzial  $IP_6$  (Sterilisierung durch  $TiO_2$  im Sterilisator) wurde vereinbart, dass durch das Chemieunternehmen B eine  $TiO_2$ -Dispersion bereitgestellt wird und das Unternehmen Alpha Tests durchführt. Eine Liste der bisher getesteten Bakterien-

stämme sowie Testvorschriften wurde durch das Chemieunternehmen bereitgestellt, um dies mit den Sterilitäts-Anforderungen abzugleichen.

- Für das Innovationspotenzial  $IP_7$  (Antistatik-Ausrüstung mit ITO) wurden weitere Tests festgelegt, um zu klären, ob eine Ausrüstung der Führungsschiene des Transportbadens möglich ist. Hierzu übergab das Unternehmen Alpha ein Bauteil an das Chemieunternehmen B. Dieses wurde dort beschichtet und anschließend beim Unternehmen Alpha Tests unterzogen.
- Für das Innovationspotenzial  $IP_5$  (superhydro- oder oleophobe Ausrüstung durch Hybridpolymer-Beschichtung) wurde vereinbart, die Anforderungen der Problemidée  $PI_3$  durch das Unternehmen Alpha zu spezifizieren (Lastenheft) als Grundlage für eine Machbarkeitsuntersuchung durch das Fraunhofer-Institut D.
- Um die Anwendungsreife des Innovationspotenzials  $IP_4$  (superhydrophobe Ausrüstung durch Nanostrukturierung mit Wachsreservoirtechnik) näher bestimmen zu können, wurden Tests vereinbart. Das Unternehmen Alpha sendete hierfür Prüfkörper an das Chemieunternehmen E, welche dort beschichtet und anschließend durch das Unternehmen Alpha getestet wurden.

### 7.2.3 Nutzen der Anwendung für das Unternehmen Alpha

Durch die Anwendung des Verfahrens beim Unternehmen Alpha konnte die Relevanz der Nanotechnologie für das Unternehmen Alpha anhand der Funktion von Nanomaterialien identifiziert und bewertet werden. Das Unternehmen konnte sich aufwandsarm und anwendungsspezifisch Zugang verschaffen zu einer neuen emergenten Technologie wie die Nanotechnologie. Nanomaterialien und -strukturen und deren Funktionen wurden den funktionalen Anforderungen möglicher Anwendungen in Füll- und Verpackungsmaschinen gegenübergestellt.

Zunächst konnten 29 Kombinationen aus anwendungsseitiger Problemidée und nanotechnologischem Lösungskonzept gebildet werden. Eine erste Analyse reduzierte die Anzahl auf sieben Kombinationen, die weiter spezifiziert und beschrieben wurden für eine eingehendere Bewertung. Durch die schnelle Eingrenzung auf relevante Problem- und Lösungsideen konnte der Aufwand gering gehalten und ein effizientes Vorgehen gewährleistet werden. Einfache Analyse- und Bewertungsmethoden sorgten für ein transparentes Vorgehen und Anpassbarkeit des Methodeneinsatzes. Implizites Fachwissen wurde für die Recherche von Lösungskonzepten genutzt und in die Analyse und Bewertung der nanotechnologischen Lösungen eingebunden. Mit unterschiedlichen Unternehmen der Nanotechnologie wurden verschiedene Vereinbarungen über weiterführende Tests und Entwicklungen getroffen.

Der Nutzen der Anwendung für das Unternehmen Alpha bestand in folgenden Aspekten:

- Es konnte **erstmalig ein systematischer Zugang zur Nanotechnologie** für das Unternehmen geschaffen werden. Dadurch wurde das Unternehmen befähigt, bei neuen Problemen oder Änderungswünschen auch die Lösungsmöglichkeiten der Nanotechnologie mit in Betracht zu ziehen. Das Unternehmen Alpha führt selbst keine Forschung und Entwicklung im Bereich der Werkstoffe durch, vielmehr werden die meisten Bauteile und Halbzeuge zugeliefert. Durch die Stärkung seiner nanotechnologischen Kompetenz wird das Unternehmen nun aber in die Lage versetzt, Kundenwünsche in technische Lösungen zu übertragen, die gegebenenfalls von Zulieferern oder neuen Partner in der Wertschöpfungskette realisiert werden müssen.
- Es wurden **viele neue Ideen für innovative Produktlösungen und -funktionen** identifiziert, indem unternehmensspezifisch und umfassend das Anwendungspotenzial der Nanotechnologie analysiert und bewertet wurde. Identifizierte Innovationspotenziale

betreffen die Substitution von Prozessschritten, Integration neuer Funktionen auf Oberflächen oder die Optimierung existierender Eigenschaften.

Ihre Umsetzung erhöht den Kundennutzen, indem die Prozesssicherheit der Maschine erhöht wird (z.B. Überwachung der Waschmaschine), der Betrieb kostengünstiger wird (z.B. weniger Ausfallzeiten, neuer und kostengünstiger Sterilisationsprozess) oder die Ressourcen effizienter eingesetzt werden (z.B. weniger Reinigungsaufwand, weniger Rückstände). Durch die Idee eines neuen Sterilisationsprozesses würde ein neues technisches Prinzip Anwendung finden. Damit konnte das Unternehmen neue Ansatzpunkte zur Verfolgung der Strategie als Technologieführer sowie zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit gewinnen. Für die weitere Verfolgung und Realisierung müssen dann Zulieferer mit eingebunden werden.

- Die **Entscheidung zur Auswahl und Umsetzung der Innovationspotenziale** wurde durch den Bewertungsansatz und die Maßnahmenplanung systematisch unterstützt. Die Informationsgrundlagen und -qualität über die nanotechnologische Potenziale und damit die Qualität und Aussagekraft der Entscheidung konnte erheblich verbessert werden.
- Das **Netzwerk des Unternehmens** mit anderen Forschungsinstitutionen und Technologieexperten wurde um den Bereich Nanotechnologie ergänzt. Neue Kooperationspartner für die vorgelagerten Stufen der Wertschöpfungskette wurden hinzugewonnen und somit die Wettbewerbskompetenz gesteigert.

### **7.3 Anwendung des Verfahrens am Beispiel eines Unternehmens der Sanitärbranche (Unternehmen Beta)**

#### **7.3.1 Ausgangssituation im Unternehmen**

Das Unternehmen Beta ist in der Sanitärbranche tätig. Zum Produktspektrum gehören u. a. Brausen, Bad- und Küchenarmaturen, Dusch- und Hydromassagesysteme sowie Anlagen zum vollautomatischen Grauwasserrecycling. Das Unternehmen konstruiert und produziert die verschiedenen Armaturen, Badsystemlösungen und Anlagen im Hochpreissegment mit hohen Ansprüchen an Design und Qualität sowie innovativen Lösungen. Ein Großteil des Umsatzes entfällt auf Produkte, die nicht älter als drei Jahre sind. Das Unternehmen forscht und entwickelt in den Bereichen Werkstoffe, Lacke und Beschichtungen und betreibt Strahl-, Prüf- und Messlabors.

Die Produkte bestehen aus Edelstahl oder verchromtem Kunststoff. Die Edelstahl-Oberflächen von Designbrausen und -badarmaturen haben durch die spezielle Haptik auch eine Begeisterungsfunktion, die zum Produktnutzen beitragen. Armaturen im Sanitärbereich sind ständig mit Wasser in Kontakt, ebenso sind sie kontinuierlich, meistens nicht definierten Reinigungsvorgängen und -chemikalien durch den Endnutzer ausgesetzt. Dies bedeutet erhöhte Anforderungen an die Oberflächengüte und -optik. Auftretende Probleme sind z.B. Wasser- und Kalkränder, Biofilme oder Gebrauchsspuren auf Oberflächen, die die Qualitätsanmutung der Produkte beeinträchtigen.

#### **7.3.2 Beschreibung der Anwendung**

##### **7.3.2.1 Umsetzungsphase 1: Definition der Zielsetzung**

Zu Beginn der Analyse wurde ein Projektteam aus dem Gesamtverantwortlichen der Abteilung Galvanik, Oberflächentechnologie und Chemische Entwicklungen sowie dem Leiter Technologie zusammengestellt.

Als Analyseobjekt wurden eine Standard-Badarmatur (Brause, Schlauch, Kacheln, Duschwand), ein Gießwerkzeug der Graugussherstellung sowie eine Grauwasserrecycling-Anlage ausgewählt. Die vom Projektteam aufgestellten Ziele der Technologierelevanzanalyse waren im Einzelnen:

- Die Aktualisierung des bisherigen Wissenstandes über Entwicklungen, Materialien, Funktionalitäten und Entwicklungspartner der Nanotechnologie.
- Die Identifikation neuer Anwendungsgebiete der Nanotechnologie im Produktspektrum.
- Die Unterstützung der Strategie als Technologieführer und Innovator ( $Z_1$ ).
- Allgemein die Reduktion von Verschmutzung und Gebrauchsspuren von wasserführenden Teilen bzw. die Verbesserung der Reinigbarkeit von Badarmaturen.
- Die Unterstützung der Umweltfreundlichkeit der Produkte.
- Die Aufrechterhaltung der Qualitätsanmutung und Oberflächenhaptik von Badarmaturen.

### 7.3.2.2 Umsetzungsphase 2: Identifikation und Beschreibung von Problemideen

In einem Workshop wurden die Analyseobjekte in ein Funktions- sowie Objektmodell zerlegt. Zunächst wurde ein gemeinsames Verständnis über die Wirkprinzipien geschaffen, anschließend wurde die Standard-Sanitärarmatur in ihre gestalterischen (Objektmodell) und funktionalen (Funktionsmodell) Bausteine dekomponiert. Für das Gießwerkzeug wurde allein ein Objektmodell erstellt, da bereits ein konkretes Optimierungspotenzial an der Innenseite des Gießwerkzeugs (Reduktion der Wärmeverluste aus Gießformen) identifiziert worden war. Zu einem späteren Zeitpunkt wurde zusätzlich eine Grauwasserrecycling-Anlage analysiert und eine mögliche funktionale Unterstützung der Nanotechnologie im Bereich der Desinfektion/Reinigung von Grauwasser durch Photokatalyse identifiziert.

Abbildung 40 zeigt das Objektmodell der Standard-Sanitärarmatur. Diese wurde in die drei Hauptbereiche Duschsystem, Armatur und Verkleidung unterteilt. Objektelemente waren z.B. die „Innenwand“ des Schlauchs, die „Strahlscheibe“ der Duschbrause oder die „Keramik-kacheln“ der Verkleidung.

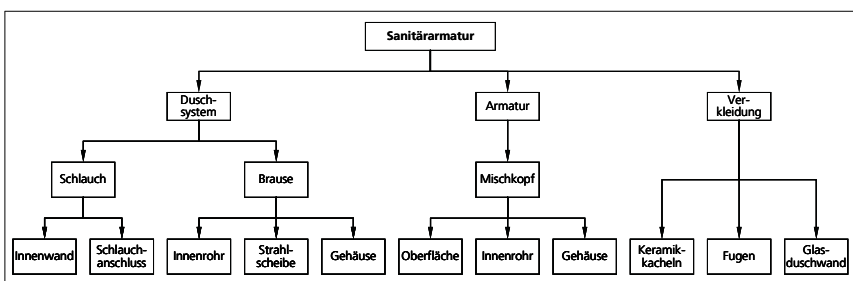


Abbildung 40: Objektmodell der Standard-Sanitärarmatur

Auf der Grundlage des Objekt- und Funktionsmodells der Standard-Sanitärarmatur und des Gießwerkzeugs wurden die einzelnen Elemente  $FE_i$  und  $OE_i$  dahingehend analysiert, ob ein Problem für dieses Element besteht, das auf eines der vier Wirkprinzipien  $WP_i$  zurückgeführt werden kann bzw. eines oder mehrere der Wechselwirkungen der Prinzipien mit dem Problem in Zusammenhang stehen. So wurde z.B. für die Innenwand und den Schlauchanschluss des Schlauchs die Frage gestellt:

- Treten für das Objektelement  $OE_1$  „Innenwand“ und  $OE_2$  „Schlauchanschluss“ Probleme auf/besteht Verbesserungspotenzial/können Funktionen substituiert werden, die auf mechanischen, chemischen oder biologischen Kontakt an der Oberfläche zurückgeführt werden können? Betrifft dies die Oberfläche oder das Material von Element  $OE_1$  oder  $OE_2$ ? (Wirkprinzip  $WP_{2A}$  oder  $WP_{2B}$ )
- Treten für das Objektelement  $OE_1$  „Innenwand“ und  $OE_2$  „Schlauchanschluss“ Probleme auf/besteht Verbesserungspotenzial/können Funktionen substituiert werden, die mit elektrischen, magnetischen, optischen, thermischen/thermodynamischen Feldern zusammenhängen? Betrifft dies die Oberfläche oder das Material von Element  $OE_1$  oder  $OE_2$ ? (Wirkprinzip  $WP_{1A}$  oder  $WP_{1B}$ )

Die erste Frage führte dann z.B. auf das Problemfeld des Bakterienwachstums (Biofilm) und der Kalkablagerungen in wasserführenden Bauteilen. Hintergrund ist, dass sich in wässrigen Systemen an Grenzflächen oder an der Wasseroberfläche ein Biofilm aus Mikroorganismen bilden kann. Im Schlauchsystem sind besonders Änderungen der Schlauchgeometrie und des Schlauchdurchmessers, in denen das Wasser nicht abfließt und somit sich dauerfeuchte Stellen bilden, aber auch der komplette Schlauch betroffen. Die unerwünschten Auswirkungen sind eine Verengung des Durchmessers durch Zuwachsen des Schlauchs, optische und olfaktorische Beeinträchtigungen und Belästigungen sowie eine durch Biofilm verursachte Biokorrosion (Szewzyk, Szewzyk 2003). Die möglichen funktionalen Maßnahmen zur Vorbeugung der Biofilmbildung betreffen das vollständige Abfließen des Wasser (superhydrophob), die Desinfektion und Entkeimung von Oberflächen (antibakteriell/biozid oder photokatalytisch) und die Verhinderung des Nährstoffeintrags durch eine Diffusionsschutzschicht, da die Weichmacher u. a. als Nährmedium für den Biofilm dienen (vgl. UBA 2002).

Tabelle 36 zeigt die identifizierten Objektelemente  $OE_i$  mit der Problemeidee  $PI_i$ , der Zweckfunktion  $ZF_i$ , der funktionalen Zielsetzung sowie das korrespondierende Wirkprinzip. Aus dem Funktionsmodell der Standard-Sanitärarmatur konnten keine relevanten Funktionselemente abgeleitet werden, die mit den Wirkprinzipien korrespondierten.

**Tabelle 36: Ausgewählte Objektelemente des Unternehmen Beta (fortgesetzt)**

Element $OE_i$	Problemeidee $PI_i$ Zweckfunktion $ZF_i$	funktionale Zielsetzung	Dekomposition	Wirkprinzip
$OE_1$ Innenwand Schlauch	$PI_1$ Bakterienwachstum/ Biofilm im Schlauch $ZF_1$ „Biofilm verhindern“	Integrieren	Objektmodell	$WP_{2B}$ – Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche
$OE_2$ Schlauchanschluss				
$OE_7$ Keramik-kacheln	$PI_2$ Bakterienwachstum an Kacheln $ZF_2$ „Bakterienwachstum verhindern“	Integrieren	Objektmodell	$WP_{2B}$ – Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche
$OE_5$ Oberfläche Mischkopf	$PI_3$ Korrosion (Metalloberflächen) $ZF_3$ „Korrosionsschutz“	Substitution	Objektmodell	$WP_{2B}/WP_{2A}$ – Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche/Material
$OE_5$ Oberfläche Mischkopf	$PI_4$ Verkratzen der Metalloberfläche von Mischköpfen $ZF_4$ „Kratzfestigkeit“	Integration	Objektmodell	$WP_{2B}$ – Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche/(Material)
$OE_5$ Oberfläche Mischkopf	$PI_5$ Fingerprints auf Edelstahloberflächen von Mischköpfen $ZF_5$ „Anti-Fingerprint“	Integration	Objektmodell	$WP_{2B}$ – Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche, und: $WP_{1B}$ – Feld-Wechselwirkung mit einer Oberfläche



Element $OE_i$	Problemidee $PI_i$ Zweckfunktion $ZF_i$	funktionale Zielsetzung	Dekom- position	Wirkprinzip
$OE_6$ Innenrohre Mischkopf	$PI_6$ Schwermetallauslösung (Cu-, Pb-, Ni-Ionen) aus Mischkopf-Bauteilen (Kupfer, Messing, verzinkter Stahl, verchromtes Messing) $ZF_6$ „Diffusionsperre“	Integration	Objektmodell	$WP_{2B}/WP_{2A}$ – Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche/Material
$OE_1$ Innenwand Schlauch	$PI_7$ Kalkablagerungen durch Wassertropfen im Schlauch $ZF_7$ „Superhydrophobie“	Integration	Objektmodell	$WP_{2B}$ – Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche
$OE_3$ Innengehäuse Brause	$PI_8$ Kalkablagerungen durch Wassertropfen in der Brause/an der Strahlscheibe $ZF_7$ „Superhydrophobie“	Integration	Objektmodell	$WP_{2B}$ – Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche
$OE_4$ Strahlscheibe Brause				
$OE_5$ Oberfläche Mischkopf	$PI_9$ Kalkablagerungen durch Wassertropfen am Mischkopf $ZF_7$ „Superhydrophobie“	Integration	Objektmodell	$WP_{2B}$ – Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche
$OE_8$ Glasduschwand	$PI_{10}$ Kalkablagerungen durch Wassertropfen an der Glasduschwand $ZF_7$ „Superhydrophobie“	Integration	Objektmodell	$WP_{2B}$ – Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche
$OE_8$ Glasduschwand	$PI_{11}$ Kalkablagerungen durch Wassertropfen an der Glasduschwand $ZF_8$ „Hydrophilie“	Integration	Objektmodell	$WP_{2B}$ – Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche
$OE_9$ Innenseite von Gießwerkzeugen	$PI_{12}$ Wärmeverluste an der Innenseite der Gießformen $ZF_9$ „Wärmeisolierung“	Integration	Objektmodell	$WP_{1B}/WP_{1A}$ – Feld-Wechselwirkung mit einer Oberfläche/Material
$OE_{10}$ Innenwand Grauwassertank	$PI_{13}$ Bakterienwachstum/ Biofilm im Grauwassertank $ZF_1$ „Biofilm verhindern“	Integration	Objektmodell	$WP_{2B}$ – Grenzflächen-Wechselwirkung mit einer Oberfläche

Die Zusammenstellung in Tabelle 36 zeigt, dass bei den meisten gesuchten Anwendungen die Integration die funktionale Zielsetzung ist. Fast alle Problemstellungen beruhen auf Grenzflächenwechselwirkungen mechanischer (Kratzfestigkeit), chemischer (Kalkablagerungen, Schwermetallauslösung) oder biologischer (Biofilm, Anti-Fingerprint) Art.

Anschließend wurde der jeweilige Nutzen, der durch die Lösung einer Problemidee  $PI_i$  entsteht, bewertet. Tabelle 37 zeigt die Nutzenbewertung der einzelnen Problemideen  $PI_i$  hinsichtlich ihres strategischen Anwendungsnutzen ( $NU1_i$ ), des erwarteten Marktpotenzials ( $NU2_i$ ) der Lösung der Problemidee  $PI_i$ , der Anwendungsbreite ( $NU3_i$ ) der Lösung der Problemidee  $PI_i$  sowie der Zielübereinstimmung mit der Strategie ( $NU4_i$ , siehe Kap. 6.3.2.2). Die Priorität  $PRIO_i$  der Problemidee  $PI_i$  wurde aus dem Summenwert der vier Nutzenparameter errechnet (siehe Formel 1, S. 105).

Der Problemidee  $PI_9$  „Kalkablagerungen durch Wassertropfen in der Brause/an der Strahlscheibe“ wird z.B. deshalb eine so große Priorität beigemessen, weil die spezifische Gestaltung der Strahlscheibe für den charakteristischen Duschstrahl und das Wohlgefühl beim Duschen verantwortlich ist und daher einen Kundennutzen (Leistungs- oder Begeisterungsanforderung) darstellt. Eine Verkalkung, z.B. durch besonders hartes Wasser oder fehlende Reinigungsmöglichkeiten führt zu einer Verengung der Löcher der Strahlscheibe und damit zu einer Änderung des Duschstrahls und Beeinträchtigung der Brausfunktion. Eine Lösung führt zu mehr Kundenzufriedenheit und Langlebigkeit der Produktfunktion.

Tabelle 37: Nutzenbewertung der Problemeideen der Füll- und Verpackungsmaschine

Problemeidee	Nutzenparameter				Priorität <i>PRIO<sub>i</sub></i>
	<i>NU1<sub>i</sub></i>	<i>NU2<sub>i</sub></i>	<i>NU3<sub>i</sub></i>	<i>NU4<sub>i</sub></i>	
<i>PI<sub>1</sub></i> Bakterienwachstum/Biofilm im Schlauch	3	3	3	3	12
<i>PI<sub>2</sub></i> Bakterienwachstum an Kacheln	3	3	2	3	11
<i>PI<sub>3</sub></i> Korrosion (Metalloberflächen)	1	1	1	3	6
<i>PI<sub>4</sub></i> Verkratzen der Metalloberfläche von Mischköpfen	2	2	3	3	10
<i>PI<sub>5</sub></i> Fingerprints auf Edelstahloberflächen von Mischköpfen	3	3	3	3	12
<i>PI<sub>6</sub></i> Schwermetallauslösung (Cu-, Pb-, Ni-Ionen) aus Mischkopf-Bauteilen (Kupfer, Messing, verzinkter Stahl, verchromtes Messing)	2	3	3	3	11
<i>PI<sub>7</sub></i> Kalkablagerungen durch Wassertropfen im Schlauch	1	1	2	3	7
<i>PI<sub>8</sub></i> Kalkablagerungen durch Wassertropfen in der Brause/an der Streuscheibe	3	3	2	3	11
<i>PI<sub>9</sub></i> Kalkablagerungen durch Wassertropfen am Mischkopf	3	3	2	3	11
<i>PI<sub>10</sub>/PI<sub>11</sub></i> Kalkablagerungen durch Wassertropfen an der Glasduschwand	3	3	2	3	11
<i>PI<sub>12</sub></i> Wärmeverluste an der Innenseite der Gießformen	2	3	1	3	9
<i>PI<sub>13</sub></i> Bakterienwachstum/ Biofilm im Grauwassertank	3	2	2	3	10

Legende: 3 – Nutzen ist hoch, 2 – Nutzen ist mittel, 1 – Nutzen ist gering

### 7.3.2.3 Umsetzungsphase 3: Identifikation und Auswahl von Lösungsideen

Die Recherche nach geeigneten Lösungskonzepten  $LK_{NT,i}$  erfolgte zum einen anhand vorliegender Literatur, z.B. bei den bekannten Zweck- und Systemfunktionen wie Superhydrophobie. Zum anderen wurden weitere Ansätze für die Systemfunktion durch Experteninterviews erfasst. Schlagworte für die Suche waren „Superhydrophob“ ( $PI_1, PI_7, PI_8, PI_9, PI_{10}, PI_{11}$ ), „Antimikrobiell“ ( $PI_1, PI_2$ ), „Diffusionssperre“ ( $PI_1, PI_6$ ), „Korrosionsschutz“ ( $PI_3$ ), „Anti-Fingerprint“ ( $PI_3$ ), „Kratzfestigkeit“ ( $PI_4$ ) und „Thermoschutzschicht“ ( $PI_{12}$ ).

Wie bereits in der Umsetzung im Unternehmen Alpha dargestellt (Kap. 7.2.2.3) wurden aus der Experten-Datenbank mit rund 200 Experten aus den Bereichen Nanomaterialien und Nanobeschichtungen vier Übersichtsexperten aus Chemieunternehmen und Fraunhofer-Instituten für die Interviews ausgewählt:

- Chemieunternehmen A (Interview mit Senior Vice President, Global Marketing Support und Manager Product Development): „Korrosionsschutz“
- Chemieunternehmen B (Interview mit Technologie-Manager Nanomaterialien): „Kratzfestigkeit“, „Antimikrobielle Ausrüstung“, „Superhydrophobie“
- Fraunhofer-Institut C (Interview mit Abteilungsleiter Großflächenbeschichtung): „Kratzfestigkeit“, „Superhydrophobie“, „Thermoschutzschicht“, „Anti-Fingerprint“
- Fraunhofer-Institut D (Interview mit Sprecher Polymer-Oberflächen): „Anti-Fingerprint“, „Superhydrophobie“, „Antimikrobielle Ausrüstung“, „Diffusionssperre“

Gemeinsam mit den Übersichtsexperten wurde in den Interviews ausgelotet, welche Systemfunktionen  $SF_{NT,i}$  und Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  geeignet erscheinen, einen Lösungsbeitrag zur Problemeidee  $PI_i$  zu geben. Es wurden für die 13 Problemeideen  $PI_i$  mit Hilfe der Übersichtsexperten und Literaturquellen 13 Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  identifiziert, insgesamt wurden 25 Kombinationen aus Problemeidee  $PI_i$  und möglichem Lösungskonzept  $LK_{NT,i}$  gebildet. Abbildung 41 zeigt die vielfältigen Kombinationen aus Problemeidee  $PI_i$  und Lösungskonzept  $LK_{NT,i}$  für das Unternehmen Beta. In manchen Fällen konnte nur ein identifiziertes Lösungskonzept  $LK_{NT,i}$  einer

Problemeidee  $PI_i$  zugeordnet werden (z.B.  $PI_6$  und  $LK_{NT,6}$ ), zum Teil konnten bis zu sechs Lösungskonzepte einer Problemeidee zugewiesen werden (z.B.  $PI_1$  und  $LK_{NT,1-6}$ ). Das Lösungskonzept  $LK_{NT,5}$  „Superhydrophobie durch Hybridpolymer“ wiederum war für fünf Problemeideen ( $PI_1$ ,  $PI_7$ ,  $PI_8$ ,  $PI_9$  und  $PI_{10}$ ) relevant. Für die Problemeidee  $PI_5$  „Fingerprints“ konnten zwei Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  mit ganz unterschiedlichen zugrunde gelegten Wirkprinzipien identifiziert werden. Durch eine hybridpolymere Easy-to-Clean-Beschichtung ( $LK_{NT,12}$ ) auf der Grundlage von Fluor-Silane soll die Anhaftung von Schweiß und Fett verhindert und so die Fingerprints mit einem trockenen Tuch abgewischt werden können. Eine Anti-Fingerprint-Eigenschaft kann auch durch eine Lackschicht erzielt werden, die einen Gradienten im Brechungsindex aufweist ( $LK_{NT,13}$ ). Ein vorhandener Fingerabdruck wird dadurch optisch kaschiert.

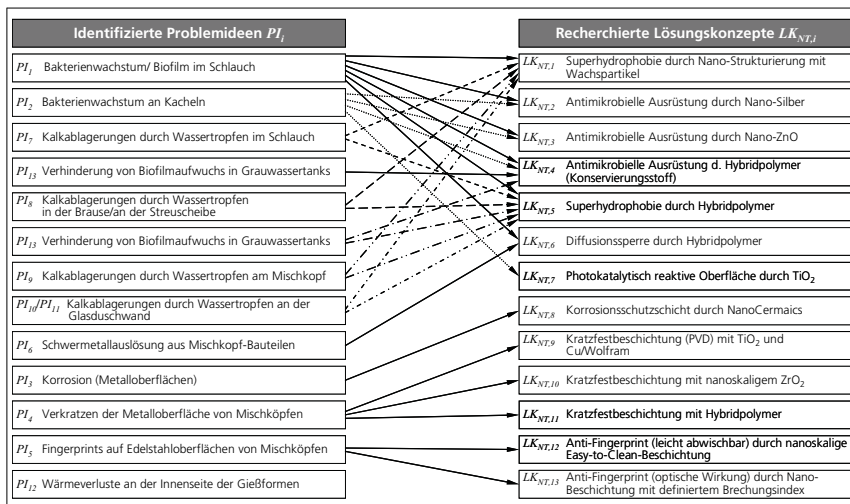


Abbildung 41: Identifizierte Kombinationen aus Problemeidee und Lösungskonzept im Unternehmen Beta

Tabelle 38 zeigt beispielhaft die Beschreibung des Lösungskonzepts  $LK_{NT,6}$  „Diffusionssperre durch Hybridpolymer“ für die erste grobe Bewertung.

Tabelle 38: Beispiel des Lösungskonzept  $LK_{NT,6}$  „Diffusionssperre durch Hybridpolymer“

<b>Lösungskonzept <math>LK_{NT,6}</math></b>	Diffusionssperre durch Hybridpolymer
<b>Bezug zu Problemidee:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>PI_1</math>: Bakterienwachstum/Biofilm im Schlauch</li> <li>• <math>PI_6</math>: Schwermetallauslösung (Cu-, Pb-, Ni-Ionen) aus Mischkopf-Bauteilen (Kupfer, Messing, verzinkter Stahl, verchromtes Messing)</li> </ul>
<b>Systemfunktion <math>SF_{NT,6}</math></b>	Diffusionssperre für Gase, Aromaten, Weichmacher, etc.
<b>Wirkstruktur <math>WS_{NT,6}</math></b>	Nanobeschichtung Hybridpolymer: organisch-anorganisch vernetzte funktionale Beschichtung (anorganisches Netzwerk + organische Quervernetzung + funktionelle organische Gruppen + Heteroatome in anorganischen Struktureinheiten)
<b>Wirkort</b>	Oberfläche (Beschichtung)
<b>Beschreibung</b>	Hybridpolymere sind transparent anorganisch vernetzte Schichtsysteme (glasähnlich), deren organische Komponente ebenfalls als Vernetzer oder Netzwerkwandler fungiert (Polymer). Ausgangsverbindung ist ein $[R'-(CH_2)_n-Si(OR)_3]$ -Gerüst. Hybridpolymere werden im Sol-Gel-Prozess hergestellt. Durch die Einstellung des Schichtaufbaus und des Vernetzungsgrades sowie dem Einbau organischer funktionaler Gruppen können die gewünschten Eigenschaften kombiniert und eingestellt sowie die mechanischen Eigenschaften an das Substrat angepasst werden. Hybridpolymere müssen spezifisch auf die Anwendung eingestellt werden.
<b>Applikation</b>	UV- oder thermisch härtende transparente Beschichtung, hergestellt im Sol-Gel-Verfahren
<b>Randbedingungen</b>	Keine spezifischen

Nach der Durchführung der Experteninterviews wurden die Problemideen  $PI_i$  und die recherchierten Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  im House of Nanotechnologie gegenübergestellt (Abbildung 45). Für jede mögliche Kombination wurde der Erfüllungsradius in Bezug auf die Nutzungsmöglichkeit, die Funktionserfüllung und die Anwendbarkeit des Lösungskonzepts  $LK_{NT,i}$  bewertet.

Die Bewertung ergab, dass z.B. die Kombination der Lösungskonzepte „Antimikrobielle Ausrüstung durch Hybridpolymer“ ( $LK_{NT,4}$ ), „Superhydrophobie durch Hybridpolymer“ ( $LK_{NT,5}$ ) und „Diffusionssperre durch Hybridpolymer“ ( $LK_{NT,6}$ ) sehr vielversprechend sind für die Problemidee „Bakterienwachstum/Biofilm im Schlauch“ ( $PI_1$ ). Der Erfüllungsgrad des Lösungskonzepts „Kratzfestbeschichtung (PVD) mit  $TiO_2$  und Cu/Wolfram“ ( $LK_{NT,9}$ ) wurde als nicht erfüllt bewertet. Der Grund war, dass die Beschichtung durch Physical Vapour Deposition (PVD) erfolgt, welche für das Analyseobjekt nicht angewendet werden kann. Die „photokatalytische Beschichtung durch  $TiO_2$ “ ( $LK_{NT,7}$ ) zur Reduktion des „Bakterienwachstum an Kacheln“ ( $PI_2$ ) wurde z.B. auch als „nicht erreicht“ bewertet, weil für die Wirkung UV-Licht notwendig ist. Tageslicht kann aber in Badezimmern nicht vorausgesetzt werden. Eine extra Beleuchtung mit einer UV-Lampe ist jedoch nicht gewünscht.

Für die Problemidee  $PI_{12}$  „Wärmeverluste an der Innenseite der Gießformen“ konnte mit den Experten keine geeignetes Lösungskonzept  $LK_{NT,i}$  identifiziert werden.

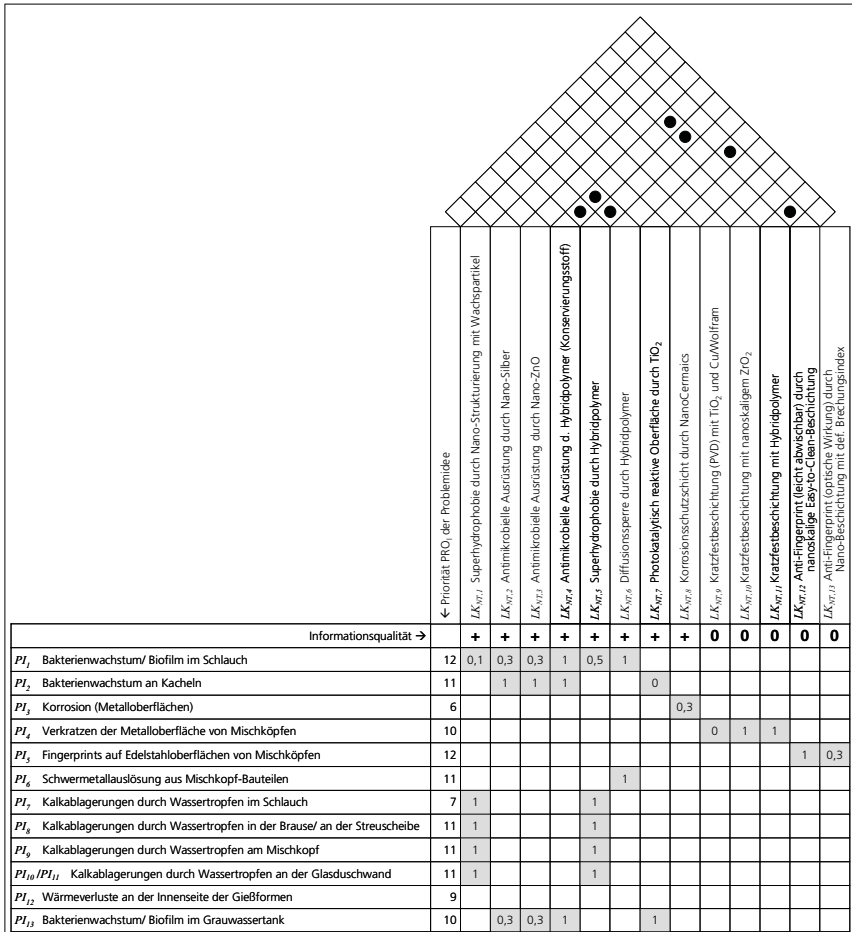


Abbildung 42: House of Nanotechnology für Problemlösungen und Lösungskonzepte der Füll- und Verpackungsmaschine

Entsprechend der Bewertung in Bezug auf Priorität und Erfüllungsgrad wurden die einzelnen Kombinationen aus Problemlösung  $PI_i$  und Lösungskonzept  $LK_{NT,i}$  in das Portfolio eingetragen. Dadurch konnten die einzelnen Bewertungen in einem Gesamtblick erfasst und die Kombinationen ausgewählt werden, die einen mittleren bis großen Nutzen haben und deren Erfüllungsgrad gegeben ist. Das Portfolio ist in Abbildung 43 dargestellt. Jedes Kreissymbol im Portfolio repräsentiert eine Kombination aus Problemlösung  $PI_i$  und Lösungskonzept  $LK_{NT,i}$ . Die erste Ziffer im Kreis steht für den Index  $i$  der Problemlösung  $PI_i$ , die zweite Ziffer steht für den Index  $i$  des Lösungskonzept  $LK_{NT,i}$ . Z.B. repräsentiert das Kreissymbol mit der Beschriftung „1-6“ die Problemlösung „Bakterienwachstum/Biofilm im Schlauch“ ( $PI_1$ ) mit dem Lösungskonzept „Diffusionssperre durch Hybridpolymer“ ( $LK_{NT,6}$ ).

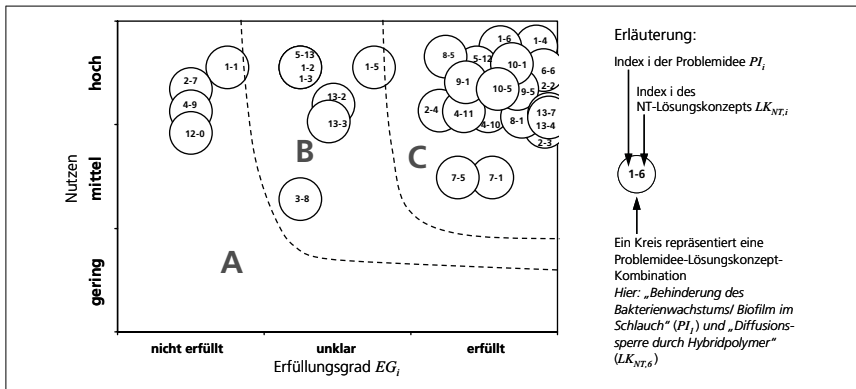


Abbildung 43: Nutzen-Erfüllungsgrad-Portfolio

Entsprechend der Einordnung im Portfolio im Bereich C (Tabelle 44) wurden für die weitere Bewertung folgende Kombinationen ausgewählt:

- Bakterienwachstum/Biofilm im Schlauch ( $PI_1$ ) verhindern durch antimikrobielle Ausrüstung mit Hybridpolymere ( $LK_{NT,4}$ ), superhydrophobe Ausrüstung mit Hybridpolymere ( $LK_{NT,5}$ ) oder Diffusionssperre mit Hybridpolymere ( $LK_{NT,6}$ ).
- Verkratzen der Metalloberfläche von Mischköpfen ( $PI_4$ ) vermeiden durch Kratzfestbeschichtung mit nanoskaligem  $ZrO_2$  ( $LK_{NT,10}$ ) oder Kratzfestbeschichtung mit Hybridpolymer ( $LK_{NT,11}$ ).
- Fingerprints auf Edelstahloberflächen von Mischköpfen ( $PI_5$ ) vermeiden durch Easy-to-Clean-Beschichtung ( $LK_{NT,12}$ ). (Fingerprints sollen ohne Rückstände abgewischt werden können, indem die Beschichtung leicht abwischbar ist bzw. Schmutzreste wenig haften).
- Schwermetallauslösung (Cu-, Pb-, Ni-Ionen) aus Mischkopf-Bauteilen (Kupfer, Messing, verzinkter Stahl, verchromtes Messing) ( $PI_6$ ) vermeiden durch Diffusionssperre mit Hybridpolymer ( $LK_{NT,6}$ ).
- Kalkablagerungen durch Wassertropfen im Schlauch ( $PI_7$ ), in der Brause/an der Streuscheibe ( $PI_8$ ), am Mischkopf ( $PI_9$ ) oder an der Glasduschwand ( $PI_{10}$ ) vermeiden durch entweder eine superhydrophobe Ausrüstung einer Nanostrukturierung mit Wachspartikel (Wachsreservoirtechnik) ( $LK_{NT,1}$ ) oder eine superhydrophobe Ausrüstung durch ein Hybridpolymer ( $LK_{NT,3}$ ).
- Bakterienwachstum/Biofilm an der Innenwand von Grauwassertank ( $PI_{13}$ ) verhindern durch antimikrobielle Ausrüstung mit Hybridpolymere in Verbindung mit (super)hydrophoben Eigenschaften durch ein Hybridpolymer“ ( $LK_{NT,4}$  und  $LK_{NT,5}$ ) oder photokatalytisch reaktive Oberfläche durch  $TiO_2$  ( $LK_{NT,7}$ ).

