

Abhandlungen aus dem
Industrieseminar der Universität Mannheim

Heft 48

Invention, Innovation und Diffusion

**Eine Simulationsanalyse des Managements
neuer Produkte**

Von

Peter Milling und Frank Maier



Duncker & Humblot · Berlin

PETER MILLING · FRANK MAIER

Invention, Innovation und Diffusion

**Abhandlungen aus dem
Industrieseminar der Universität Mannheim**

früher unter dem Titel
Abhandlungen aus dem Industrieseminar der Universität zu Köln
begründet von Prof. Dr. Dr. h. c. Theodor Beste

Herausgegeben von
Prof. Dr. Gert v. Kortzfleisch, Prof. Dr. Heinz Bergner
und Prof. Dr. Peter Milling

Heft 48

Invention, Innovation und Diffusion

**Eine Simulationsanalyse des Managements
neuer Produkte**

Von

Peter Milling und Frank Maier



Duncker & Humblot · Berlin

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Milling, Peter:

Invention, Innovation und Diffusion : eine Simulationsanalyse
des Managements neuer Produkte / von Peter Milling und

Frank Maier. – Berlin : Duncker und Humblot, 1996

(Abhandlungen aus dem Industrieseminar der Universität Mannheim ;
H. 48)

ISBN 3-428-08506-X

NE: Maier Frank;; Universität (Mannheim) / Seminar für

Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Betriebswirtschaftslehre der

Industrie: Abhandlungen aus dem . . .

Alle Rechte vorbehalten

© 1996 Duncker & Humblot GmbH, Berlin

Fotoprint: Berliner Buchdruckerei Union GmbH, Berlin

Printed in Germany

ISSN 0935-381X

ISBN 3-428-08506-X

Gedruckt auf alterungsbeständigem (säurefreiem) Papier
entsprechend ISO 9706 

Gert-Harald v. Kortzfleisch
gewidmet

Vorwort

Fragen des technischen Fortschritts, der Produkt- und Prozeßinnovationen, bilden seit langem einen Schwerpunkt unserer Forschungstätigkeiten, und sie haben ihren entsprechenden Niederschlag in der Schriftenreihe „Abhandlungen aus dem Industrieseminar der Universität Mannheim“ gefunden. Stellvertretend seien hier die in jüngster Zeit erschienenen Arbeiten von Dipl.-Kfm. Dr. Ludwig Reichert und Dipl.-Kfm. Dr. Frank Maier genannt. In diesem thematischen Umfeld ist auch die vorliegende Veröffentlichung angesiedelt.

Während die Diffusionsprozesse von Innovationen häufiger mit Hilfe mathematischer Modelle abgebildet und erklärt wurden, stellt die zeitliche Abfolge einzelner Technologiegenerationen ein noch weitgehend unbearbeitetes Terrain betriebswirtschaftlicher Forschung dar. Diesem Gebiet wendet sich die nun publizierte Arbeit besonders zu und ist dabei vor allem um eine integrative Sicht des gesamten Innovationsprozesses, einschließlich der Forschungs- und Entwicklungstätigkeit, bemüht.

Die Monographie geht aus einem Forschungsprojekt hervor, dessen Ursprünge und Vorarbeiten in die Zeit zurückreichen, als die Verfasser an der Universität Osnabrück tätig waren. Der damaligen Arbeitsgruppe gehörte auch Herr Dipl.-Kfm. Martin Stock an.

Gefördert wurde das Projekt im Rahmen des Schwerpunktprogrammes der Deutschen Forschungsgemeinschaft „Theorie der Innovation in Unternehmen“, das von Professor Dr. Klaus Brockhoff und Professor Dr. Jürgen Hauschild, beide Universität Kiel, initiiert worden war. Für die Unterstützung danken wir der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Unser Dank gilt auch Herrn Dipl.-Kfm. Thomas Nagel, der insbesondere an der Herstellung der Abbildungen mitgearbeitet hat, Herrn Dipl.-Kfm. Jürgen Strohhecker für seine Hilfe bei der Durchsicht des Manuskriptes und allen Mitarbeitern, die direkt und indirekt an dem Projekt beteiligt waren.

