



universität
wien

MAGISTERARBEIT

Titel der Magisterarbeit

„Projektauswahl in der Forschungsförderung auf Basis
unscharfer Mengen“

Verfasser

Bakk. rer. soc. oec. Mario Enzenberger

angestrebter akademischer Grad

Magister der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften

(Mag. rer. soc. oec.)

Wien, 2010

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 066 915

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Magisterstudium Betriebswirtschaft

Betreuer:

O.Univ.-Prof. Dr. Kurt Heidenberger

Für meine Eltern

A Inhaltsverzeichnis

A	Inhaltsverzeichnis.....	I
B	Tabellenverzeichnis.....	III
C	Abbildungsverzeichnis.....	III
D	Abkürzungsverzeichnis.....	IV
1.	Einführung.....	1
2	Unschärfe quantitative Ansätze der betrieblichen F&E-Projektauswahl.....	3
2.1	Einführung in die Theorie der unscharfen Mengen.....	6
2.1.1	Unschärfe Mengen.....	7
2.1.2	Unschärfe Zahlen.....	12
2.2	Unschärfe Methoden der Nutzenermittlung.....	16
2.2.1	Unschärfes Multiple Attribute Decision Making.....	17
2.2.2	Unschärfe traditionelle ökonomische Modelle.....	25
2.3	Unschärfe Modelle der mathematischen Programmierung.....	27
2.4	Unschärfe Simulationsmodelle und Heuristiken.....	36
2.5	Unschärfe Ansätze der kognitiven Emulation.....	37
3	Rahmenbedingungen der F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung am Beispiel des sechsten FRP der EU.....	39
3.1	Akteure der F&E-Projektauswahl.....	41
3.2	Instrumente zur Durchführung der F&E-Projektvorschläge.....	44
3.3	Kriterien der F&E-Projektauswahl.....	48
3.4	Prozess der F&E-Projektauswahl.....	53
4	Unschärfe Ansätze der F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung.....	60
4.1	F&E-Projektauswahl auf Basis unscharfer Mengen in der National Natural Science Foundation of China (NSFC).....	61
4.1.1	Auswahl der unabhängigen Experten.....	66
4.1.2	F&E-Projektevaluierung.....	70
4.1.3	Numerische Beispiele.....	78
4.1.4	Implementierung der Modelle.....	83
4.2	F&E-Projektauswahl auf Basis unscharfer Mengen in der Forschungsförderung in Taiwan	84

4.2.1	F&E-Projektauswahl durch unscharfes Scoring.....	85
4.2.2	F&E-Projektauswahl durch einen unscharfen AHP	88
5	Conclusio.....	93
E	Literaturverzeichnis.....	95
F	Anhang	103

B Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Skala für den paarweisen Vergleich der Attribute des unscharfen AHP [Quelle: Tolga und Kahraman (2008)]	19
Tabelle 2: Förderinstrumente im sechsten FRP der EU [eigene Darstellung in Anlehnung an Europäisches Parlament/Rat (2002)].....	44
Tabelle 3: Kriterien der F&E-Projektauswahl [eigene Darstellung in Anlehnung an Sombrowski (2005, S.177ff) und Martino (1995, S.91)]	49
Tabelle 4: Übersicht über die Anzahl eingereicherter F&E-Projektvorschläge und deren Erfolgsquote in der NSFC und im 6. FRP der EU [eigene Darstellung in Anlehnung an Rietschel (2009) und NSFC (2008)].....	63
Tabelle 5: Entscheidungen im Rahmen der F&E-Projektauswahl der NSFC [eigene Darstellung in Anlehnung an Tian et al. (2002)]	64
Tabelle 6: Prozess der F&E-Projektauswahl.....	65
Tabelle 7: Kennzahlen der Bewertung der unabhängigen Experten [eigene Darstellung in Anlehnung an Sun et al. (2008)].....	67
Tabelle 8: Siebenstufige Skala zur Bewertung der Eignung unabhängiger Experten für die Bewertung eines bestimmten F&E-Projektvorschlags [Quelle: Sun et al. (2008)]	68
Tabelle 9: Linguistische Bewertungsformen der unabhängigen Experten [Quelle: Zhou et al. (2001)]74	
Tabelle 10: Beispiel: Bewertung durch die unabhängigen Experten	80

C Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Quantitative Ansätze der F&E-Projektauswahl [eigene Darstellung in Anlehnung an Heidenberger und Stummer (1999)]	5
Abbildung 2: Unscharfe quantitative Ansätze der F&E-Projektauswahl.....	6
Abbildung 3: Einordnung von T-Norm und T-Conorm [eigene Darstellung in Anlehnung an Zimmermann (1996), S.38].....	10
Abbildung 4: Dreieckförmige unscharfe Zahl.....	13
Abbildung 5: Trapezförmige unscharfe Zahl	13
Abbildung 6: α -Schnitt einer unscharfen Zahl	15
Abbildung 7: Darstellung des Prozesses der Vorschlagbewertungs- und Auswahlverfahren als Flussdiagramm [eigene Darstellung in Anlehnung an Europäische Kommission (2004a)]	54
Abbildung 8: Organisationsstruktur des NSFC [Quelle: www.nsf.gov.cn am 6.10.2009].....	62
Abbildung 9: Zugehörigkeitsfunktionen der Noten zur Bewertung der F&E-Projektvorschläge.....	72

D Abkürzungsverzeichnis

AHP = Analytic Hierarchy Process

ANP = Analytic Network Process

BNP = Best Nonfuzzy Performance

bzw. = beziehungsweise

DoIT = Department of Industrial Technology

EU = Europäische Union

F&E = Forschung und Entwicklung

FRP = Forschungsrahmenprogramm

FWA = Fuzzy Weighted Average

GDSS = Group Decision Support Systems

ISIS = Internet-based Information System

ITDP = Industrial Technology Development
Program

IUI = Improvement Urgency Index

KMU = Klein- und Mittelunternehmen

MADM = Multiple Attribute Decision Making

MCDM = Multiple Criteria Decision Making

MODM = Multiple Objective Decision
Making

MoEA = Ministry of Economic Affairs

NSFC = National Natural Science Foundation
of China

NTD = Neue Taiwan Dollar

ROI = Return on Investment

TDP = Technology Development Program

z.B. = zum Beispiel

1. Einführung

Die Begriffe Innovation und Forschung und Entwicklung (F&E) sind in der heutigen Zeit nicht mehr aus der Wirtschaft wegzudenken. Schon Berry und Taggart (1994) wiesen darauf hin, dass immer kürzer werdende Produktlebenszyklen, die Globalisierung der Märkte und der dadurch immer stärker werdende Konkurrenzdruck zu einer steigenden Bedeutung eines effizienten Innovations- und Technologiemanagements für Unternehmen führen. F&E-Projekte dienen Unternehmen dazu, Innovationen und damit einen Wettbewerbsvorteil gegenüber Konkurrenten zu schaffen. Da Unternehmen nur über ein begrenztes Budget verfügen aber meist mehrere F&E-Projekte zur Durchführung bereit stehen, ist es eine große Herausforderung für Unternehmen, eine möglichst gute F&E-Projektauswahl zu treffen, um eine effiziente Verwendung der knappen Unternehmensressourcen zu gewährleisten. Die Durchführung von F&E-Projekten ist jedoch nicht nur aus der Sicht von Unternehmen wichtig, sondern es gibt unter bestimmten Umständen auch ein politisches Interesse und wird daher im Rahmen der Forschungsförderung gefördert. Auf der Homepage des österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (2009) ist diesbezüglich zu lesen:

„Öffentlich finanzierte Forschung oder staatliche Eingriffe in Innovationssysteme sind dann gerechtfertigt, wenn Momente des Markt- oder Systemversagens vorliegen – wenn wissenschaftliche Potenziale nicht genutzt, Risiken unterbewertet werden oder in für eine nachhaltige gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung essenzielle Forschungsbereiche zu wenig investiert wird.“