Die Problemeidee  $PI_2$  „Bakterienwachstum an Kacheln“ mit den Lösungskonzepten „antimikrobielle Ausrüstung mit Silber-Nanopartikel“ ( $LK_{NT,2}$ ), „ZnO-Nanopartikel“ ( $LK_{NT,3}$ ) oder „Hybridpolymer“ ( $LK_{NT,4}$ ) wurde für die weitere Analyse zurückgestellt. Die ausgewählten Problemeiden ( $PI_1$ ,  $PI_2$ ,  $PI_4$ ,  $PI_5$ ,  $PI_6$ ,  $PI_7$ ,  $PI_{10}$  und  $PI_{13}$ ) wurden anschließend weiter detailliert, um den Workshops mit den Technologieexperten vorzubereiten und Bewertungskriterien für die einzelnen zugehörigen Lösungsideen  $LK_{NT,i}$  zu erhalten. Tabelle 39 zeigt beispielhaft die Beschreibung der Problemeidee  $PI_{13}$ .

Tabelle 39: Beschreibung der Anforderungen am Beispiel der Problemeidee  $PI_{13}$

Formblatt zur Beschreibung der Anforderungen der Problemeidee $PI_{13}$		
Unternehmen:	Unternehmen Beta	Analyseobjekt: Grauwasserrecycling
Problemeidee $PI_{13}$ und Lösungsidee $LI_{NT,4}$ (in Kombination mit $LK_{NT,4}$ )		
Objektelement $OE_{10}$	Innenwand Grauwassertank	
Problemeidee $PI_{13}$	Biofilmaufwuchs an der Innenwand von Grauwassertanks, speziell in den Bereichen, wo keine Reinigung durch Trägermaterial erfolgen kann.	
Funktionale Zielsetzung	Integration der Funktionalität in die Oberfläche	
Problembeschreibung	Bewuchs der Behälterwand des Grauwassertanks durch Biofilm; dies führt zu Ablagerungen, Geruchsbelästigungen, ... Grauwässer sind fäkalienfreies Abwasser (nach DIN EN-12056(BI.1) 2001), z.B. aus Dusche, Bad, Waschmaschine u. a. Es wird als Nutzwasser im häuslichen Einsatz verwendet.	
Wirkstruktur $WS_{NT,4}$	Nanobeschichtung: Hybridpolymer (anorganisches Netzwerk + organische Quervernetzung + funktionelle organische Gruppen + Heteroatome in anorganischen Struktureinheiten)	
Lösungskonzept $LK_{NT,4}$	Antimikrobielle Ausrüstung durch Konservierungsstoffe/biozide Stoffe als funktionelle Gruppe	
Experte		
Name	Frau Dipl.-Ing. Stefanie Laib	
Funktion	Leiter Forschungsgruppe Polymer-Beschichtungen	
Unternehmen	Polynano GmbH	
Adresse	Hansastraße 27c, 80686 München	
Anforderungen der Problemeidee an die Lösungsidee		
Funktion und Leistung	Biozidität	Verhinderung des Biofilmaufbaus für verschiedene Mikroorganismen
	(Super-)Hydrophobie	Zusätzlich gefordert: (super)hydrophobe Eigenschaften (Reduktion der Oberflächenenergie durch geeignetes Schichtsystem)
Anwendung	für Grauwasser inkl. Küchenabwasser	
Betrieb	Dauerhaftigkeit der Funktion	Bis zu 20 Jahre
	Applikation der Beschichtung	Thermische Aushärtung nicht möglich
Gestalt/technisches Design	Substrat der Anwendung	PE (Kunststoffbehälter), PVC (Schläuche), EPDM oder TPU (Belüfterschlauch)
	Transparenz	Nicht erforderlich
Prüfverfahren	Spezielle Testverfahren	Keine
Umfeldbedingung	Temperaturbedingungen	Anwendung im Innenbereich, gleichbleibendes Nutzungsverhalten, Temperaturbereich 10-45°C
	Feuchte	ja
	Kontakt/Wechselwirkung mit anderen Substanzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasser</li> <li>• Chemikalien, Reinigungsmittel</li> <li>• Duschmittel</li> </ul> pH-Wert 7-8
Anforderungen Zielsystems $Z_3$	weitere geforderte Eigenschaften	Mechanische Festigkeit

Die Beschreibungen der Anforderungen der jeweiligen Problemeiden  $PI_i$  wurden den Experten zur Vorbereitung der Workshops zugesandt.

Für die Recherche der Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  wurde auf implizites Wissen von Experten zurückgegriffen. Dies ermöglichte es, die nanotechnologischen Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  anhand der Anwen-

dungsbedingungen von beiden Seiten, sowohl der Problemeideen  $PI_i$  als auch der Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  zu analysieren. Hierzu wurden Fachgespräche im Umfang eines halben bis ganzen Tages jeweils mit Technologieexperten aus dem Chemieunternehmen B, dem Fraunhofer-Institut D sowie einem weiteren Chemieunternehmen E durchgeführt. Das Chemieunternehmen E wurde auf Empfehlung zur Recherche der Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  für die Fachgespräche ausgewählt.

In den Fachgesprächen wurden die in der vorherigen Bewertung ausgewählten Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  (vgl. Abbildung 43) als Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  detailliert. Zielsetzung war es, die Problemstellung, den Anwendungskontext und die Anforderungen der Problemeidee  $PI_i$  zu erläutern sowie die korrespondierenden Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  in Bezug auf diese Problemstellung vorzustellen. Das Projektteam des Unternehmens Beta konnte dadurch Einblick und Verständnis gewinnen in die Wirkweise der einzelnen Lösungsideen  $LI_{NT,i}$ , eigene Lösungskompetenz und Technologiewissen aufbauen und gleichzeitig das Netzwerk im Bereich Nanotechnologie erweitern. Gleichzeitig konnten die Technologieexperten Einblick erhalten in konkrete gewünschte Anwendungen und deren Randbedingungen.

Durch die entsprechende Auswahl der Experten konnten zudem mehrere Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  gemeinsam diskutiert werden. Bei der Wirkstruktur „Nanobeschichtung Hybridpolymer“ konnten z.B. die Kombinationsmöglichkeiten verschiedener nanotechnologischer Systemfunktionen  $SF_{NT,i}$  – z.B. antimikrobiell oder (super-)hydrophob in Verbindung mit Kratzfestigkeit – erörtert werden. Anhand folgender Leitfragen wurden die einzelnen Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  durch die Technologieexperten vorbereitet (siehe Tabelle 46, Anhang Kap. 11.1.5):

- Auf welche Weise wirkt die Lösungsidee  $LI_{NT,i}$ , welche (naturwissenschaftlichen) Lösungsprinzipien liegen zugrunde?
- Welche Leistungsparameter und -werte beschreiben die Systemfunktion der Lösungsidee  $LI_{NT,i}$ ?
- Was sind die zentralen Einschränkungen oder Randbedingungen der Lösungsidee  $LI_{NT,i}$ ?
- Wie ist eine Anwendung für die Problemeidee  $PI_i$  zu bewerten? Welche wesentlichen Herausforderungen wären zu bewältigen oder welche Hemmnisse bestehen?
- Wie wird die Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  appliziert? Beispielweise als Lack, Nanobeschichtung, Komposit o. a.; durch Tauchen, Lackieren (UV oder thermisch aushärtend), Sputtern, PVD, o. a.; ist eine nachträgliche werkstattmäßige Applikation möglich?
- Wie wird das Forschungs-, Technologie- und Marktpotenzial der Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  eingeschätzt?
- Welchen Anwendungsstand (Grundlagenforschung, angewandte Forschung, Prototypenstadium, Marktreife) hat die Lösungsidee  $LI_{NT,i}$ ?
- Gibt es bereits vergleichbare Anwendungen? Welche Erfahrungen konnten dort gemacht werden?
- Welche Aufwände sind notwendig, um die Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  für die Zielanwendung weiterzuentwickeln?

#### **7.3.2.4 Umsetzungsphase 4: Bewertung des Innovationspotenzials**

Zur Vorbereitung der Relevanzbewertung wurden Innovationspotenziale  $IP_i$  entsprechend der Vorauswahl in Abbildung 43 aus einer Problemeidee  $PI_i$  (Ziel) und einer oder mehreren Lösungsidee(n)  $LI_{NT,i}$  (Mittel) definiert. Es wurde die Informationsbasis der Innovationspotenziale  $IP_i$  auf Anwendungs- und Technologieseite gegenüber den Problemeidee-Lösungskonzept-Kombinationen erweitert. Anforderungen und die Beschreibung der Zielanwendung lagen für



jede Probleemidee  $PI_i$  vor (siehe Tabelle 39). Anhand der Leitfragen wurde jede Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  problemideespezifisch beschrieben, um so eine zielführende Analyse und abschließende Bewertung zu ermöglichen.

Mehrere Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  wurden in einem Innovationspotenzial  $IP_i$  zusammengefasst, wo dies technisch möglich und aus Sicht der gewünschten Zweckfunktion  $ZF_i$  erforderlich war. Beispielsweise wurden für die Probleemideen  $PI_i$  mehrere Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  im Innovationspotenzial  $IP_i$  kombiniert. Die Kombinationsmöglichkeiten wurden dem Dach des House of Nanotechnologie in Abbildung 42 entnommen. Bei allen Innovationspotenzialen handelte es sich um eine Funktionsintegration, d.h. die erstmalige Anwendungen einer Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  und deren Integration in einen Werkstoff oder eine Oberfläche.

Folgende Innovationspotenziale  $IP_i$  wurden für die Bewertung definiert:

- $IP_1$  ( $PI_1$  und Kombination von  $LI_{NT,4}$ ,  $LI_{NT,5}$  und  $LI_{NT,6}$ ): Das Bakterienwachstums/die Biofilmbildung im Brauseschlauch einer Sanitärarmatur wird behindert durch die Funktionsintegration und -kombination von antimikrobieller und superhydrophober Ausrüstung sowie Diffusionssperre mit einer Hybridpolymer-Beschichtung im Brauseschlauch.
- $IP_2$  ( $PI_4$  und  $LI_{NT,10}$ ): Das Verkratzen der Metalloberfläche (Edelstahl, Silber und PVD-ZrO<sub>2</sub>-Oberfläche) von Mischköpfen wird verhindert durch die Funktionsintegration einer Kratzfestbeschichtung mit nanoskaligem ZrO<sub>2</sub> auf der Mischkopf-Oberfläche.
- $IP_3$  ( $PI_4$  und  $LI_{NT,11}$ ): Das Verkratzen der Metalloberfläche (Edelstahl, Silber und PVD-ZrO<sub>2</sub>-Oberfläche) von Mischköpfen wird verhindert durch die Funktionsintegration einer Kratzfestbeschichtung durch Hybridpolymer-Beschichtung auf der Mischkopf-Oberfläche.
- $IP_4$  ( $PI_5$  und  $LI_{NT,12}$ ): Die Fingerprints auf Edelstahloberflächen von Mischköpfen werden verhindert durch die Funktionsintegration einer Easy-to-Clean-Beschichtung auf der Mischkopf-Oberfläche, sodass die Verunreinigungen durch Fingerabdrücke rückstandsfrei abgewischt werden können.
- $IP_5$  ( $PI_6$  und  $LI_{NT,6}$ ): Das Herauslösen von Schwermetallen aus Mischkopf-Bauteilen soll vermieden werden durch die Funktionsintegration einer Diffusionssperre mit einer Hybridpolymer-Beschichtung auf der Mischkopf-Oberfläche.
- $IP_6$  ( $PI_8$  und  $LI_{NT,1}$ ): Die Kalkablagerungen durch Wassertropfen in der Duschbrause bzw. an der Streuscheibe werden vermieden durch die Funktionsintegration einer superhydrophoben Ausrüstung mit Nanostrukturierung und Wachspartikeldepot (Wachsreservoirtechnik) in der Duschbrause bzw. an der Streuscheibe.
- $IP_7$  ( $PI_8$  und  $LI_{NT,3}$ ): Die Kalkablagerungen durch Wassertropfen in der Duschbrause bzw. an der Streuscheibe werden vermieden durch die Funktionsintegration einer superhydrophoben Ausrüstung mit einer Hybridpolymer-Beschichtung in der Duschbrause bzw. an der Streuscheibe.
- $IP_8$  ( $PI_{10}$  und  $LI_{NT,1}$ ): Die Kalkablagerungen durch Wassertropfen an der Glasduschtrennwand werden vermieden durch die Funktionsintegration einer superhydrophoben Ausrüstung mit Nanostrukturierung und Wachspartikeldepot (Wachsreservoirtechnik) an der Glasduschwand.
- $IP_9$  ( $PI_{10}$  und  $LI_{NT,5}$ ): Die Kalkablagerungen durch Wassertropfen an der Glasduschtrennwand werden vermieden durch die Funktionsintegration einer superhydrophoben Ausrüstung mit einer Hybridpolymer-Beschichtung auf der Glasduschwand.
- $IP_{10}$  ( $PI_{13}$  und  $LI_{NT,4}$  in Verbindung mit  $LI_{NT,5}$ ): Der Biofilmaufwuchs an der Innenwand von Grauwassertanks wird verhindert durch die Funktionsintegration einer antimikrobiel-

len Ausrüstung in Verbindung mit (super)hydrophoben Eigenschaften einer Hybridpolymer-Beschichtung an der Innenwand des Grauwassertanks.

In den Fachgesprächen mit den Experten wurde der Gesamtnutzen für jedes Innovationspotenzial  $IP_i$  mit den jeweiligen Experten bewertet. Für jedes Innovationspotenzial  $IP_i$  wurden die Anforderungen der Problemlösung  $PI_i$  sowie die Leistungsparameter und Randbedingungen der Lösungsidee(n)  $LI_{NT,i}$  zusammengefasst und in einen Anforderungskatalog für die Nutzwertanalyse überführt. Festforderungen wurden extra aufgeführt. Anschließend wurde in einer Nutzwertanalyse für jedes Innovationspotenzial  $IP_i$  der Teilnutzen der Lösungsidee(n)  $LI_{NT,i}$  in Bezug auf die Anforderungen und Festforderungen in einer einfachen ABC-Analyse bewertet. Der Teilnutzen konnte dabei nicht immer eindeutig bewertet werden, weil weitere Informationen oder Tests hierfür notwendig waren, oder die Zielwerte für technische Parameter noch nicht genau festgelegt werden konnten. Eine erste grobe Abschätzung des Lösungsbeitrags konnte jedoch erreicht werden. Aus den Teilnutzen wurde dann der Lösungsbeitrag  $GN_i$  der Lösungsidee(n)  $LI_{NT,i}$  für die Problemlösung  $PI_i$  errechnet (siehe Formel 4, S. 118). Um den Lösungsbeitrag  $GN_i$  in das Innovationspotenzial-Portfolio übertragen zu können, wurde für jedes Innovationspotenzial  $IP_i$  der spezifische Lösungsbeitrag  $spezGN_i$  berechnet (siehe Formel 6, S. 119).

Abbildung 44 zeigt das Innovationspotenzial-Portfolio für das Unternehmen Beta. Jedes Innovationspotenzial  $IP_i$ , repräsentiert durch ein Kreissymbol, wurde im Portfolio entsprechend seines spezifischen Lösungsbeitrags und seiner Anwendungsreife verortet. Die Bewertung der Anwendungsreife in Bezug auf die jeweilige Anwendung, die in der Problemlösung  $PI_i$  beschrieben wurde, erfolgte durch die Technologieexperten vor dem Hintergrund der Anforderungen der Problemlösung  $PI_i$ , z.B. Substrat, Dauerhaftigkeit oder Applikation, bisheriger Erkenntnisse aus der Forschung sowie möglicher bereits existierender Anwendungen.

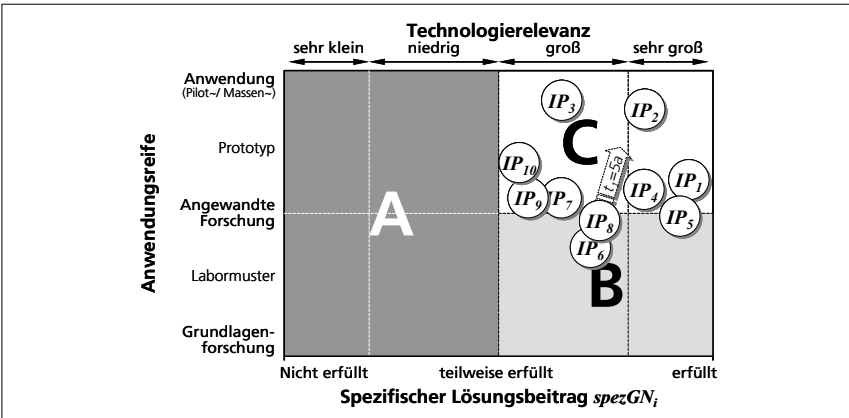


Abbildung 44: Innovationspotenzial-Portfolio für das Unternehmen Beta

Die Verortung der einzelnen Innovationspotenziale  $IP_i$  im Portfolio in Abbildung 44 zeigte, dass die den definierten Innovationspotenzialen  $IP_i$  zugrunde liegenden Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  eine große bis sehr große Technologierelevanz für das Unternehmen Beta hatten. Allerdings machte die Analyse auch deutlich, dass sich die Innovationspotenziale  $IP_i$  zum Großteil noch in Forschung befinden. Die Art der Applikation wurde z.B. bei dem Innovationspotenzial  $IP_{10}$  „Reduktion des Biofilmaufwuchs in Grauwassertanks“, welche einen großen Nutzen verspricht, zunächst als kritisch bewertet. So stand zum Zeitpunkt der Bewertung kein geeigneter UV-aushärtender Lack

zur Verfügung, eine thermische Aushärtung ist aber bei PP- und PE-Tankgehäusen nicht möglich. Das Innovationspotenzial  $IP_2$  der Kratzfestbeschichtung durch nanoskaliges  $ZrO_2$  ( $LI_{NT,10}$ ) wurde als sehr vielversprechend eingestuft. Ein Lacksystem, das bereits im Unternehmen Beta eingesetzt wird, wäre für die Kratzfest-Ausrüstung mit diesen Nanopartikel geeignet.

### 7.3.2.5 Umsetzungsphase 5: Planung und Umsetzung der Maßnahmen

Für die einzelnen Innovationspotenziale  $IP_i$  wurden abschließend geeignete Maßnahmen und Strategien aus der Positionierung der Innovationspotenziale  $IP_i$  im Feld A, B oder C im Innovationspotenzial-Portfolio abgeleitet. Sie hatten je nach Anwendungsreife und Lösungsbeitrag weitere Tests ( $IP_1$ ,  $IP_2$ ,  $IP_4$ ,  $IP_5$ ,  $IP_6$ ,  $IP_8$  und  $IP_{10}$ ) oder das zukünftige Monitoring ( $IP_7$ ,  $IP_9$ ) der Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  zum Inhalt:

- Für das Innovationspotenzial  $IP_1$  (Behinderung des Bakterienwachstums/der Biofilmbildung im Brauseschlauch) und  $IP_5$  (Vermeidung der Schwermetallauslösung) wurde mit dem Chemieunternehmen B vereinbart, dass das Unternehmen Beta einen PVC-Brauseschlauch und ein Messing-Bauteil zur Beschichtung mit einer Diffusionssperre an das Chemieunternehmen B liefert ( $LI_{NT,6}$ ) und diese Bauteile anschließend durch das Unternehmen Beta in Bezug auf die Wirksamkeit getestet werden.
- Für das Innovationspotenzial  $IP_2$  (Kratzfestigkeit von Armaturen) wurde vereinbart, dass das Chemieunternehmen B Nanopartikel ( $LI_{NT,10}$ ) als Lackadditiv zur kratzfesten Ausrüstung liefert und das Unternehmen Beta damit Armaturteile beschichtet. Bei Bedarf stellt das Chemieunternehmen B Know-how zur Applikation bereit.
- Für das Innovationspotenzial  $IP_4$  (Vermeidung von Fingerprints auf Edelstahloberflächen) wurde mit dem Chemieunternehmen B vereinbart, dass das Unternehmen Beta ein Bauteil liefert, das beim Chemieunternehmen B mit einer Anti-Fingerprint-Ausrüstung ( $LI_{NT,12}$ ) beschichtet wird und zum Test zurück an das Unternehmen Beta geht.
- Für das Innovationspotenzial  $IP_6$  (Vermeidung von Kalkablagerungen in Duschbrause/Streuscheibe) und  $IP_8$  (Vermeidung von Kalkablagerungen an der Glasduschtrennwand in Duschbrause/Streuscheibe) wurde mit dem Chemieunternehmen E vereinbart, dass jeweils ein geeignetes Lacksystem für die Bauteile ausgewählt werden soll, woraufhin die Bauteile durch das Chemieunternehmen E beschichtet und im Unternehmen Beta getestet werden sollen.
- Für das Innovationspotenzial  $IP_{10}$  (Verhinderung Biofilmaufwuchs in Grauwassertank) wurde vereinbart, dass die Anforderungen weiter spezifiziert werden sollten, um die Realisierungschancen besser abschätzen zu können.

Für die Innovationspotenziale  $IP_6$  (Vermeidung von Kalkablagerungen in Duschbrause/Streuscheibe) und  $IP_7$  (Vermeidung von Kalkablagerungen an der Glasduschtrennwand) wurden aufgrund des nur teilweise erfüllten Lösungsbeitrags und ihres Entwicklungsstandes „angewandte Forschung“ Maßnahmen des Technologiemonitorings gestartet. Die zugrunde liegende Lösungsidee  $LI_{NT,5}$  soll zukünftig weiter beobachtet werden und bei geeignetem Reifegrad noch einmal analysiert werden.

Für das Innovationspotenzial  $IP_3$  (Kratzfestigkeit von Mischköpfen) mit der Lösungsidee  $LI_{NT,11}$  wurden keine weiteren Maßnahmen ergriffen, da die gleiche Systemfunktion  $SF_{NT,i}$  durch das Innovationspotenzial  $IP_2$  mit der Lösungsidee  $LI_{NT,10}$  bereitgestellt wird. Deren Lösungsbeitrag wurde aber als höher bewertet wie der der Lösungsidee  $LI_{NT,11}$ , weshalb man sich auf das Innovationspotenzial  $IP_2$  konzentrierte.

### 7.3.3 Nutzen der Anwendung für das Unternehmen Beta

Mit dem durchgeführten Verfahren konnten beim Unternehmen Beta verschiedene Lösungsansätze der Nanotechnologie einer Vielzahl an Problemeideen gegenübergestellt und bewertet werden. Unterschiedliche Analyseobjekte im Unternehmen Beta – Sanitärarmaturen, Gießwerkzeuge für die Produktion oder das Grauwasserrecycling – wurden hinsichtlich möglicher Problemstellungen untersucht, für die Nanotechnologie eine Lösung bieten kann. Durch die Anwendung des Verfahrens konnten im Unternehmen Beta zunächst 25 Kombinationen aus Problemeidee und Lösungskonzept gebildet werden, die dann auf zehn Innovationspotenziale reduziert wurden.

Für das Unternehmen Beta bestand der Nutzen der Anwendung hinsichtlich folgender Aspekte:

- Es konnte eine Vielzahl an **neuen und verschiedenartigen Produktideen für den Einsatz der Nanotechnologie** mit vertretbarem Aufwand identifiziert und analysiert werden. So konnte das Innovationspotenzial einer nanotechnologischen Funktion für ein neues Produkt analysiert und bewertet werden. Die gesuchte Funktion stellte eine Kernfunktion des Produkts dar. Hierfür konnten mehrere Lösungskonzepte und -ideen identifiziert und deren Anforderungserfüllung und Umsetzung bewertet werden.

Die Umsetzung der Lösungen für die identifizierten Problemeideen bietet einen Kundennutzen, indem das Produkt länger seine Funktionsfähigkeit und hochwertige Anmutung behält (z.B. Vermeidung von Biofilm, Selbstreinigung der Strahlscheibe, Reduktion von Fingerabdrücken), Reinigungsmittel eingespart werden können (z.B. Reduktion von Kalkränder, Selbstreinigung der Strahlscheibe) oder der Umweltschutz verbessert wird (z.B. Diffusionssperre). Der Nutzen durch die identifizierten Problemlösungen eröffnet auch intern Potenziale: Gießprozesse könnten effizienter hinsichtlich Betriebsmittel und Kosten werden und eine höhere Qualität erreichen.

- Der bisherige **Kenntnisstand über Lösungskonzepte konnte aktualisiert und erweitert** werden. Für bereits bekannte Problemeideen wurde nach neuen Wirkstrukturen der Nanotechnologie, die gegenwärtig erforscht werden gesucht und diese dann bewertet.
- Es wurden **Ansatzpunkte für Tests und eingehende Laboranalysen** für neue Nanomaterialien und deren Anwendung gewonnen. Hierdurch konnte das Erfahrungswissen des Unternehmens, dass in zurückliegenden Analysen aufgebaut wurde, erweitert und auf den neuesten Kenntnisstand gebracht werden.

Außerdem konnten Maßnahmen spezifisch für einzelne nanotechnologische Wirkstrukturen und Systemfunktionen identifiziert und geplant werden und die FuE-Abteilung in ihrer Aufgabe des Technologiemonitorings und der -planung unterstützt werden.

- Das **bestehende Expertennetzwerk wurde intensiviert** und um weitere Experten für neue Wirkstruktur ergänzt. Die Suche nach neuen Lösungskonzepten für einzelne Problemeideen initiierte Forschungsaktivitäten auf Seiten der Experten, sodass neue Forschungsk Kooperationen entstanden.

### 7.4 Zusammenfassung der Umsetzungsbeispiele

Durch das vorgestellte Verfahren konnten unternehmensspezifische Ansätze zum Einsatz der Nanotechnologie in den beiden Umsetzungsunternehmen Alpha und Beta identifiziert und analysiert werden. Im Rahmen der Produktplanung wurden Problemeideen  $PI_i$  mit nanotechnologischen Lösungsansätzen, bestehend aus einer Systemfunktion und einer Wirkstruktur, zusam-

mengeführt. Es wurden dabei solche Problemeiden verfolgt, deren Problemlösung aufgrund der marktlichen und technologischen Bedeutung einen besonders großen Nutzen versprechen.

Für das Unternehmen Alpha wurden zunächst acht Problemeiden  $PI_i$  und 18 Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  identifiziert, aus denen 29 Kombinationen aus Problemeidee und Lösungskonzept gebildet wurden. Für das Unternehmen Beta wurden jeweils 13 Problemeiden  $PI_i$  und Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  identifiziert, die zunächst in 25 Kombinationen zusammengestellt wurden. Informationsgrundlage für die Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  waren Literaturquellen und Experteninterviews. Aus diesen Kombinationen wurden dann solche ausgewählt, deren Lösung auf Anwendungsseite einen großen Nutzen versprachen und ein hoher Erfüllungsgrad des Lösungskonzepts  $LK_{NT,i}$  gegeben war. In der Umsetzung im Unternehmen Alpha wurden so sieben Innovationspotenziale  $IP_i$  aus den 29 Kombinationen ausgewählt, die detaillierter bewertet wurden. Im Unternehmen Beta wurden die ursprünglich 25 Kombinationen auf zehn Innovationspotenziale  $IP_i$  reduziert. Für die ausgewählten Innovationspotenziale  $IP_i$  wurden aus Problemeidee- und Lösungsideesicht Anforderungen und Randbedingungen definiert und beschrieben. Beschreibungsmerkmale waren z.B. Leistungsparameter, Umfeldbedingungen und Applikationsverfahren. Dadurch konnte die notwendige Informationsgrundlage für eine genauere Bewertung des spezifischen Lösungsbeitrags geschaffen werden. Ergänzt wurde die Bewertung durch eine schriftliche Umfrage unter ausgewählten Experten im Bereich der Nanobeschichtungen und -materialien.

Die den identifizierten Problemeiden zugrunde liegenden Zweckfunktionen betrafen Produktfunktionen (z.B. Sterilisierungsprozess einer Maschine) und Oberflächeneigenschaften. Es wurden substituierende, optimierte und neu zu integrierenden Systemfunktionen der Nanotechnologie gesucht. Am Ende dieses Verfahrens konnten konkrete Maßnahmen angestoßen werden, um die Innovationspotenziale  $IP_i$  durch weitere Untersuchungen zu analysieren.

Die Recherche nach Lösungskonzepten  $LK_{NT,i}$  und die Analyse und Ausarbeitung von Lösungs-ideen  $LI_{NT,i}$  baute größtenteils auf dem impliziten Wissen von Nanotechnologieexperten auf. Durch den Austausch mit den Experten konnte Wissen transferiert und ein Verständnis über die Mechanismen der Nanotechnologie in den Umsetzungsunternehmen vermittelt werden.

## 8 Evaluation und Diskussion

### 8.1 Evaluation des Ansatzes

Durch die praktische Anwendung in zwei Unternehmen wurde gezeigt, dass das entwickelte Verfahren geeignet ist, eine funktionsbasierte Technologierelevanzanalyse von Nanotechnologie in der Produktplanung durchzuführen. Die Relevanz der Nanotechnologie konnte hinsichtlich ihres unternehmensspezifischen, funktionalen Beitrags für neue Produktideen bewertet werden. Anhand der in Kap. 5 formulierten Anforderungen werden die in der praktischen Umsetzung gewonnenen Erfahrungen im Folgenden evaluiert.

Der Nutzen für die Anwendungsunternehmen ist in Kap. 7.2.3 und 7.3.3 dargestellt.

#### **Zusammenführung von Nanotechnologie und Produktfindung in der Produktplanung**

Die Anwendung des Verfahrens hat gezeigt, dass neue Produktideen auf Basis der Nanotechnologie für das Unternehmen identifiziert werden konnten. Es wurden unternehmensspezifische Problemeideen erfasst, für die die Nanotechnologie Lösungsideen bereitstellt und somit bereits in der Ideenfindung Anwendung und Nanotechnologie zusammengeführt. Erreicht wurde dies durch ein systematisch-diskursives Vorgehen, das nanotechnologische Wirkprinzipien zur Identifikation der Problemeideen zugrunde legte. Des Weiteren ermöglichte die Unterteilung der Zweck- und Systemfunktion die Kombination von neuen Ziel-Mittel-Beziehungen.

In beiden Unternehmen wurde die Technologierelevanzanalyse in der strategischen Produktplanung durchgeführt. Die gesammelten Produktideen bieten einen Mehrwert für Nutzer aufgrund verbesserter oder neuer Eigenschaften (z.B. Nicht-Verschmutzung, antimikrobiell, Gleitreibung) oder bauen auf neuen funktionalen Lösungen für Kernfunktionen auf (z.B. für den Sterilisator einer Maschine). Ausgangspunkt der Analyse war der Bedarf an bereits angewandten oder neuen Zweckfunktionen (Markt-Pull). Es wurden geeignete nanotechnologische Systemfunktionen mit unterschiedlichen Wirkstrukturen gesucht und somit das gesamte Lösungspotenzial der Nanotechnologie analysiert. Durch Experten wurde implizites Wissen, das außerhalb des Erfahrungs- und Handlungswissens von Mitarbeitern der Umsetzungsunternehmen lag, genutzt.

#### **Ein funktionsbasierter Zugang zur Nanotechnologie**

Die Umsetzung verdeutlicht, dass ein strukturierter und funktionsbasierter Zugang zu Nanotechnologie aufgrund der Komplexität der Ziel-Mittel-Kombinationen notwendig ist. Durch die Definition der Verfahrenselemente wurde die zugrunde gelegte Sichtweise von Innovationen als neue Ziel-Mittel-Kombination in dem Verfahren operationalisiert. Die Abstraktion der Funktion als Zweck- und Systemfunktion ermöglichte die Konstruktion von „Ziel“ (Zweckfunktion) und „Mittel“ (Systemfunktion). Durch die Zusammenstellung von Systemfunktion und Wirkstruktur als Lösungskonzept wurden wiederum Ziel-Mittel-Kombinationen gebildet.<sup>83</sup>

Des Weiteren wurde durch die Definition von Verfahrenselementen ein Zugang zur Nanotechnologie formalisiert. Neben der Operationalisierung wurde so auch Verständniswissen über die Nanotechnologie in das Unternehmen transferiert und die Wissenslücken geschlossen. Umfang und Detaillierungsgrad der Verfahrenselemente war ausreichend präzise, um das Verfahren hinsichtlich Zeitaufwand und Zielerreichung effizient und effektiv zu unterstützen.

---

<sup>83</sup> Vgl. Wechselwirkung von Ziel-Mittel-Kombination (Patzak 1982, S.169) sowie Abbildung 21.

Indem die Ausprägung eines Verfahrenselements nicht weiter definiert wurde, z.B. durch Festlegung von Nanomaterialien als Wirkstruktur oder Funktionen von Nanomaterialien als Systemfunktion, haben sie Allgemeingültigkeit. Es können so auch neueste Forschungsergebnisse als Lösungskonzept identifiziert werden. Es ist zu erwarten, dass die Verfahrenselemente auf diesem Beschreibungsniveau allgemeine Gültigkeit besitzen, die inhaltliche Ausprägung aber weiterhin großer Dynamik unterworfen sein wird.

Der Zugang zur Nanotechnologie wurde durch die Anpassung methodischer Ansätze unterstützt und die Wirksamkeit gezeigt. Der Wechsel in die abstrakte Ebene der TRIZ-Methode wurde in diesem Verfahren zur Identifikation von Problemlösungen umgekehrt: Die Lösungsansätze der Nanotechnologie wurden als Wirkprinzip abstrahiert, um Problemlösungen zu identifizieren.

### **Methodische Unterstützung der Identifikation und Bewertung von Produktideen**

Durch die methodische Unterstützung und das systematisch-diskursive Vorgehen konnten eindeutige, nachvollziehbare und produktspezifische Aussagen zur Relevanz der Nanotechnologie für Produktideen gewonnen werden. Die Relevanz der Lösungskonzepte wurde sowohl aus Kunden- wie Technologiesicht analysiert und bewertet (Schritt 3.2) und somit eine Auswahl für die weitere Analyse und Detaillierung in Phase 4 getroffen. Kriterien für den Nutzen der Problemlösung waren der Anwendungsnutzen, das Marktpotenzial, die Anwendungsbreite und die Zielübereinstimmung mit der Strategie. Gleichzeitig konnte durch das methodische Vorgehen eine effiziente und effektive Informationsgewinnung und -verarbeitung erreicht werden. Durch leitfadengestützte Experteninterviews und Workshops wurde eine systematische und umfassende Informationsgewinnung sichergestellt.

### **Anwendbarkeit des Verfahrens**

Die Anwendbarkeit des Verfahrens wurde durch die Umsetzung in den zwei Beispielunternehmen mit unterschiedlichen Produktspektren und Wertschöpfungsketten-Positionen demonstriert. Das Verfahren konnte an die unternehmensspezifische Ausgangssituation und die zu verarbeitende Informationsmenge flexibel angepasst werden. Die Umsetzung zeigte, dass das Verfahren auch für Unternehmen anwendbar ist, die selbst keine Materialentwicklung betreiben.

Die Durchgängigkeit des Verfahrens wurde durch das schrittweise Vorgehen sowie die Definition von Verfahrenselementen erreicht. Die einfachen und transparenten Bewertungsverfahren ermöglichten eine umfassende Technologierelevanzanalyse der Nanotechnologie mit vertretbarem Aufwand. Besonders die schrittweise Eingrenzung des Lösungsraums (Schritt 3.2 und Schritt 4.2, sowie Abbildung 34) sorgte für einen vertretbaren Arbeitsaufwand. Dieser muss bei einer erneuten Analyse teilweise erneut aufgebracht werden. Allerdings müssen dann evtl. nur Teile des Analyseobjekts dekomponiert werden. Oder die Problemlösung ist aufgrund des gewachsenen Wissensstands und der Kenntnis über die Zusammenhänge und Grundlagen der Nanotechnologie leicht zu identifizieren. Außerdem ist zu erwarten, dass zukünftig durch den Aufbau oder die Erweiterung des Expertennetzwerkes das Unternehmen schneller relevante Informationen erhalten kann.

Eine zusammenfassende Darstellung der Anforderungen an das Verfahren (Kap. 5) mit dem relativen Grad ihrer Erfüllung ist in Tabelle 40 dargestellt.

**Tabelle 40: Zusammenfassung der Anforderungen und ihr relativer Grad der Erfüllung bei den Umsetzungsunternehmen**

Anforderung	Kriterium	Unternehmen	
		Alpha	Beta
Zusammenführung von Nanotechnologie und Produktfindung in der Produktplanung	Effektivität der Problemidentifikation und Ideenfindung	●	◐
	Umfassende Analyse	●	●
	Systematik der Wissensintegration	●	●
Funktionsbasierter Zugang zur Nanotechnologie	Funktionsbasierter Technologiezugang	●	●
	Zweckmäßigkeit	◐	◐
	Methodenanpassung und -kombination	●	●
	Allgemeingültigkeit	◐	◐
Methodische Unterstützung der Identifikation und Bewertung von Produktideen	Identifikation von Produktidee und Bewertung der Relevanz	◐	●
	Informationsgewinnung	●	●
	Anschlussfähigkeit und Einfachheit der Bewertung	◐	◐
Anwendbarkeit des Verfahrens	Durchgängigkeit	●	●
	Effiziente und praxisgerechte Anwendung	◐	◐
	Anpassbarkeit	●	●

Legende: Anforderung ● – vollständig erfüllt; ◐ – teilweise erfüllt

## 8.2 Diskussion

Die Anwendung des entwickelten Verfahrens zeigt, dass das Verfahren in der Praxis anwendbar ist und die Zielsetzung sowie die gestellten Anforderungen erfüllt. Einige ausgewählte, das Verfahren und seine Umsetzung betreffende Punkte werden im Folgenden kritisch diskutiert.