Mannheim, Anfang 1996

*Peter Milling
Frank Maier*

Inhaltsverzeichnis

A. Bezugsrahmen für ein Modell zur Unterstützung des Innovationsmanagements	17
I. Phasen des Innovationsprozesses.....	17
II. Ansätze zur Unterstützung des Innovationsprozesses	22
1. Modelle für die Inventionsphase.....	22
2. Modelle für die Innovations- und Diffusionsphase.....	30
III. Konzeptionelle Grundlagen für ein Entscheidungs-Unterstützungs-System	39
IV. Grundlagen und Aufbau des Modells	44
1. Methodische Grundlagen.....	44
2. Die Grundstruktur.....	54
3. Die Loopstruktur.....	58
B. Sektoren des Simulationsmodells zur Steuerung der Diffusions- und Substitutionsprozesse von Innovationen	70
I. Der Diffusionssektor.....	70
1. Theoretische Grundlagen.....	70
2. Die Modellgleichungen	91
a) Gleichungen zur Modellierung der Diffusionsprozesse.....	92
b) Die Ermittlung der Wettbewerbsmultiplikatoren.....	102
3. Das Verhalten des Diffusionssektors	110
II. Der Forschungs- und Entwicklungsprozeß	119
1. Modellierung des F&E-Prozesses mit Hilfe eines Evolutionsalgorithmus	119
a) Zur Übertragbarkeit der Evolutionsprinzipien auf den F&E-Prozeß ...	119
b) Grundprinzipien des Evolutionsalgorithmus	125

2. Der Sektor des F&E-Controlling	132
a) Schnittstellen zum F&E-Prozeßmodell.....	132
b) Planung und Allokation der F&E-Budgets.....	141
c) Festlegung des F&E-Beginns	152
III. Kosten- und Leistungssektor.....	154
1. Kostenplanung	154
2. Preisstrategien.....	162
3. Gewinnermittlung	171
IV. Der Sektor der Innovationsplanung und -steuerung	174
C. Analyse des Modellverhaltens.....	187
I. Die Validierung des Modells	187
1. Allgemeine Probleme der Validierung	187
2. Basislauf des Modells aus Unternehmens- und Marktperspektive.....	190
3. Basislauf des Modells aus der Perspektive des F&E-Controlling.....	196
II. Strategische Steuerung der Diffusions- und Substitutionsprozesse.....	201
1. Markteintrittszeitpunkt als Determinante des Diffusions- und Substitutionsprozesses.....	202
2. Preisstrategien zur Steuerung der Unternehmensentwicklung.....	208
3. Strategien für das F&E-Controlling.....	219
III. Implikationen der Modellanalyse und Ansatzpunkte für zukünftige Forschungsarbeiten	226
Literaturverzeichnis	230
Anhang 1	241
Anhang 2	263

Abbildungsverzeichnis

Abb. A-1:	Der Innovationsprozeß	18
Abb. A-2:	Der Innovationsprozeß und die Zuordnung der Module des Entscheidungs-Unterstützungs-Systems.....	21
Abb. A-3:	Systematik der Technologieentwicklungsmodelle	26
Abb. A-4:	Wachstums- und Hüllkurvenmodell	28
Abb. A-5:	Das S-Kurven-Modell	29
Abb. A-6:	Das Konzept des erweiterten Produktlebenszyklus	33
Abb. A-7:	Kostenverlauf einer 80%-Erfahrungskurve in exponentieller und logarithmischer Darstellung	35
Abb. A-8:	Kriterien der Methodenauswahl	45
Abb. A-9:	Endogener Methodenverbund	48
Abb. A-10:	Die Strukturhierarchie des System-Dynamics-Ansatzes	50
Abb. A-11:	Die Grundstruktur eines Informations-Feedback-Loops	51
Abb. A-12:	Die Substruktur der Flußvariablen	53
Abb. A-13:	Die Module des Gesamtmodells.....	55
Abb. A-14:	Die Grundstruktur des Modells	57
Abb. A-15:	Potentielle Käufer, Adoptoren und Absatz (Loop 1 - 5).....	60
Abb. A-16:	Die Wirkung des technischen Standes (Loop 6).....	61
Abb. A-17:	Die Wirkung des Preises auf den Absatz (Loop 7 und 8).....	63
Abb. A-18:	Die Wirkung der Lieferbereitschaft auf den Absatz (Loop 9 - 10)	64
Abb. A-19:	Technischer Stand, Absatz und Umfang und Intensität des F&E- Prozesses (Loop 11-13)	65
Abb. A-20:	Rendite, Preis und Umsatz der Unternehmen (Loop 14 und 15)	67