Die Forschungsförderung in der Europäischen Union (EU) erfolgt durch die Forschungsrahmenprogramme (FRP) der Europäischen Kommission. So wie bei der betrieblichen F&E-Projektauswahl aufgrund knapper Ressourcen nicht die Durchführung aller F&E-Projektvorschläge möglich ist, ist auch im Rahmen der Forschungsförderung aufgrund knapper Fördermittel nicht die Förderung aller F&E-Projektvorschläge möglich. Im Rahmen dieser Arbeit wird daher die F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung auf Basis

unscharfer Mengen durchleuchtet, da die Theorie der unscharfen Mengen als geeignetes Instrument angesehen wird, um die Unsicherheit, die mit der F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung einhergeht, darzustellen. In Abschnitt 2 erfolgt zunächst eine Einführung in die Theorie der unscharfen Mengen und anschließend werden unscharfe quantitative Ansätze der betrieblichen F&E-Projektauswahl vorgestellt. Abschnitt 3 befasst sich mit den Rahmenbedingungen der F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung am Beispiel des sechsten FRP der EU und zeigt somit die Unterschiede zur betrieblichen F&E-Projektauswahl auf. In Abschnitt 4 werden schließlich die unscharfen Ansätze der F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung vorgestellt. In Abschnitt 5 erfolgt eine abschließende Diskussion der gewonnenen Erkenntnisse.

2 Unscharfe quantitative Ansätze der betrieblichen F&E-Projektauswahl

In diesem Abschnitt werden die unscharfen Ansätze der betrieblichen F&E-Projektauswahl basierend auf der Theorie der unscharfen Mengen behandelt. Davon abzugrenzen ist die F&E-Projektauswahl im Rahmen der Forschungsförderung (vgl. Abschnitt 4), für die spezielle Rahmenbedingungen gelten (vgl. Abschnitt 3).

Für Unternehmen dient die Durchführung von F&E-Projekten dazu, einen Wettbewerbsvorteil gegenüber der Konkurrenz zu erreichen oder den Wettbewerbsvorteil eines Konkurrenten zu verkleinern (Carlsson et al. 2007). Dafür stehen meistens mehrere F&E-Projekte zur Verfügung. Martino (1995, S.1) sieht es als zentrales Problem von F&E-Managern an, dass in der Regel mehr potentielle F&E-Projekte zur Verfügung stehen, als finanzielle Mittel für deren Durchführung vorhanden sind. Daher ist es wichtig, jene F&E-Projekte auszuwählen, die für die Zielerreichung des Unternehmens optimal sind. Eine schlechte F&E-Projektauswahl hat nach Martino (1995, S.1) finanzielle Konsequenzen in zweierlei Hinsicht. Zum einen droht der Verlust von Investitionskapital, wenn in ein erfolgloses F&E-Projekt investiert wird und zum anderen stellt jede Investition in ein F&E-Projekt gleichzeitig Opportunitätskosten dar, da dieses Investitionskapital anderweitig investiert werden hätte können. Der Entscheidungsprozess in der F&E-Projektauswahl wirkt sich auch auf andere Entscheidungen innerhalb eines Unternehmens aus, nämlich die Ressourcenallokation, die Bestimmung der Strategie des Unternehmens und die Erstellung des Produktmix (Weber et al. 1990). Für große, forschungsaktive Unternehmen ist die F&E-Projektauswahl daher eine zentrale Aufgabe des taktischen Innovations- und Technologiemanagements (Brockhoff 1999, S.327ff).