### Verortung der Relevanzanalyse für Nanotechnologie in der Produktplanung

Das Verfahren zur Lösung der Ausgangsfragestellung „Wo kann das Unternehmen Nanotechnologie einsetzen?“ wurde in der Produktplanung verortet. Die Aufgabe der Produktplanung, zukunftssträchtige Produktideen zu suchen und zu finden, wurde unterstützt, indem die Nanotechnologie hinsichtlich ihres Lösungspotenzials spezifisch für Produktfunktionen analysiert und bewertet wurde. Grund hierfür ist, dass die Nanotechnologie allein kein Produkt konstituiert, sondern Funktionalitäten ermöglicht, die vor dem Hintergrund einer gestalterischen oder funktionalen Idee eines Produktes analysiert und bewertet werden müssen.

Die Analyse neuer Technologien ist auch Aufgabe anderer Managementansätze wie die Technologieplanung oder -früherkennung. Deren Ziel ist es, wettbewerbsrelevante Technologien für die Technologiestrategie auszuwählen oder sie bereits im frühen Entwicklungsstadium zu identifizieren. Nanomaterialien können dahingegen nicht als eine abgegrenzte Technologie oder ein System mit einer spezifischen Funktion betrachtet werden. Für die erforschten und entwickelten Nanosysteme, z.B. Sensoren oder Chips ist dies möglich – hier gibt es Technologie-Roadmaps und einen funktionell eingeschränkten Lösungsraum mit mittel- bis langfristigen Substitutionseffekten. Für das Überleben eines Unternehmens in diesen Branchen ist es wettbewerbsrelevant,



frühzeitig die Entwicklungen zu antizipieren und eigene Forschung zu betreiben. Die Beherrschung des Teilgebiets der Nanowissenschaften entscheidet hier über die Nutzung der Nanotechnologie durch das Unternehmen. Die Potenziale der Nanomaterialien können dagegen auch ohne längerfristige Forschung erschlossen werden. Ihr Einsatz muss hinsichtlich des Mehrwerts für Produkte (neue Eigenschaften, Kosteneinsparung oder bessere Qualität) spezifisch analysiert werden, um daraus neue Produktideen abzuleiten. Dabei kann der Nutzen oftmals nicht direkt aus der Kernfunktion des Produktes erschlossen werden, sondern muss systematisch eingegrenzt werden.

### **Identifikation von Problemideen**

Der Prozess der Ideenfindung gilt als kreativer Problemlösungsprozess. Um solche Problemideen zu identifizieren, für die die Nanotechnologie prinzipiell auch eine Lösung anbietet, muss das Vorgehen durch systematisch-diskursive Methoden unterstützt werden. Hierbei kommen heuristische Methoden zum Einsatz, die zwar nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zum gewünschten Ergebnis führen, auf der anderen Seite aber gewährleisten, dass die Zielsetzung, Lösungen mit Nanotechnologie zu identifizieren, erreicht wird.

Dabei sind mit der Identifikation von Problemideen zwei Problemstellungen verbunden, die in der Literatur auch aufgegriffen werden: Zum einen ist die Güte der Formulierung von Problemideen entscheidend für den Sucherfolg und die Innovativität der Lösungen (VDI-2803 1996). Es besteht die Gefahr, dass die Problemformulierung gleich eine favorisierte oder hinlänglich bekannte Lösung vorwegnimmt. Gegebenenfalls muss in dem Verfahren das zu optimierende System in einem größeren Kontext analysiert und eine Zweckfunktion beschrieben werden. Zum anderen wird im Innovationsmanagement darauf hingewiesen, dass gewöhnlich eine Vielzahl von Produktideen notwendig ist, um eine Innovation zu schaffen (vgl. Spath et al. 2003; Clark, Wheelwright 1993). Ziel ist es deshalb auch, zu Beginn möglichst viele Ideen zu sammeln.

### **Bewertung der Relevanz der Nanotechnologie**

Die Bewertung der Relevanz baut in diesem Verfahren auf der Funktion auf. Die Funktion war Vorgabe für die Dekomposition und diente der Abstraktion der Problemidee, um „unvoreingenommen“ nach möglichen Lösungen zu suchen. Sie ermöglichte den Zugang zur Nanotechnologie und war Bewertungskriterium für die Eignung des Lösungskonzepts.

Damit wurde das geforderte „Denken in Funktionen“ als ein erster Filter in der Technologieanalyse und -bewertung umgesetzt, der festlegt, ob Nanotechnologie relevant ist oder nicht. Für die weitere Analyse müssen dann weitere Kriterien herangezogen werden. In beiden Umsetzungsbeispielen zeigte sich, dass sich die Fragen der Applikation und Produzierbarkeit direkt an die der funktionalen Eignung anschließen. Aber auch Fragen der Toxizität, Kosten u. a. müssen für die weitere Planung mit einbezogen werden. Allerdings ist in dieser frühen Phase darauf zu achten, welche Bewertungskriterien tatsächlich sinnvoll sind und herangezogen werden müssen. So ist zu überprüfen, ob sich mit dem Einsatz der Nanotechnologie nicht auch auf Anwendungsseite die Anforderungen ändern, oder durch weitere Änderungen des betrachteten Systems doch eine vermeintlich nicht mögliche Anwendung relevant wird.

### **Einbindung von implizitem Wissen durch Nanotechnologie-Experten**

Informationen zu Neuen Technologien gelten als knappe Ressource und Wettbewerbsvorteil. Die damit verbundene Herausforderung ist, die richtigen Informationen und ihre Quellen zu identifizieren und zu nutzen. In der wissenschaftlichen Literatur existiert bereits eine Vielzahl an Studien zur Anwendung der Nanotechnologie in bestimmten Branchen. Dieses explizite Wissen ist frei verfügbar und stellt somit keinen Wettbewerbsvorteil dar. Gleichzeitig ist dieses Wissen oftmals so unspezifisch, dass Unternehmen sich zwar einen Überblick verschaffen können, ein detaillier-

ter Einblick in Wirkmechanismen jedoch nicht geleistet wird. Darüber hinaus ist das Wissen je nach Veröffentlichungsdatum zum Zeitpunkt der Beschaffung schon veraltet. Neueste oder geheime Forschungsergebnisse finden sich zudem meist nicht in den Studien.

In dem Verfahren wurde deshalb in erster Linie implizites Wissen der Nanotechnologie-Experten zu Lösungskonzepten und -ideen genutzt. Eine andere Informationsquelle mit entsprechender Qualität sind Patente. Durch die Einbindung der Experten konnte jedoch nicht nur sichergestellt werden, dass aktuelles Wissen über die Leistungspotenziale und Anwendungsreife der einzelnen Lösungskonzepte und -ideen verfügbar war, es konnte so auch der Aufwand reduziert und das Unternehmensnetzwerk in diesem Bereich neu auf- oder weiter ausgebaut werden.

### **Anschlussfähigkeit und Generalität des Verfahren**

Das Verfahren wurde für die Relevanzanalyse der Nanotechnologie entwickelt. Es ist denkbar, dass es auch für andere Querschnittstechnologien mit einem breiten funktionalen Lösungspotenzial angewandt werden kann. Hierfür müssen die Wirkprinzipien und gegebenenfalls die Dekomposition entsprechend angepasst werden. Wirkstrukturen stellen dann ein wie immer gear tetes System dar, das die Funktion bereitstellt. Beispiele für Technologien, für die das Verfahren anwendbar sein könnte, sind die Biotechnologie oder Smart Materials.

## 9 Zusammenfassung und Ausblick

### 9.1 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Verfahrens zur funktionsbasierten Technologie-relevanzanalyse von Nanotechnologie in der Produktplanung. Dabei werden vier Teilziele verfolgt:

1. Mit dem Verfahren soll die Relevanz der Nanotechnologie für Produkte analysiert und bewertet werden, indem Problemstellungen (Problemidee) auf Produktseite und Lösungsansätze der Nanotechnologie (Lösungsidee) zusammengeführt werden. Dadurch sollen neue Produktideen auf Basis der Nanotechnologie und somit neue Innovationspotenziale identifiziert werden.
2. Hierfür soll eine formalisierte Beschreibung aufbauend auf der Funktion der Nanotechnologie als operabler Zugang zugrunde gelegt werden.
3. Es soll ein Analyse- und Bewertungsansatz mit geeigneten Methoden entwickelt werden. Insbesondere gilt es, implizites Wissen zu akquirieren und zu integrieren.
4. Das Verfahren soll in der Produktplanung nach VDI 2220<sup>84</sup> zur Produktfindung mit Nanotechnologie als Teil des betrieblichen Innovationsprozesses verankert werden.

Die Chancen der Nanotechnologie, neue Funktionalitäten von Materialien und Strukturen durch die gezielte und spezifische Gestaltung im nm-Bereich zu schaffen, bietet ein großes Innovationspotenzial. Aufgrund der Universalität und Kombinationsmöglichkeit der funktionalen Nanomaterialien eröffnen sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten für fast alle Branchen (vgl. Anhang Kap. 11.2.2, Tabelle 49). Verbesserte Produkteigenschaften, ein besseres Preis-Leistungs-Verhältnis, höherer Qualität und ganz neue Funktionen für Produkte sorgen für einen erhöhten Kundennutzen.

In der Praxis kann jedoch eine Lücke zwischen Nanotechnologie und den möglichen Anwendung identifiziert werden. Nanotechnologische Lösungsansätze sind auf Anwendungsseite nahezu unbekannt. Aufgrund der Entwicklungsdynamik gibt es noch kein ausdifferenziertes Technologiefeld mit bekannten Anwendungsgebieten und einem strukturierten Zugang. Unternehmen müssen deshalb systematisch an die Nanotechnologie herangeführt werden. Bereits bei der Ideenfindung in der Produktplanung müssen Lösungsansätze der Nanotechnologie berücksichtigt und deren Innovationspotenzial bewertet werden.

Allerdings sind in diesen frühen Phasen der Ideenfindung die Produktplanungs- und Technologiesicht noch nicht gekoppelt, um neueste technologische Lösungsansätze in die Produktfindung einfließen lassen zu können. Beide Domänen müssen hierfür zusammengeführt werden. Es fehlen jedoch geeignete Methoden, um Problem zu identifizieren, Neue Technologien zu analysieren und spezifisches Wissen in den Prozess zu integrieren. Gründe hierfür sind die geringe Praxistauglichkeit und das komplexe und unspezifische Vorgehen vorhandener Ansätze. Auch sind Inhalte der Nanotechnologie noch nicht in die bestehenden Methoden zur Problemlösung und Ideenfindung integriert.

Mit dem entwickelten Ansatz wird ein Verfahren vorgestellt, das Unternehmen bei der funktionsbasierten Analyse der Relevanz der Nanotechnologie unterstützt. Das Verfahren ist in der Produktfindung im Rahmen der Produktplanung verortet. Es werden relevante unternehmens-

---

<sup>84</sup> VDI-Richtlinie 2220: Produktplanung – Ablauf, Begriffe und Organisation (VDI-2220 1980).

spezifische Anwendungsfelder in Produkten (Problemidee) identifiziert und ausgewählt sowie korrespondierende Lösungsansätze (Lösungsidee) der Nanotechnologie analysiert und bewertet. Das Verfahren baut auf einem schrittweisen, systematisch-diskursiven Vorgehen auf. Nanotechnologie-Experten werden als Träger impliziten Wissens im Analyse- und Bewertungsprozess gezielt eingebunden. Es wird eine Terminologie aufbauend auf den Ansätzen der Konstruktion entwickelt, um den Zugang zur Nanotechnologie zu operationalisieren. Gleichzeitig wird so auch ein Verständnis über die Wirkweisen und Zusammenhänge der Nanotechnologie geschaffen. Methodische Ansätze wie Dekomposition, House of Technology oder Portfolioanalyse werden angepasst.

Im Zentrum des Verfahrens steht die Funktion als Abstraktion zwischen Nutzeranforderungen und den Lösungspotenzialen der Nanotechnologie sowie als Relevanzkriterium: Zweck- und Systemfunktionen werden als neue Ziel-Mittel-Kombination zusammengeführt, dadurch neue Produktideen gewonnen und deren Innovationspotenzial bewertet. Wirkprinzipien der Nanotechnologie liegen der Identifikation von Problemideen als Bedarf für den Einsatz der Nanotechnologie zugrunde. Problemideen sind Problemstellungen, gewünschte Verbesserungen einer Produktteilgenschaft oder die Substitution einer Produktfunktion. Diesen Problemideen werden Lösungsideen der Nanotechnologie, repräsentiert durch eine Funktion und ein Nanomaterial, gegenübergestellt. Die Relevanz wird in Bezug auf Nutzen und Lösungserfüllung qualitativ bewertet und es werden Maßnahmen abgeleitet. Das Verfahren konzentriert sich somit nicht allein auf die Analyse der Nanotechnologie. Es leistet vielmehr auch die der Lösungssuche vorausgehende Identifikation von spezifischen Problemen als mögliche Anwendung, für die die Nanotechnologie prinzipiell Lösungen anbietet.

Das Unternehmen erhält so Ansatzpunkte für Innovationen durch die Nanotechnologie. Dies können mittelinduzierte oder radikale Innovationen sein, indem die Ziel-Mittel-Kombination ein neues Mittel oder dadurch auch ein neues Ziel verfolgt. Der Anwendungskontext kann substituierend, komplementär oder neu zu den bisherigen Technologien sein. Das Verfahren setzt den Fokus auf Anwendungen von Nanomaterialien und deren Eigenschaften. Diese eröffnen dem Unternehmen die Möglichkeit, Produkteigenschaften zu verbessern, neue technische Lösungsprinzipien anzuwenden oder neue Produktfunktionen zu integrieren. Das Ziel ist es, u. a. den Mehrwert zu erhöhen, die Nutzerfreundlichkeit zu verbessern, die Ressourceneffizienz zu optimieren oder einen Wettbewerbsvorteil zu erzielen, indem ein neues Lösungsprinzip angewandt wird.

Die Umsetzung des Verfahrens und seine Eignung wurden am Beispiel von zwei Unternehmen der Investitions- und Gebrauchsgüterindustrie gezeigt. Es handelt sich um einen Hersteller von Füll- und Verpackungsmaschinen und einen Hersteller von Sanitärarmaturen. Beide Unternehmen erhielten aufwandsarm und anwendungsspezifisch Zugang zur Nanotechnologie. Nanomaterialien und -strukturen und deren Funktionen wurden den funktionalen Anforderungen möglicher Anwendungen gegenübergestellt. Aus einer Vielzahl an Kombinationen von anwendungsseitigen Problemideen und nanotechnologischen Lösungskonzepten wurden sukzessiv relevante Anwendungen ausgewählt und somit die Produktideen eingegrenzt. Deren Innovationspotenzial wurde hinsichtlich der Nutzenerfüllung und dem Lösungsbeitrag bewertet und Maßnahmen für die Umsetzung oder die weitere Verfolgung der Produktideen definiert. Einfache Analyse- und Bewertungsmethoden sorgten für ein transparentes Vorgehen und die Anpassbarkeit des Methodeneinsatzes. Für die Recherche von Lösungsansätzen der Nanotechnologie wurde implizites Fachwissen genutzt. Für die Unternehmen bestand der Nutzen des Verfahrens darin, dass

- ein systematischer Zugang zur Nanotechnologie erstmalig für das Unternehmen geschaffen und dadurch das Unternehmen befähigt wurde, bei neuen Problemen oder Änderungswünschen zukünftig auch die Lösungsmöglichkeiten der Nanotechnologie mit in Betracht ziehen zu können.

- viele neue Ideen für innovative Produktlösungen und -funktionen identifiziert wurden, die die Substitution von Prozessschritten, die Integration neuer Funktionen auf Oberflächen oder die Optimierung existierender Eigenschaften zur Folge haben. Der damit verbundene Kundennutzen betrifft die Erhöhung der Prozesssicherheit der Maschine, die Kostenreduktion im Betrieb oder den effizienteren Ressourceneinsatz.
- die Auswahl und Umsetzung der Innovationspotenziale durch das Verfahren systematisch unterstützt wurde und die Informationsgrundlagen und -qualität und damit die Qualität und Aussagekraft der Entscheidungen erheblich verbessert werden konnten.
- das Netzwerk des Unternehmens um den Bereich der Nanotechnologie ergänzt wurde und neue Kooperationspartner für die vorgelagerten Stufen der Wertschöpfungskette hinzugewonnen und somit die Wettbewerbskompetenz gesteigert werden konnte.

## 9.2 Ausblick

Der steigende Druck auf die Unternehmen, schneller und umfassender Neue Technologien zu adaptieren, lässt einen wachsenden Bedarf an neuen Verfahren, Methoden und Werkzeugen erkennen, um dieser Aufgabe mit vertretbarem Aufwand und zielgerichtetem Vorgehen gerecht zu werden. Hintergründe sind der verschärfte Globalisierungsdruck mit immer schnelleren Produktinnovationszyklen, sich verändernde Rahmenbedingungen mit einer verstärkter Nachfrage nach umweltfreundlichen Produkten sowie die Förderung des Technologieangebotes durch die öffentliche Hand, die einen Technologie-Push durch einen Forschungsmarkt auslöst.<sup>85</sup> Vor diesem Hintergrund müssen Neue Technologien zunächst erkannt, hinsichtlich der Relevanz und des Nutzenpotenzials analysiert und anschließend geeignete Maßnahmen definiert und realisiert werden.

Wie die Ausführungen in Kap. 3.1.2 zeigen, besteht die Herausforderung darin, die Barriere zwischen den Domänen der Produktentwicklung und der Technologie durch ein gemeinsames Verständnis („Blue-Print“) des Betrachtungsgegenstandes zu überwinden. In dem entwickelten Verfahren wird eine Terminologie von Verfahrenselementen dargelegt, um das Feld der Nanotechnologie zu strukturieren. Allerdings wurde darauf verzichtet, deren Ausprägung weiter zu definieren, um die Allgemeingültigkeit und die notwendige Flexibilität bei der Definition von funktionalen Anforderungen zu gewährleisten. Hier besteht noch großer Bedarf für Forschung und Industrie, geeignete IT-gestützte Werkzeuge zu entwickeln, die den Wissenszugang vereinfachen und der Tatsache Rechnung tragen, dass sich der Inhalt in Bezug auf Funktionen, Materialien oder Wirkweisen ständig weiterentwickelt. Semantische Modelle und intelligente Suchwerkzeuge im Internet bieten hierfür Ansätze, um teilweise automatisiert Informationen suchen und verarbeiten sowie Inhalte strukturieren zu können. Die Auswertung von Patenten ist ein weiterer Ansatz, um geeignete Informationen zu erhalten.

Im Zusammenhang mit der Technologieadaptation besteht zudem das Problem, geeignete Informationen und Experten in einem bisher unbekanntem Feld ausfindig zu machen. Es wird deshalb in der Forschung der Expertenidentifikation und der Netzwerkbildung im Innovationsgeschehen erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt. Ansätze wie Innovation Community oder Open Innovation zeigen dies (Bullinger, Warschat 2007). In der Nanotechnologie haben sich z.B. Wissenschaftler

---

<sup>85</sup> Beispielsweise werden im Rahmen der Hightech-Strategie der Bundesregierung für den Zeitraum 2006-2009 für die Nanotechnologie Mittel in Höhe von 640 Mio. Euro bereitgestellt, zudem wird Nanotechnologie auch in vielen anderen Hightech-Sektoren eine wichtige Rolle spielen (BMBF 2006b). Im 7. Rahmenprogramm der EU werden für den Bereich Nanowissenschaften, Nanotechnologien, Werkstoffe und neue Produktionstechnologien 3.475 Mio. Euro vorgesehen (Europäische Union 2006, S.38).

als Nanobotschafter am Deutschen Museum in München formiert, um über die Nanotechnologie zu informieren und als Ansprechpersonen bereit zu stehen.

Vor diesem Hintergrund erfordert der Querschnittscharakter der Nanotechnologie, dass die einzelnen Disziplinen des Technologiemanagements, der Produktentwicklung und des Marketings integriert betrachtet werden. Die Konvergenz und Interdisziplinarität neuer Technologien verlangt ein interdisziplinäres und integriertes Vorgehen von Forschungs- und Unternehmensseite in der Produktentwicklung. Ansätze wie die Projekthäuser der Degussa greifen dies auf, indem die Unternehmen der kompletten Wertschöpfungskette in einem Gebäude projektbezogen integriert werden. Ein weiterer Ansatz ist die interdisziplinäre Ausbildung von Ingenieuren und Wissenschaftlern, die dem konvergierenden Charakter der Nanotechnologie gerecht wird und naturwissenschaftliche und betriebswirtschaftliche Denkweisen vermittelt.

Das entwickelte Verfahren ist aber nicht nur für die Nanotechnologie von Nutzen. Aufgrund der Unterstützungsleistung und dem Anwendungshintergrund kann es auch für Technologien wie die Biotechnologie oder für neue Entwicklungsansätze wie die Bionik relevant sein. Auch hier müssen aus einer Vielzahl an Lösungsmöglichkeiten, denen teilweise ganz neuen Prinzipien zugrunde liegen und die außerhalb des Kernbereichs liegen, geeignete Ansätze ausgewählt und adaptiert werden. Außerdem kann der entwickelte Ansatz auch dahingehend erweitert werden, Anwendungsfelder nicht nur für ein Produkt, sondern auch für einen Markt und dessen Bedürfnisbefriedigung zu identifizieren. So könnten z.B. allgemeine Anforderungen der Umwelttechnik wie Reinigung, Analyse, Ressourceneffizienz u. a. analysiert und daraus prinzipielle Anwendungsbereiche für Funktionen und Materialien der Nanotechnologie abgeleitet werden (vgl. Heubach et al. 2005).

Im Hinblick auf die starke Förderung und Beforschung der Neuen Technologien müssen auch Konzepte und Werkzeuge entwickelt werden, die bereits frühzeitig die Markt- und Anwendungsrelevanz der Technologie für unterschiedliche Märkte und Produkte analysieren. Das hier entwickelte Verfahren betrachtete die Relevanz aus Unternehmenssicht für ein Produkt. Querschnittstechnologien oder Enabling Technologies können aber in ganz unterschiedliche Märkte diffundieren und in verschiedenen Produkten angewandt werden. Um diese identifizieren und hinsichtlich ihres Erfolgspotenzials bewerten zu können, müssen frühzeitig Funktionsmerkmale der Technologie z.B. als Produktvision abstrahiert und deren Nachfrage in den Märkten bewertet werden.

## 10 Abstract

The objective of this thesis is to develop a functional-based approach for a relevance analysis of nanotechnology in the product planning process. This objective comprises four goals:

1. the relevance of nanotechnology for products shall be analysed and assessed by linking product-related problems (so called "problem ideas") with solution approaches of nanotechnology ("solution idea"). Thereby, new product ideas based on nanotechnology and thus new innovation potential ideas shall be identified.
2. Therefore, a formalised description of nanotechnology as an operable access is to be set up as a based on functions of nanotechnology.
3. A set of analysis and assessment methods is to be developed with a special focus on the integration of implicit knowledge.
4. The approach for product design with nanotechnology shall be integrated in the product planning process as published in VDI 2220<sup>86</sup> as part of the corporate innovation process.

The possibility of nanotechnology by creating new functionalities of materials and structures through targeted and specific design in the nanometre range offers a great innovation potential. The universality and possible combinations of functional nanomaterials opens up various applications for nearly every industry. Improved product properties, a better cost-performance ratio, higher quality or novel functions for products provide an increased customer benefit. However, a significant gap can be seen between the technological 'bank' of nanotechnologies and (prospective) application 'banks' in practice. Solution approaches by nanotechnology are still almost unknown on the application side. Due to the dynamic technology development, nanotechnology is not yet a differentiated technology field with established application areas and structured access. Therefore, enterprises have to be systematically introduced to nanotechnology. Solution approaches by nanotechnology have to be taken into account already during the ideas generation phase in the product planning process and have to be assessed with respect to their innovation potential.

However, in the early phase of idea generation, product planning view and technology view are not yet linked in order to consider novel solution approaches in the product design process. Therefore, both domains have to be brought together. In this context, suitable methods to identify problems, to analyse new technologies and to integrate specific knowledge are lacking. Existing approaches show a poor suitability in practical applications and complex and unspecific methodological procedures.

With the developed approach, a procedure is presented which can support enterprises in analysing the functional-based relevance of nanotechnology focused on nanomaterials and their properties. The procedure is positioned in product design within the product planning process. Relevant enterprise-specific applications fields in products ("problem ideas") are identified and selected as well as correspondent solution approaches ("solution ideas") by nanotechnology are analysed and assessed. The procedure is built on a successive, systematic discursive approach. Nanotechnology experts are involved in the analysing and assessing process as a source of implicit knowledge. A terminology based on approaches from design is developed in order to operationalise the access to nanotechnology. At the same time, an understanding about the im-

---

<sup>86</sup> VDI-Guideline 2220: Product Planning – Flows, Terms and Organization (VDI-2220 1980).

pact manner and the recognisable connections of nanotechnology is built up. Methodical approaches like decomposition, House of Technology or portfolio analysis are adjusted.

The focal point of the approach is the *function* as an abstraction of consumer requirements and potential solutions by nanotechnology as well as relevance criteria: so called *purpose functions* and *system functions* are combined as means-purpose-combinations. Thus, new product ideas can be obtained and assessed. *Working principles* of nanotechnology provide the basis to identify problem ideas as a demand for application of nanotechnology. *Problem ideas* represent problems, required optimisations of product specifications or the substitution of a product function.

In a first assessment step, basic solution concepts represented by a system function and a nanomaterial, e.g. photocatalytic by TiO<sub>2</sub> nanoparticles, are searched and compared to problem ideas. The relevance is assessed based on a qualitative consideration regarding benefit (attractiveness for customers, level of innovation, market size or volume of the new product, portability of the problem to other products/ product groups/ components and consistency with strategic measures) and fulfillment of the solution. In a second assessment step, relevant solution concepts are detailed as solution ideas, e.g. regarding the corresponding substrate, technical specifications or manufacturing technology. Problem and solution idea constitute an innovation potential, e.g. the prevention of bacteria growth by photocatalytic TiO<sub>2</sub>.

Thus the developed approach focuses not only on the analysis of nanotechnology. Preceding the search for solutions, the approach contributes to the identification of specific problems as possible applications for which nanotechnology offers a principle solution.

Using the proposed procedure, enterprises can obtain a starting point for innovations by nanotechnology, which can be induced by completely new means or can be radical innovations. The objective is amongst others to increase added value, optimise user-friendliness, enhance resource efficiency or realise a competitive advantage by offering a new solution principle or state of the art. The relevance analysis was applied with two producing companies, one from the capital-intensive goods and the other one from consumer goods industry. The practical application showed that the approach is well suited to identify novel and very specific applications for nanotechnology in the company's product range. Both companies received an application-specific access to nanotechnology with less expense. Nanomaterials and nanostructures with their functionality were compared to the functional requirement of potential applications. Relevant applications were chosen from a multitude of combinations of applications-sited problem ideas and nanotechnological solution concepts and thus the product ideas narrowed as problem and solution ideas. Their innovation potentials were assessed regarding the fulfilment of the benefit and the contribution of the solution. Measures were derived and defined for further monitoring or implementation. Simple methods for analysing and assessing the potential provided a transparent procedure and adaptability of the applied methods. Implicit expert knowledge was involved to search for solution concepts.

Benefits of the applied relevance analysis and the develop functional-based approach for the companies were

- a systematic access to nanotechnology which enabled the company to identify further solution principles and
- the identification of many new ideas for innovative product features,
- a systematic support of selection and implementation of the identified innovation potentials and a improved information basis and quality, and
- an expanded network of nanotechnology experts and partners within the value chain.



# 11 Anhang

## 11.1 Anhang A: Detaillierung einzelner Schritte des Verfahrens

Im Folgend werden im Anhang A einzelne Schritte des Verfahrens aus Kap. 6 näher erläutert.

### 11.1.1 Zur Terminologie relevanter Begriffe

#### 11.1.1.1 Terminologie und Begriffsbestimmung in der VDI-Richtlinie 2221

In Kap. 6.1 werden relevante Begriffe für einen formalisierten Zugang zur Nanotechnologie in dieser Arbeit beschrieben, die auf der VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte (VDI-2221 1993) aufbauen. Darin werden Begriffe für eine branchenübergreifende Entwicklungs- und Konstruktionsmethodik wie folgt definiert:

Effekt .....	Das immer gleiche, voraussehbare, durch Naturgesetze bedingte Geschehen physikalischer, chemischer oder biologischer Art.
Effektträger .....	Gebilde oder deren Teile (ggf. deren Fläche, Form oder Anordnung), die einen Effekt ermöglichen.
Funktion .....	Lösungsneutral beschriebene Beziehung zwischen Eingangs-, Ausgangs- und Zustandgrößen eines Systems. Man unterscheidet Gesamtfunktion und Teilfunktion sowie Hauptfunktion und Nebenfunktion.
Lösungsprinzip.....	Grundsätzliche Verwirklichung einer Funktion oder mehrerer verknüpfter Funktionen durch Auswahl von Effekten (Effektebene) und wirkstruktureller Festlegung (Gestaltebene).
Prinzipielle Lösung .....	Darstellung der Lösungsprinzipien (in der Effekt- und Gestaltebene) und deren Struktur (Wirkstruktur).
Wirkfläche .....	Fläche eines Körpers, eines Teils eines Produkts, an dem eine Wirkung erfolgt.
Wirkprinzip .....	Grundsatz, nach dem eine Wirkung erfolgt.
Wirkraum .....	Raum eines Körpers, eines Teils eines Produkts, in dem eine Wirkung erfolgt. Ein Wirkraum kann durch eine oder mehrere Wirkflächen begrenzt sein.
Wirkstruktur .....	Anordnung und Verknüpfung mehrerer Wirkprinzipien, z.B. bei mechanischen Gebilden mit Wirkflächen, Wirkflächenpaarung, Wirkräumen und Wirkbewegungen.

#### 11.1.1.2 Herleitung der Eigenschaftskategorien der Nanotechnologie

In verschiedenen Studien zur Nanotechnologie werden die einzelnen Funktionen von Nanomaterialien nach Eigenschaftskategorien strukturiert (Paschen et al. 2004; Brune et al. 2006; Haas 2006; Luther et al. 2004). Aus diesen Zusammenstellungen wird in Tabelle 41 eine Gliederung von zentralen Eigenschaftskategorien für diese Arbeit abgeleitet. Die Kategorien sollen eindeutig zuordenbar und in sich abgeschlossen sein. Die Kategorisierung dient der Verallgemeinerung von Wirkprinzipien der Nanotechnologie (siehe Kap. 6.1.1). Die auf diese Weise zusammengestellten Eigenschaftskategorien sind „mechanisch“, „elektrisch“, „magnetisch“, „optisch“,

„thermisch/thermodynamisch“ (physikalische Eigenschaften) sowie „chemisch“ und „biologisch“.

Tabelle 41: Zusammenführung von Eigenschaftskategorien der Nanotechnologie

Eigenschaftskategorien von Nanomaterialien in Studien				Eigenschaftskategorien in dieser Arbeit									
				physikalisch									
				mechanisch	elektrisch	magnetisch	optisch	thermisch/ thermodynamisch	chemisch	biologisch			
Nach Paschen et al. 2004	Nach Brune et al. 2006	Nach Haas 2006	Nach Luther et al. 2004										
mechanisch	mechanisch	mechanische Eigenschaften	mechanisch	●									
geometrisch			katalytisch								● <sup>87</sup>		
elektrisch	elektrisch/elektronisch	elektrische Eigenschaften	elektrisch		●								
magnetisch	magnetisch	magnetische Eigenschaften	magnetisch			●							
optisch	optisch	optische Eigenschaften	optisch				●						
chemisch											●		
biologisch			biologisch									●	
	thermodynamisch	Thermodynamik	thermisch						●				
	thermisch								●				
	Self Assembly-Fähigkeit												
	Wiedererkennungsfähigkeit											●	
		Oberflächen und Grenzflächen	Benetzungsverhalten								●		
		Heterogene Katalyse									●		
		Stoff – und Wärmetransport							●				
			sterisch										

**Legende:**

● = Überführung der Eigenschaftskategorien der Literatur in ein Modell von Eigenschaften für diese Arbeit

Tabelle 49 im Kap. 11.2.2 zeigt beispielhaft mögliche Systemfunktionen  $SF_{NT,i}$  aus der Literatur für jede Eigenschaftskategorie „mechanisch“, „elektrisch“, „magnetisch“, „optisch“, „thermisch/thermodynamisch“, „chemisch“ und „biologisch“ aus Tabelle 41.

**11.1.1.3 Wirkort der Nanotechnologie: Oberflächen und Komposite**

Nanomaterialien und -strukturen sind nanoskalige Funktionsträger, die in Materialien oder Beschichtungen eingebunden werden können (siehe Kap. 3.2.4.2). Abbildung 45 zeigt beispielhaft Wirkorte der Nanotechnologie. Wirkstrukturen  $WS_{NT,i}$  werden demnach an der Oberfläche als Beschichtung (a-c) oder Struktur (d), oder im bzw. durch das Material als nanoporige offe-

<sup>87</sup> Bei Paschen et al. 2004 werden unter den geometrischen Eigenschaften z. B. die einstellbare Porengröße oder das extrem große Oberfläche-Volumen-Verhältnis zusammengefasst. Diese Eigenschaften betreffen die chemischen Eigenschaften von Materialien und Strukturen und werden deshalb diesen zugeordnet.

ne/geschlossene Struktur (e) oder als Komposit (f-h) eingesetzt. Diese Einteilung dient dazu, die unterschiedlichen Applikation  $AP_i$  der Lösungskonzepte darzulegen.

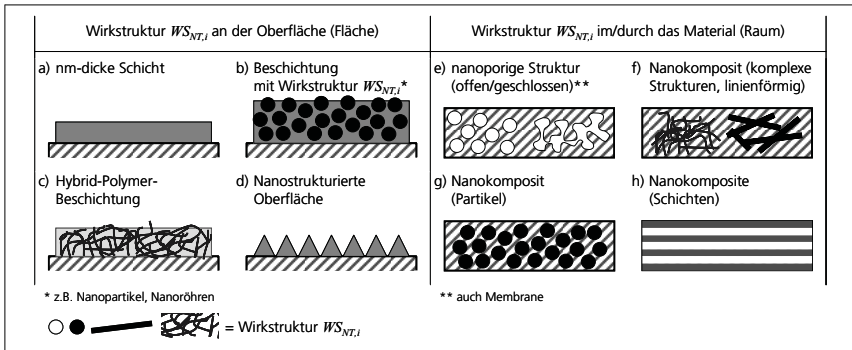


Abbildung 45: Beispielhafte Wirkorte der Nanotechnologie an Oberflächen und in Materialien (eigene Darstellung)

### 11.1.2 Zu Schritt 1.1: Ablauf zur Erstellung aussichtsreicher Suchfelder

Die Identifikation aussichtsreicher Suchfelder ist eine der Produktplanung vorgelagerte Funktion. Suchfelder sind Aktionsbereiche, die der Produktfindung vorgegeben werden und innerhalb derer nach neuen Produktideen gesucht werden soll. Abbildung 46 zeigt den Ablauf zur Erstellung aussichtsreicher Suchfelder in der Produktplanung (VDI 1983, S.62).

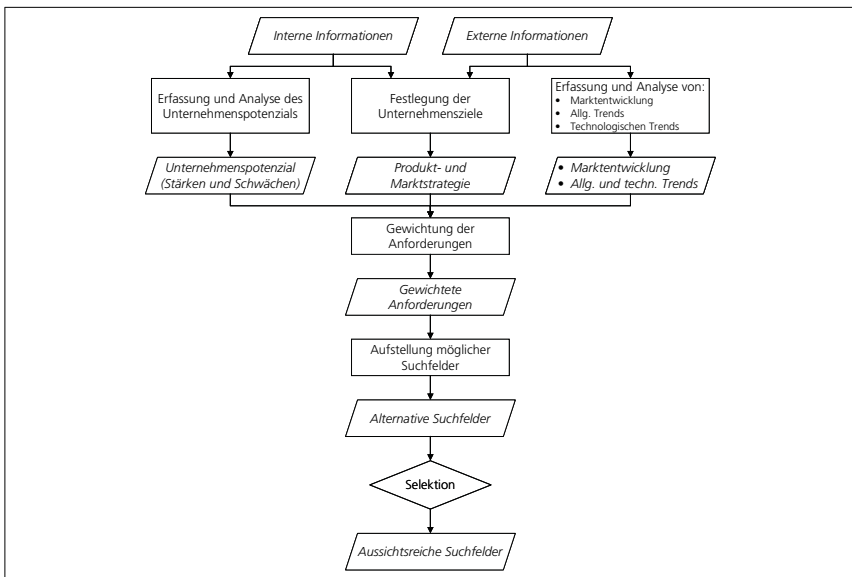


Abbildung 46: Ablauf zur Erstellung aussichtsreicher Suchfelder (VDI 1983, S.62)

Tabelle 42 zeigt die Erfolgsfaktoren, die Einfluss auf die Ableitung der allgemeinen Ziele für den Einsatz der Nanotechnologie haben können (siehe Tabelle 19). Ergebnis der Umfeldanalyse sind allgemeine Trends im Umfeld des Analyseobjekts sowie Erfolgsfaktoren für den möglichen Einsatz der Nanotechnologie.