Abb. A-21:	Renditeziel und Marktstellung zur Gegensteuerung des F&E-Prozesses (Loop 16 - 19)	68
Abb. B-1:	Exponentieller, logistischer und semi-logistischer Verlauf der Diffusion.....	77
Abb. B-2:	Der Diffusionsprozeß im Bass-Modell	78
Abb. B-3:	Im Modell berücksichtigte Einflußfaktoren des Diffusionssektors.....	90
Abb. B-4:	Der Kern des Diffusionssektors.....	96
Abb. B-5:	Der Einfluß des Adoptorenanteils bei unterschiedlichen Gewichtungsfaktoren	100
Abb. B-6:	Die Ermittlung der Wettbewerbsmultiplikatoren	103
Abb. B-7:	Der Verlauf des Preismultiplikators	105
Abb. B-8:	Die Absatzentwicklung der einzelnen Unternehmen und der gesamten Produktklassen.....	112
Abb. B-9:	Innovatoren-, Imitatorenkäufer und abgesetzte Menge der 2. Produktart.....	112
Abb. B-10:	Die Entwicklung der Adoptoren und potentiellen Käufer	113
Abb. B-11:	Verspäteter Markteintritt 2. Produktgeneration: Entwicklung des Absatzes.....	114
Abb. B-12:	Verspäteter Markteintritt 2. Produktgeneration: Entwicklung der Innovatoren- und Imitatorenkäufe.....	114
Abb. B-13:	Verspäteter Markteintritt 2. Produktgeneration: Entwicklung der Adoptoren und der potentiellen Käufer	115
Abb. B-14:	Verspäteter Markteintritt 2. Produktgeneration: Auswirkungen auf die Entwicklung des Marktanteils des Pionierunternehmens	116
Abb. B-15:	Verspäteter Markteintritt 2. Produktgeneration: Auswirkungen des gewichteten Adoptorenanteils auf den Absatz	117
Abb. B-16:	Verspäteter Markteintritt 2. Produktgeneration: Auswirkungen des gewichteten Adoptorenanteils auf die Adoptoren	118
Abb. B-17:	Verspäteter Markteintritt 2. Produktgeneration: Auswirkungen des gewichteten Adoptorenanteils auf den Marktanteil.....	118
Abb. B-18:	Technologische Entwicklungspfade von Propeller- und Jetflugzeugen.....	122

Abb. B-19:	Objektanalogie zwischen biologischen und technischem Bereich...	124
Abb. B-20:	Formale Struktur der technologischen Wissenssysteme.....	126
Abb. B-21:	Grundstruktur des Evolutionsprozesses.....	128
Abb. B-22:	Der Übergang zwischen Technologiegenerationen	130
Abb. B-23:	Das Verhalten des Evolutionsalgorithmus: Technologischer Stand.....	131
Abb. B-24:	Das Verhalten des Evolutionsalgorithmus: Inventionsrate und technologisches Potential	131
Abb. B-25:	Der Sektor des F&E-Controlling: Schnittstellen zum Evolu- tionsalgorithmus	133
Abb. B-26:	Die Schnittstellenvariablen der Module	134
Abb. B-27:	Der Verlauf der Prozeßintensität in Abhängigkeit vom F&E- Budgetanteil	136
Abb. B-28:	Der Sektor des F&E-Controlling: F&E-Planung und -Allokation ..	143
Abb. B-29:	Der Verlauf der geplanten F&E-Budget-Modifikation.....	146
Abb. B-30:	Der Kosten- und Leistungssektor: Kostenermittlung	155
Abb. B-31:	Die dynamische Kostenfunktion	156
Abb. B-32:	Die Konsequenzen des Erfahrungs- bzw. Technologietransfers.....	157
Abb. B-33:	Der Kosten- und Leistungssektor: Preisermittlung.....	163
Abb. B-34:	Die Ableitung des Differenzenquotienten	167
Abb. B-35:	Der Verlauf des Preiszuschlagsmodifikators.....	169
Abb. B-36:	Die Modifikation des Gewinnzuschlagssatzes in Abhängigkeit der Renditezielerreichung.....	170
Abb. B-37:	Der Kosten- und Leistungssektor: Gewinnermittlung	172
Abb. B-38:	Der Sektor der Innovationsplanung und -steuerung – Kapazi- tätsplanung und -veränderung	174
Abb. B-39:	Der Sektor der Innovationsplanung und -steuerung – Unter- nehmensspezifische Kennzahlen	178
Abb. B-40:	Der Sektor der Innovationsplanung und -steuerung – Markt- kennzahlen und Markteintrittsplanung	182
Abb. C-1:	Basislauf: Absatz- und Umsatzentwicklung von Unternehmen 1....	192