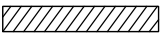
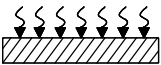
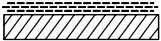

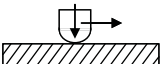
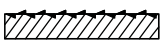
**Tabelle 42: Erfolgsfaktoren aus Umfeldanalyse und interne Anforderungen**

Externe Treiber	Externe Potenziale	Interne Anforderungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marktentwicklung</li> <li>• Kundenbedürfnisse</li> <li>• Technologie</li> <li>• Umweltschutz</li> <li>• Recht</li> <li>• Qualität</li> <li>• Preis/Kosten</li> <li>• Nutzen</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neue Märkte</li> <li>• Neue Produkte</li> <li>• Neue Produkteigenschaften</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technik</li> <li>• Kosten</li> <li>• Technologielebenszyklus</li> <li>• Optimierungsbedarf</li> <li>• Strategie</li> <li>• ...</li> </ul>

### 11.1.3 Zu Schritt 2.1: Ableitung von Funktions- und Objektelementen

Die in Kap. 11.1.1.2 hergeleiteten Eigenschaftskategorien der Nanomaterialien und -strukturen (mechanisch, elektrisch, magnetisch, optisch, thermisch/thermodynamisch, chemisch, biologisch, Tabelle 41) sind nahezu deckungsgleich mit den funktionsbedingten Einflüssen und Beanspruchungen von Bauteilen. Diese können nach Czichos 2000 (S.D42) eingeteilt werden in Volumenbeanspruchungen und Oberflächenbeanspruchungen. Zur ersten Beanspruchungsart zählt die mechanischen, thermischen und strahlungsphysikalischen Einflüsse, während Oberflächenbeanspruchungen durch strahlungsphysikalische, chemische, biologische oder tribologische Einflüsse hervorgerufen werden. Tabelle 43 zeigt beispielhaft Materialschädigungs- und Beanspruchungsarten von Werkstoffoberflächen (Objektelemente  $OE_i$ ) (Czichos 2000; S.D42). Diese korrespondieren mit den Wechselwirkungen stofflicher oder nicht-stofflicher Art und erfordern eine Oberflächenfunktionalisierung, beschrieben als Problemidee  $PI_i$ .

**Tabelle 43: Beanspruchungsarten von Werkstoffoberflächen (Czichos 2000; S.D42)**

Art und Funktion technischer Oberflächen	Oberflächenbeanspruchung	Oberflächenveränderung bzw. -schädigung
Außenflächen von technischen Produkten aller Art	 Mechanisch unbeanspruchung (Klima-/Umweltbeanspruchung)	Adsorption, Verschmutzung, Verwitterung
Oberflächen, die Wärme, Strahlung oder elektrische Strom ausgesetzt sind	 thermische, strahlungsphysikalische, elektrische Beanspruchung	Passivierung, Oxidation, Verzunderung
Oberflächen in Kontakt mit leitenden Flüssigkeiten	 elektrochemische Beanspruchung	Korrosion, Elektrolyse
Oberflächen in Kontakt mit strömenden Medien	 Strömungsbeanspruchung	Kavitation, Erosion
Oberfläche in Kontakt mit bewegten Gegenkörpern	 tribologische Beanspruchung (Reibbeanspruchung)	Kontaktdeformation, Verschleiß
Oberfläche in Kontakt mit Mikroorganismen	 biologische Beanspruchung	Biologische Schädigung

### 11.1.4 Zu Schritt 2.2: Anwendungsnutzen (Kundenattraktivität und Neuigkeitsgrad) der Problemeidee $PI_i$

Im Schritt 2.2 (Kap. 6.3.2.2) wird der Nutzen der Problemeidee  $PI_i$  hinsichtlich der Erfolgsfaktoren „strategischer Anwendungsnutzen“, „Marktpotenzial“, „Anwendungsbreite“ und „Zielübereinstimmung mit Strategie“ bewertet (Tabelle 22). Die Bewertungsgrundlage für den strategischen Anwendungsnutzen wird im Folgenden dargelegt.

Der Anwendungsnutzen der Problemeidee  $PI_i$  wird bestimmt durch den Erfüllungsgrad einer geforderten Eigenschaft und der damit verbunden Kundenattraktivität durch die Funktion. Die Kundenattraktivität wird anhand Begeisterungs-, Leistungs-, Basisanforderungen nach Kano eingeteilt und bewertet (siehe Sauerwein 2000, S.26). Der Neuigkeitsgrad der Lösung für die Problemeidee  $PI_i$  orientiert sich an der technologischen Innovationshöhe: Der Neuigkeitsgrad ist eher gering, wenn es sich allein um eine Verbesserung handelt und das Lösungsprinzip das gleiche bleibt, während der Neuigkeitsgrad eher als hoch einzustufen ist, wenn es sich um ein völlig neues Lösungsprinzip oder um die Substitution eines bisherigen Lösungsprinzip handelt. Komplementäre Lösungen können die Erfüllung von Begeisterungs-, Leistungs-, Basisanforderungen unterstützen und damit auch den Innovationsgrad oder die Produktwertigkeit verbessern.

Die Tabelle 44 zeigt die Unterstützungsmöglichkeiten der Nanotechnologie für unterschiedliche Anforderungen und der daraus resultierende Anwendungsnutzen auf.

Tabelle 44: Einordnung der Kundenattraktivität von Nanotechnologie-Anwendungen

Anforderung	Kundenattraktivität	Unterstützung durch Nanotechnologie	Abgeleiteter Nutzen durch NT
<b>Basisanforderungen</b>	Technologische Veränderungen einer Basisanforderung führen nur kurzfristig zu einer Erhöhung der Kundenzufriedenheit, ihre Nicht-Erfüllung führt zu Unzufriedenheit und Ablehnung des Produktes.	Durch Nanotechnologie können bei <i>bestehenden Produkten</i> die technischen Grundlagen von Basisanforderungen (durch Verbesserung oder Substitution des technischen Prinzips) optimiert werden und damit kurzfristig zu einer Attraktivitätssteigerung führen. Die Attraktivität ergibt sich hauptsächlich aus dem internen Nutzen wie z.B. Kostenreduktion. Bei <i>neuen Produkten</i> jedoch können die Basisanforderungen möglicherweise überhaupt erst durch Nanotechnologie realisiert werden.	Der Nutzen ist hoch <ul style="list-style-type: none"> <li>• bei Optimierung (Komplementäre Ergänzung oder Substitution des technischen Prinzips) der Basisanforderung mit internem Nutzen/Mehrwert (z.B. neuer Korrosionsschutz).</li> <li>• bei ausschließlichen Realisierungsmöglichkeiten der Basisanforderung bei neuen Produkten.</li> </ul>
<b>Leistungsanforderungen</b>	Die Kundenattraktivität steigt mit dem Erfüllungsgrad. Leistungsanforderungen werden ausdrücklich verlangt und dienen der Differenzierung im Wettbewerb.	Das Ziel der Nanotechnologie, einen Mehrwert und mehr Kundennutzen zu ermöglichen (vgl. Luther et al. 2004, S.75), betrifft hauptsächlich die Leistungsanforderungen. Dies kann durch eine Verbesserung oder Substitution des technischen Prinzips erfolgen.	Der Nutzen ist hoch wenn durch Nanotechnologie (durch Verbesserungen, Substitution oder komplementäre Ergänzung des technischen Prinzips) die Produkt- oder Funktionsleistung signifikant und als Alleinstellungsmerkmal im Wettbewerb verbessert wird.
<b>Begeisterungsanforderung</b>	Die Erfüllung von Begeisterungsanforderungen sorgt für die höchste Zufriedenheit. Sie werden nicht explizit formuliert oder erwartet und können auch nicht direkt erfasst werden.	Nanotechnologische Funktionen können Begeisterungsanforderungen dahingehend unterstützen, dass ganz neue Produktfunktionalitäten, z.B. im Bereich der Oberflächenfunktionalisierung oder der optischen Effekte, realisiert werden. Dies betrifft allerdings eher den End Konsumer-Markt als z.B. die Investitionsgüterindustrie.	Der Nutzen ist hoch wenn durch Nanotechnologie (durch ein neues technisches Prinzip) eine neue Produktfunktion realisiert wird, die zunächst außerhalb des Leistungskerns des Produktes liegt.

Diese Sicht- und Einordnungsweise wird ergänzt um zwei Vorstellungen: Zum einen können bisherige Basisanforderungen zu einer Leistungs- oder Begeisterungsanforderung werden, wenn Kernfunktionen des Produkts oder Geltungsfunktionen integriert werden und somit das Produkt einen bisher nicht erwarteten Mehrwert erfährt. Beispielsweise können Anforderungen an die Produkt-Oberfläche bisher allein die mechanische und chemische Stabilität betreffen, neue Farbeffekte oder wasserabweisende Schichten können die Wertigkeit des Produktes erhöhen und gleichzeitig seine „Gebrauchbarkeit“ verbessern. Und zum anderen können die funktionalen

Eigenschaften durch Nanotechnologie unterschiedlich wahrgenommen werden. Biozidität kann eine Basisanforderung einer Anwendung im Medizinbereich sein, im Sanitärbereich kann eine solche Eigenschaft ein Leistungs- oder gar ein Begeisterungsattribut sein, das von Kunden in der Nutzung auch wahrgenommen wird und damit eine hochwertige Anmutung transportiert.

### 11.1.5 Zu Schritt 3.1: Internetquellen zur Nanotechnologie und Interviewleitfaden

#### Internetquellen zur Nanotechnologie

Tabelle 45 listet beispielhaft Internetquellen zur Nanotechnologie für die Recherche und Informationsgewinnung im Rahmen des Verfahrens (Schritt 3.1 und 3.4) auf.<sup>88</sup>

Tabelle 45: Internetquellen für die Informationsrecherche zur Nanotechnologie (fortgesetzt)

Kategorie	Adresse
<b>Experten und Institutionen</b>	
Fraunhofer-Verbund Nanotechnologie	<a href="http://www.nano.fraunhofer.de">www.nano.fraunhofer.de</a>
BMBF-Kompetenzzentren Nanotechnologie	<a href="http://www.techportal.de/de/322/2/static_public_static_1103/">www.techportal.de/de/322/2/static_public_static_1103/</a>
Nanobotschafter des Deutschen Museums	<a href="http://www.nanobotschafter.de/">www.nanobotschafter.de/</a>
Initiative NanoTox zum Aufbau eines virtuellen Labors zur Untersuchung gesundheitlicher und umweltrelevanter Aspekte der Nanotechnologie	<a href="http://www.nanotox.de">www.nanotox.de</a>
<b>Datenbanken, Verzeichnisse und Inventare</b>	
Projekt NanoRoadSME – Datenbank und Roadmapping-Tool für die Nanotechnologie	<a href="http://www.nanoroad.net/">www.nanoroad.net/</a> , Datenbank unter <a href="http://bourgogne.arist.tm.fr/nanoroadsme/home/">http://bourgogne.arist.tm.fr/nanoroadsme/home/</a>
Projekt NanoRoadMap – Vorschau-Projekt (10 Jahre)	<a href="http://www.nanoroadmap.it/">www.nanoroadmap.it/</a>
Firmendatenbank der HA Hessen Agentur GmbH	<a href="http://www.nanotech-hessen.de/brancheninfo/unternehmen">www.nanotech-hessen.de/brancheninfo/unternehmen</a>
Arbeiten der „Forschungsagenda Oberflächen“	<a href="http://fao.dfo.info/vorstellung.html">http://fao.dfo.info/vorstellung.html</a>
Nano-Map des VDI Technologiezentrums mit Institutionen in Deutschland	<a href="http://www.nano-map.de/">www.nano-map.de/</a>
Anbieterdatenbank „Nano in Germany“ für den asiatischen Raum	<a href="http://www.nanoingermany.de/">www.nanoingermany.de/</a>
Produktdatenbank „Nanotechnology Consumer Products Inventory“ des Woodrow Wilson International Center for Scholars	<a href="http://www.nanotechproject.org/index.php?id=44">www.nanotechproject.org/index.php?id=44</a>
Materialdatenbank „Nanowerk“	<a href="http://www.nanowerk.com">www.nanowerk.com</a>
Produktdatenbank „Nanoproducts“ für Nanotechnologie-Produkte	<a href="http://www.nanoproducts.de">www.nanoproducts.de</a>
Datenbank „Nanodaten“ zu existierenden Produkten, Verfahren und Bedarfe der Nanotechnologie	<a href="http://www.nanodaten.de">www.nanodaten.de</a>
Materialdatenbank des Technology Transfer Centre (TTC) des Institute of Nanotechnology (IoN)	<a href="http://www.nanoposts.com/">www.nanoposts.com/</a>
<b>Internet-Portale</b>	
TechPortal Nanotechnologie von BMBF und VDI	<a href="http://www.techportal.de/de/b/2/start_public_start/">www.techportal.de/de/b/2/start_public_start/</a>
Nanoforum – European Nanotechnology Gateway	<a href="http://www.nanoforum.org/">www.nanoforum.org/</a>

<sup>88</sup> Die Internetquellen wurden am 13.07.2007 aufgerufen.

Kategorie	Adresse
ivcon.net Nanotechnology News	<a href="http://www.ivcon.org">www.ivcon.org</a>
Internetportal der Nanotechnology Community mit News, Datenbanken, Journals, ...	<a href="http://www.nanoscout.de">www.nanoscout.de</a>
<b>Forschungsprogramme und Regierungsaktivitäten</b>	
National Nanotechnology Initiative (NNI) der USA	<a href="http://www.nano.gov/">www.nano.gov/</a>
High-Tech-Strategie der Bundesregierung zur Nanotechnologie	<a href="http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php">www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php</a>
Nanotechnology-Homepage der Europäischen Kommission	<a href="http://cordis.europa.eu/nanotechnology/">http://cordis.europa.eu/nanotechnology/</a>
<b>Publikationen und Publikationsserver</b>	
Publikationsserver zu Nanotechnologie	<a href="http://nano.eserver.org/">http://nano.eserver.org/</a>
Journal of Nanoparticles Research	<a href="http://www.springer.com/11051">www.springer.com/11051</a>
Journal of Nanoscience and Nanotechnology	<a href="http://www.aspbs.com/jnn/">www.aspbs.com/jnn/</a>
Nanotechnology	<a href="http://www.iop.org/EJ/nano">www.iop.org/EJ/nano</a>
Nano Letters	<a href="http://pubs.acs.org/journals/nalefd/">http://pubs.acs.org/journals/nalefd/</a>

### Interviewleitfaden für die Expertenbefragung von Lösungskonzepten $LK_{NT,i}$

Tabelle 46 zeigt den Interviewleitfaden für die Expertenbefragung, der zur Informationssammlung für die Lösungskonzepte  $LK_{NT,i}$  verwendet wurde. Er besteht aus den drei Hauptteilen Vorstellung, Eingrenzung des Befragungsgegenstandes (Problemidee  $PI_i$ ) sowie Identifikation der Lösungskonzepte.

Tabelle 46: Interviewleitfaden für die Expertenbefragung für Lösungskonzepte (fortgesetzt)

<b>Interviewphase 1: Vorstellung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorstellung des Projekts und der Ziele des Interviews</li> <li>• Vorstellung des Interviewpartners (Arbeitsschwerpunkte, Verständnis und Strukturierung der Nanotechnologie)</li> <li>• Vorstellung der Problemideen <math>PI_i</math></li> </ul>
<b>Interviewphase 2: Eingrenzung/Auswahl der relevanten Problemideen <math>PI_i</math> für die Lösungskonzepte <math>LK_{NT,i}</math></b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vorstellung der einzelnen Problemideen <math>PI_i</math> anhand der Beschreibung der Problemidee <math>PI_i</math> (Funktions-/Objekt-element <math>FE_i/OE_i</math>, Wirkprinzip <math>WP_i</math> und Zweckfunktion <math>ZF_i</math>, funktionale Zielstellung, Zielsystem): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemidee <math>PI_1</math>: ...</li> <li>• Problemidee <math>PI_2</math>: ...</li> <li>• Problemidee ...</li> </ul> </li> <li>2. Bestimmung der relevanten Lösungskonzepte <math>LK_{NT,i}</math></li> </ol>
<b>Interviewphase 3: Beschreibung des Lösungskonzepten <math>LK_{NT,i}</math> für die Problemideen <math>PI_i</math></b>
<b>Wirkweisen des Lösungskonzept <math>LK_{NT,i}</math> (Systemfunktion <math>SF_{NT,i}</math>)</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>a) Wie ist die Wirkweise der Systemfunktion <math>SF_{NT,i}</math>?</li> <li>b) Was sind Leistungsparameter und Randbedingungen der Systemfunktion <math>SF_{NT,i}</math>?</li> <li>c) Kann die Systemfunktion <math>SF_{NT,i}</math> die geforderte Zweckfunktion <math>ZF_i</math> ermöglichen? Welche Systemfunktion-Kombinationen sind möglicherweise notwendig?</li> <li>d) Welche Kombinationsmöglichkeiten des Lösungskonzeptes <math>LK_{NT,i}</math> mit einem oder mehrerer Lösungskonzept(e) <math>LK_{NT,j}</math> sind möglich (Multi-Funktionalitäten) aufgrund <ul style="list-style-type: none"> <li>• (a) verschiedener funktionaler Eigenschaften der Wirkstruktur <math>WS_{NT,i}</math> oder</li> <li>• (b) aufgrund der Kombinationsmöglichkeiten verschiedener Wirkstruktur <math>WS_{NT,i}</math> in einem Werkstoff/einer Oberflächenbeschichtung?</li> </ul> </li> </ol>
<b>Wirkstrukturelle Aspekte des Lösungskonzeptes <math>LK_{NT,i}</math></b>

- Welche Wirkstruktur  $WS_{NT,i}$  liegt dem Lösungskonzept zugrunde?
- In welcher/n Applikation(en)  $AP_i$  wird die Wirkstruktur  $WS_{NT,i}$  eingesetzt? Z.B. Lackieren, Tauchen, Spritzen, Sputtern, PVD, CVD, ...

#### **Umsetzungsaspekte des Lösungskonzepts $LK_{NT,i}$**

- Welche FuE-Arbeiten wären nötig, um die Anwendung realisieren zu können?
- Wo sind die zentralen technischen Hürden zu sehen, welche die FuE überwinden muss?
- Sind die Werkzeuge zur technischen Realisierung verfügbar?
- Welche technischen Anforderungen können voraussichtlich erfüllt/nicht erfüllt werden?
- Stand der Entwicklung (Grundlagenforschung/Labormuster; Angewandte Forschung/Prototypen; Anwendung/Pilotanwendung/Massenprodukt)

#### **Lösungskonzept-Kompetenzen**

- Gibt es Erfahrung mit ähnlichen Fragestellungen oder analogen Anwendungen?
- Was sind Beispiele für vorhandene Produkte? Wie „erfolgreich“ sind diese Produkte?
- Wer sind die Technologieanbieter und Produktanwender? Wo werden die Produkte vornehmlich eingesetzt?
- Welche Forschungseinrichtungen/Firmen haben einschlägiges Know-how?

#### **Bewertung des Lösungskonzepts $LK_{NT,i}$ für die Problemeidee $PI_i$**

- Kann die geforderten Zweckfunktion  $ZF_i$  prinzipiell durch ein Lösungskonzept  $LK_{NT,i}$  realisiert werden? (=Funktionserfüllung  $FE_i$ )
  - Ist die prinzipielle Nutzungsmöglichkeit gegeben? (=Nutzungsmöglichkeit  $NM_i$ )
- Ist die prinzipielle Umsetzbarkeit durch das Unternehmen gegeben? (=Anwendbarkeit  $AW_i$ )

### **11.1.6 Zu Schritt 4.2: Nutzwertanalyse zur Bewertung der Lösungsideen $LI_{NT,i}$**

Im Folgenden wird das Vorgehen in der Nutzwertanalyse zur Bewertung der Lösungsideen  $LI_{NT,i}$  (Schritt 4.2, Kap. 6.5.2.2) ausführlich dargestellt.

#### **1) Aufstellung des Zielsystems**

Die Bewertungskriterien des Zielsystems der Nutzwertanalyse setzt sich zusammen aus dem Zielsystem  $Z_4$  (Schritt 3.3, Kap. 6.4.2.3), den spezifische Anforderungen des Zielsystems  $Z_3$  (Schritt 1.2, Kap. 6.2.2.2) sowie möglichen Randbedingungen der Lösungsidee (Schritt 4.1, Tabelle 27). Diese werden inhaltlich strukturiert und gegebenenfalls gruppiert, aus Zeit- und Effizienzgründen ist darauf zu achten, dass die Anzahl der Anforderungen auf die notwendigsten und bedeutendsten beschränkt bleibt. Beispielsweise könnte die Anforderungen einer Oberflächenbeschichtung „Resistenz gegen Reinigungsmittel XY“ allgemeiner als „Chemische Beständigkeit gegen Säuren/Basen“ formuliert werden. Für die Anforderungen muss jeweils ein Wertebereich mit gewünschtem Zielwert angegeben werden, z.B. durch Extremierung oder Festwertregel (vgl. Ausführung in Kap. 6.4.2.3). Die Zielwerte können sich an einer bestehenden Anwendung orientieren, z.B. wenn die Systemfunktion substituiert werden soll. Oder sie werden neu aufgestellt, wenn es sich um eine neu zu realisierende Zweckfunktion handelt (vgl. Funktionale Zielsetzung der Problemeidee  $PI_i$ , Tabelle 20, Seite 102). Durch eine einfache 3-stufige ordinale Werteskala mit den Bereichen Ziel „nicht erfüllt“, Ziel „teilweise erfüllt“ und Ziel „erfüllt“ wird die Zielerreichung bewertet.

Festforderungen des Zielsystems  $Z_3$  werden extra aufgeführt (vgl. Patzak 1982, S.270) und gegebenenfalls ergänzt um Festforderungen der Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  aus den Leitfragen in Tabelle 27



(Schritt 4.1).<sup>89</sup> Festforderungen haben nur den Wertebereich „Ziel nicht erfüllt“ oder „Ziel erfüllt“. Die Anforderungen müssen gegebenenfalls umformuliert werden, dass ein Zielwert definiert und eine Zielerreichung bewertet werden kann.

## 2) Gewichtung der Ziele (Gewichtungsfaktor $g_i$ )

Anschließend werden die Anforderungsgruppen (z.B. die linke Spalte der Tabelle 26) oder Einzelanforderungen hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Berechnung des Lösungsbeitrags durch die Gewichtungsfaktoren  $g_i$  gewichtet.<sup>90</sup> Die Gewichtungsfaktoren  $g_i$  nehmen Werte zwischen  $>0$  und  $1$  an. Die Summe der Gewichtungsfaktoren  $g_i$  beträgt  $1$  (siehe Formel 3).

**Gewichtungsfaktor  $g_i$  (Formel 3):**  $\sum_{i=1}^n g_i = 1$

Haben alle Anforderungen die gleiche Wichtigkeit bzw. wurden z.B. nur die kritischsten Anforderungen formuliert, so wird der Gewichtungsfaktor  $g_i = 1$  oder  $g_i = 1/n$  gesetzt.

## 3) Umrechnung der Zielerreichungsgrade in Teilnutzwerte $TN_i$

Es wird dann für die Lösungs idee  $LI_{NT,i}$  der Zielerreichungsgrad für jede Einzelanforderung des Zielsystems bestimmt. Der Zielerreichungsgrad entspricht dem Teilnutzen  $TN_i$  der Nutzwertanalyse. Es wird eine einfache 3-stufige Ordinalskala mit den Punktwerten 1-3-9 zugrunde gelegt:

- der Teilnutzen  $TN_i$  des Lösungsbeitrags ist = 1, wenn das Ziel „nicht erfüllt“ wird.
- der Teilnutzen  $TN_i$  des Lösungsbeitrags ist = 3, wenn das Ziel „teilweise erfüllt“ wird bzw. eine abschließende Bewertung nur durch weitere Analysen, z.B. eine Machbarkeitsstudie oder Tests im Labor erfolgen kann.
- der Teilnutzen  $TN_i$  des Lösungsbeitrags ist = 9, wenn das Ziel „erfüllt“ wird.

Bei Festforderungen (Muss-Kriterien) werden dem Lösungsbeitrag bei Nichterfüllung der Teilnutzen  $TN_i$  der Wert = 0 zugewiesen, andernfalls erhält es den Wert = 1.

Bei der Zuweisung des Teilnutzens  $TN_i$  muss berücksichtigt werden, dass die Lösungs idee  $LI_{NT,i}$  unterschiedliche Entwicklungsstände hat und somit die Zielerreichung für bestimmte Anforderungen nur abgeschätzt oder Vermutungen darüber getroffen werden können. So könnten manche Zielerforderungen nur durch einen Machbarkeitsstudie sicher beantwortet werden. Des Weiteren führt die Bewertung einer Festforderungen als „nicht erfüllt“ zu einer Bewertung „kein Lösungsbeitrag“ durch die Lösungs idee  $LI_{NT,i}$  – dies kann bei Unsicherheiten in der Prognostizierung der Leistungsfähigkeit zu einer Abwertung führen und damit zu einem Ausschluss für die weitere Verfolgung.

---

<sup>89</sup> Erfordert z.B. die photokatalytisch aktive  $TiO_2$ -Nanobeschichtungen für die Wirkung UV-Licht und Feuchte, bei der Problemeidee handelt es sich aber um einen geschlossen, lichtundurchlässigen Behälter, so lautet ein entsprechendes Muss-Kriterium: „Antimikrobielle Wirkung in geschlossenem, lichtundurchlässigem Behälter“.

<sup>90</sup> Die Gewichtungsfaktoren sollen im Rahmen der Nutzwertanalyse allerdings weniger eine mathematische Genauigkeit suggerieren, die aufgrund der Datengrundlage und der Nicht-Linearität der Zielerreichungsgrade nicht erreicht werden kann. Ein kleiner Gewichtungsfaktor kann zudem durch einen großen Teilnutzen-Wert überkompensiert werden. Auch darf aus dem Gesamtnutzen nicht die Annahme getroffen werden, dass einzelne Kriterien beliebig durch andere ersetzbar sind. Vielmehr sollen die verschiedenen Lösungs ideen  $LI_{NT,i}$  untereinander verglichen werden und im Rahmen der Darstellung der Lösungs ideen  $LI_{NT,i}$  und deren Einschätzung in den Technologie-Expertenforen durch die Gewichtungsfaktoren die Bedeutung der Einzelnen Kriterien für ihren Lösungsbeitrag aufgezeigt werden.

#### 4) Bestimmung des Gesamtnutzens $GN_i$

Der Gesamtnutzen  $GN_i$  jeder Lösungsidee  $LI_{NT,i}$  wird errechnet aus der additiven Verknüpfung der gewichteten Teilnutzen  $TN_{i,j}$ , multipliziert mit dem Produkt der Teilnutzen  $TN_i$  der Festforderungen (Formel 4). Damit ist gewährleistet, dass der Gesamtnutzen  $=0$  („kein Lösungsbeitrag“) wird, wenn eines der Muss-Kriterien nicht erfüllt wird.

$$\text{Berechnung des Lösungsbeitrags (Formel 4): } GN_i = \left( \sum_{j=1}^n g_j \cdot TN_{i,j} \right) \cdot \left( \prod_i TN_i^{[\text{Festforderung}]} \right)$$

Der Laufvariable „n“ wird bestimmt durch die Anzahl der Anforderungen, „m“ ist Anzahl der Festforderungen. Der Gesamtnutzen  $GN_i$  ist dimensionslos und hat den Minimalwert  $=0$ , der Maximalwert entspricht dem Referenzwert  $RW_i$ , also den Zielvorgaben für die Anwendung. Der Referenzwert  $RW_i$  berechnet sich wie in Formel 5 dargestellt aus der Addition der gewichteten maximalen Teilnutzen  $TN_i$  der Anforderungen (Vorgabe ist „Ziel erfüllt“, somit  $TN_i = 9$ ).

$$\text{Referenzwert } RW_i \text{ für Lösungsbeitrag (Formel 5): } RW_i = \sum_{j=1}^n g_j \cdot 9$$

Die Anforderungen und Werte für Gewichtungsfaktoren  $g_j$  und Teilnutzen  $TN_{i,j}$  werden in einer Bewertungsmatrix wie in Tabelle 47 dargestellt eingetragen und der Gesamtnutzen  $GN_i$  berechnet.

Tabelle 47: Bewertungsmatrix für die Nutzwertanalyse

		Problemeidee $P_i$		$IP_1$		$IP_2$			
Anforderungen	Gew.-faktor $g_j$	Referenz $RW_i$		Lösungsidee $L_{NT,1}$		Lösungsidee $L_{NT,2}$		...	
		$TN_i$	$TN_i$ gew.	$TN_i$	$TN_i$ gew.	$TN_i$	$TN_i$ gew.	...	
Anforderung 1									
Anforderung 2									
...									
Anforderung n									
<b>Referenzwert</b>			$RW_i$						
Festforderung 1									
Festforderung 2									
...									
Festforderung m									
<b>Lösungsbeitrag</b>					$GN_1$		$GN_2$		...

## 11.2 Anhang B: Nanotechnologie

Im Folgenden werden im Anhang B weitere Definitionen der Nanotechnologie aus der Literatur aufgeführt (Kap. 11.2.1) und beispielhaft nanotechnologische Systemfunktionen  $SF_{NT,i}$  sowie deren Wirkstrukturen  $WS_{NT,i}$  und Wirkorte/Applikation aus Nanotechnologie-Studien zusammengestellt (Kap. 11.2.2). Im Kap. 11.2.3 werden die wirtschaftliche Relevanz sowie gesellschaftliche Aspekte der Nanotechnologie näher ausgeführt.

### 11.2.1 Weitere Definitionen der Nanotechnologie

Bis heute gibt es keine international anerkannte und allgemein gültige Definition von Nanotechnologie. Tabelle 48 listet in Ergänzung zu Kap. 3.2.1 weitere Definitionen der Nanotechnologie in der Literatur auf. Eine Zusammenstellung von Nanotechnologie-Definition findet sich auch bei Schmidt et al. 2003 (S.13).

Tabelle 48: Definitionen für Nanotechnologie in der Literatur (fortgesetzt)

Quelle	Definition der Nanotechnologie
BMBF 2006c, S.11	Nanotechnologie beschreibt die Untersuchung, Anwendung und Herstellung von Strukturen, molekularen Materialien und Systemen mit einer Dimension oder Fertigungstoleranz typischerweise unterhalb von 100 Nanometern. Allein aus der Nanoskaligkeit der Systemkomponenten resultieren dabei neue Funktionalitäten und Eigenschaften zur Verbesserung bestehender oder Entwicklung neuer Produkte und Anwendungsoptionen.
Deutscher Bundestag 2004, S.7	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nanotechnologie befasst sich mit Strukturen, die in mindestens einer Dimension kleiner als 100 nm sind.</li> <li>2. Nanotechnologie macht sich charakteristische Effekte und Phänomene zunutze, die im Übergangsbereich zwischen atomarer und mesoskopischer Ebene auftreten.</li> <li>3. Nanotechnologie bezeichnet die gezielte Herstellung und/oder Manipulation einzelner Nanostrukturen.</li> </ol>
Bachmann 1998, S.1	Gegenstand der Nanotechnologie ist die Herstellung und Anwendung von Strukturen, molekularen Materialien, inneren Grenzflächen und Oberflächen mit kritischen Dimensionen oder Fertigungstoleranzen von einigen 10 nm bis zu atomaren Abmessungen. Ziel ist die Präparation materialabhängiger Festkörpereigenschaften, -dimensionen und neuen Funktionen basierend auf den physikalisch-chemisch-biologischen Wirkprinzipien, deren Ursachen im submikroskopischen bzw. atomaren und molekularen Bereich [...] begründet sind. Nanotechnologie beschäftigt sich mit Systemen, deren neue Funktionen und Eigenschaften nur allein von den nanoskaligen Effekten ihrer Komponenten abhängig sind.
Brune et al. 2006, S.17	Nanotechnologie umfasst die aufkommenden Anwendungen der Nanowissenschaften. Nanowissenschaften beschäftigen sich mit funktionalen Systemen, die entweder auf dem Gebrauch von Untereinheiten mit (1.) spezifischen größenabhängigen Eigenschaften oder (2.) von einzelnen oder (3.) kombinierten funktionalisierten Untereinheiten basieren.
Roco et al. 1999, S.XV	Nanotechnology is (1) the creation of useful materials, devices, and systems through the control of matter on the nanometer-length scale, and (2) the exploitation of novel properties and phenomena developed at that scale.
National Nanotechnology Initiative (NNI) ( <a href="http://www.nano.gov">www.nano.gov</a> )	Nanotechnology is the understanding and control of matter at dimensions of roughly 1 to 100 nanometers, where unique phenomena enable novel applications. Encompassing nanoscale science, engineering and technology, nanotechnology involves imaging, measuring, modeling, and manipulating matter at this length scale. At the nanoscale, the physical, chemical, and biological properties of materials differ in fundamental and valuable ways from the properties of individual atoms and molecules or bulk matter. Nanotechnology R&D is directed toward understanding and creating improved materials, devices, and systems that exploit these new properties.
nanoforum.org, European Nanotechnology Gateway ( <a href="http://www.nanoforum.org">www.nanoforum.org</a> , "What is Nano?")	Nanotechnology describes the creation and utilization of functional materials, devices and systems with novel functions and properties that are based either on geometrical size or on material-specific peculiarities of nanostructures. Purely geometrically the prefix "Nano" (Greek: dwarf) describes a scale 1000 times smaller than that of present elements of the micrometer-sphere (1 nm corresponds to the millionth part of a mm). This scale has become accessible both by application of new physical instruments and procedures and by further diminution of present microsystems. Also structures of animated and non-animated nature were used as models for self-organizing matter.

Quelle	Definition der Nanotechnologie
BMBF 2004b, S.6	<p>Nanotechnologie beschreibt die Herstellung, Untersuchung und Anwendung von Strukturen, molekularen Materialien, inneren Grenz- und Oberflächen mit mindestens einer kritischen Dimension oder mit Fertigungstoleranzen (typischerweise) unterhalb 100 Nanometer.</p> <p>Entscheidend ist dabei, dass allein aus der Nanoskaligkeit der Systemkomponenten neue Funktionalitäten und Eigenschaften zur Verbesserung bestehender oder Entwicklung neuer Produkte und Anwendungsoptionen resultieren. Diese neuen Effekte und Möglichkeiten sind überwiegend im Verhältnis von Oberflächen- zu Volumenatomen und im quantenmechanischen Verhalten der Materiebausteine begründet.</p>
BMBF 2002, S.4	<p>Gegenstand der Nanotechnologie ist die Herstellung, Untersuchung und Anwendung von funktionalen Strukturen, deren Abmessungen im Bereich unter einhundert Nanometer liegen.</p>
Fhg-ISC, Fhg-ISI 2003, S.9	<p>Als Nanotechnologie kann die Gesamtheit aller Produktionstechnik sowohl für die Herstellung als auch Strukturierung und Konstruktion Materialien, Produkten, Geräten und Einrichtungen verstanden werden, die im Dimensionsbereich von etwa 1 bis 100 nm entscheidende Organisations- und Ordnungselemente enthalten.</p>
Decker et al. 2004, S.13	<p>Nanotechnologie handelt von funktionalen Systemen, die von Untereinheiten mit spezifischen, größenabhängigen Eigenschaften der einzelnen Untereinheiten oder eines Systems aus diesen Gebrauch machen.</p> <p><i>Funktionales System und Untereinheiten</i></p> <p>Der Begriff System wird eingeführt, um einen Teilbereich aus einem größeren Subjektbereich „herausztrennen“ zu können, den man nun betrachten möchte. Die Systemgrenzen werden pragmatisch, d. h. Bezug nehmend auf konkrete Ziele festgelegt. Bei einem funktionalen System wird die Funktion als das die Systemgrenzen festlegende Kriterium angenommen: Die Systemgrenzen sind so, dass alles innerhalb der Grenzen zur Funktion beiträgt.</p> <p>Das funktionale System kann beschrieben werden als eine Ansammlung von untereinander interagierenden Untereinheiten, die eine neue Einheit mit systemspezifischen Eigenschaften bilden. Die Untereinheiten sind dabei „ideal“ kombiniert, das heißt in gerichteter und hierarchischer Art und Weise. Die daraus resultierenden neuen Qualitäten des funktionalen Systems können nicht durch bloßes Zusammenbringen der Untereinheiten (d. h. ohne Richtung und Hierarchie) erreicht werden.</p> <p>Nach dieser Beschreibung ist ein DNA-Molekül, das aus verschiedenen Basenpaaren (den Untereinheiten) besteht, ein funktionales System zur Informationsspeicherung. Auch ein Single Elektron Transistor, der aus einem Nanopartikel und einer Elektrode besteht (beides als Untereinheiten) ist ein funktionales System. Dagegen sind Siliziumpartikel, die die rheologische Fähigkeit von beispielsweise Ketchup verbessern, nicht in gerichteter Art und Weise angeordnet, während dieselben Siliziumpartikel – angeordnet zu einem Supergitter in einem photonischen Kristall – die Eigenschaft eines funktionalen Systems erfüllen.</p> <p><i>Spezifische, größenabhängige Eigenschaften</i></p> <p>Materialien haben magnetische, mechanische, elektronische, optische, thermodynamische und thermische Eigenschaften. Des Weiteren können Materialien die Fähigkeit zur Selbstorganisation und zur „Wiedererkennung“ („Recognition“) besitzen. Im Folgenden sind drei Unterscheidungskriterien aufgelistet, die eine spezifische Größenabhängigkeit der oben aufgezählten Eigenschaften darstellen, nämlich</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• wenn die Eigenschaften nicht mehr durch klassische physikalische Gesetze beschreibbar sind, sondern nur durch quantenmechanische Gesetze;</li> <li>• wenn sie dominiert sind durch einzelne Oberflächeneffekte;</li> <li>• wenn diese Eigenschaften aus einer begrenzten Anzahl von Konstituenten resultieren, da der Begriff „Material“ typischerweise mit einer annähernd unendlichen Anzahl von Konstituenten (Atomen, Molekülen) einhergeht, die durch ein mittleres statistisches Verhalten beschrieben werden können.</li> </ul> <p>Diese Eigenschaften haben keine makroskopischen Äquivalente.</p>

### 11.2.2 Systemfunktionen der Nanotechnologie (Beispiele)

Tabelle 49 zeigt Systemfunktionsbeispiele  $SF_{NT,i}$  der Nanotechnologie, zusammengestellt aus der den Studien ETAG 2007, Deutscher Bundestag 2004, Willems & van den Wildenberg 2004 sowie Luther et al. 2004. Die Systemfunktionen sind in die Kategorien „mechanisch“, „elektrisch“, „magnetisch“, „optisch“, „thermisch/thermodynamisch“ „chemisch“ und „biologisch“ eingeteilt. Wirkstrukturen  $WS_{NT,i}$  (siehe Kap. 3.2.4.2 und 6.1.2) und Wirkort bzw. Applikation (siehe Kap. 6.1.4 und 11.1.1.3) sind den Systemfunktionen zugeordnet.

**Tabelle 49: Beispielhafte Zusammenstellung von Systemfunktionen, Wirkstrukturen und Wirkort/Applikation der Nanotechnologie (eigene Zusammenstellung aus ETAG 2007; Deutscher Bundestag 2004; Willems & van den Wildenberg 2004; Luther et al. 2004) (fortgesetzt)**

Systemfunktion $SF_{NT,i}$ (Beispiele)	Wirkstruktur $WS_{NT,i}$ (Beispiele)	Wirkort/Applikation
<b>mechanisch</b>		
Gleitfähigkeit (tribologische Eigenschaft, Hartstoffschichten)	Oxide ( $Al_2O_3$ , $SiO_2$ , $ZrO_2$ , $TiO_2$ ), Nichttoxische Hartstoffe (TiN, TiC, TiCN, $Si_3N_4$ ), Oxid-/Nichtoxidkeramik-Partikel in Metallmatrix (Cu, W), DLC	Ultradünne Schicht, Nanopartikel in Komposit, Nanopartikel in Beschichtung
Gleitfähigkeit und Korrosionsschutz	Nanoceramics, Kohlenstoff	Nanokomposit, Ultradünne Schicht
Anti-Haftung	Polymere ( $\omega$ -fluorierte Tenside)	Ultradünne Schicht
Schmierung	Übergangsmetallchalkogenid ( $MoS_2$ -„Fullerene“), Metall (Cu)	Nanopartikel in Komposit/ultradünner Schicht/Suspension
Adhäsion	Carbon Black	Nanopartikel in Komposit, Nanostruktur
Abrasion	Schleifmittel, $TiO_2$	Nanodispersion, Nanopartikel in Suspension
mechanischer Schutz	Oxidschichten ( $SiO_2$ ), Legierungen (Al/Mg, Ti)	Nanopartikel/-schicht in Beschichtung, Nanoporen, Nanokomposit
Festigkeit (Thermoplast)	Ruße, mineralische Naturstoffe (Tone) in Polymermatrix	Nanopartikel in Komposit
Festigkeit (Elastomer)	Ruße, $SiO_2$ in Polymermatrix, Oxid (pyrogene Kieselsäure/Aerosil)	Nanopartikel/-komposit
Hochtemperaturfestigkeit und Verstärkung (Elastomer)	(Edel-)Metall (Ag), Oxid ( $SiO_2$ )	Nanopartikel/-komposit
Versprödungsarmut	Nanoceramics	Nanokomposit
Zugfestigkeit	CNT, Kunstseide	Nanofaser
Schlagschutz	Polymere (PU)	Nanobeschichtung
thermomechanischer Schutz	Nichttoxische Keramik, Intermetallische Legierungen	Nanokomposit, ultradünne Schicht
druckbare mechanischer Schutz	Oxide ( $TiO_2$ , $ZrO_2$ , $Al_2O_3$ )	Nanopartikel in Suspension
Oberflächenheilung (Selbstheilende Materialien)	Ormocere, evtl. Polymer-Gel	Nanobeschichtung
Kratzfestigkeit	Oxide (pyrogene Kieselsäure/Aerosil), Hybridpolymer	Nanopartikel in Beschichtung, Nanobeschichtung
Superplastizität	Nanoceramics, Oxide (pyrogene Kieselsäure/Aerosil), Keramiken, intermetallische Verbindungen, Hartmetalle	Nanokomposit, Nanopartikel in Werkstoff (Spritzgussmaterial)/Komposit
Leichtbau	CNT, Fullerene	Nanopartikel/-röhren im Komposit
Leichtbau und Transparent	-	Nanofaser, Nanopartikel in Komposit
Mechanischer Sensor	miniaturisierte Mikrosensoren (bzw. MEMS)	ultradünne Schicht, laterale Nanostruktur
Bewegungssensor	GMR-Magnetfeld-Sensoren plus Gebermagnet	ultradünne Schicht
Massensensor	CNT-Biegebalken	Nanoröhren in elektro-mechanischem System

<b>Systemfunktion <math>SF_{NT,i}</math> (Beispiele)</b>	<b>Wirkstruktur <math>W_{NT,i}</math> (Beispiele)</b>	<b>Wirkort/Applikation</b>
Aktor/Effektor	CNT, Biopolymer (Proteine)	Nanoröhren, Supramolekulare Strukturen
Viskosität	Ferrofluide ( $Fe_3O_4$ ), Metalle (Co)	Nanopartikel in Fluid
<b>elektrisch</b>		
elektrische Leitfähigkeit	Carbon als Füller, CNT, PEO-ZrO <sub>2</sub>	Nanopartikel/-faser in Komposit, Nanokomposit
Antistatik	CNT, Kohlenstoff/Ruße	Nanotubes in Beschichtung, Nanopartikel in Komposit/Beschichtung
statische Aufladung	Kohlenstoff (Fullerene), Nanotubes	Nanopartikel/-röhren in Komposit
Transparenz (vis) und elektrisch Leitfähigkeit (und IR-Absorption)	Oxid (ITO)	Nanopartikel in Polymer/Beschichtung
UV-Schutz und elektrisch Leitfähigkeit	Oxid (ZnO)	Nanopartikel in Beschichtung
Radarabsorption	CNT, Oxide, Cenospheres	Nanoröhren/-partikel in Beschichtung, ultradünne Schicht
schaltbares Licht (selbstleuchtend und schaltbar)	Polymere (LEP), Verbindungs-Halbleiter (in leitfähigem Polymer)	Nanopartikel/-komposit
schaltbare Materialien	Polymer, WO <sub>3</sub> (elektrochrom); ...	Nanobeschichtung, Nanopartikel in Beschichtung
Lochleiter	Oxid (ZrO <sub>2</sub> ), org. Moleküle	Nanoröhren, supramolekulare Strukturen, Nanoporen
Kathode	Metall (Pt)	Nanopartikel in Komposit/Beschichtung
Elektronen-Donor/-Akzeptor	Polymer, organische Fullerenverbindungen, Metall (Ag), Verbindungs-Halbleiter (CdSe)	Nanoporen, Nanopartikel, Nanonetzwerk
Elektronenleiter	Verbindungs-Halbleiter (CIS, CdSe), organische Verbindungen, Metallschicht (Al) auf nanostrukturiertem Polymer, Carbon-Aerogele	Nanopartikel, Nanoröhren, supramolekulare Strukturen, laterale Nanostruktur, Nanoporen
Supraleitung	CNT, Fullerene, Oxid (CeO <sub>2</sub> )	Nanoröhren, Nanopartikel, ultradünne Schicht
Halbleiter	Verbindungshalbleiter (III-V, II-VI, CIS), mesoporöses Si, Oxidkeramik (TiO <sub>2</sub> /Anatas)	Nanopartikel, ultradünne Schicht, Nanoporen
Ionenleiter/Isolator	Keramik	Nanoporen
elektrochemische Interkalation	CNT	Nanoröhren
Aktor/Effektor	CNT, Biopolymer (Proteine)	Nanoröhren, Supramolekulare Strukturen
thermoelektrische Konverter	InGaAs, GaSb, SiGe, Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> , Sb <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>	Nanopartikel, ultradünne Schicht
<b>magnetisch</b>		
Magnetismus	Ferrofluide ( $Fe_3O_4$ )	Nanopartikel
Viskosität	Ferrofluide ( $Fe_3O_4$ ), Metalle (Co)	Nanopartikel in Fluid
Bewegung	Oxid (Magnetit/ $Fe_3O_4$ )	Nanopartikel
Erwärmung	Oxid (Magnetit/ $Fe_3O_4$ )	Nanopartikel in Fluid
Magnetfeld-Sensor	Metalle (Nb, Ni, Ag), Isolator-Oxid (PrBaCu-GaO), Halbleiter (GaAs, InSb/Si), Ferromagnetische Metalle	ultradünne Schicht Quantentrog), laterale Nanostrukturen, Nanokontakt/-draht, Nanopartikel Spitze
<b>optisch</b>		
Einstellbare optische Eigenschaften (Transparenz, hohe dielektrische Konstante, spezifische Beugungseigenschaften)	Photonische Kristalle, Oxide (ZrO <sub>2</sub> , Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , (Ba,Sr)TiO <sub>3</sub> )	Nanostruktur, Nanopartikel in Beschichtung/Komposit Nanostruktur, Nanoporen
schaltbar Transparenz	Oxid (WO <sub>3</sub> )	Ultradünne Schicht
selbstregulierende Transparenz	Polymere, Oxide (WO <sub>3</sub> )	Nanokomposit, Nanopartikel in Beschichtung
Transparenz und Leitfähigkeit	Oxide (ITO, ZnO), Polymere (PMMA), CNT	Nanopartikel/-tubes in Beschichtung/Nanokomposit, ultradünne Schicht

<b>Systemfunktion <math>SF_{NT,i}</math> (Beispiele)</b>	<b>Wirkstruktur <math>W_{S_{NT,i}}</math> (Beispiele)</b>	<b>Wirkort/Applikation</b>
Licht (selbstleuchtend und schaltbar)	Polymere (LEP), Verbindungs-Halbleiter (in leitfähigem Polymer)	Nanopartikel/-komposit
vis-Transparenz und Wärmedämmung	Glas- oder Keramik-Aerogele	Nanoschäume/-poren als Beschichtung/Komposit
vis-Transparenz und elektrische Leitfähigkeit (und IR-Absorption)	Oxid (ITO)	Nanopartikel in Polymer
Transparenz und Leichtbau	-	Nanofaser, Nanopartikel
UV-Schutz und elektrische Leitfähigkeit	Oxid (ZnO)	Nanopartikel in Beschichtung
UV-Schutz	TiO <sub>2</sub>	Nanopartikel in Beschichtung
spektral selektive Transparenz	Metalle (Ag)	Nanopartikel
Antireflexion	nanoporöse SiO <sub>2</sub> -Schicht	Nanoporen, Nanoporen aus Nanopartikel
Glanz/Helligkeit	TiO <sub>2</sub> , Silikate	Nanopartikel in Beschichtung/Komposit
Farbe/Farbeffekte (Aufhellung, Brillanz, Farbtonverschiebung, Perlglanz, Opaleszenz, Frost-Effekt)	Pigmente, Ag, Oxide (TiO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , SiO <sub>2</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), Silikate (Kaolinit), Ruß/Kohlenstoff	Nanopartikel in Beschichtung/Komposit, ultradünne Schicht
optische Detektion	TiO <sub>2</sub> , CdS, ...	Nanopartikel
Infrarotsensor	(Verbindungs-) Halbleiter	ultradünne Schicht, Nanopartikel
optische Sensor	Protein (Bakteriorhodopsin)	Molekül/supramolekulare Struktur
optische Struktur (optische Struktureffekte)	Polymere, Halbleiter/Oxide, Fullerene, Metall (Au), Kohlenstoff, organischer Farbstoffe	Nanoschicht, Nanopartikel, Nanokomposit, Supramolekulare Aggregate
<b>thermisch/thermodynamisch</b>		
Wärmedämmung	Aero-Gel	Nanoporen
thermische Schutzschicht	Nichtoxidische Keramik, intermetallische Legierungen	Nanokomposit, ultradünne Schicht
thermische Stabilität	Nanoceramics, intermetallische Verbindungen	Nanokomposit Nanopartikel
Hochtemperaturfestigkeit und mechanische Verstärkung (Elastomer)	(Edel-)Metall (Ag), Oxid (SiO <sub>2</sub> )	Nanopartikel/-komposit
vis-Transparenz und Wärmedämmung	Glas- oder Keramik-Aerogele	Nanoschäume/-poren als Beschichtung/Komposit
thermomechanische Schutzschicht	Nichtoxidische Keramik, intermetallische Legierungen	Nanokomposit, ultradünne Schicht
thermische Leitfähigkeit	CNT, Carbon als Füller	Nanofaser/-partikel in Komposit
Schaltbarkeit (thermochrom)		Nanopartikel in Beschichtung
thermoelektrische Konverter	InGaAs, GaSb, SiGe, Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> , Sb <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>	Nanopartikel, ultradünne Schicht
Erwärmung	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , Oxid (Magnetit/γ-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) (= elektromagnetisch)	Nanopartikel (in Klebstoff, ...)
Wärmekapazität	Kupfer, CNT	Nanopartikel, Nanoröhren
Temperatursensork	evtl. Oxid oder Polymer (PS, PAA), Metalle	ultradünne Schicht/Nanostruktur ultrafeine Spitze, Nanopartikel
<b>chemisch</b>		
verbesserte Reaktivität	Metallcarbide, Carbidoxide, Ceroxide Zeolite	Nanopartikel in Beschichtung, Nanoporen
selektive Reaktivität	Fe(bimetal), MgO	Nanopartikel
Katalyse	Metalle (Ag, Pt, Ru), Halbleiter, Carbide/Oxycarbide, C-Nanofilamente, CNT, Nanozwiebeln, (Carbosilan-)Dendrimere, Oxide (TiO <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub> , CeO <sub>2</sub> , ...), Kieselsäuren (Zeolithe), Aerogele, Polymere, org. Moleküle (Lipide, Polyelektrolyten), Biomoleküle	Nanopartikel, Nanoporen, Nanofasern, ultradünne Schicht, Supramolekulare Aggregate (Nanokapseln, Vesikel, Micellen)

<b>Systemfunktion <math>SF_{NT,i}</math> (Beispiele)</b>	<b>Wirkstruktur <math>W_{S_{NT,i}}</math> (Beispiele)</b>	<b>Wirkort/Applikation</b>
Photokatalyse	TiO <sub>2</sub>	Nanopartikel in Beschichtung
Geruchsabbau (Textilien)	Organische Moleküle (Cyclodextrine)	Nanoporen/supramolekulare Aggregate
energetische Werkstoffe	polymer- oder Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -beschichtete Al-Nanopartikel	Nanopartikel (oberflächenmodifiziert)
Anti-Fog Beschichtungen	Polymer, Oxide (TiO <sub>2</sub> )	Nanokomposit, Nanopartikel in Beschichtung
superhydrophobe Schutzschichten	Kohlenstoff	Ultradünne Schicht
Selbstreinigung/Antihaftung	DLC-F, Fluorverbindungen, Oxide (TiO <sub>2</sub> , ZnO, ZrO <sub>2</sub> , ...), Hybridpolymer	Nanopartikel in Beschichtung/Komposit, Nanobeschichtung/Nanostruktur
reversibel schaltbare Benetzungseigenschaft	supramolekulare Aggregate	Komplexe Nanostrukturen
Separation/selektive Filtration	Polymere, CNT	Nanokomposit, Nanofaser
Diffusionsbarriere	Ti-Nitrid, Oxide (SiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , ...)	Nanopartikel in Beschichtung, ultradünne Schicht
hohe Diffusionsrate für H <sub>2</sub> und erhöhte Aufnahmekapazität	Metall-organische Cubes, Leichtmetallhydrid (MgNi, LaNi)	Nanopartikel, Nanoporen
chemische Schutzschicht	Ti-Carbid-/Carbonitrid, Hybridpolymer, Oxide (SiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> ), DLC	Ultradünne Schicht, Nanopartikel in Beschichtung, Nanokomposit, Nanobeschichtung
Molekularsieb	Silikate (Zeolithe), künstliche Opale aus monodispersen SiO <sub>2</sub> -Kugeln	Nanopartikel, Nanoporen
Ultrafiltrationsmembranen	Polymere (PET-, PC-Membran)	Nanoporen
Entschäumung	Oxid (TiO <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub> )	Nanoporen
Absorption/Adsorption	Cyclodextrine, CNT, Carbon Füller, Oxid (SiO <sub>2</sub> ), Polymere, Silikate (Zeolithe), Fullenderivate, Metallhydride (Mg-B-Hydrid)	Nanotubes, Nanopartikel, Nanoporen
Abrasion	Schleifmittel, TiO <sub>2</sub>	Nanopartikel
Ionenleitfähigkeit	Keramik (Y-stabil. ZrO <sub>2</sub> ), Polymer, org. Moleküle	Nanopartikel, Nanoporen, ultradünne Schicht auf Nanopartikeln
Chemosensoren (Gassensoren)	Oxide (Sn, Ti, W, Mo, Zn), SWCNT, Metall (Pd)	Nanopartikel Nanoröhren Nanodrähte aus Nanopartikel
Chemosensoren (Feuchtigkeitssensor)	Oxid (Zeolith)	Nanopartikel/-poren
Chemosensoren (pH-Sensoren)	Nitride (Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ), Oxide (Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	ultradünne Schicht
Chemosensoren (allg.)	Polymere (PS, PAA), organische Moleküle (Thiole und Templatmoleküle)	Nanoporen, Nanopartikel (selbstorganisierte Monoschicht), Nanoporen
<b>biologisch</b>		
Biozidität/antimikrobielle Ausrüstung	Oxide (SiO <sub>2</sub> , ZnO, TiO <sub>2</sub> ), Metalle (Ag, Cu), Hybridpolymer mit keimtötende Beschichtung (Polyethylenglykol)	Nanopartikel in Beschichtung/Komposit, Nanobeschichtung, Nanoporen
Dekontamination	Oxide (MgO, beladen mit Halogenen (Cl <sub>2</sub> , Br <sub>2</sub> )), Nanoemulsion, Peptid-Nanoröhren (Biopolymer)	Nanopartikel, Nanoemulsion, supramolekulare Aggregate, Peptid-Nanoröhren
Biokompatibilität	Carbid, DLC, TiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Ca	Nanopartikel in Beschichtungen
Sensoren (akustisch)	Biopolymer/biomimetischer Membran	supramolekulare Struktur, ultradünne Schicht, Nanoporen
Biosensoren	evtl. Lipide organische Verbindungen Verbindungshalbleiter (CdSe), Polymere (PS); Metalle (Au) Oxid (Magnetit/γ-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	Supramolekulare Aggregate, ultradünne Schicht, Moleküle, Nanopartikel



### 11.2.3 Wirtschaftliche und gesellschaftliche Bedeutung der Nanotechnologie

Anwendungsfelder für die Nanotechnologie finden sich in nahezu allen Branchen.<sup>91</sup> Dabei greift die Nanotechnologie meistens früh in der Wertschöpfungskette an, die Wertschöpfung durch Nanotechnologie wird jedoch auf Produktseite in den jeweiligen Industrien erzielt.<sup>92</sup>

#### Anwendungsbranchen

Tabelle 50 zeigt einzelne Branchen mit besonders großem Anwendungspotenzial für die Nanotechnologie.<sup>93</sup>

Tabelle 50: Anwendungsbranchen der Nanotechnologie

Branchen	Anwendungsbeispiele
<b>Elektronik und IKT</b>	Speicherchips, Mikroprozessoren, Lithografie, CNT-Feldemitterdisplays (CNT-FED), ...
<b>Chemie/Materialien</b>	Katalytische Materialien, Füllstoffe, Pigmente, Membrane, ...
<b>Medizin/Gesundheit</b>	Drug Delivery, molekulare Diagnostik, Sensorik/Lab-on-Chip-Systeme, Beschichtungen und neue Materialien für Implantate, Tissue Engineering, ...
<b>Umwelt/Energie</b>	Brennstoffzelle, Energiespeicherung (H <sub>2</sub> -Speicherung, miniaturisierte Batteriesysteme, Latentwärmespeicher), organische und Farbstoffsolarzelle, Speichermedien, Filtration/Membrantechnologie, Katalyse, Lab-on-Chip-Systeme, neue Werkstoffe und Oberflächenfunktionalisierungen für IPP, neuartige Klebetechnologien, ...
<b>Automobil</b>	Funktionale Lacke und Beschichtungen, neue Kompositwerkstoffe, Leichtbauweise, Antriebe (Brennstoffzelle, Li-Ionen-Batterie, Additive zu Kraft- und Schmierstoffen,...), ...
<b>Optik</b>	Streuung/Reflexion/Absorption, Farbeffekte (Opal-Effekt, ...), Lithografie, diffraktive optische Elemente, OLED, LED, ...
<b>Luft- und Raumfahrt</b>	Sensorik, Energieversorgung, Leichtbau- und Strukturwerkstoffe; Flammenschutz, ...
<b>Produktion</b>	Sensorik, funktionale Beschichtung von Anlagen, Prozess-Nanomaterialien (Fließeigenschaften von Kunststoff, elektrostatische Sprühlackierung, ...), Schmierung, Konstruktionswerkstoffe, Messverfahren, Oberflächenbearbeitungsverfahren, Nanofabrikationsmethoden, ...
<b>Bauwesen</b>	Baustoffe, Wärmedämmung, funktionalisierte Außenanstrich und Fensterscheiben, Energieversorgung, Brandschutz, ...
<b>Textilien</b>	funktionalisierte Textilien, Wärmeschutz, ...

Aus Sicht der Nanotechnologie werden in der Literatur häufig Teildisziplinen oder Anwendungsfelder definiert (siehe Tabelle 4, Kap. 3.2.4). Sie dienen der Übersetzung der Funktionalitäten in relevante Branchen und Anwendungsmöglichkeiten oder der Eingrenzung der Nanowissenschaften für Forschungsprogramme (siehe BMBF 2002, S.22).

Es gibt bereits heute kommerzielle Produkte oder Anwendungen in Unternehmen, die auf der Nanotechnologie aufbauen (vgl. Haas, Heubach 2007; Gleiche et al. 2006).<sup>94</sup> u. a. Easy-to-

<sup>91</sup> Vgl. Heubach et al. 2005; BMBF 2006c; Fleischer, Grunwald 2005; Luther et al. 2004; Grüne et al. 2005 und Wagner, Zweck 2006

<sup>92</sup> Vgl. Luther et al. 2006 (S.10); Luther et al. 2004 (S.75) und Iden, Heubach 2007 (siehe Abbildung 47)

<sup>93</sup> Vgl. Wood et al. 2003; Deutscher Bundestag 2004; Luther et al. 2004; Luther 2003; Lux Capital 2003; WGZ 2002; BMBF 2004a; BMBF 2004b; Wagner, Zweck 2006; Heubach et al. 2005; EPA 2005; Werner et al. 2006; Noack 2007; Malsch et al. 2007; Haas 2006 und VDI-TZ 2007.

<sup>94</sup> Unter [www.nanotechproject.org/inventories](http://www.nanotechproject.org/inventories) und [www.nanoproducts.de](http://www.nanoproducts.de) findet sich eine aktuelle Bestandsaufnahme von Produkten mit Nanotechnologie (Aufruf am 18.07.07).

Clean-Beschichtung „RiNano“ für Wärmetauscher (Rittal); hybridpolymere Antihafschicht für Druckwalzen (MAN Roland); kratzfester Autolack (Daimler); mit CNT versteifter Tennisschläger (Vökl); antibakterielle Lacke für Holz mit Silber-Nanopartikel (Alfred Clouth Lackfabrik) oder antimikrobielle Plasmapolymerschicht (BioGate); Korrosionsschutzbeschichtung mit Nanoceramics (Henkel); photokatalytische Beschichtungen auf Wandfarbe, Basaltsteinen, saugfähigen mineralischen Baustoffen oder Fensterscheiben (Caparol, Franz Carl Nüdling Basaltwerke, Degussa, Pilkington); Fassadenfarbe mit Lotuseffekt (sto); nanoporöse Antireflexschichten für Glas-scheiben oder Solarzellen (Merck); nanoskalig poröse katalytische Keramiksichten für Ofensystem zur Geruchszersetzung (ItN Nanovation); Wärmedämmung durch Nanogels (Cabot); Easy-to-Clean Textilbeschichtung (BASF); Produktkennzeichnung durch nanooptischen Siegel (FAG Kugelfischer); Klebtechnik Bond/Disbond-on-Command (Sustech); anorganische Nanopartikel als Bindemittel im Fassadenanstrich (BASF); Carbon Black Partikel für Autoreifen (Degussa); TiO<sub>2</sub>-Nanopartikel als UV-Schutz in Sonnencremes (BASF); Anti-Fingerprint-Beschichtung auf Kiosk-terminals (Rittal); Schmierung und Dichtung mit magnetisierten Nanopartikeln (Degussa).

## **Märkte**

Die Prognostizierung von Märkten und Marktanteilen der Nanotechnologie ist im gegenwärtigen frühen Stadium schwierig: In der Grundlagenforschung kann über die technische und wirtschaftliche Relevanz nur gemutmaßt werden. Des Weiteren gibt es keine einheitliche Definition, was Nanotechnologie ist und wie Anwendungsgebiete analysiert und abgegrenzt werden sollen (siehe Luther 2003, S.27; Luther et al. 2004, S.ii; BMBF 2005, S.174). Marktprognosen zeigen, dass Nanotechnologie eine Hebelwirkung auf dem Weltmarkt von derzeit ca. 100 Mrd. Euro hat (Luther et al. 2004, S.iii). Allerdings wurden die Marktvolumina unterschiedlicher Wertschöpfungstiefen addiert. Für das Jahr 2010 soll das Weltmarktvolumen für Produkte mit Nanotechnologie 500 Mrd. Euro betragen (BMBF 2004b, S.27).

Wertschöpfung durch Nanotechnologie findet auf Seiten der Endprodukthersteller statt, die die Funktionalität durch Nanotechnologie in ihren Produkten anwenden (Abbildung 47). Die in Abbildung 47 dargestellte Wertschöpfungskette der Nanotechnologie zeigt nicht nur einen langen Weg von der Grundlagenforschung bis zur Markteinführung mit einer Vielzahl an unterschiedlichen Partnern. Von der Technologieentwicklung über die Verarbeiter von Nanomaterialien und die Systemlieferanten bis zu den Endprodukthersteller erkennt man auch eine Wertsteigerung um den Faktor 1000.<sup>95</sup>

---

<sup>95</sup> Das Beispiel Wundverbände verdeutlicht dies: Silber-Nanopartikel im Wert von einigen 100.000 US-Dollar kommen in antimikrobiellen Wundverbänden im Wert von über 25 Mio. US-Dollar zum Einsatz (Wagner, Zweck 2006, S.5).

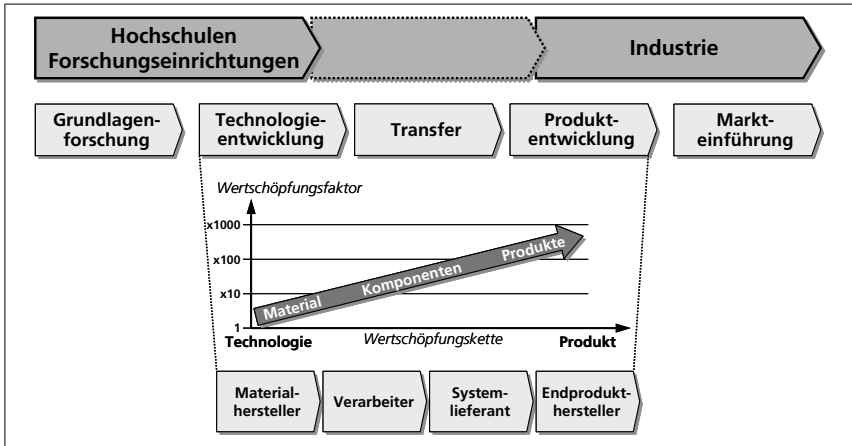


Abbildung 47: Wertschöpfungskette und Wertschöpfung in der Nanotechnologie (Iden, Heubach 2007, S.28)

Herausforderungen der Kommerzialisierung sind fehlende Standards (vgl. Rashba, Gamota 2003), hohe Investitionen (Shea 2005, S.195), die notwendige Qualifikation der Mitarbeiter (Spath, Buck 2007) sowie die Bereitstellung von Gründungskapital.

### Öffentliche Förderung und Grundlagen der Entwicklung

Die bisherige Entwicklung der Nanotechnologie wird stark durch öffentliche Förderprogramme vorangetrieben und weiter ausgebaut (vgl. Roco 2005; BMBF 2005, S.72). So verfolgt das BMBF mit den Forschungsprogrammen und den Kompetenzzentren die Strategie, den Einsatz in bestimmten, für Deutschland relevanten Anwendungsfeldern zu fördern, um den Übergang von Technologie-Push zu innovativen Produktansätzen intensiver und zielgerichteter zu gestalten (vgl. Bachmann 1998, S.106; Rieke, Bachmann 2004; BMBF 2002; BMBF 2004a; BMBF 2004b). Für 2005 betragen die öffentlichen Ausgaben für Nanotechnologie in Deutschland (Projekte und institutionelle Förderung) knapp 300 Mio. Euro, davon 130 Mio. Euro vom BMBF. Die USA gaben für FuE in der Nanotechnologie 2005 über 1,08 Mrd. US\$ aus. Begleitend zur Forschungsförderung wurden vom BMBF von 2002 bis 2002 drei ITA-Studien, mit 1,2 Mio. Euro gefördert.<sup>96</sup> Innerhalb der letzten neun Jahre hat sich die öffentliche Förderung weltweit knapp verzehnfacht. Im 7. Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Union sind für das Themenfeld Nanowissenschaft gesamt rund 3.467 Mrd. Euro bis zum Jahr 2013 eingeplant (siehe Europäische Kommission 2005b).

Die Zahlen belegen das Interesse und die großen Anstrengungen der öffentlichen Hand, die Nanowissenschaft und Kommerzialisierung der Nanotechnologie zu fördern, um an den Anwendungen partizipieren zu können – auch im internationalen Wettbewerb (siehe u. a. Roco 2005; Europäische Kommission 2004 und Europäische Kommission 2005a; sowie als Beispiel für die chinesische Entwicklung in Zhou, Leydesdorff 2006). Gleichzeitig lassen die großen Investitionen weitere Fortschritte auf Erkenntnis- und Anwendungsebene erwarten. Deutschland nimmt, besonders was die Nanoforschung angeht, international eine Spitzenposition ein, mit Japan

<sup>96</sup> Veröffentlicht in Steinfeldt et al. 2004; Luther et al. 2004 und Farkas et al. 2004.

und den USA (vgl. Hullmann 2001, S.160, Bachmann 2003; siehe auch Cientifica 2003, S.8; Luther et al. 2004, S.ii; Deutscher Bundestag 2004, S.7).

### **Gesellschaftliche Akzeptanz und Risiken der Nanotechnologie**

Die Risikoanalyse und toxikologische Aspekte einzelner Nanopartikel sind Gegenstand zahlreicher Forschungsarbeiten.<sup>97</sup> Ebenso finden Maßnahmen wie Stakeholder und Öffentlichkeits-Dialoge zu sozialen und ethischen Fragen und Nachhaltigkeitsbewertungen statt, die den Entwicklungsprozess der Nanotechnologie begleiten. Auch der Nachhaltigkeitsbeitrag durch Nanotechnologie wird bewertet.<sup>98</sup> Die öffentliche Wahrnehmung der Nanotechnologie in den Medien ist gegenwärtig (noch) positiv, wie aktuelle Medienanalyse zeigen.<sup>99</sup>

## **11.3 Anhang C: Prozessmodelle der Produktplanung**

Im Folgenden werden im Anhang C die einzelnen Vorgehensschritte der in Kap. 3.3 diskutierten Prozessmodelle der Produktplanung näher ausgeführt und weitere Prozessmodelle in der Literatur vorgestellt.

### **11.3.1 Prozessmodell der Produktplanung nach VDI 2220**

Abbildung 48 zeigt den Ablaufplan der Produktplanung nach VDI-Richtlinie 2220 mit der anschließenden Produktrealisierung und Produktbetreuung (VDI-2220 1980, S.3).

---

<sup>97</sup> Siehe hierzu z.B. BMBF 2006a; Oberdörster 2004; Kreyling et al. 2004; Krug et al. 2004; Spilok 2005; Swiss Re 2004; Colvin 2003 und Luther 2004.

<sup>98</sup> Zu Nano-Dialoge siehe z.B. Nanologue 2005; Hullmann 2005; Löchtfeld 2005 und Royal Society 2004 (S.x), zu Nachhaltigkeitsbewertungen siehe z.B. Steinfeldt et al. 2004; EPA 2005 und Coenen, Grunwald 2003 (S.356).

<sup>99</sup> Siehe Grobe et al. 2005; Scheufele, Lewenstein 2005; Malanowski 2003 und Europäische Kommission 2007 (S.176).

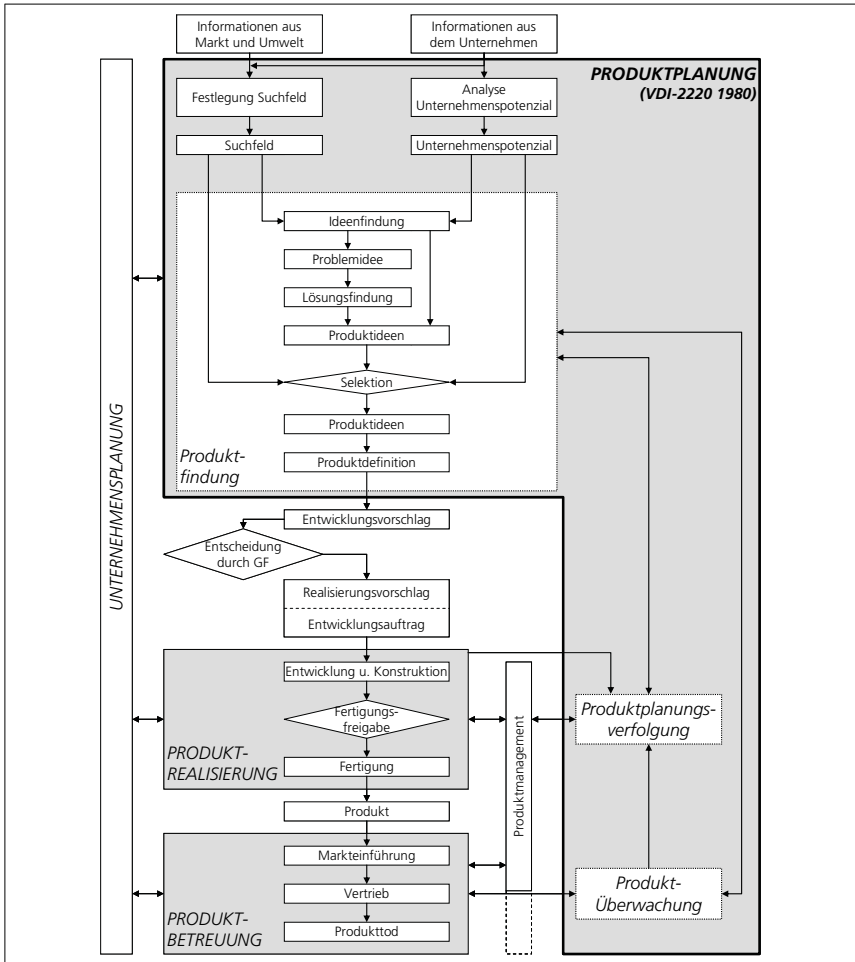


Abbildung 48: Ablaufplan der Produktplanung nach VDI-Richtlinie 2220 (VDI-2220 1980, S.3) mit der anschließenden Produktrealisierung und Produktbetreuung

### 11.3.2 Prozessmodell der Produktplanung nach Gausemeier

Der Produktinnovationsprozess nach GAUSEMEIER et al. ist dargelegt als Phasenmodell von der Produkt-/Geschäftsidee bis zum erfolgreiche Markteintritt mit den drei Entwicklungszyklen Strategische Produktplanung, Produktentwicklung und Prozessentwicklung (Gausemeier et al. 2001, S.43f). Der erste Zyklus „strategischen Produktplanung“ besteht aus den Einzelschritten Potenzialfindung, Produktfindung, Geschäftsplanung und Produktkonzipierung mit dem Ziel der Entwicklung Erfolg versprechender Produktkonzeptionen (Abbildung 49).

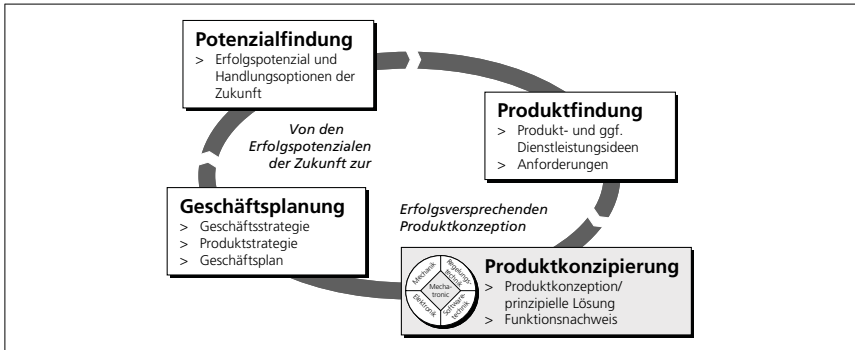


Abbildung 49: Zyklus der strategischen Produktplanung im Produktinnovationsprozess (Gausemeier et al. 2001)

Zunächst werden in der Potenzialfindung die Erfolgspotenziale der Zukunft in Bezug auf Kunden und Märkte sowie die Handlungsoptionen methodisch erkannt. Eingesetzte Instrumente sind u. a. Szenarioanalyse, QFD und Portfolioanalyse. Zunächst wird die Position der Produkte im heutigen Wettbewerb bestimmt. Anhand des S-Kurvenkonzepts wird eine Verortung der Produkttechnologien in den Kategorien Schlüssel-, Schrittmacher-, Basis- oder ausgereifte Basistechnologie vorgenommen und gemeinsam mit dem Kriterium Eintrittsbarriere die Technologieattraktivität bewertet. Aus der Kombination von Technologie- und Marktpriorität in einem Markt-Technologie-Portfolio wird die Position abgeleitet. Kaufentscheidende Erfolgsfaktoren werden für das betrachtete Produkt erfasst und Weiterentwicklungspotenziale analysiert. Mit Hilfe der QFD werden die technischen Lösungen mit den Kundenanforderungen abgestimmt. Durch eine Conjoint-Analyse wird das Kaufverhalten von Kunden analysiert und diejenigen Merkmalsausprägungen identifiziert, die zur Kaufentscheidung führen. Durch eine Kundenbefragung sollen hierfür notwendige Informationen, z. B. durch eine Kano-Analyse gewonnen werden. Um zukünftige Entwicklungen antizipieren zu können, kommt die Szenariotechnik zum Einsatz. Szenarien über die Entwicklung zukünftiger Schlüsselfaktoren werden erstellt, um daraus gemeinsam mit der Analyse der heutigen Situation das Veränderungspotenzial abzuleiten und damit Produktkonzepte für morgen definieren zu können.