Abb. C-2:	Basislauf: Die Entwicklung des Periodengewinns der Produktarten.....	193
Abb. C-3:	Basislauf: Die kumulierten Gewinne der Produktarten und der Unternehmen	194
Abb. C-4:	Basislauf: Die Lebenszyklen der Produktarten und die Entwicklung der Marktsättigung	195
Abb. C-5:	Basislauf: Die Preisentwicklung der Produkte	195
Abb. C-6:	Basislauf: Die Entwicklung von F&E-Budget und F&E-Personalbestand	197
Abb. C-7:	Basislauf: F&E-Projekt-Budget der 3. Produktgeneration	198
Abb. C-8:	Basislauf: Die Entwicklung der Input-Parameter des F&E-Prozesses	199
Abb. C-9:	Basislauf: Der technologische Stand der einzelnen Technologiegenerationen	200
Abb. C-10:	Basislauf: Das technologische Potential und die Inventionsrate	201
Abb. C-11:	Markteintrittszeitpunkt: Entwicklung des Absatzes und Umsatzes von Unternehmen 1 und 3	204
Abb. C-12:	Markteintrittszeitpunkt: Die Entwicklung des Marktanteils der Wettbewerber	205
Abb. C-13:	Markteintrittszeitpunkt: Der kumulierte Gewinn der Unternehmen	206
Abb. C-14:	Markteintrittszeitpunkt: Der technische Stand der Produkte	207
Abb. C-15:	Markteintrittszeitpunkt: Die Wettbewerbsmultiplikatoren	207
Abb. C-16:	Markteintrittszeitpunkt: Kumulierter Gewinn der Folger in Abhängigkeit vom Markteintrittszeitpunkt	208
Abb. C-17:	Preisstrategien: Absatz- und Umsatzentwicklung	211
Abb. C-18:	Preisstrategien: Der kumulierte Gewinn der Unternehmen	212
Abb. C-19:	Preisstrategien: Der technische Stand der Produkte des 1. und 3. Unternehmens.....	213
Abb. C-20:	Preisstrategien: Der Verlauf des Preises bei alternativen Preisstrategien für das zweite Produkt von Unternehmen 3 und 1 ..	214
Abb. C-21:	Preisstrategien: Der Verlauf des Absatzes bei alternativen Preisstrategien für das zweite Produkt von Unternehmen 3 und 1 ..	215

Abb. C-22:	Preisstrategien: Der Verlauf des Umsatzes bei alternativen Preisstrategien von Unternehmen 3	215
Abb. C-23:	Preisstrategien: Der kumulierte Gewinn bei alternativen Preisstrategien von Unternehmen 3	216
Abb. C-24:	Preisstrategien: Die Marktstellung bei alternativen Preis- strategien von Unternehmen 3	217
Abb. C-25:	Preisstrategien: Kumulierter Gewinn der Wettbewerber bei Penetrationspreisstrategie des Pioniers	218
Abb. C-26:	Preisstrategien: Umsatzentwicklung der Wettbewerber bei Penetrationspreisstrategie des Pioniers	219
Abb. C-27:	F&E-Strategien: Absatz- und Umsatzentwicklung bei höherem F&E-Prozeßumfang	221
Abb. C-28:	F&E-Strategien: Das F&E-Budget und der kumulierte Gewinn der Unternehmen bei höherem F&E-Prozeßumfang	222
Abb. C-29:	F&E-Strategien: Absatz- und Umsatzentwicklung bei Gap- Orientierung	224
Abb. C-30:	F&E-Strategien: Entwicklung der F&E-Budgets und des kumulierten Gewinns bei gap-orientierter Budgetierung	225
Abb. C-31:	F&E-Strategien: Die Entwicklung des technischen Standes der Wettbewerber 2 und 3 bei gap-orientierter Budgetierung	226
Abb. C-32:	Strategievergleich: Die Umsatzentwicklung von Unternehmen 3 ...	227
Abb. C-33:	Strategievergleich: Die Entwicklung des kumulierten Gewinns von Unternehmen 3	228

Tabellenverzeichnis

Tabelle B-1:	Klassifikation unterschiedlicher Diffusionsmodelle.....	84
Tabelle C-1:	Parameteränderungen SDUPW und SDOPW.....	203
Tabelle C-2:	Parameteränderungen PSSKIM und PSPENE.....	210
Tabelle C-3:	F&E-Strategie: Parameteränderungen SDUPW und SDOPW	220
Tabelle C-4:	F&E-Strategie: Parameteränderungen BDGTANT und FINTNOR	220
Tabelle C-5:	Gap-Orientierung: Parameteränderungen FUESTRA	223