In der Produktfindung werden neue Produkt- und Dienstleistungsideen aus den Produktkonzepten mit Unterstützung von Kreativitäts- und Problemlösungstechniken erarbeitet. Die Produktfindung läuft in den Schritten Situationsanalyse, Finden von Ideen, Bewerten und Auswählen der Ideen und Definieren der Produkte ab. Zum Einsatz kommen Kreativitätsmethoden der Ideenfindung wie TRIZ. Die entwickelten technischen Lösungen werden mit den Markt- und Umfeldszenarien aus der Potenzialfindung hinsichtlich der Zielerfüllung abgeglichen.

Anschließend wird in der Geschäftsplanung die Geschäftsstrategie mit den zu bedienende Märkten festgelegt, die Produktstrategie mit Aussagen zu Produktprogramm, eingesetzten Technologien und Produktlebenszyklus erfasst sowie ein Geschäftsplan erstellt.

Mit der Produktkonzipierung schließt dieser Zyklus an den nachfolgenden Zyklus Produktentwicklung an. Hier werden Prinziplösungen mit den groben funktionsbestimmenden Spezifikationen, die auf physikalischen und logischen Wirkungsweisen basieren, für das neue Produkt erarbeitet (Gausemeier et al. 2001, S.44).

### 11.3.3 Prozessmodell der Produktplanung nach dem W-Modell der InnovationRoadMap

Das W-Modell der InnovationRoadMap ist ein Prozessmodell zur Planung von Produktinnovationen nach BRANDENBURG und EVERSHEIM (Brandenburg 2002; Eversheim 2003). Es umfasst alle relevanten Teilschritte von der Zielsetzung bis zur Umsetzungsplanung. Die einzelnen Phasen sind die Zielbildung, Zukunftsanalyse, Ideenfindung, Ideenbewertung, Ideendetailierung, Konzeptbewertung und Umsetzungsplanung (Abbildung 50). Die Hauptaktivitäten der Phasen Zukunftsanalyse, Ideenfindung und Umsetzungsplanung sollen periodisch wiederholt werden, während die anderen Phasen kontinuierlich in die Planungsabläufe der Produktinnovation im Unternehmen als Mikrozyklus eingebunden werden.

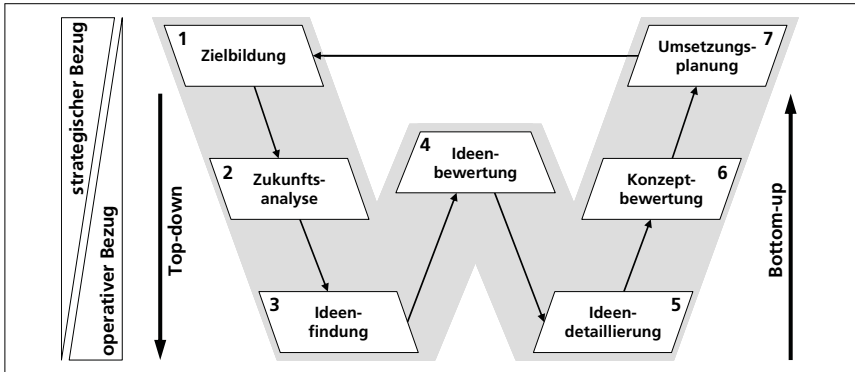


Abbildung 50: Das W-Modell der InnovationRoadMap (Eversheim et al. 2003, S.27)

In der Zukunftsanalyse werden ökonomische, sozio-kulturelle, technologische, politisch-rechtliche und ökologische Globaltrends (nach Aeberhard 1996) erfasst und anschließend in einem Wirkmodell die Innovationspotenziale für das Unternehmen deduziert. Ein Innovationspotenzial beschreibt entweder eine Problem- oder eine Lösungsidee, d.h. ein aus der Zukunftsprojektion abgeleitetes zukünftiges Problem aufgrund einer Kundenanforderung oder eine neuartige technische Prinziplösung. Relevante Technologien werden aus den (Global)Trends abgeleitet, die z.B. durch Delphi-Studien gewonnen werden. Ergebnis der Zukunftsanalysen sind Innovationsaufgaben, die Handlungsanweisung mit Bezug zu den Innovationspotenzialen darstellen.

Die darauf folgende Phase Ideenfindung ist unterteilt in die Analyse der Innovationsaufgabe, die Sammlung und Generierung von Produktideen 1. Ordnung, die Strukturierung und Verdichtung der Ideen sowie die Formulierung der Produktideen 2. Ordnung. Zunächst wird die Innovationsaufgabe strukturiert, in eine funktionale Sicht transformiert und das Ideale Produkt formuliert. Es werden für die Innovationsaufgabe(n) bekannte Lösungen, die im Unternehmen bereits entwickelt oder bekannt sind, gesammelt. FAST-Diagramm (siehe Kap. 3.4.5, nach Akiyama 1994), Patentanalyse, Wertanalyse (nach VDI-2800 2000; DIN EN-12973 2002) oder Kreativitäts- und Problemlösungstechniken dienen der methodischen Unterstützung. Ziel ist die Strukturierung und Aufbereitung der Innovationsaufgabe. Anschließend werden Produktideen 1. Ordnung gesammelt und generiert, z.B. durch den Einsatz der TRIZ-Methodik (siehe Kap. 3.4.3) oder durch Bionik. Die Produktideen werden aufgrund ihrer unterschiedlichen Detaillierungs- und Konkretisierungsgrade strukturiert, verdichtet und in das System der Innovationsaufgaben eingeordnet. Die Strukturierung erfolgt z.B. in einem morphologischen Kasten (siehe Kap. 3.4.4, nach Zwicky 1989). Hieraus werden durch sinnvolle Kombination einer Problem- mit einer Lösungsidee Produktideen 2. Ordnung beschrieben und in einem Produktdatenblatt strukturiert abgelegt.

Die Produktideen werden in der Phase Ideendetaillierung hinsichtlich ihrer Lösungskonzeption und Realisierung vertieft. Die Bewertung in der Phase Ideenbewertung erfolgt anhand eines detaillierten Kriteriensystems in einem Portfolio-System. Die Einflussfaktoren der Bewertung werden den Gruppen Unternehmensnutzen, Zukunftsträchtigkeit und Technologiepotenzial zugeordnet. Der Unternehmensnutzen bezieht monetäre Größen und den indirekten Nutzen (Synergieeffekte, Nutzung von Kompetenzen, Strategiekonformität etc.) mit ein. Die Zukunftsträchtigkeit korrespondiert mit dem Kundennutzen, dem Differenzierungspotenzial und der Substitutionssicherheit. Das Technologiepotenzial baut auf der Machbarkeit, Entwicklungsaufwand und Realisierungsaufwand auf (Brandenburg 2002, S.102).

### 11.3.4 Prozessmodell der Produktplanung nach dem Chain-Link-Modell

Das Chain-Link-Modell nach KLINE und ROSENBERG stellt einen Modellansatz für einen rückgekoppelten Innovationsprozess dar (Kline, Rosenberg 1986, Kline 1985b). Kennzeichnend ist die Entkopplung der Ebenen Forschung und Wissen mit den innerbetrieblichen Abläufen des Innovationsprozesses sowie Feed-back-Schleifen zwischen den einzelnen Schritten (Abbildung 51). Die Ebene Wissen (knowledge) stellt die gegenwärtige Gesamtheit des gespeicherten Wissens dar, während Forschung (research) dieses Wissen korrigiert bzw. neues hinzufügt. Beides zusammen bilden die beiden Hauptkomponenten von Wissenschaft als „the creation, discovery, verification, collection, reorganisation, and dissemination of knowledge about physical, biological and social nature“ (Kline, Rosenberg 1986, S.287). Die Güte der Verfügbarkeit des Wissens hängt ab von dem Entwicklungsstand der einzelnen Technologien und damit ihrer Wissensrepräsentanz (Kline, Rosenberg 1986, S.295).

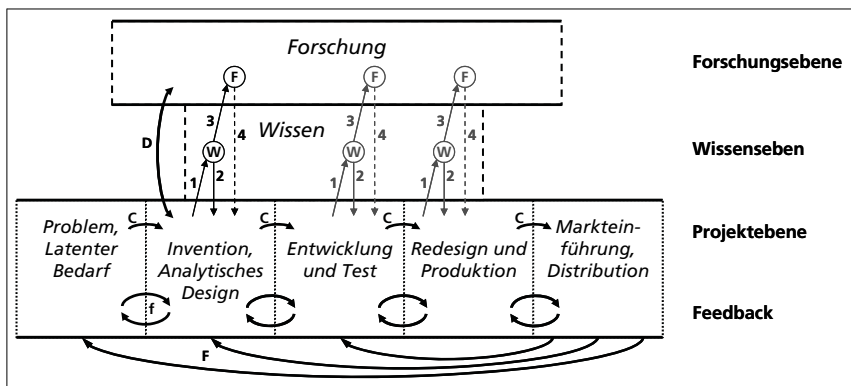


Abbildung 51: Chain-Link-Modell (Kline, Rosenberg 1986, S.290)

Abbildung 51 (Anhang, Kap. 11.3.4) zeigt die Prozessabfolge. Sie besteht aus den Schritten Problem/latenter Bedarf, Invention/Analytisches Design, Entwicklung/Test, Redesign/Produktion sowie Markteinführung/Distribution (Pfeil „C“ in Abbildung 51) sowie Feed-back- und Feed-Forward-Schleifen (Pfeil „f“ und „F“).

Im ersten Schritt lösen Abschätzungen potenzieller Märkte und die geforderten Problemlösungen Such- und Entdeckungsaktivitäten aus. Lösungsbeiträge aus der Forschung können für die Invention bzw. das Analytische Design eingebunden werden. Der Austausch ist nicht einseitig, vielmehr wird für das Analytische Design auf den Wissenspool zurückgegriffen, der durch Forschung bereitgestellt wird – gleichzeitig wird die Problemartikulation auch den Forschungs- und



Wissensgewinn vorantreiben (Pfeil „D“). Die Suche für technische Problemlösungen erfolgt zunächst im Wissensspeicher (Pfeil „1“ und „2“, Knoten „W“). Erst wenn die notwendigen Informationen nicht erhalten werden können, wird die Forschungsebene eingebunden (Pfeil „3“ und „4“ Knoten „F“). D.h. Forschung hat gewöhnlich nicht die Initialzündung für Innovationen, sondern dient als Problemlösung (OECD 1997, S.38).

### 11.3.5 Weitere Prozessmodelle in der Literatur

Tabelle 51 zeigt weitere Prozessmodelle und Ansätze der Produktplanung und der Technologieentwicklung in der Literatur. Sie unterstützen spezifisch die Produktfindung auf der Basis neuer Technologien oder legen eine detaillierte Formalisierung des Problemlösungsprozesses im Rahmen der Produktplanung zugrunde.

Tabelle 51: Weitere Prozessmodelle und Ansätze der Produktplanung (fortgesetzt)

Literatur	Ansätze der Produktplanung und Prozessmodell	Erläuterung
Cooper et al. 2002	Stage-Gate-Prozess ergänzt um frühe technologieentwicklungsspezifische Aktivitäten	Die Kombination von Stage-Gate mit dem Technologieentwicklungsprozess nach COOPER ist eine Erweiterung des fünfstufigen Stage-Gate-Modells um zwei weitere, vorgelagerte Stufen. Diese beschreiben die Technologiebewertung und detaillierte Untersuchungen. Darin werden einzelne Aufgaben auf Stufenebene definiert. Die Ergebnisse fließen dann in den Standard Stage-Gate-Prozess ein.
Ajajian, Koen 2002; Eldred, McGrath 1997	Technology Stage-Gate	Ebenfalls eine Erweiterung des Stage-Gate-Ansatzes ist der Technology Stage-Gate, wie er von AJAMIAN und KOEN sowie ELDRED und McGRATH beschrieben wird. Darin werden die zugrundeliegende Werkzeuge und Methoden beschrieben. Charakteristisch ist, dass die zu liefernden Ergebnisse nicht für jedes Gate im Voraus bekannt sind, sondern nur bis zum nächsten. So können sich im Laufe der Technologieentwicklung die zu erbringenden Ergebnisse ändern. Der Technology Stage-Gate besteht aus vier Elementen: Review Process, Technology Development Team, Senior Review Committee und strukturierte Methodologie.
Marxt et al. 2004	Erweiterung des Stage-Gate Model in einem Sustainable Collaboration Framework	MARXT et al. erweitern und adaptieren den Stage-Gate-Prozess nach COOPER mit Ziel, Technologien in den Markt zu bringen. Hierfür wird der Stage-Gate und der Technology Stage-Gate in einen ganzheitlichen Ansatz überführt, der den Prozess in die vier Phasen Ideas/Selection, Research/Technology Development, Implementation sowie Market Introduction aufteilt. Rollen, Funktionen, Aufgaben und Handlungspersonen gestalten den Prozess.
VDI-2221 1993	VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte	Die VDI-Richtlinie 2221 definiert Arbeitsabschnitte und -ergebnisse als branchenunabhängige, allgemeingültige Grundlage des methodischen Entwickelns und Konstruieren. Eine Nomenklatur und ein Instrumentarium der Systemtechnik bilden hierfür die Basis. Das Vorgehen besteht aus den Teilschritten Problemanalyse, Problemformulierung, Systemsynthese, Systemanalyse, Beurteilung und Entscheidung. Eine umfangreiche Methodensammlung zur Unterstützung der einzelnen Prozessschritte wird bereitgestellt (siehe Tabelle 56, Kap. 11.4.3)

Literatur	Ansätze der Produktplanung und Prozessmodell	Erläuterung
Spielberg 2002	Methodik zur Konzeptfindung basierend auf technischen Kompetenzen	Die Methodik zur Konzeptfindung auf der Basis technischer Kompetenzen nach SPIELBERG verfolgt das Ziel, in den frühen Phasen des Produktinnovationsprozesses die Konzeption effektiver technischer Problemlösungen systematisch zu unterstützen. Hierfür sollen unternehmensspezifische Kompetenzen hinsichtlich verfügbarer Lösungen und Problemlösungspotenziale abgebildet werden, die fallspezifisch bei der Problemlösung bereitgestellt werden. Der Problemlösungsprozess besteht aus den Phasen: Zielsuche (Analyse der technischen Aufgabenstellung), Lösungsfindung (Analogiebasierte Lösungsfindung und Transferbasierte Lösungsentwicklung) und Bewertung (Konzeptbewertung und Lösungsdokumentation).
Leemhuis 2005	Funktionsgetriebene Konstruktion in der Produktentwicklung	Ziel des Ansatzes nach LEEMHUIS ist es, die Produktentwicklung zu verbessern, indem in den frühen Phasen die Entwicklungsmethoden um die Handhabung der Produktfunktionen erweitert werden und nach vorhanden Lösungsansätzen gesucht werden kann. Ansatzpunkte sind eine dezidierte Entwicklungsumgebung, die vollständige Dokumentation der Entwurfshistorie sowie die Verarbeitbarkeit von Konstruktionswissen auf der Basis von Produktfunktionen. Der Aufbau einer Ontologie unterstützt den Konstruktionsprozess, indem die semantischen Beziehungen zwischen Anforderung, Produktfunktion und Bauteilstruktur beschrieben werden.
Khurana, Rosenthal 1997	New Product Development mit integriertem Fuzzy Front End	Der Ansatz von KHURANA und ROSENTHAL implementiert ein Prozessmodell des New Product Development Front End. Darin werden besonders die Aktivitäten in der frühen Phase (Fuzzy Front End) mit den einzelnen Funktionen ausgestaltet. Das Prozessmodell hat die Grundlagenelemente: Product and Portfolio Strategy und Product Development Organization. Die Prozess-Teilschritte sind Preliminary Opportunity Identification (Pre-Phase Zero), Product Concept and Definition (Phase Zero) und Product Definition and Project Planning (Phase One), an die sich dann der New Product Development Prozess anschließt.
Langlotz 2000	Funktionsstrukturentwicklung für innovative Produkte	LANGLOTZ stellt in seinem Ansatz zur Funktionsstrukturentwicklung für innovative Produkte die rechnergestützte Informationsverarbeitung in den frühen Phasen der Konstruktion vor. Mit Hilfe der semantischen Modellierung wird die Produktfunktionalität als Funktionsstruktur mit den Teilfunktionen und Relationen modelliert. Physikalische Größen der Funktionen mit unterschiedlichem Konkretisierungsgrad sollen so konsistent verwaltet werden. Ein Schwerpunkt liegt auf der Verwaltung bereits realisierter Komponenten, die für die Weiterentwicklung bestehender Produkte im Entwicklungsprozess vorgeschlagen werden sollen
Seidel 2005	Methodische Produktplanung	SEIDELS Ansatz der methodischen Produktplanung verfolgt die zweckmäßige Methodenunterstützung der Aktivitäten, die der Produktentwicklung vorgelagert sind. Hierfür wurde eine praxisnahe Methodik entwickelt. Sie besteht aus der Einbindung der Randbedingungen, die durch das Unternehmensumfeld sowie die Unternehmens- und Produktstrategie vorgegeben sind; aus Entscheidungs-Gates, die die Auswahl erfolgversprechender Konzepte steuert; sowie der Fixierung der Randbedingungen für den nachfolgenden Entwicklungsprozess. Das methodische Vorgehen besteht aus den Einzelschritten: Konkretisierung des Planungsauftrags, Analyse der Kundenwünsche, Benchmark der relevanten Produkte, Vorbereitung der Konzepterstellung, Erstellung der Produktkonzepte, Vorbereitung der Entscheidung und Nachbereitung der Produktplanung.

Literatur	Ansätze der Produktplanung und Prozessmodell	Erläuterung
Lanza 1999	Systemunterstützung des verteilten Engineering mit Axiomatic Design (nach Suh 2001)	Der Ansatz von LANZA integriert die Vorgehensmethode des Axiomatic Design in ein verteiltes Produkt- und Prozessdatenmodell mit einem netzwerkbasiereten Engineering Data Management (EDM). Unterstützt werden die Phasen: Anforderungsanalyse, Festlegung/Systementwurf, Objektentwurf sowie Implementierung/Konfiguration. Teilfunktionen des EDM wie Verteilungsmanagement, Änderungswesen, Kompetenz- und Methodenmanagement werden hinsichtlich der Prioritäten ihrer Anforderungen strukturiert und in weitere Teilfunktionen konkretisiert.
Durrani et al. 1998	Technology Acquisition Prozess	DURRANI et al. definieren einen Technology Acquisition Prozess, um die Technologieakquise mit den Marktanforderungen, dem Produktentwicklungsprozess, den Technologiequellen und der strategischen Planung zusammenzuführen. Das Vorgehen besteht aus den Stufen: Establishing Market-place Requirements, Identifying Technology Solutions, Classifying Technology Solutions, Assessing Sources of Technology, Acquiring sowie Making Technology Acquisition Decision.
Doering, Parayre 2000	Technology Assessment Process	DOERING und PARAYRE beschreiben einen vierstufigen Technologieanalyseprozess für emergente Technologien. Der Prozess besteht aus den Schritten Scoping, Searching, Evaluating und Committing. Kern des Prozesses ist ein iteratives Vorgehen in den ersten drei Schritten. Die Bewertung baut auf der Analyse der Markt-, Technologie- und Organisationsrisiken auf. Im letzten Schritt Committing werden Strategien für die Umsetzung der Technologie definiert.

## 11.4 Anhang D: Technologieanalyse und -bewertung

Im Folgenden werden im Anhang D Sammlungen von technischen Verben aus der Literatur dargestellt, die die systematische Beschreibung von Funktionen (vgl. Kap. 3.1.3.3 und 6.1.5) systematisch unterstützen soll (Kap. 11.4.1). In den Kap. 11.4.2 und 11.4.3 werden Kriterien und Ansätze zur Technologiebewertung aufgeführt. Weitere Methoden der Ideenfindung für die Produktplanung finden sich im Kap. 11.4.4. Im Kap. 11.4.5 werden einzelne Werkzeuge im TRIZ-Konzept vorgestellt.

### 11.4.1 Sammlungen technischer Verben

Tabelle 52 zeigt beispielhaft eine Sammlung technischer Verben nach Birkhofer 1980. Eine Taxonomie für spezielle Funktionsverben findet sich bei Langlotz 2000, S.277 (Tabelle 53).

**Tabelle 52: Beispielhafte Sammlung technischer Verben (Birkhofer 1980, S.71) (fortgesetzt)**

abdecken	aufbereiten	ebnen	heben	neigen	schmelzen	transportieren
abgleichen	aufgeben	eichen	heizen	nieten	schmieden	trennen
abgreifen	anrechnen	einfügen	hämmern	nivellieren	schmieren	trocknen
ablassen	auftragen	einrasten	hobeln	nullen	schneiden	überlagern
abnehmen	aufzeichnen	einschalten	imprägnieren	passen	schreiben	übertragen
abnutzen	ausbalancieren	emittieren	induzieren	pendeln	schrumpfen	umpolen
abpressen	ausbessern	empfangen	informieren	prägen	schütteln	umspannen
abschneiden	ausdehnen	erregen	isolieren	polarisieren	schütten	unterbrechen
abschirmen	auslösen	erstarren	justieren	polen	schützen	verbinden
absetzen	ausrichten	erzeugen	kontrollieren	positionieren	schweißen	verdampfen
absorbieren	ausschalten	fahren	kopieren	pressen	schwenken	verdichten
abspritzen	beanspruchen	fallen	koppeln	prüfen	setzen	verdunsten
abstimmen	bearbeiten	federn	kühlen	raffinieren	sichern	vergleichen
abstreifen	befestigen	feilen	kuppeln	räumen	sieben	verschleiben

abstufen	beizen	fertigen	kalibrieren	reagieren	skalieren	versorgen
abtragen	belasten	fetten	kleben	rechnen	sortieren	verteilen
abweichen	beschädigen	filtern	kondensieren	reduzieren	spalten	verzögern
abziehen	beschleunigen	fixieren	lackieren	regeln	spannen	walzen
abzweigen	beugen	fließen	laden	registrieren	speichern	wälzen
adsorbieren	bewerten	folgen	lagern	reihen	sperrn	wandeln
analysieren	biegen	fördern	laufen	reparieren	spülen	wärmen
ändern	blockieren	formen	leiten	richten	stabilisieren	wechseln
angreifen	bohren	fräsen	lesen	rosten	stanzen	wiegen
anpassen	brechen	führen	leuchten	rückkoppeln	stauchen	wiegen
anreichern	bremsen	füllen	löschen	sägen	steuern	zählen
anstoßen	brennen	gießen	lösen	sammeln	stoppen	zentrieren
antreiben	dämpfen	gleiten	löten	saugen	stören	zerlegen
anzeigen	dehnen	gliedern	magnetisieren	schalten	stützen	ziehen
arbeiten	demontieren	greifen	markieren	scheren	tasten	zufügen
arretieren	dosieren	haften	messen	schieben	tauschen	zünden
atomisieren	drehen	halten	modulieren	schleifen	teilen	
ätzen	drücken	hängen	montieren	schließen	transformieren	

Tabelle 53: Taxonomie für Spezielle Funktionsverben (Langlotz 2000, S.277) (fortgesetzt)

1 Einteilung der Verben nach allgemeinen Funktionsverben		2 Einteilung der Verben nach bestimmten Eigenschaften	
1.1	<i>Speichern</i>	2.1	<i>ortsverändernde Verben</i>
1.1.1	speichern	2.1.1	ortsverändernde Verben für Energiegrößen
1.1.2	aufrechterhalten	2.1.1.1	senden
1.1.3	aufbewahren	2.1.1.2	leiten
1.1.4	behalten	2.1.1.3	übertragen
1.1.5	lagern	2.1.2	ortsverändernde Verben für Feststoffe
1.1.6	zurückbehalten	2.1.2.1	leiten
1.1.7	magazinieren	2.1.2.2	transportieren
1.1.8	deponieren	2.1.2.3	positionieren
1.1.9	bewahren	2.1.2.4	zurückstellen
1.1.10	aufheben	2.1.2.5	bewegen
1.1.11	sammeln	2.1.2.6	rückstellen
1.1.12	ansammeln	2.1.3	ortsverändernde Verben für Flüssigkeiten
1.1.13	anhäufen	2.1.3.1	fließen
1.1.14	aufstauen		
1.1.15	halten	2.2	<i>formverändernde Verben</i>
		2.2.1	sägen
		2.2.2	schneiden
1.2	<i>Abgeben</i>	2.3	<i>eigenschaftsverändernde Verben</i>
1.2.1	abgeben	2.3.1	betragsverändernde Verben
1.2.2	abliefern	2.3.1.1	betrags erhöhende Verben
1.2.3	ablassen	2.3.1.1.1	verstärken
1.2.4	ausstrahlen	2.3.1.2	betragsvermindernde Verben
1.2.5	entspeichern	2.3.2	stoffverändernde Verben
1.2.6	erzeugen	2.3.2.1	härten
		2.3.3	energiegrößenverändernde Verben
		2.3.3.1	wandeln
1.3	<i>Leiten</i>	2.4	<i>richtungsverändernde Verben</i>
1.3.1	leiten	2.4.1	ändern
1.3.2	transportieren	2.4.2	umlenken
1.3.3	fließen		
1.3.4	senden	2.5	<i>Verben zur Speicherung</i>
1.3.5	positionieren	2.5.1	speichern
1.3.6	übertragen	2.5.2	lagern
1.3.7	zurückstehen	2.5.3	magazinieren
1.3.8	handhaben		
1.3.9	weiterführen	2.6	<i>Verben zur Trennung</i>
1.3.10	weiterleiten		
1.3.11	befördern		
1.3.12	abtransportieren		
1.3.13	tragen		
1.3.14	strömen		

1 Einteilung der Verben nach allgemeinen Funktionsverben	2 Einteilung der Verben nach bestimmten Eigenschaften
1.3.15 ausfließen	2.6.1 Verben zur Trennung von Stoffen
1.3.16 auslaufen	2.6.1.1 Verben zur Trennung von Feststoffen
1.4 <i>Umformen</i>	2.6.1.1.1 sägen
1.4.1 umformen	2.6.1.1.2 schneiden
1.4.2 sägen	2.6.1.1.3 teilen
1.4.3 verstärken	2.6.1.1.4 aufteilen
1.4.4 ändern	2.6.1.1.5 zerlegen
1.4.5 umlenken	2.6.1.2 Verben zur Trennung von Feststoffverbindungen
1.4.6 öffnen	2.6.1.2.1 lösen
1.4.7 schließen	2.6.1.2.2 trennen
1.4.8 verändern	2.6.1.2.3 greifen
1.4.9 zerkleinern	2.6.1.3 Verben zur Trennung von Flüssigkeitsgemischen
1.4.10 kürzen	2.6.1.3.1 trennen
1.4.11 kürzer machen	2.6.1.4 Verben zur Trennung von Gasgemischen
1.4.12 erhöhen	2.6.1.4.1 trennen
1.4.13 intensivieren	2.6.2 Verben zur Trennung von Energiegrößen
1.4.14 vergrößern	2.6.2.1 teilen
1.5 <i>Wandeln</i>	2.6.2.2 aufteilen
1.5.1 wandeln	2.6.2.3 zerlegen
1.5.2 härten	2.6.2.4 trennen
1.5.3 erzeugen	2.7 <i>zustandsbezogene Verben</i>
1.5.4 anfertigen	2.7.1 zustandsverändernde Verben
1.5.5 erstellen	2.7.1.1 ändern
1.5.6 produzieren	2.7.1.2 öffnen
1.5.7 herstellen	2.7.1.3 schließen
1.6 <i>Trennen</i>	2.7.2 zustandserhaltende Verben
1.6.1 trennen	2.7.2.1 aufrechterhalten
1.6.2 sägen	2.8 <i>Verben zur Herstellung von Stoffverbindungen</i>
1.6.3 schneiden	2.8.1 Verben zur Herstellung von Feststoffverbindungen
1.6.4 lösen	2.8.1.1 verbinden
1.6.5 teilen	2.8.1.2 nieten
1.6.6 aufteilen	2.8.1.3 schrauben
1.6.7 zerlegen	2.8.2 Verben zur Herstellung von Flüssigkeitsgemischen
1.6.8 zerkleinern	2.8.2.1 zusammenführen
1.6.9 abtrennen	2.8.3 Verben zur Herstellung von Gasgemischen
1.6.10 abschneiden	2.8.3.1 zusammenführen
1.6.11 kürzen	
1.6.12 schnitzen	
1.6.13 zerteilen	
1.6.14 abzwicken	
1.6.15 auseinandererschneiden	
1.6.16 spalten	
1.6.17 separieren	
1.6.18 durchschneiden	
1.6.19 durchtrennen	
1.6.20 auflösen	
1.7 <i>Zusammenfügen</i>	
1.7.1 zusammenfügen	
1.7.2 verbinden	
1.7.3 nieten	
1.7.4 schrauben	
1.7.5 zusammenführen	
1.7.6 zusammensetzen	
1.7.7 montieren	
1.7.8 zusammenbauen	
1.7.9 koppeln	
1.7.10 vereinigen	
1.7.11 verketteten	

1 Einteilung der Verben nach allgemeinen Funktionsverben	2 Einteilung der Verben nach bestimmten Eigenschaften
1.7.12 verknüpfen 1.7.13 aneinanderfügen 1.7.14 befestigen	

### 11.4.2 Bewertungskriterien für Technologien

Tabelle 54 zeigt beispielhaft Kriterien für die Bewertung von technischen Systemen (nach Breiing, Knosala 1997, S.23 und Brankamp 1996, S.7-6).

Tabelle 54: Kriterienfamilien und Einzelkriterien für die Bewertung von technischen Systemen (nach Breiing, Knosala 1997, S.23 und Brankamp 1996, S.7-6)

Kriterienfamilien	Einzelkriterien (Auswahl)
Funktionsanforderungen	Funktionen und Teilfunktionen, Funktionsabmessung, Funktionsablauf, Leistungsdaten, u. a.
Betriebsanforderungen	Zuverlässigkeit, Gebrauchsdauer, Bedienbarkeit, Sicherheit, u. a.
Anforderungen an die konstruktive Gestaltung	Anforderungen an Produkt-Mensch-Beziehung und das technische Design: optische, akustische, olfaktorische Wahrnehmung/Anforderungen, Gestalt-oberflächen, u. a.
Anforderungen an Konstruktion und Herstellung	Herstellungsverfahren, Materialauswahl, Ausführung (z.B. Bauweise), gestaltungstechnische Nahstellenanforderungen, u. a.
Umweltbedingte Anforderungen	Umwelteinflüsse, denen das technische System ausgesetzt ist: klimatische, mechanische, chemische, thermische, biologische, elektrische Belastungen
Anforderungen zur Umweltentlastung	Anforderungen an Umwelt-Produkt-Beziehungen: rohstoffsparende (Versorgung) und umweltschonenden (Betrieb und Entsorgung) Werk-, Hilfs- und Betriebsstoffe
Anforderungen an Prüfverfahren und -mittel	anzuwendende Prüfverfahren und -mittel
Anforderungen an die Markteinführung	Aufwand bei Inbetriebnahme, Aufrechterhaltung des Betriebs, Service
Ergonomisch Eignung	Handhabungskomfort, Arbeitsplatzgestaltung, u. a.
Wirtschaftlichkeitseignung	Preis, Betriebskosten, u. a.

### 11.4.3 Bewertungsansätze für Technologien

Abbildung 52 zeigt unterschiedliche Bewertungskriterien und ihre charakteristischen Werte zur Bewertung technischer Systeme (Breiing, Knosala 1997, S.44).

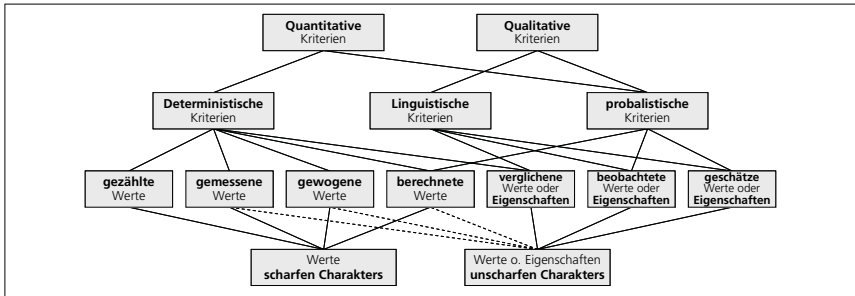


Abbildung 52: Arten von Bewertungskriterien und ihre charakteristischen Werte (Breiing, Knosla 1997, S.44)

Tabelle 55 zeigt verschiedene Methoden der Technikbewertung nach VDI 3780 (VDI-3780 2000). Sie dienen der Strukturierung, Folgenabschätzung und Bewertung von Technologien.

Tabelle 55: Methoden in der Technikbewertung (Auswahl) nach VDI 3780 (VDI-3780 2000)

Methode	Phase		Art		
	Qualitativ	Quantitativ	Definition Strukturierung	Folgenabschätzung	Bewertung
Trendextrapolation	○	●	○	●	○
Historische Analogiebildung	●	●	○	●	○
Brainstorming	●	○	●	●	○
Delphi-Expertenumfrage	●	●	●	●	●
Morphologische Klassifikation	●	○	●	●	○
Relevanzbaum-Analyse	●	●	●	●	●
Risiko-Analyse	○	●	○	●	●
Verflechtungsmatrix-Analyse	●	●	○	●	●
Modell-Simulation	○	●	●	●	●
Szenario-Gestaltung	●	○	●	●	●
Kosten-Nutzen-Analyse	○	●	○	○	●
Nutzwert-Analyse	●	●	○	○	●

Legende: ● – geeignet; ○ – nicht geeignet

Tabelle 56 zeigt eine Auswahl weiterer Methoden zur Unterstützung der Arbeitsschritte in der Konstruktion (nach VDI-2221 1993). Sie umfassen die Analyse- und Zielvorgabe, die Entwicklung von Lösungsideen sowie die Bewertung und Entscheidung. Für das entwickelte Verfahren sind besonders die ersten Schritte: Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung, Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen sowie Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen von Relevanz.

Tabelle 56: Auswahl von Methoden zur Unterstützung der Arbeitsschritte in der Konstruktion nach VDI 2221 (VDI-2221 1993)

Methoden (Auswahl)	Klären und präzisieren der Aufgabenstellung	Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen	Suchen nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen	Gliedern in realisierbare Module	Gestalten der maßgebenden Module	Gestalten des gesamten Produkts	Ausarbeiten der Ausführungs- und Nutzungsangaben
<b>Analyse- und Zielvorgabemethoden</b>							
Marktanalyse	●					●	●
Unternehmensanalyse	●		◐	◐	◐		
Problemanalyse (ABC-Analyse)	●	◐	◐	●	●	●	◐
Funktionsbeschreibung							
durch verbale Definition mittels Substantiv und Verb	◐	●	●	●			
Physikalische Elementarfunktion und Grundoperationen		●	●	◐			
Funktionsstrukturierung durch							
Funktionshierarchie (Funktionsbaum)		●	●	●			
Verknüpfte Funktionenstruktur (Funktionennetz)		◐	◐	◐			
Verbaler Funktionenstrang (FAST/Logischer Funktionenpfad)		●	●	●			
<b>Methoden zum Entwickeln von Lösungsideen</b>							
<i>Methodisch-intuitive Methoden</i>							
Kreativitätstechniken							
Brainstorming	◐	●	●				
Ideen-Delphi	◐		◐	◐			
<i>Systematisch-diskursive Methoden</i>							
Morphologie							
Morphologischer Kasten		●	●	●	◐		
Eigenschaftslisten		◐	●	●			
Konstruktionskataloge/Lösungskataloge		●	●	◐	●	●	
Gestaltungsregeln und -richtlinien				●	●	●	●
<b>Bewertungsverfahren und Entscheidungstechniken</b>							
3-Stufen-Auswahl (geeignet – vielleicht geeignet – nicht geeignet) als erste, grobe Kategorisierung von Lösungsideen	◐	◐	●	●	●	●	
Auswahlverfahren nach Auswahlkriterien wie Verträglichkeit, Erfüllung der Anforderung, grundsätzlich realisierbar		◐	●	●	●	◐	
3-Kriterien-Bewertung (Vorteil – Nachteil – Kosten)	◐	◐	●	●	●	●	●
Kosten-Nutzen-Analyse	●	◐	◐	◐	●	●	●
Nutzwertanalyse	◐	◐	●	●	●	●	●
Expertenschätzung	◐	◐		◐	◐	◐	◐

Legende: ● = gut geeignet; ◐ = geeignet



### 11.4.4 Methoden der Ideenfindung

Tabelle 57 zeigt eine Auswahl von Methoden der Ideenfindung (nach Kobe 2001, S.65ff, Gausemeier et al. 2001, S.124). Diese unterstützen die Suche nach neuen oder gegebenen Lösungen zu gegebenen Problemen, die inkrementelle Verbesserung bekannter Lösungen zu gegebenen Probleme, die Suche nach neuen Problemen, allgemeine Kreativitäts- und Denkmethoden sowie Umfrage- und Suchmethoden.

Tabelle 57: Methoden der Ideenfindung (Auswahl nach Kobe 2001, S.65ff, Gausemeier et al. 2001, S.124) (fortgesetzt)

Methoden	Vorgehen	Ziel
<b>1a) Suche nach neuen Lösungen zu gegebenen Problemen</b>		
<i>Abstraktion (progressive Abstraktion)</i>	Abstraktere Formulierung des Problems	Neue Lösungsmöglichkeiten
<i>Aufteilung des Gesamten</i>	Taktisches Vorgehen basierend auf der Aufteilung eines Konzeptes oder Problems in Einzelteile	Überblick schaffen, Teillösungen schaffen
<i>Verallgemeinerung des Problems</i>	Verallgemeinerung des Problems, Neuformulierung durch Darstellung in einem Standardformat	Suche nach neuen Lösungen
<i>Morphologische Analyse/Matrix</i>	Aufteilen des Problems in Teile und Suche nach Teillösungen, die zusammengesetzt eine Lösung des Gesamtproblems ergeben	Neue Lösungen durch Kombination von Funktionen
<i>Synetics</i>	Das Team analysiert Probleme und sucht durch die Analyse nach neuen Lösungen	Entdecken neuer Lösungen oder Möglichkeiten
<i>TRIZ</i>	Computergestützte, systematische Analyse und Abstraktion von Problemen, Anwendung von physikalischen Grundprinzipien zur Lösung	Entdecken neuer Lösungen
<i>Iteration</i>	Bei einem Näherungswert starten und schrittweise an die gewünschten Werte annähern	Lösung eines Systems mit komplizierten Wechselwirkungen
<i>Bionik</i>	Formen, Strukturen, Organismen und Vorgänge der Natur und Erkenntnisse der Biologie werden auf technische Lösungen übertragen	Lösung aufgrund Lösungs- und Konstruktionsprinzipien natürlicher Systeme
<b>1b) Anwendung bekannter Lösungen auf gegebene Probleme</b>		
<i>Anwendung</i>	Anwendung eines bestehenden Produktes in neuen Funktionen	Neue Verwendungsgebiete
<i>Adaption</i>	Modifizierung oder partielle Veränderung eines existierenden Produktes für veränderte Anforderungen	Verlässliche Lösung für neue Anforderungen
<i>Aggregation</i>	Kombination von mehreren Produktcharakteristika oder Funktionen in einem Produkt	Neue Eigenschaften, vereinfachte Strukturen
<i>Kombination mit gegenseitiger Beeinflussung</i>	Kombination von Produkten oder Eigenschaften, um neue Effekte zu erzielen	Ableiten neuer Lösungen aus bestehenden Produkten
<i>Konstruktionskataloge</i>	Sammlung bekannter und bewährter Lösungen zur Erfüllung von Teilfunktionen	Auswahl einer bekannten Lösung für Teilfunktion
<b>1c) Inkrementelle Verbesserung bekannter Lösungen zu gegebenen Probleme</b>		
<i>Technisch-wirtschaftliches Design</i>	Finden und Verbessern der starken Produkteigenschaften durch technisch-wirtschaftliche Bewertung	Produktverbesserung
<i>Wertanalyse oder -engineering</i>	Analyse und Kritik existierender Lösungen aus wirtschaftlicher Sicht	Verbesserung der wirtschaftlichen Eigenschaften des Produktes
<b>2) Suche nach neuen Problemen</b>		
<i>Analyse der Eigenschaften (Attributliste)</i>	Gründliche Analyse aller Produkteigenschaften	Verbesserung eines bestehenden Produktes

<b>Methode</b>	<b>Vorgehen</b>	<b>Ziel</b>
<i>Probleminventur (umgekehrtes Brainstorming)</i>	Erstellen einer Liste negativer Eigenschaften von bestehenden Produkten	Finden von Produktverbesserungsmöglichkeiten
<i>Attribut-basierte Diskriminanten-Analyse (PREFMAP)</i>	Marktsegmententwicklung auf der Basis von Markenpräferenzen, geometrische Darstellung der Markenattribute, abgeleitet durch eine Diskriminantenanalyse, Aufzeichnen und Analyse	Generierung einer Marktstruktur und Suche von neuen Produktmöglichkeiten
<i>Marktforschung</i>	Systematische Sammlung und Klassifikation von Marktinformationen	Herausarbeiten von Marktbedingungen und -chancen
<b>3) Allgemeine Kreativitäts- und Denkmethoden</b>		
<i>Brainstorming</i>	Sammeln von Ideen in freilaufender Diskussion ohne Kritik	Finden vieler neuer Ideen
<i>Kritischer-Pfad-Netzwerk</i>	Grafische Darstellung von Aktivitäten und ihrer Dauer	Erzeugen eines Überblicks über Abfolge und Dauer, um den kritischen Pfad und darauf aufbauend neue Möglichkeiten zu identifizieren
<i>Bewertung</i>	Technische und wirtschaftliche Bewertung durch Bepunktung	Die beste unter vielen Varianten herausfinden
<i>Systematische Untersuchung des Feldes</i>	Untersuchen aller Richtungen, ausgehend von einem vorgegebenen Punkt	Erhalten von möglichst vollständigen Informationen
<i>Systemansatz</i>	Systematisches Vorgehen in jeder Entscheidungssituation und Lösungssuche	Abschließen der Untersuchungen so weit wie möglich
<i>(Technologische) Umweltvorhersage</i>	Entwickeln von breiten Szenarios über die Zukunft im Allgemeinen und die Technologie im Speziellen	Einblick in die Zukunft
<b>4) Umfrage- und Suchmethoden</b>		
<i>Delphi-Methode</i>	Verteilung eines Fragebogen an Experten, Antworten werden zusammengefasst und wieder an die Experten mit dem Hinweis zugestellt, die eingegangene Reaktion zu revidieren	Ermittlung von Zukunftsszenarien
<i>Suchmethode</i>	Gezieltes Suchen beispielsweise durch Literatur-, Patent- und Internetrecherchen	Sammlung von Informationen

### 11.4.5 Werkzeuge im TRIZ-Konzept

Im Rahmen der TRIZ-Methodik werden technische Parameter, Ansätze zur Lösung von Widersprüchen sowie physikalische Grundeffekte bereitgestellt (Tabelle 58, Steinschaden 2005, S.495). Sie unterstützen die Suche nach Standardlösungen, indem das Problem auf technische Parameter zurückgeführt und als Widerspruch zweier Parameter formuliert wird. Entsprechend der Kombination technischer Parameter als Widerspruch werden dann physikalische Grundeffekte angeboten, die das Problem lösen sollen.

**Tabelle 58: Technische Parameter, Ansätze zur Lösung von Widersprüchen und physikalische Grundeffekte im TRIZ-Konzept (Steinschaden 2005, S.495) (fortgesetzt)**

Technische Parameter	Ansätze zur Lösung von Widersprüchen	Physikalische Grundeffekte
1. Masse/Gewicht eines beweglichen Objektes	1. Prinzip der Zerlegung bzw. Segmentierung	1. Temperaturmessung
2. Masse/Gewicht eines unbeweglichen Objektes	2. Prinzip der Abtrennung	2. Temperatur erniedrigen
3. Länge eines beweglichen Objektes	3. Prinzip der örtlichen Qualität	3. Temperatur erhöhen
4. Länge eines unbeweglichen Objektes	4. Prinzip der Asymmetrie	4. Temperatur stabilisieren
5. Fläche eines beweglichen Objektes	5. Prinzip der Kopplung	5. Ein Objekt lokalisieren
6. Fläche eines unbeweglichen Objektes	6. Prinzip der Universalität	6. Ein Objekt bewegen
7. Volumen eines beweglichen Objektes	7. Prinzip der "Steckpuppe" (Matroschka)	7. Gas oder Flüssigkeit bewegen
8. Volumen eines unbeweglichen Objektes	8. Prinzip der Gegenmasse	8. Aerosole bewegen (Staub, Rauch, Nebel, etc.)
9. Geschwindigkeit	9. Prinzip der vorgezogenen Gegenwirkung	9. Mischungen herstellen
10. Kraft	10. Prinzip der vorgezogenen Wirkung	10. Mischungen trennen
11. Spannung oder Druck	11. Prinzip des "vorher untergelegten Kissens" (Prävention)	11. Die Position eines Objektes stabilisieren
12. Form	12. Prinzip des Äquipotenzials	12. Erzeugen und/oder Verändern von Kraft
13. Stabilität der Zusammensetzung des Objektes	13. Prinzip der Funktionsumkehr	13. Reibung verändern
14. Festigkeit	14. Prinzip der Kugelähnlichkeit	14. Ein Objekt zerbrechen
15. Haltbarkeit eines beweglichen Objektes	15. Prinzip der Dynamisierung	15. Speicherung mechanischer und thermischer Energie
16. Haltbarkeit eines unbeweglichen Objektes	16. Prinzip der partiellen oder überschüssigen Wirkung	16. Übertragung von Energie durch mechanische, thermische, strahlungsförmige und/oder elektrische Deformierung
17. Temperatur	17. Prinzip des Übergangs zu höheren Dimensionen	17. Ein bewegtes Objekt beeinflussen
18. Helligkeit	18. Prinzip der Ausnutzung mechanischer Schwingungen	18. Abmessungen ermitteln
19. Energieverbrauch eines beweglichen Objektes	19. Prinzip der periodischen Wirkung	19. Dimensionen verändern
20. Energieverbrauch eines unbeweglichen Objektes	20. Prinzip der Kontinuität der Wirkprozesse	20. Oberflächeneigenschaften und/oder -zustände detektieren
21. Leistung, Kapazität	21. Prinzip des Durcheilens	21. Oberflächeneigenschaften verändern
22. Energieverluste	22. Prinzip der Umwandlung von Schädlichem in Nützlichem	22. Volumeneigenschaften und/oder -zustände detektieren
23. Materialverluste	23. Prinzip der Rückkopplung	23. Veränderung von Volumeneigenschaften
24. Informationsverlust	24. Prinzip des "Vermittlers"	24. Ausbildung und/oder Stabilisierung bestimmter Strukturen
25. Zeitverlust	25. Prinzip der Selbstbedienung	25. Elektrische und magnetische Felder detektieren (aufspüren, Nachforschen)
26. Materialmenge	26. Prinzip des Kopierens	26. Detektion von Strahlung
27. Zuverlässigkeit (Sicherheit)	27. Prinzip der billigen Kurzlebigkeit anstelle teurer Langlebigkeit	27. Elektromagnetische Strahlung erzeugen
28. Messgenauigkeit	28. Prinzip des Ersatzes mechanischer Wirkprinzipien	28. Elektromagnetisches Feld steuern
29. Fertigungsgenauigkeit	29. Prinzip der Anwendung von Pneumo- und Hydrokonstruktionen	29. Licht steuern oder modulieren
30. Äußere negative Einflüsse auf das Objekt	30. Prinzip der Anwendung biegsamer Hüllen und dünner Folien	30. Initiieren und intensivieren chemischer Reaktionen
31. Negative Nebeneffekte des Objektes	31. Prinzip der Verwendung poröser Werkstoffe	
32. Fertigungsfreundlichkeit	32. Prinzip der Farbveränderung	
33. Bedienkomfort	33. Prinzip der Gleichartigkeit bzw. Homogenität	
34. Reparaturfreundlichkeit	34. Prinzip der Beseitigung und Regenerierung von Teilen	
35. Anpassungsfähigkeit	35. Prinzip der Veränderung des Aggregatzustandes	
36. Kompliziertheit der Struktur		
37. Komplexität in der Kontrolle der Steuerung		

Technische Parameter	Ansätze zur Lösung von Widersprüchen	Physikalische Grundeffekte
38. Automatisierungsgrad 39. Produktivität (Funktionalität)	36. Prinzip der Anwendung von Phasenübergängen 37. Prinzip der Anwendung von Wärmedehnung 38. Prinzip der Anwendung starker Oxidationsmittel 39. Prinzip der Verwendung eines inerten Mediums 40. Prinzip der Anwendung zusammengesetzter Stoffe	

Die Abstraktion der Problemstellung ist ein zentrales Element in der TRIZ-Methodik. Sie ermöglicht es, neue innovative Lösungen auf systematischem und kreativem Weg zu finden, indem das konkrete Problem in eine abstrakte, standardisierte Problemstellung überführt wird. Auf dieser Grundlage wird dann nach Standardlösungen gesucht, die dann für das spezielle Problem adaptiert werden. Dadurch wird die Barriere zwischen Problemstellung und Problemlösung umgangen bzw. es werden Lösungen, die außerhalb des bekannten Lösungsraums liegen, identifiziert. Abbildung 53 zeigt das Vorgehen (vgl. Terninko et al. 1998, S.63).

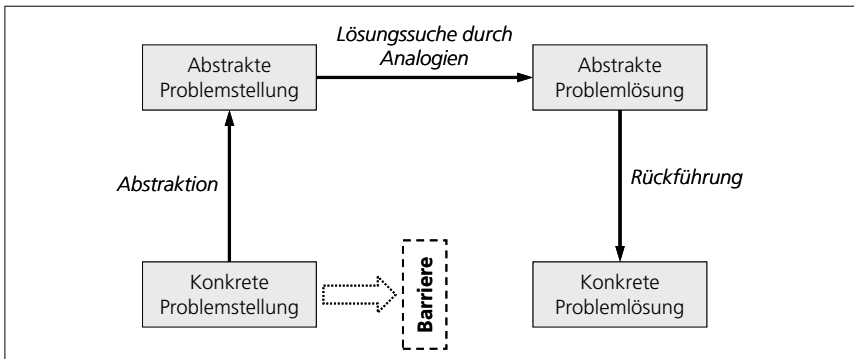


Abbildung 53: Wechsel in die abstrakte Ebene in der TRIZ-Methodik (vgl. Terninko et al. 1998, S.63)

## 12 Literaturquellen

Aeberhard, K. (1996): Strategische Analyse - Empfehlungen zum Vorgehen und zu sinnvollen Methodenkombinationen. zugl. Dissertation. Verlag Lang. Bern.

AIRI Nanotec IT (2006): Synthesis Report. Projektkonsortium NanoRoadMap. Roadmaps at 2015 on Nanotechnology Application in the Sectors of: Materials, Health & Medical Systems, Energy. Januar 2006. Barcelona. <http://www.nanoroadmap.it/> (Abruf: 10.042006)

Ajamian, G., Koen, P. (2002): Technology Stage Gate: A Structured Process for Managing High Risk, New Technology Projects. In: Belliveau, P., Griffin, A., Somermeyer, S. (Hrsg.): The PDMA Toolbook 1 for New Product Development. John Wiley & Sons. New York. S. 267-295.

Akiyama, K. (1994): Funktionsanalyse. Deutsche Übersetzung Marc Pauwels. Verlag Moderne Industrie. Landsberg/Lech.

Albers, S., Herrmann, A. (Hrsg.) (2002): Handbuch Produktmanagement: Strategieentwicklung - Produktplanung - Organisation - Kontrolle. Gabler Verlag. Wiesbaden.

Albertshauer, U., Malanowski, N. (2004): Innovations- und Technikanalyse im Management. Campus Verlag. Frankfurt, New York.

Andreasen, M. (2005): Vorgehensmodelle und Prozesse für die Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen. In: Schäppi, B., Andreasen, M., Kirchgeorg, M., Radermacher, F.-J. (Hrsg.): Handbuch Produktentwicklung. Hanser Verlag. München, Wien.

Arthur D. Little (Hrsg.) (2004): Innovation Exzellenz Studie 2004. München.

Bachmann, G. (1998): Innovationsschub aus dem Nanokosmos. VDI Technologiezentrum (Hrsg.). Zukünftige Technologie Nr. 28. Oktober 1998. Düsseldorf

Bachmann, G. (2002): Überblick: Forschungsbereiche und Anwendungsfelder. VentureCapital Magazin, Sonderausgabe "Nanotechnologie". 3. Jg. November 2002. S. 18-22.

Bachmann, G. (2003): "Deutschland ist stark in den Nano-Wissenschaften, aber teils noch schwach in der Umsetzung" (Interview mit Dr. Gerd Bachmann). VentureCapital Magazin, Sonderausgabe Nano-/Mikrotechnologie. 4. Jg. November 2003. S. 12-13.

BCG (2006): Innovationsstandort Deutschland - quo vadis? Wie gut wir sind, wo unsere Chancen liegen und wie wir die Zukunft meistern können. The Boston Consulting Group. Dezember 2006. München

Birkenmeier, B. (1998): Verwertungsstrategien für Technologien. In: Tschirky, H., Koruna, S. (Hrsg.): Technologie-Management: Idee und Praxis. Verlag Industrielle Organisation. Zürich.

Birkhofer, H. (1980): Analyse und Synthese der Funktionen technischer Produkte. Fortschrittberichte der VDI Zeitschriften Nr. 70. VDI Verlag. Düsseldorf.

BMBF (Hrsg.) (2002): Nanotechnologie in Deutschland - Standortbestimmung. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Bonn.

BMBF (Hrsg.) (2004a): Nanotechnologie - Innovationen für die Welt von morgen (2. Auflage). Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Bonn, Berlin.

BMBF (Hrsg.) (2004b): Nanotechnologie erobert Märkte - Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Bonn, Berlin.

BMBF (Hrsg.) (2005): Zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands 2005 - Ergänzender Bericht zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands 2003-2004. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Bonn, Berlin.

BMBF (2006a): BMBF und Industrie starten Forschung zu Nanopartikeln. Pressemitteilung 026/2006 des BMBF zum Projekt "NanoCare" vom 17. Februar 2006. Bundesministerium für Bildung und Forschung. Bonn, Berlin.

BMBF (Hrsg.) (2006b): Die Hightech-Strategie für Deutschland. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Bonn, Berlin.

BMBF (Hrsg.) (2006c): Nano-Initiative – Aktionsplan 2010. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Bonn, Berlin.

Bonaccorsi, A., Thoma, G. (2007): Institutional complementarity and inventive performance in nano science and technology. *Research Policy*. xx(xx).

Bonnet, P. (1994): Methoden und Verfahren der Technikfolgenabschätzung: Exotische Hausmannskost? In: Bullinger, H.-J. (Hrsg.): *Technikfolgenabschätzung*. Teubner Verlag. Stuttgart.

Brandenburg, F. (2002): *Methodik zur Planung technologischer Produktinnovationen*. zugl. RWTH Aachen, Dissertation. Shaker Verlag. Aachen.

Brankamp, K. (1996): *Produktplanung*. In: Eversheim, W., Schuh, G. (Hrsg.): *Hütte: Produktion und Management*. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg.

Breiting, A., Knosala, R. (1997): *Bewerten technischer Systeme: Theoretische und methodische Grundlagen bewertungstechnischer Entscheidungshilfen*. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg.

Brockhoff, K. (1999): *Forschung und Entwicklung: Planung und Kontrolle*. Oldenburg Verlag. München, Wien.

Brose, P. (1982): *Planung, Bewertung und Kontrolle technologischer Innovationen*. Erich Schmidt Verlag. Berlin.

Brune, H., Ernst, H., Grunwald, A., Grünwald, W., Hofmann, H., Krug, H., Janich, P., Mayor, M., Rathgeber, W., Schmid, G., Simon, U., Vogel, V., Wyrwa, D. (2006): *Nanotechnology - Assessment and Perspectives*. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg.

Bruns, M. (1991): *Systemtechnik: ingenieurwissenschaftliche Methodik zur interdisziplinären Systementwicklung*. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg.

Bullinger, H.-J. (1994a): *Einführung in das Technologiemanagement: Modelle, Methoden, Praxisbeispiele*. Teubner Verlag. Stuttgart.

Bullinger, H.-J. (Hrsg.) (1994b): *Technikfolgenabschätzung*. Teubner Verlag. Stuttgart.

Bullinger, H.-J. (1996): *Technologiemanagement*. In: Eversheim, W., Schuh, G. (Hrsg.): *Hütte: Produktion und Management*. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg.

- Bullinger, H.-J., Richter, M., Nohe, P., Kröll, M. (2003): An approach to handle risk aspects by technology assessment. In: Jardim-Goncalves, R., Cha, J. (Hrsg.): Concurrent Engineering - The Vision for the Future Generation in Research and Applications, 10. ISPE International Conference. 26.-30. Juli 2003. Madeira/Portugal. Swets & Zeitlinger Publishers.
- Bullinger, H.-J., Warschat, J. (2007): Innovationsmanagement in Netzwerken. In: Sanz, F. J. G., Semmler, K., Walther, J. (Hrsg.): Die Automobilindustrie auf dem Weg zur globalen Netzwerk-kompetenz. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg.
- Bushan, B. (Hrsg.) (2004): Handbook of Nanotechnology. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg.
- Chesbrough, H. (Hrsg.) (2006): Open innovation: researching a new paradigm. Oxford University Press. Oxford.
- Christensen, C. (2003): The innovator's dilemma. HarperBusiness. New York.
- Christensen, C., Raynor, M. (2004): Markorientierte Innovation: geniale Produktideen für mehr Wachstum. Campus Verlag. Frankfurt, New York.
- Christensen, J. F. (1995): Asset profiles for technological innovation. Research Policy. 24: S. 727-745.
- Cientifica (Hrsg.) (2003): Nanotechnology Opportunity Report. Executive Summary, 2. Auflage. Juni 2003. Cientifica
- Clark, K. B., Wheelwright, S. C. (1993): Managing New Product and Process Development: Text and Cases. The Free Press. New York.
- Cleemann, L., Peiffer, S. (1992): Identifikation und Bewertung von Ansätzen Zukünftiger Technologien - Ein integriertes Konzept zur systematischen Analyse. In: VDI Technologiezentrum (Hrsg.): Technologiefrühaufklärung: Identifikation und Bewertung von Ansätzen zukünftiger Technologien. Schäffer-Poeschel Verlag. Stuttgart.
- Coenen, R., Grunwald, A. (Hrsg.) (2003): Nachhaltigkeitsprobleme in Deutschland: Analysen und Lösungsstrategien. Verlag Edition Sigma. Berlin.
- Cohen, W. M., Levinthal, D. A. (1989): Innovation and Learning: The two Faces of R&D. Economic Journal. 99(397): S. 569-596.
- Cohen, W. M., Levinthal, D. A. (1990): Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. Administrative Science Quarterly. 35(1): S. 128-152.
- Colvin, V. (2003): Wie gefährlich ist Nanotechnologie? Interview mit Vicky Colvin. MIT Technology Review (deutsche Lizenzausgabe). Ausg. 1/2003. Mai 2003. S. 98-99.
- Cooper, R. G. (2001): Winning at New Products. Accelerating the process from idea to launch. Perseus Books Verlag. Cambridge.
- Cooper, R. G., Edgett, S. J., Kleinschmidt, E. J. (2002): Optimizing the Stage-Gate Process: What Best-Practice Companies Do - I. Research Technology Management. 45(5): S. 21-27.
- Cooper, R. G., Kleinschmidt, E. J. (1986): An Investigation into the New Product Process: Steps, Deficiencies and Impact. Journal of Product Innovation Management. 3(2): S. 71-85.
- Cooper, R. G., Kleinschmidt, E. J. (1994): Screening new products for potential winners. IEEE Engineering Management Review. 22(4): S. 24-30.

- Czichos, H. (Hrsg.) (2000): Grundlagen der Ingenieurwissenschaften. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg.
- Davis, P., Wilkof, M. (1988): Scientific and technical information transfer for high technology: keeping the figure in its ground. R&D Management. 18(1): S. 45-58.
- Day, G., Schoemaker, P. (2000): A Different Game. In: Day, G., Schoemaker, P. (Hrsg.): Wharton on managing emerging technologies. John Wiley & Sons. New York, Chichester.
- Day, G., Schoemaker, P., Gunther, R. (Hrsg.) (2000): Wharton on managing emerging technologies. John Wiley & Sons. New York, Chichester.
- de Vries, M. J. (2005): Analyzing the Complexity of Nanotechnology. Techné: Journal of the Society for Philosophy and Technology. 8(3): S. 62-75.
- Decker, M., Fiedeler, U., Fleischer, T. (2004): Ich sehe was, was Du nicht siehst ... zur Definition von Nanotechnologie. Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis. 2(13): S. 10-16.
- Deutscher Bundestag (2004): TA-Projekt Nanotechnologie. Drucksache 15/2713. Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages. Bericht. März 2004. Berlin
- DFO (2006): Zukunft der Oberflächentechnik. Metalloberfläche. 60. Jg. Ausg. 4.
- Dietz, V. (2004): Innovations- und Technikanalyse zur Nanotechnologie. Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis. 13(2): S. 20-25.
- DIN-66001 (1983): DIN 66001: Informationsverarbeitung - Sinnbilder und ihre Anwendung. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag. Berlin.
- DIN EN-1325(BI.1) (1996): DIN EN 1325-1: Value Management, Wertanalyse, Funktionenanalyse, Wörterbuch - Teil 1: Wertanalyse und Funktionenanalyse. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag. Berlin.
- DIN EN-12056(BI.1) (2001): DIN EN 12056-1: Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden - Teil 1: Allgemeine und Ausführungsanforderungen. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag. Berlin.
- DIN EN-12973 (2002): DIN EN 12973: Value Management (Deutsche Fassung EN 12973:2000 rev). DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag. Berlin.
- Doering, D., Parayre, R. (2000): Identification and Assessment of Emerging Technologies. In: Day, G., Schoemaker, P. (Hrsg.): Wharton on managing emerging technologies. John Wiley & Sons. New York, Chichester.
- Dolata, U. (1993): Nischen- oder Schlüsseltechnologie? - Technologische Entwicklungstrends und ökonomische Perspektiven der neuen Biotechnologie. WSI Mitteilungen. 46(11): S. 736-746.
- Dosi, G. (1982): Technological paradigms and technological trajectories – A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. Research Policy. 11(3): S. 147-162.
- Dreher, C., Frietsch, R., Hemer, J., Schmoch, U. (2006): Die Beschleunigung von Innovationszyklen und die Rolle der Fraunhofer-Gesellschaft. In: Bullinger, H.-J. (Hrsg.): Fokus Innovation: Kräfte bündeln - Prozesse beschleunigen. Hanser Verlag. München, Wien.



Drexler, K. E. (1986): Engines of Creation. Anchor Books. Oxford.

Drexler, K. E. (1992): Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing and Computation. John Wiley & Sons. New York.

Drexler, K. E., Peterson, C. (1994): Experiment Zukunft: die Nanotechnologische Revolution (engl. Titel: Unbonding the future: the nanotechnology revolution). Addison-Wesley Verlag. Bonn, Paris.

Durrani, T., Forbes, S., Broadfoot, C., Carrie, A. (1998): Managing the technology acquisition process. Technovation. 18(8-9): S. 523-528.

Eldred, E. W., McGrath, M. E. (1997): Commercializing new technology - I. Research Technology Management. 40(1): S. 41-47.

EPA (2005): Nanotechnology White Paper (External Review Draft). U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA) - Nanotechnology Workgroup. 2. Dezember 2005. Washington.  
<http://www.epa.gov/osa/nanotech.htm> (Abruf: 13.04.06)

Erichson, B. (2002): Prüfung von Produktideen und -konzepten. In: Albers, S., Herrmann, A. (Hrsg.): Handbuch Produktmanagement: Strategieentwicklung - Produktplanung - Organisation - Kontrolle. Gabler Verlag. Wiesbaden.

Ernst, H. (2002): Management der Neuproduktentwicklung. In: Albers, S., Herrmann, A. (Hrsg.): Handbuch Produktmanagement: Strategieentwicklung - Produktplanung - Organisation - Kontrolle. Gabler Verlag. Wiesbaden.

ETAG (2007): The Role of Nanotechnology in Chemical Substitution. European Technology Assessment Group (ETAG). STOA - Scientific Technology Options Assessment IP/A/STOA/ST/2006-029. April 2007. Brüssel. [www.europarl.europa.eu/stoa/publications/studies/stoa181\\_en.pdf](http://www.europarl.europa.eu/stoa/publications/studies/stoa181_en.pdf) (Aufruf: 02.08.07)

Europäische Kommission (2004): Auf dem Weg zu einer europäischen Strategie für Nanotechnologie. Kommission der Europäischen Gemeinschaften. Mitteilung der Kommission KOM(2004) 338 endgültig (DE). Mai 2004. Brüssel

Europäische Kommission (2005a): Nanowissenschaften und Nanotechnologien: Ein Aktionsplan für Europa 2005-2009. Kommission der Europäischen Gemeinschaften. Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament und den Wirtschafts- und Sozialausschuss KOM(2005) 243 endgültig (DE). Juni 2005. Brüssel

Europäische Kommission (2005b): Vorschlag für einen Beschluss des Europäischen Parlaments und des Rates über das siebte Rahmenprogramm der Europäischen Gemeinschaft für Forschung, technologische Entwicklung und Demonstration (2007 bis 2013). Kommission der Europäischen Gemeinschaften. Vorschlag für einen Beschluss des Europäischen Parlaments und des Rates KOM(2005) 119 endgültig, 2005/0043 (COD) (DE). April 2005. Brüssel

Europäische Kommission (2007): EuroNanoForum 2007: Nanotechnology in Industrial Applications. European Commission, Directorate-General for Research. European and International Forum on Nanotechnology, 19.-21. Juni 2007. Düsseldorf

Europäische Union (2006): Beschluss Nr. 1982/2006/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über das Siebte Rahmenprogramm der Europäischen Gemeinschaft für Forschung, technologische Entwicklung und Demonstration (2007 bis 2013). Europäisches Parlament und der Rat der Europäischen Union. 18. Dezember 2006. Brüssel

- Eversheim, W. (Hrsg.) (2003): Innovationsmanagement für technische Produkte. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg.
- Eversheim, W., Böhlke, U., Martini, C., Schmitz, W. (1993a): Neue Technologien erfolgreich nutzen: Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik - Teil 1. VDI-Z. 135(8): S. 78-81.
- Eversheim, W., Böhlke, U., Martini, C., Schmitz, W. (1993b): Neue Technologien erfolgreich nutzen: Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik - Teil 2. VDI-Z. 136(9): S. 47-52.
- Eversheim, W., Brandenburg, F., Breuer, T., Hilgers, M., Rosier, C. (2003): Die InnovationRoadmap-Methodik. In: Eversheim, W. (Hrsg.): Innovationsmanagement für technische Produkte. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg.
- Ewald, A. (1989): Organisation des strategischen Technologiemanagements: Stufenkonzept zur Implementierung einer integrierten Technologie- und Marktplanung. Erich Schmidt Verlag. Berlin.
- Farkas, R., Monfeld, C., Schmitz-Rode, T., Appelbe, V., Schelhaas, U., Steinbusch, U., Floren, M., Bremus-Köbberling, E., Gillner, A., Klockenbring, T., Barth, S., von Zahn, J., Gothe, H., Schiffhorst, G., Reuck, V., Häussler, B. (2004): Nanotechnologie pro Gesundheit: Chancen und Risiken - Innovations- und Technikanalyse. Aachener Kompetenzzentrum Medizintechnik - AKM c/o AGIT mbH. Aachen
- Festel Capital (Hrsg.) (2006): Marktstudie zu den Kommerzialisierungschancen der Nanotechnologie in Deutschland - Interviews, Schlussfolgerungen und Fazit (nichtveröffentlichte Studie von Festel Capital, VDI Technologiezentrum und Impulskreis "Nanowelten" der Initiative "Partner für Innovation"). Festel Capital, VDI Technologiezentrum, Impulskreis "Nanowelten". Hünenburg.
- Fhg-ISC, Fhg-ISI (2003): Produktion von und mit Nanomaterialien: Untersuchung des Forschungs- und Handlungsbedarfs für die industrielle Produktion. Fraunhofer Institut für Silicatforschung (ISC), Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI). Schlussbericht (BMBF Förderkennzeichen 02PH 2107). Juli 2003. Würzburg, Karlsruhe
- Fhg-ISI (1998): Delphi '98-Umfrage: Studie zur globalen Entwicklung von Wissenschaft und Technik - Zusammenfassung der Ergebnisse. Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technik (BMBF). Januar 1998. Karlsruhe
- Fichter, K. (2005): Interaktives Innovationsmanagement - Neue Potenziale durch Öffnung des Innovationsprozesses. In: Fichter, K., Paech, N., Pfriem, R. (Hrsg.): Nachhaltige Zukunftsmärkte. Metropolis. Marburg. S. 239-268.
- Fleischer, T., Decker, M., Fiedeler, U. (2004): Große Aufmerksamkeit für kleine Welten – Nanotechnologie und ihre Folgen. Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis. 13(2): S. 5-9.
- Fleischer, T., Grunwald, A. (2005): Innovationen in neuen Technologiefeldern - Die Nanotechnologie. WSI Mitteilungen. 58(3): S. 137-143.
- Frese, E., Hahn, D., Horváth, P. (1996): Managementsysteme. In: Eversheim, W., Schuh, G. (Hrsg.): Hütte: Produktion und Management. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg.
- Garcia, R., Calantone, R. (2002): A critical look at technological innovation typology and innovativeness terminology: a literature review. Journal of Product Innovation Management. 19(2): S. 110-132.

Gassmann, O. (2006): Innovation und Risiko: zwei Seiten der Medaille. In: Gassmann, O., Kobe, C. (Hrsg.): Management von Innovation und Risiko - Quantensprünge in der Entwicklung erfolgreich managen. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg.

Gatignon, H., Tushman, M. L., Smith, W., Anderson, P. (2002): A Structural Approach to Assessing Innovation: Construct Development of Innovation Locus, Type, and Characteristics. *Management Science*. 48(9): S. 1103–1122.

Gaul, W., Volkmann, M. (2000): Methodeneinsatz zur Unterstützung erfolgreicher Produktinnovationen. *Zeitschrift für Unternehmensentwicklung und Industrial Engineering*. 49(2): S. 75–78.

Gausemeier, J., Ebbesmeyer, P., Kallmeyer, F. (2001): Produktinnovation - Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen. Hanser Verlag. München, Wien.

Gausemeier, J., Lindemann, U., Reinhart, G., Wiendahl, H.-P. (2000): Kooperatives Produktengineering: ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens. HNI-Verlagsschriftenreihe Band 79. Heinz-Nixdorf-Institut, Universität Paderborn. Paderborn.

Gerpott, T. (1999): Strategisches Technologie- und Innovationsmanagement: Eine konzentrierte Einführung. Schäffer-Poeschel Verlag. Stuttgart.

Gerpott, T. (2005): Strategische Technologie- und Innovationsmanagement. Schäffer-Poeschel Verlag. Stuttgart.

Gerybadze, A. (2004): Technologie- und Innovationsmanagement: Strategie, Organisation und Implementierung. Vahlen Verlag. München.

Gierl, H., Helm, R. (2002): Generierung von Produktideen und -konzepten. In: Albers, S., Herrmann, A. (Hrsg.): Handbuch Produktmanagement: Strategieentwicklung - Produktplanung - Organisation - Kontrolle. Gabler Verlag. Wiesbaden.

Gleiche, M., Hoffschulz, H., Lenhart, S. (2006): Nanotechnology in Consumer Products. Nanoforum Konsortium. Nanoforum Report. Oktober 2006. o.O.

Gomeringer, A. (2007): Eine integrative, prognosebasierte Vorgehensweise zur strategischen Technologieplanung für Produkte. Dissertation. Institut für Arbeitswirtschaft und Technologie-management, Fakultät Maschinenbau, Universität Stuttgart. Stuttgart.

Grobe, A., Eberhard, C., Hutterli, M. (2005): Nanotechnologie im Spiegel der Medien: Medienanalyse zur Berichterstattung über Chancen und Risiken der Nanotechnologie (Januar 2001 - April 2005). Stiftung Risiko-Dialog, St. Gallen/Schweiz. November 2005. Winterthur

Grüne, M., Kernchen, R., Kohlhoff, J., Kretschmer, T., Neupert, U., Notthof, C., Reschke, S., Wessel, H., Zach, H.-G. (2005): Nanotechnologie - Grundlagen und Anwendungen. Fraunhofer IRB Verlag. Stuttgart.

Grunwald, A. (2006): Technisches Handeln. In: Banse, G., Grunwald, A., König, W., Ropohl, G. (Hrsg.): Erkennen und Gestalten - Eine Theorie der Technikwissenschaften. Edition Sigma. Berlin.

Grupp, H. (Hrsg.) (1993): Technologie am Beginn des 21. Jahrhunderts. Physica-Verlag. Heidelberg.

Grupp, H. (1995): Technologie am Beginn des 21. Jahrhunderts. Physika Verlag. Heidelberg.

Grupp, H. (1997): Messung und Erklärung des technischen Wandels: Grundzüge einer empirischen Innovationsökonomik. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg.

- Haas, K.-H. (2006): Einführung in die Nanotechnologie. In: o.A. (Hrsg.): Management-Fernlehrgang Nanotechnologie. IIR Verlag. Sulzbach/Taunus.
- Haas, K.-H., Heubach, D. (2007): NanoProduktion - Innovationspotenziale für hessische Unternehmen durch Nanotechnologie in Produktionsprozessen. HA Hessen Agentur GmbH (Hrsg.). Band 6 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung. Juli 2007. Wiesbaden
- Hacklin, F., Raurich, V., Marxt, C. (2004): How incremental innovation becomes disruptive: the case of technology convergence. In: Xie, M., Durrani, T. S., Tang, H. K. (Hrsg.): IEEE International Engineering Management Conference: Innovation and Entrepreneurship for Sustainable Development. 18.-21. Oktober 2004. Singapore. IEEE Engineering Management Society (EMS).
- Hauschildt, J. (1993): Innovationsmanagement. Vahlen Verlag. München.
- Hauschildt, J. (2004): Innovationsmanagement. Vahlen Verlag. München.
- Hauschildt, J., Gemünden, H. G. (Hrsg.) (1999): Promotoren: Champions der Innovation. Gabler Verlag. Wiesbaden.
- Hauschildt, J., Schewe, G. (1999): Gatekeeper und Prozesspromotoren. In: Hauschildt, J., Gemünden, H. G. (Hrsg.): Promotoren: Champions der Innovation. Gabler Verlag. Wiesbaden.
- Hedrich, P., Seng, S., Wagner, M., Zehnder, T. (1995): Technologiekalender: systematischer Aufbau von Technologiekompetenzen. io Management Zeitschrift. 64(7/8): S. 77-80.
- Heinen, E. (1991): Industriebetriebslehre als entscheidungsorientierte Unternehmensführung. In: Heinen, E. (Hrsg.): Industriebetriebslehre: Entscheidungen im Industriebetrieb. Gabler Verlag. Wiesbaden.
- Heinrich, L. (1999): Informationsmanagement: Planung, Überwachung und Steuerung der Informationsinfrastruktur. Oldenburg Verlag. München, Wien.
- Heinze, T. (2004): Nanoscience and Nanotechnology in Europe: Analysis of Publications and Patent Applications including Comparisons with the United States. Nanotechnology Law & Business. 1(4): S. 427-447.
- Herb, R., Herb, T., Kohnhauser, V. (2000): TRIZ - der systematische Weg zur Innovation: Werkzeuge, Praxisbeispiel, Schritt-für-Schritt-Anleitungen. mi, Verlag Moderne Industrie. Landsberg.
- Herstatt, C. (2003): Management der frühen Phasen von Breakthrough-Innovationen. In: Herstatt, C., Verworn, B. (Hrsg.): Management der frühen Innovationsphasen: Grundlagen - Methoden - Neue Ansätze. Gabler Verlag. Wiesbaden.
- Herstatt, C., Lettl, C. (2000): Management von technologie-getriebenen Entwicklungsprojekten. Arbeitspapier Nr. 5. Technischen Universität Hamburg-Harburg (Hrsg.). August 2000. Hamburg
- Herstatt, C., Verworn, B. (2003a): Bedeutung und Charakteristika der frühen Phasen des Innovationsprozesses. In: Herstatt, C., Verworn, B. (Hrsg.): Management der frühen Innovationsphasen: Grundlagen - Methoden - Neue Ansätze. Gabler Verlag. Wiesbaden. S. 3-15.
- Herstatt, C., Verworn, B. (Hrsg.) (2003b): Management der frühen Innovationsphasen: Grundlagen - Methoden - Neue Ansätze. Gabler Verlag. Wiesbaden.