A. Bezugsrahmen für ein Modell zur Unterstützung des Innovationsmanagements

I. Phasen des Innovationsprozesses

Innovationen stellen wirtschaftliche Neuerungen von Produkten und Produktionsprozessen dar. Die Entstehung und Verbreitung dieser Innovationen sind das Ergebnis eines Prozesses, der wegen seiner Vielschichtigkeit und Komplexität für den Entscheidungsträger nur schwer zu durchschauen ist. Das Innovationsphänomen gehört zu der Klasse komplexer, schlecht-definierter und schlecht-strukturierter Probleme¹.

Um die Analyse der Zusammenhänge bei der Entstehung innovativer Produkte zu erleichtern, bedient sich die Wissenschaft vereinfachender, idealtypischer Ablaufschemata, mit deren Hilfe der gesamte Prozeß in sequentielle Teilprozesse zerlegt wird. Das Standardmodell geht auf Schumpeter zurück² und unterscheidet die drei Phasen des Innovationsprozesses; Invention, Innovation und Diffusion bzw. Imitation, wobei die einzelnen Phasen selbst einen Prozeßcharakter aufweisen.

Am Anfang des Innovationsprozesses steht die Inventionsphase. Die Invention ist, von spontanen Einfällen abgesehen, das Ergebnis von Forschungs- und Entwicklungs-Aktivitäten³ und kann als Erfindung oder als Entdeckung bisher unbekannter Problemlösungen umschrieben werden. Sie erweitert durch neue naturwissenschaftliche Erkenntnisse den Bestand an verfügbarem technologischem Wissen und erzeugt somit den technologischen Fortschritt.

Durch die Innovation gelangt die Invention in Form neuer Produkte und Verfahren erstmals zur wirtschaftlichen Anwendung. Der Innovation folgt die

¹ Vgl. *Rainer Marr*: Innovation, in: Erwin Grochla (Hrsg.): Handwörterbuch der Organisation, 2. Aufl., Stuttgart 1980, Sp 952.

² Vgl. *Joseph A. Schumpeter*: Business Cycles, New York London 1939, insbesondere Kap. III Abschnitt A, S. 84 ff. und Abschnitt B, S. 87-102. Einen Überblick über weitere innovationsspezifische Phasenmodelle geben *Norbert Thom*: Grundlagen des betrieblichen Innovationsmanagements, 2. Auflage, Königstein 1980, S. 46 ff. und *Peter Brose*: Planung, Bewertung und Kontrolle technologischer Innovationen, Berlin 1982, S. 39-52.

³ Im folgenden wird Forschung und Entwicklung als "F&E" abgekürzt.

sogenannte Imitation bzw. Diffusion, die alle zur Verbreitung der neuen Produkte am Markt führen. In deren Verlauf wird der potentielle technische Fortschritt zu realisiertem technischen Fortschritt; je höher die Verbreitung desto höher ist auch der Realisierungsgrad. Abbildung A-1 verdeutlicht diesen Prozeß.

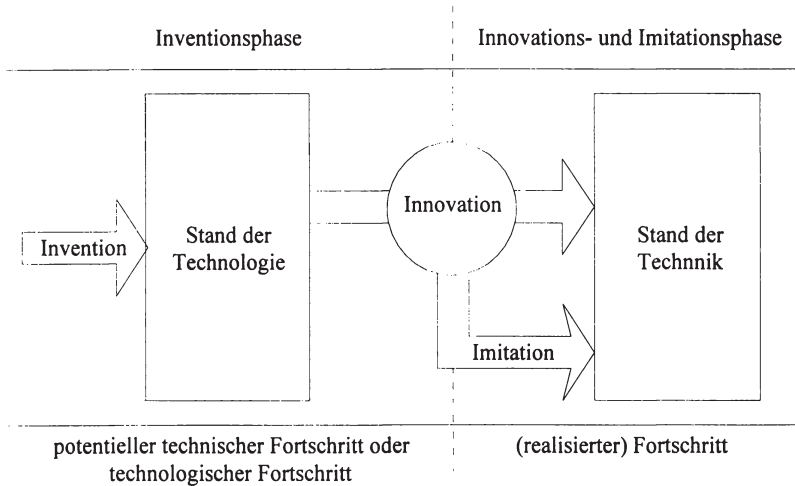


Abb. A-1: Der Innovationsprozeß⁴

Die Verbreitung der Innovation erfolgt auf unterschiedliche Art und Weise. In der Literatur wird hauptsächlich die Verbreitung von Produktinnovationen bei den Abnehmern betrachtet. Der Diffusionsprozeß kann in diesem Sinne auch als Absatzprozeß bezeichnet werden. Hierbei diffundiert das technologische Wissen durch die Einbindung in das Produkt.

Demgegenüber ist die Diffusion von Innovationen zwischen einzelnen Wettbewerbern abzugrenzen. Diese Form der Verbreitung führt zu einer Übernahme der neuen technologischen Problemlösungen durch Konkurrenten. In diesem Fall diffundiert das technologische Wissen ohne Bindung an Realgüter⁵. Es findet zuerst ein Wissenstransfer auf der immateriellen Ebene zwischen den

⁴ In Anlehnung an *Peter Milling*: Der technische Fortschritt beim Produktionsprozeß, Wiesbaden 1974, S. 27.

⁵ Vgl. hierzu *C. Freeman*: Economics of Research and Development, in: Ina Spiegel-Rösing und Derek de Solla Price (Hrsg.): Science, Technology and Society - A Cross-Disciplinary Perspective, London 1977, S. 225f. und S. 231f.

Unternehmen statt. Durch die Verwertung des diffundierten technologischen Wissens kommt es dann zur Nachahmung der technologischer Problemlösung durch andere Unternehmen. Diese Form der Verbreitung wird auch als Imitation bezeichnet⁶. Beide Formen sind strikt zu unterscheiden und werden in dem zu entwickelnden Modell eines Entscheidungs-Unterstützungs-Systems (EUS) auch unterschiedlich abgebildet.

Das Phasenmodell des Innovationsprozesses geht von der Vorstellung aus, daß sich der gesamte Innovationsprozeß aus einer Reihe zeitlich aufeinanderfolgender Ereignisse zusammensetzt. Die abgeschlossene Invention ist Voraussetzung für die Innovation, die wiederum die Grundlage für die Diffusion bildet. Ein solches Modell des Innovationsprozesses mit festgelegter, streng sequentieller Reihenfolge kann auch als lineares Modell bezeichnet werden⁷.

Ein wesentlicher Einwand gegen dieses wie auch gegen andere Phasenmodelle besteht in der Schwierigkeit, die einzelnen Phasen gegeneinander abzugrenzen⁸. Phasenmodelle beschreiben den zeitlichen Ablauf anhand von Aktivitäten und Ereignissen⁹. Da sich aber Aktivitäten mit unterschiedlichen Intensitäten über den gesamten Innovationsprozeß erstrecken können, werden die Grenzen zwischen den einzelnen Phasen unscharf; die Annahme einer eindeutigen sequentiellen Reihenfolge muß revidiert werden. Wenn Aktivitäten, die einzelnen Phasen zugeordnet werden, sich in der Realität über den gesamten Innovationsprozeß erstrecken, besteht die Möglichkeit simultaner Phasenverläufe mit iterativen Rückkopplungsbeziehungen zwischen den einzelnen Phasen.

Dieses Problem zeigt sich insbesondere bei der Abgrenzung der Inventionsphase. In der Literatur wird der Inventionsphase die Aktivität Forschung und Entwicklung (F&E) zugeordnet, welche schließlich zu dem Ergebnis der Invention führt. Eine Unterteilung des Begriffs F&E gemäß des üblichen Klassifikationsschemas in Grundlagenforschung, angewandte Forschung und experimentelle Entwicklung, zeigt deutlich das weite Spektrum der F&E-Aktivitä-

⁶ Vgl. *Peter Engelke*: Integration von Forschung und Entwicklung in die unternehmerische Planung und Steuerung, Heidelberg 1991, S. 27.

⁷ Vgl. *J. Langrish; M. Gibbons; G. Evans; F. R. Jevons*: Wealth from Knowledge, A Study of Innovation in Industry, London 1972, S. 72.

⁸ Vgl. *Norbert Thom*: Grundlagen des betrieblichen Innovationsmanagements, S. 45.

⁹ Vgl. *Klaus Brockhoff*: Forschung und Entwicklung - Planung und Kontrolle, 4., ergänzte Auflage, München - Wien 1994, S. 30.