Hessen Agentur (Hrsg.) (2005a): Nanotechnologie in Hessen - Ein Bestandsaufnahme auf Basis von Unternehmensbefragungen. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung und HA Hessen Agentur GmbH. Wiesbaden.

Hessen Agentur (2005b): Rittal - neue Standards in der Oberflächentechnik. hessen-nanotech NEWS, Newsletter des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung ([www.nanotech-hessen.de/news/](http://www.nanotech-hessen.de/news/)). Ausg. 5.

Heubach, D., Angerer, G. (2007): Innovation durch Nanotechnologie in der Umwelttechnik als Schlüssel zur Nachhaltigkeit. Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI). Schlussbericht des BWPLUS-Forschungsvorhaben INANU (BWI 25002). Stuttgart, Karlsruhe

Heubach, D., Beucker, S., Lang-Koetz, C. (2005): Einsatz von Nanotechnologie in der hessischen Umwelttechnologie - Innovationspotenziale für Unternehmen. HA Hessen Agentur GmbH (Hrsg.). Band 1 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung. Wiesbaden

Hill, B. (2005): Goal Setting through Contradiction Analysis in the Bionics-Oriented Construction Process. *Creativity and Innovation Management*. 14(1): S. 59-65.

Hinterhuber, H. H. (1997): Strategische Unternehmensführung II: Strategisches Handeln. de Gruyter Verlag. Berlin, New York.

Hippel, E. v. (1995): *The Source of Innovation*. Oxford University Press. New York.

Hoffmann, J. (1996): Entwicklung eines QFD-gestützten Verfahrens zur Produktplanung und -entwicklung für kleine und mittlere Unternehmen. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, New York.

Holtmannspötter, D., Rijkers-Defrasne, S., Glauner, C., Korte, S., Zweck, A. (2006): Aktuelle Technologieprognosen im internationalen Vergleich. VDI Technologiezentrum (Hrsg.). Zukünftige Technologien Nr. 58. Juni 2006. Düsseldorf

Huang, Z., Chen, H., Yan, L., Roco, M. (2005): Longitudinal nanotechnology development (1991–2002): National Science Foundation funding and its impact on patents. *Journal of Nanoparticle Research*. 7(4-5): S. 343–376.

Hubka, V., Eder, E. (1992): Einführung in die Konstruktionswissenschaft: Übersicht, Modell, Ableitungen. Springer Verlag. Berlin.

Hullmann, A. (2001): Internationaler Wissenstransfer und technische Bedeutung - Bedeutung, Einflussfaktoren und Ausblick auf technologiepolitische Implikationen am Beispiel der Nanotechnologie in Deutschland. Physika Verlag. Heidelberg.

Hullmann, A. (2005): Chancen und Risiken der Nanotechnologie - die europäische Sichtweise. *factorY - Magazin für Nachhaltiges Wirtschaften*. Ausg. 4. S. 6-7.

Iden, R., Heubach, D. (Hrsg.) (2007): Große Potenziale der Nanowelt ergreifen - Brücken schlagen, Chancen umsetzen, verantwortlich Handeln. Impulskreis Nanowelten in der Initiative „Partner für Innovation“ - Bilanz des Arbeitsjahres. Fraunhofer IRB Verlag. Stuttgart.

Ilfrich, T. (2004): Nano + Mikrotech II: Entwicklung der Nano- und Mikrotechnologie, März 2002 bis Februar 2003. ivcon.net. Berlin.

- Jakob, M., Kaiser, F., Schwarz, H., Beucker, S. (2006): Generierung von Webanwendungen für das Innovationsmanagement. *Information Technology*. 48(4): S. 225-232.
- Jones, R. (2004): *Soft machines: Nanotechnology and Life*. Oxford University Press. Oxford.
- Kameoka, A., Ito, H., Kobayashi, K. (2001): A Cross-Generation Framework for Deriving Next Generation Innovation Process Model. In: N.N. (Hrsg.): *Change Management and the New Industrial Revolution*, IEMC '01. 07.-09. Oktober 2001. Albany, NY, USA.
- Kano, N., Seraku, N., Takahashi, F., Tsuji, S.-i. (1984): Attractive Quality and Must-be Quality. *Hinshitsu: Journal of the Japanese Society for Quality Control*. 14(2): S. 39-48.
- Khurana, A., Rosenthal, S. (1997): Integrating the fuzzy front end of new product development. *Sloan Management Review*. Winter 1997: S. 103-120.
- Kingon, A. I., Collins, M. J., Gentry, S. T., Bean, A. S. (2004): Corporate Responses to Nanoscience and Nanotechnology. *Research Technology Management*. 47(3): S. 6-8.
- Klein, B. (2002): *TRIZ/TIPS - Methoden des erfinderischen Problemlösens*. Oldenburg Verlag. München, Wien.
- Kline, S. J. (1985a): Innovation is Not a Linear Process. *Research Management*. 28(4): S. 36-45.
- Kline, S. J. (1985b): *Research, Invention, Innovation and Production: Models and Reality*. Report INN-1. Stanford University, Department of Mechanical Engineering. Stanford
- Kline, S. J., Rosenberg, N. (1986): An Overview of Innovation. In: Landau, R., Rosenberg, N. (Hrsg.): *The positive sum strategy*. National Academy Press. Washington D.C.
- Kobe, C. (2001): *Integration der Technologiebeobachtung in die Frühphase von Innovationsprojekten*. Dissertation, Universität St. Gallen HSG. St. Gallen.
- Koller, R., Kastrup, N. (1994): *Prinziplösungen zur Konstruktion technischer Produkte*. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, New York.
- Kornwachs, K. (1995): Identifikation, Analyse und Bewertung technologischer Entwicklungen. In: Zahn, E. (Hrsg.): *Handbuch Technologiemanagement*. Schäffer-Poeschel Verlag. Stuttgart.
- Kornwachs, K. (2006): Technisches Wissen. In: Banse, G., Grunwald, A., König, W., Ropohl, G. (Hrsg.): *Erkennen und Gestalten - Eine Theorie der Technikwissenschaften*. Edition Sigma. Berlin.
- Koruna, S. (Hrsg.) (1998): *Externe Technologie-Akquisition*. *Technologie-Management: Idee und Praxis*. Verlag Industrielle Organisation. Zürich.
- Kreyling, W., Semmler, M., Möller, W. (2004): Health Implications of Nanoparticles. In: Chein, H. (Hrsg.): *International Symposium on Environmental Nanotechnology (ISEN) 2004*. 01.-03. Dezember 2004. Taipei (Taiwan). ITRI.
- Krug, H., Kern, K., Diabaté, S. (2004): Toxikologische Aspekte der Nanotechnologie - Versuch einer Abwägung. *Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis*. 13(2): S. 58-64.
- Lang, H.-C. (1998): *Technology Intelligence: Voraussetzung für den Technologie-Entscheid*. In: Tschirky, H., Koruna, S. (Hrsg.): *Technologie-Management: Idee und Praxis*. Verlag Industrielle Organisation. Zürich.

- Langlotz, G. (2000): Ein Beitrag zur Funktionsstrukturentwicklung innovativer Produkte. zugl. Universität Karlsruhe, Dissertation. Shaker Verlag. Aachen.
- Lanza, M. (1999): Entwurf der Systemunterstützung des verteilten Engineering mit Axiomatic Design. Dissertation. Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik, Universität Karlsruhe. Karlsruhe.
- Leemhuis, H. (2005): Funktionsgetriebene Konstruktion als Grundlage verbesserter Produktentwicklung. Dissertation. Fakultät V für Verkehrs- und Maschinensysteme, Technischen Universität Berlin. Berlin.
- Lenox, M., King, A. (2004): Prospects for Developing Absorptive Capacity through internal Information Provision. *Strategic Management Journal*. 25(4): S. 331–345.
- Lentes, H.-P., Richter, M. (2004): Systemische Technologiebewertung zur Absicherung der Produktentwicklung. In: Spath, D. (Hrsg.): *Forschungs- und Technologiemanagement: Potenziale nutzen - Zukunft gestalten*. Hanser Verlag. München, Wien.
- Lichtenthaler, E. (2002): *Organisation der Technology Intelligence: eine empirische Untersuchung der Technologiefrühaufklärung in technologischen Grossunternehmen*. Verlag Industrielle Organisation. Zürich.
- Lichtenthaler, E. (2004): Technology intelligence proceses in leading European and North American multinationals. *R&D Management*. 34(2): S. 121-135.
- Linde, H. J., Hill, B. (1993): *Erfolgreich erfinden, Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie für Entwickler und Konstrukteure*. Hoppenstedt Technik Tabellen Verlag. Darmstadt.
- Lindemann, U. (2005): *Methodische Entwicklung technischer Produkte - Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden*. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg.
- Löchtefeld, S. (2005): Runde Tische für kleinste Teilchen. *factorY - Magazin für Nachhaltiges Wirtschaften*. Ausg. 4. S. 12-13.
- Lundvall, B.-Å., Johnson, B. (1994): The Learning Economy. *Journal of Industry Studies*. 1(2): S. 23-42.
- Luther, W. (2003): Marktpotentiale in der Nanotechnologie - Wie aussagekräftig sind Marktzahlen und -prognosen? *VentureCapital Magazin, Sonderausgabe Nano-/Mikrotechnologie*. 4. Jg. November 2003. S. 27-29.
- Luther, W. (2004): *Industrial application of nanomaterials - chances and risks*. VDI Technologiezentrum (Hrsg.). *Zukünftige Technologien* Nr. 54. August 2004. Düsseldorf
- Luther, W., Bachmann, G., Zweck, A., Festel, G., Klatt, G. (2006): *Kommerzialisierung der Nanotechnologie - Analyse der Erfolgsfaktoren und Rahmenbedingungen*. VDI Technologiezentrum (Hrsg.). *Zukünftige Technologien* Nr. 65. Juni 2006. Düsseldorf
- Luther, W., Malanowski, N., Bachmann, G., Hoffknecht, A., Holtmannspötter, D., Zweck, A. (2004): *Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt: Innovations- und Technikanalyse*. VDI Technologiezentrum (Hrsg.). *Zukünftige Technologien* Nr. 53. September 2004. Düsseldorf
- Lux Capital (Hrsg.) (2003): *The Nanotech Report 2003, Investment Overview and Market Research for Nanotechnology (Volume II)*. Lux Capital Group. New York.

- Mahajan, V., Wind, J. (1992): New Product Models: Practice, Shortcomings and Desired Improvements. *Journal of Product Innovation Management*. 9(2): S. 128-139.
- Mai, C. (1997): *Effiziente Produktplanung mit Quality Function Deployment*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Malanowski, N. (2003): Nanotechnologie aus der Perspektive der Innovations- und Technikanalyse. In: Stein, G. (Hrsg.): *Umwelt und Technik im Gleichklang: Technikfolgenforschung und Systemanalyse in Deutschland*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Malsch, I., Fidelus, J. D., Lojkowski, W., Lewandowska, M., Bielinski, D., Hoffschulz, H., Charpentier, A., Singh, K., Morrison, M., Proykova, A. (2007): 9th Nanoforum Report: Nanotechnology in Aerospace. Nanoforum Konsortium, Malsch TechnoValuation. Nanoforum Report. February 2007. o.O.
- Mann, D. (2005): New and Emerging Contradiction Elimination Tools. *Creativity and Innovation Management*. 14(1): S. 14-21.
- Mann, S. (2006): Nanotechnology and Construction. Nanoforum Konsortium ([www.nanforum.org](http://www.nanforum.org)), Institute of Nanotechnology. Nanoforum Report. November 2006. o.O.
- Markham, S. K. (2002): Moving Technologies from Lab to Market. *Research Technology Management*. 45(6): S. 30-41.
- Marxt, C., Hacklin, F., Röthlisberger, C., Schaffner, T. (2004): End-to-End Innovation: Extending the Stage-Gate Model into a Sustainable Collaboration Framework. In: Xie, M., Durrani, T. S., Tang, H. K. (Hrsg.): *IEEE International Engineering Management Conference: Innovation and Entrepreneurship for Sustainable Development*. 18.-21. Oktober 2004. Singapore. IEEE Engineering Management Society (EMS).
- Meyer-Kramer, F., Dreher, C. (2004): Neuere Betrachtungen zu Technikzyklen und Implikationen für die Fraunhofer-Gesellschaft. In: Spath, D. (Hrsg.): *Forschungs- und Technologiemanagement: Potenziale nutzen - Zukunft gestalten*. Hanser Verlag, München, Wien.
- Möhrle, M. (2005): What is TRIZ? From Conceptual Basics to a Framework for Research. *Creativity and Innovation Management*. 14(1): S. 3-13.
- Müller, J. (1990): *Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften: Systematik, Heuristik, Kreativität*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Nanologue (2005): Nanologue Mapping Study: Summary of key findings from a literature study on ethical, legal and social aspects of nanotechnologies. Deliverable D1 des Arbeitspakets AP1 (EU-Forschungsprojekt im Programm FP6-2003-NMP-TI-3-main). Wuppertal Institut, Eidgenössische Materialprüfungsanstalt, Forum for the Future, triple innova (Hrsg.). September 2005. Wuppertal
- Naumanen, M. (2004): NanoRoadMap Project - Sectoral Report: Energy. VTT. VTT Technology Studies. Oktober 2004. o.O.
- Noack, A. (2007): Nanotechnologien für die optische Industrie - Grundlage für zukünftige Innovationen in Hessen. HA Hessen Agentur GmbH (Hrsg.). Band 5 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung. Juni 2007. Wiesbaden



- nova-net (Hrsg.) (2006): Nutzung von Internet und Intranet für die Entwicklung neuer Produkte und Dienstleistungen. nova-net Werkstattreihe. Fraunhofer IRB Verlag. Stuttgart.
- Oberdörster, G. (2004): Nanotoxicology: An Emerging Discipline. In: Chein, H. (Hrsg.): International Symposium on Environmental Nanotechnology (ISEN) 2004. 01.-03. Dezember 2004. Taipei (Taiwan). ITRI.
- OECD (Hrsg.) (1997): Oslo Manual - Proposed guidelines for collecting and interpreting technological innovation data. Organisation of Economic Co-operation and Development (OECD). Paris.
- O'Meara, J. T. (1961): Selecting Profitable Products. Harvard Business Review. 39(1): S. 83-89.
- Ophey, L. (2005): Entwicklungsmanagement: Methoden in der Produktentwicklung. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg.
- Osterloh, M., von Wartburg, I. (1998): Organisationales Lernen und Technologie-Management. In: Tschirky, H., Koruna, S. (Hrsg.): Technologie-Management: Idee und Praxis. Verlag Industrielle Organisation. Zürich.
- Ovtcharova, J. (1997): A framework for feature-based product design : fundamental principles, system concepts, applications. zugl. TU Darmstadt, Dissertation. VDI-Verlag. Düsseldorf.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K.-H. (2005): Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung - Methoden und Anwendungen. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg.
- Pannenbäcker, T. (2001): Methodisches Erfinden in Unternehmen: Bedarf, Konzept, Perspektiven für TRIZ-basierte Erfolge. Gabler Verlag. Wiesbaden.
- Paral, T. (2003): Integrierter Methodeneinsatz im Produktinnovationsprozess. zugl. RWTH Aachen, Dissertation. Shaker Verlag. Aachen.
- PAS 71:2005 (2005): PAS 71:2005: Vocabulary - Nanoparticles. Department of Trade and Industry (DTI) und British Standards Institution (BSI). Publicly Available Specification. 25 Mai 2005. London
- Paschen, H., Coenen, C., Fleischer, T., Grünwald, R., Oertel, D., Revermann, C. (2004): Nanotechnologie: Forschung, Entwicklung, Anwendung. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg.
- Patzak, G. (1982): Systemtechnik - Planung komplexer innovativer Systeme: Grundlagen, Methoden, Techniken. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, New York.
- Peiffer, S. (1992): Technologie-Frühaufklärung. S+W Steuer- und Wirtschaftsverlag. Hamburg.
- Petkoff, B. (1998): Wissensmanagement: Von der computerzentrierten zur anwendungsorientierten Kommunikationstechnologie. Addison-Wesley Longman Verlag. Bonn.
- Pleschak, F., Sabisch, H. (1996): Innovationsmanagement. Schäffer-Poeschel Verlag. Stuttgart.
- Porter, M. (1999): Wettbewerbsstrategie - Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten (Competitive Strategy). Campus Verlag. Frankfurt, New York.
- Porter, M. (2000): Wettbewerbsvorteile - Spitzenleistung erreichen und behaupten (Competitive Advantage). Campus Verlag. Frankfurt, New York.
- Porter, M. (2001): Wie die Wettbewerbskräfte die Strategie beeinflussen. In: Montgomery, C., Porter, M. (Hrsg.): Strategie. Wirtschaftsverlag Ueberreuter. Wien, Frankfurt.

- Rashba, E., Gamota, D. (2003): Anticipatory standards and the commercialization of nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*. 5: S. 401–407.
- Reger, G. (2001a): Gestaltung des Technologie-Früherkennungsprozesses in KMU. In: Meyer, J.-A. (Hrsg.): *Innovationsmanagement in kleinen und mittleren Unternehmen*. Vahlen Verlag, München.
- Reger, G. (2001b): Risikoreduktion durch Technologie-Früherkennung. In: Gassmann, O., Kobe, C., Voit, E. (Hrsg.): *High-Risk-Projekte - Quantensprünge in der Entwicklung erfolgreich managen*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Reger, G. (2006): Technologie-Früherkennung: Organisation und Prozess. In: Gassmann, O., Kobe, C. (Hrsg.): *Management von Innovation und Risiko - Quantensprünge in der Entwicklung erfolgreich managen*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Reitberger, C. (2002): "Nanotechnologie ist ein buzz word" (Interview). *VentureCapital Magazin*, Sonderausgabe Nanotechnologie. 3. Jg. November 2002. S. 12-13.
- Renn, O., Roco, M. (2006): Nanotechnology and the need for risk governance. *Journal of Nanoparticle Research*. 8(2): S. 153–191.
- Rieke, V., Bachmann, G. (2004): German innovation initiative for nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*. 6: S. 435–446.
- Roco, M. (2005): International Perspective on Government Nanotechnology Funding in 2005. *Journal of Nanoparticle Research*. 7(6): S. 707-712.
- Roco, M., Bainbridge, W. S. (Hrsg.) (2001): *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Roco, M., Williams, R. S., Alivisatos, P. (Hrsg.) (1999): *Nanotechnology Research Directions: IWGN Workshop Report, Vision for Nanotechnology R&D in the Next Decade*. National Science and Technology Council (NSTC) und Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering and Technology (IWGN). Washington.
- Ropohl, G. (2006): Erfindung - Potenzialkenntnis und Funktionsidee. In: Banse, G., Grunwald, A., König, W., Ropohl, G. (Hrsg.): *Erkennen und Gestalten - Eine Theorie der Technikwissenschaften*. Edition Sigma, Berlin.
- Royal Society (Hrsg.) (2004): *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*. Royal Society und Royal Academy of Engineering, London.
- Saad, K., Roussel, P., Tiby, C. (1991): *Management der F&E-Strategie*. Little, A. D. Gabler Verlag, Wiesbaden.
- Saak, M. (2006): *Entwicklung eines Konzeptes und eines Prototypen für ein rechnergestütztes Werkzeug zum effizienten Einsatz der Problemlösungsmethodik „SPALTEN“*. Dissertation. Fakultät für Maschinenbau, Institut für Produktentwicklung, Universität Karlsruhe. Karlsruhe.
- Sauerwein, E. (2000): *Das Kano-Modell der Kundenzufriedenheit: Reliabilität und Validität einer Methode zur Klassifizierung von Produkteigenschaften*. Deutscher Universitätsverlag Gabler, Wiesbaden.

Schäppi, B. (2005): Produktplanung - von der Produktidee bis zum Businessplan. In: Schäppi, B., Andreasen, M., Kirchgeorg, M., Radermacher, F.-J. (Hrsg.): Handbuch Produktentwicklung. Hanser Verlag. München, Wien.

Scheufele, D., Lewenstein, B. (2005): The public and nanotechnology: How citizens make sense of emerging technologies. *Journal of Nanoparticle Research*. 7(6): S. 659-667.

Schlichsupp, H. (2004): Innovation, Kreativität und Ideenfindung. Vogel Buchverlag. Würzburg.

Schmidt, G., Decker, M., H. Ernst, H. Fuchs, W. Grünwald, A. Grunwald, H. Hofmann, M. Mayor, W. Rathgeber, U. Simon, Wyrwa, D. (2003): Small Dimensions and Material Properties - A Definition of Nanotechnology. Europäische Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen. Graue Reihe 35. November 2003. Bad Neuenahr-Ahrweiler

Schmidt-Tiedemann, K. J. (1982): A New Model of the Innovation Process. *Research Management*. 25(2): S. 18-21.

Schuh, G., Martini, C., Böhlke, U., Schmitz, W. (1992): Planung technologischer Innovationen mit einem Technologiekalender. *io Management Zeitschrift*. 61(3): S. 31-35.

Schuh, G., Schröder, J., Rosier, C. (2005): Trends im Technologiemanagement. Fraunhofer Institut für Produktionstechnik (IPT). Aachen.

Seidel, M. (2005): Methodische Produktplanung: Grundlagen, Systematik und Anwendung im Produktentstehungsprozess. Dissertation. Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik, Universität Karlsruhe. Karlsruhe.

Shea, C. M. (2005): Future management research directions in nanotechnology: A case study. *Journal of Engineering and Technology Management*. 22(3): S. 185-200.

Siegel, R., Hu, E., Roco, M. (1999): Nanostructure Science and Technology: A Worldwide Study. National Science and Technology Council and Interagency Working Group on NanoScience, Engineering and Technology. September 1999. Arlington

Spath, D., Buck, S. L. (2007): Emerging technologies - new skill needs in the field of nanotechnology. In: Zukersteinova, A. (Hrsg.): Skill needs in Emerging Technologies: Nanotechnology. 11.-12. Juli 2005. Stuttgart. European Centre for the Development of Vocational Training (Cedefop), Skillsnet.

Spath, D., Dill, C., Scharer, M. (2001): Vom Markt zum Markt: Produktentstehung als zyklischer Prozess. LOG\_X. Stuttgart.

Spath, D., Heubach, D., Beucker, S., Kühne, C. (2004): Zukunftspotenziale der Mikro- und Nanotechnologie als Schlüsseltechnologie für die Umwelttechnik in Baden-Württemberg. Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg. Stuttgart

Spath, D., Warschat, J., Auernhammer, K., Gomeringer, A., Bannert, M. (2003): Integriertes Innovationsmanagement: Erfolgsfaktoren, Methoden, Praxisbeispiele. Fraunhofer IRB Verlag. Stuttgart.

Spath, D., Warschat, J., Heubach, D. (2007): An Approach for a Relevance Analysis of Nanotechnology. In: o.V. (Hrsg.): Design for Society - Innovation, Sustainability and Knowledge (16th International Conference on Engineering Design - ICED07). 28.-31. August 2007. Paris, Frankreich. The Design Society.

- Specht, D., Behrens, S. (1999): Systematisch Erfolg vorbereiten: Die Produkt-Technologie-Analyse ermöglicht eine anwendungsorientierte Technologieanalyse und -bewertung. Wissensschaftsmanagement. Ausg. 6. S. 32-35.
- Specht, D., Behrens, S., Kirchof, R. (1999): Komplexität beim strategischen Technologiemanagement. ZWF. 94(12): S. 720-724.
- Specht, D., Möhrle, M. (2002): Gabler Lexikon Technologiemanagement. Gabler Verlag. Wiesbaden.
- Specht, G., Beckmann, C., Amelingmeyer, J. (2002): F&E-Management: Kompetenz im Innovationsmanagement. Schäffer-Poeschel Verlag. Stuttgart.
- Spielberg, D. (2002): Methodik zur Konzeptfindung basierend auf technischen Kompetenzen. zugl. RWTH Aachen, Dissertation. Shaker Verlag. Aachen.
- Spilok, K. (2005): Wie sicher ist Nano? VDI nachrichten. 12. August 2005. S. 7.
- Spur, G. (1998): Technologie und Management: zum Selbstverständnis der Technikwissenschaft. Hanser Verlag. München, Wien.
- Staudt, E., Krause, M. (2001): Wissens- und Technologietransfers in KMU. In: Meyer, J.-A. (Hrsg.): Innovationsmanagement in kleinen und mittleren Unternehmen. Vahlen Verlag. München.
- Stein, G. (Hrsg.) (2003): Umwelt und Technik im Gleichklang: Technikfolgenforschung und Systemanalyse in Deutschland. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg.
- Steinbeis-Europa-Zentrum (2005): Nanomaterial Roadmap 2015: Overview on Promising Nanomaterials for Industrial Applications. Steinbeis-Europa-Zentrum (Karsruhe), Projektkonsortium "NanoroadSME". Projektbericht des EU-Forschungsprojekts "NanoroadSME" NMP4-CT-2004-505857. September 2005. Karlsruhe
- Steinfeldt, M., Gleich, A. v., Petschow, U., Haum, R., Chudoba, T., Haubold, S. (2004): Nachhaltigkeitseffekte durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte. IÖW-Schriftenreihe 177/04. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) gGmbH. November 2004. Berlin
- Steinschaden, J. (2005): Entwicklung mechanischer Systeme. In: Schäppi, B., Andreasen, M., Kirchgorg, M., Radermacher, F.-J. (Hrsg.): Handbuch Produktentwicklung. Hanser Verlag. München, Wien.
- Stiller, O. (2005): Innovationsdynamik in der zweiten industriellen Revolution - Die Basisinnovation Nanotechnologie. Books on Demand. Norderstedt.
- Strebel, H. (Hrsg.) (2003): Innovations- und Technologiemanagement. WUV Universitätsverlag. Wien.
- Suh, N. P. (2001): Axiomatic design: advances and applications. Oxford University Press. New York.
- SusChem (2005): Sustainable Chemistry Strategic Research Agenda 2005. European Technology Platform (ETP) for Sustainable Chemistry (SusChem). Brüssel. <http://www.suschem.org> (Abruf: 25.04.06)

- Swiss Re (Hrsg.) (2004): Nanotechnology: "small size - large impact?". Swiss Re Centre for Global Dialogue. Rüschlikon.
- Szewzyk, U., Szewzyk, R. (2003): Biofilme – die etwas andere Lebensweise. BIOSpektrum. 9. Jg. Ausg. 3. S. 253-255.
- Taniguchi, N. (1974): On the Basic Concept of "Nano-Technology". In: (Hrsg.): ICPE International Conference on Production Engineering. Tokyo.
- Technology Review (2005): Orakel für Berlin - Eine Expertenbefragung im gemeinsamen Auftrag von Bund und Technology Review gibt Hinweise darauf, wo die Innovationspolitik der neuen Berliner Regierung ansetzen sollte. MIT Technology Review (deutsche Lizenzausgabe). Ausg. 11/2005. S. 27-28.
- Terninko, J., Zusman, A., Zlotin, B. (1998): TRIZ - der Weg zum konkurrenzlosen Erfolgsprodukt: Ideen produzieren, Nischen besetzen, Märkte gewinnen. mi Verlag Moderne Industrie. Landsberg/Lech.
- Thomke, S., Fujimoto, T. (2000): The Effect of "Front-Loading" Problem-Solving on Product Development Performance. Journal of Product Innovation Management. 17(2): S. 128-142.
- Tschirky, H. (1998): Konzept und Aufgaben des Integrierten Technologie-Managements. In: Tschirky, H., Koruna, S. (Hrsg.): Technologie-Management: Idee und Praxis. Verlag Industrielle Organisation. Zürich.
- UBA (2002): Empfehlung zur Vermeidung von Kontaminationen des Trinkwassers in der Hausinstallation durch Einflüsse von Schlauchleitungen (Beitrag des Umweltbundesamt). Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz. 45(6): S. 514-515.
- Ulrich, K. T., Eppinger, S. D. (2004): Product design and development. Irwin McGraw-Hill. Boston.
- Vahs, D., Burmester, R. (2005): Innovationsmanagement: Von der Produktidee zur erfolgreichen Vermarktung. 3. Auflage. Vahs, D., Pietschmann, B. Schäffer-Poeschel Verlag. Stuttgart.
- VDI-2220 (1980): VDI-Richtlinie 2220: Produktplanung - Ablauf, Begriffe und Organisation. VDI Verein Deutscher Ingenieure. Beuth Verlag. Düsseldorf.
- VDI-2221 (1993): VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. VDI Verein Deutscher Ingenieure. Beuth Verlag. Düsseldorf.
- VDI-2222(Bl.1) (1997): VDI-Richtlinie 2222: Konstruktionsmethodik - Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien, Blatt 1. VDI Verein Deutscher Ingenieure. Beuth Verlag. Düsseldorf.
- VDI-2222(Bl.2) (1982): VDI-Richtlinie 2222: Konstruktionsmethodik - Erstellung und Anwendung von Konstruktionskatalogen, Blatt 2. VDI Verein Deutscher Ingenieure. Beuth Verlag. Düsseldorf.
- VDI-2223 (2004): VDI-Richtlinie 2223: Methodisches Entwerfen technischer Produkte. VDI Verein Deutscher Ingenieure. Beuth Verlag. Düsseldorf.
- VDI-2800 (2000): VDI-Richtlinie 2800: Wertanalyse/Value analysis. VDI Verein Deutscher Ingenieure. Beuth Verlag. Düsseldorf.
- VDI-2803 (1996): VDI-Richtlinie 2803 Blatt 1: Funktionenanalyse - Grundlagen und Methoden. VDI Verein Deutscher Ingenieure. Beuth Verlag. Düsseldorf.

VDI-2805 (2004): VDI-Richtlinie 2805 Entwurf: Methodengestützte Projektarbeit in der Wertanalyse. VDI Verein Deutscher Ingenieure. Beuth Verlag. Düsseldorf.

VDI-3780 (2000): VDI-Richtlinie 3780: Technikbewertung - Begriffe und Grundlagen. VDI Verein Deutscher Ingenieure. Beuth Verlag. Düsseldorf.

VDI (Hrsg.) (1983): Systematische Produktplanung. VDI Verlag. Düsseldorf.

VDI-TZ (Hrsg.) (1992): Technologiefrühaufklärung: Identifikation und Bewertung von Ansätzen zukünftiger Technologien. Schäffer-Poeschel Verlag. Stuttgart.

VDI-TZ (Hrsg.) (2004): Übersichtsstudie: Internationale Technologieprognosen im Vergleich. VDI Verlag. Düsseldorf.

VDI-TZ (Hrsg.) (2007): Anwendungen der Nanotechnologie in Architektur und Bauwesen (Ergebnisse der Fachtagung am 24. Januar 2006 im VDI, Düsseldorf). VDI Technologiezentrum. Düsseldorf.

Verworn, B., Herstatt, C. (2000): Modelle des Innovationsprozesses. Arbeitspapier Nr. 6. Technische Universität Hamburg-Harburg. September 2000. Hamburg

Verworn, B., Herstatt, C. (2002): The innovation process: an introduction to process models. Working Paper No. 12. Technischen Universität Hamburg-Harburg. Januar 2002. Hamburg

Verworn, B., Herstatt, C. (2003): Prozessgestaltung der frühen Phasen. In: Herstatt, C., Verworn, B. (Hrsg.): Management der frühen Innovationsphasen: Grundlagen - Methoden - Neue Ansätze. Gabler Verlag. Wiesbaden.

Verzyer, R. W. (1998): Discontinuous Innovation and the New Product Development Process. Journal of Product Innovation Management. 15(4): S. 304-321.

Vincent, J. F. V., Bogatyreva, O., Pahl, A.-K., Bogatyrev, N., Bowyer, A. (2005): Putting Biology into TRIZ: A Database of Biological Effects. Creativity and Innovation Management. 14(1): S. 66-72.

Wagner, V., Zweck, A. (2006): NanoMedizin – Innovationspotentiale für Hessen in der Medizintechnik und Pharmazeutische Industrie. Band 2 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung. HA Hessen Agentur GmbH. HA Hessen Agentur GmbH (Hrsg.). Januar 2006. Wiesbaden

Warnecke, H.-J., Bullinger, H.-J. (Hrsg.) (2003): Kunststück Innovation: Praxisbeispiele aus der Fraunhofer-Gesellschaft. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg.

Werner, M., Kohly, W., Simic, M., Forchert, C.-E., Rumsch, W.-C., Klimpel, V., Ditte, J. (2006): Nanotechnologien im Automobil - Innovationspotenziale in Hessen für die Automobil- und Zuliefer-Industrie. Band 3 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung. HA Hessen Agentur GmbH. HA Hessen Agentur GmbH (Hrsg.). Dezember 2006. Wiesbaden

Westkämper, E. (1986): Strategische Investitionsplanung mit Hilfe eines Technologiekalenders. In: Wildemann, H. (Hrsg.): Strategische Investitionsplanung für neue Technologien in der Produktion. gfmt Gesellschaft für Management und Technologie-Verlag. München.

Westkämper, E. (2004): Technologiekalender als Instrument der strategischen Planung. In: Spath, D. (Hrsg.): Forschungs- und Technologiemanagement: Potenziale nutzen - Zukunft gestalten. Hanser Verlag. München, Wien.

Westkämper, E., Balve, P. (2003): Technologiemanagement in produzierenden Unternehmen. In: Bullinger, H.-J., Warnecke, H.-J., Westkämper, E. (Hrsg.): Neue Organisationsformen im Unternehmen - Ein Handbuch für das moderne Management. Springer Verlag. Berlin.

Westkämper, E., Hanselmann, J. (2000): Effektive Wissensnutzung in der Produktentwicklung. Industrie Management. 16. Jg. Ausg. 1. S. 28-32.

Westkämper, E., Heeren, F. (2001): Personensuche in definierten Themenfeldern - Unterstützung durch die Nachrichtenanalyse. ZWF. 96(7-8): S. 417-422.

WGZ (2002): Mikro- und Nanotechnologie: Branchenreport aus Sicht des Kapitalmarktes. WGZ Venture-Capital Gesellschaft, IVAM NRW e.V., Ernst & Young, Microventure. April 2002. Düsseldorf

Wheelwright, S. C., Clark, K. B. (1994): Revolution der Produktentwicklung: Spitzenleistungen in Schnelligkeit, Effizienz und Qualität durch dynamische Teams. Campus-Verlag. Frankfurt.

Wild, J. (1982): Grundlagen der Unternehmensplanung. Westdeutscher Verlag. Opladen.

Wildemann, H. (1999): Produktklinik: Wertgestaltung von Produkten und Prozessen - Methoden und Fallbeispiele. TCW Transfer-Centrum. München.

Willems & van den Wildenberg (2004): State of the art overview and forecasts based on existing information of nanotechnology in the field of nanomaterials. Projektkonsortium NanoRoadMap. Work document on Nanomaterials. Oktober 2004. Barcelona. <http://www.nanoroadmap.it/> (Abruf: 10.042006)

Willems & van den Wildenberg (2005a): Roadmap Report on Dendrimers. Projektkonsortium NanoRoadMap. Roadmaps at 2015 on Nanotechnology Application in the Sectors of: Materials, Health & Medical Systems, Energy. November 2005. Barcelona. <http://www.nanoroadmap.it/> (Abruf: 10.042006)

Willems & van den Wildenberg (2005b): Roadmap Report on Nanoparticles. Projektkonsortium NanoRoadMap. Roadmaps at 2015 on Nanotechnology Application in the Sectors of: Materials, Health & Medical Systems, Energy. November 2005. Barcelona. <http://www.nanoroadmap.it/> (Abruf: 10.042006)

Willems & van den Wildenberg (2005c): Roadmap Report on Nanoporous materials. Projektkonsortium NanoRoadMap. Roadmaps at 2015 on Nanotechnology Application in the Sectors of: Materials, Health & Medical Systems, Energy. November 2005. Barcelona. <http://www.nanoroadmap.it/> (Abruf: 10.042006)

Willems & van den Wildenberg (2005d): Roadmap Report on Thin films & coatings. Willems & van den Wildenberg, Projektkonsortium NanoRoadMap. Roadmaps at 2015 on Nanotechnology Application in the Sectors of: Materials, Health & Medical Systems, Energy. November 2005. Barcelona. <http://www.nanoroadmap.it/> (Abruf: 10.042006)

Wöhe, G. (2002): Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Vahlen Verlag. München.

Wolfrum, B. (1994): Strategisches Technologiemanagement. Gabler Verlag. Wiesbaden.

Wonglimpiyarat, J. (2005): The nano-revolution of Schumpeter's Kondratieff cycle. *Technovation*. 25(11): S. 1349-1354.

Wood, S., Jones, R., Geldart, A. (2003): The Social and Economic Challenges of Nanotechnology. Economic and Social Research Council. Swindon.  
[http://www.esrcsocietytoday.ac.uk/ESRCInfoCentre/Images/Nanotechnology\\_tcm6-5506.pdf](http://www.esrcsocietytoday.ac.uk/ESRCInfoCentre/Images/Nanotechnology_tcm6-5506.pdf)  
(Abruf: 02.05.06)

Zahn, E. (Hrsg.) (1995): *Handbuch Technologiemanagement*. Schäffer-Poeschel Verlag. Stuttgart.

Zahn, E. (2004): *Strategisches Technologiemanagement*. In: Spath, D. (Hrsg.): *Forschungs- und Technologiemanagement: Potenziale nutzen - Zukunft gestalten*. Hanser Verlag. München, Wien.

Zangemeister, C. (1976): *Nutzwertanalyse in der Systemtechnik - Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen*. Wittmann-Verlag. München.

Zanger, C. (2002): *Leistungskern*. In: Albers, S., Herrmann, A. (Hrsg.): *Handbuch Produktmanagement: Strategieentwicklung - Produktplanung - Organisation - Kontrolle*. Gabler Verlag. Wiesbaden.

Zhou, P., Leydesdorff, L. (2006): The emergence of China as a leading nation in science. *Research Policy*. 35(1): S. 83-104.

Zweck, A. (2005): *Technologiemanagement - Technologiefrüherkennung und Technikbewertung*. In: Schäppi, B., Andreasen, M., Kirchgeorg, M., Radermacher, F.-J. (Hrsg.): *Handbuch Produktentwicklung*. Hanser Verlag. München, Wien.

Zwicky, F. (1989): *Entdecken, Erfinden, Forschen im Morphologischen Weltbild*. Verlag Baeschlin. Glarus.