Die F&E-Projektauswahl ist ein komplexer mehrstufiger Prozess, der dadurch gekennzeichnet ist, dass die erforderlichen Ressourcen zur Durchführung aller F&E-Projekte regelmäßig die zur Verfügung stehenden F&E-Budgets übersteigen. Außerdem sind Interdependenzen zwischen den F&E-Projekten zu beachten. Diese Interdependenzen können technischer Natur, ressourcenbedingt oder Synergien sein, die den Gewinn erhöhen. (Weber et al. 1990, Mohanty et al. 2005)

Doch nicht nur die F&E-Projekte sind interdependent, sondern auch die Kriterien zu deren Auswahl (Yi et al. 2008). Es kann zwischen qualitativen und quantitativen Kriterien unterschieden werden. Während finanzielle Kriterien (z.B. „Return on Investment“ (ROI)),

Kriterien aus dem Marketing (z.B. Marktanteile) und personelle Kriterien (z.B. erforderliche Anzahl an Facharbeitern) leicht quantifizierbar sind, sind die qualitativen Kriterien, wie wissenschaftliches Potential, neue technologische Möglichkeiten, Einblicke in neue Forschungsbereiche und der Anschluss zur technologischen Wissensführerschaft, nicht ohne weiteres quantifizierbar (Weber et al. 1990).

F&E-Projekte sind schwer zu bewerten, da die für deren ex-ante Bewertung benötigte Information aufgrund des innovativen Charakters von F&E-Projekten und der damit verbundenen Einzigartigkeit des Auswahlprozesses in der Regel nicht vorhanden ist. Es fehlen meist konkrete Annahmen über zukünftig zu erwartende Cash-Flows und es ist nur wenig beziehungsweise (bzw.) ungenaues Wissen bezüglich der zu erwartenden Projektrentabilität vorhanden. Im Allgemeinen herrscht große Unsicherheit in Bezug auf Entwicklung, Markt und Produktion (Carlsson et al. 2007).

Da mit steigender Anzahl der potentiell durchführbaren F&E-Projekte auch der kognitive Aufwand für die Entscheidungsträger im Rahmen der F&E-Projektauswahl steigt und ab einer gewissen Anzahl nicht mehr handhabbar ist, wurden in den vergangenen Jahrzehnten zahlreiche Ansätze entwickelt, die die Entscheidungsträger bei ihren Entscheidungen unterstützen sollen. Heidenberger und Stummer (1999) bieten eine Taxonomie der quantitativen Ansätze der F&E-Projektauswahl. Dabei identifizieren sie sechs Klassen von Ansätzen (vgl. Abbildung 1), nämlich (i) Methoden der Nutzenermittlung, (ii) Modelle der mathematischen Programmierung, (iii) Ansätze der Entscheidungs- und Spieltheorie, (iv) Simulationsmodelle, (v) Heuristiken und (vi) Ansätze der kognitiven Emulation.

Wie in Abbildung 1 zu sehen, zählt zu den Modellen der mathematischen Programmierung auch die unscharfe mathematische Programmierung. Die unscharfe mathematische Programmierung ist jedoch nicht die einzige Disziplin, die zu Zwecken der F&E-Projektauswahl mit der Theorie der unscharfen Mengen erweitert wurde. Eine umfassende Literaturrecherche im Untersuchungszeitraum 1990-2008 hat ergeben, dass neben Ansätzen der kognitiven Emulation (Machacha und Bhattacharya 2000, Riddel und Wallace 2007) sowie Simulationen und Heuristiken (Yi et al. 2008 und Danmei et al. 2008) vor allem Methoden der Nutzenermittlung (Coffin und Taylor 1996, Carlsson et al. 2001, Bialis et al. 2002, Ramadan 2004, Enea und Piazza 2004, Mohanty et al. 2005, Karsak 2006, Carlsson et al. 2007, Wang und Hwang 2007, Yi et al. 2008 und Tolga und Kahraman 2008) mit der Theorie der unscharfen Mengen erweitert wurden. In den Forschungsfeldern der Entscheidungs- und Spieltheorie gab es im Untersuchungszeitraum keine Ansätze, die zu

Zwecken der F&E Projektauswahl mit der Theorie der unscharfen Mengen erweitert wurden. Ein Blick auf andere Wissenschaftsdisziplinen (Aubin 1981, Yuan und Shaw 1995) zeigt jedoch, dass das nicht an einer methodischen Inkompatibilität liegt.

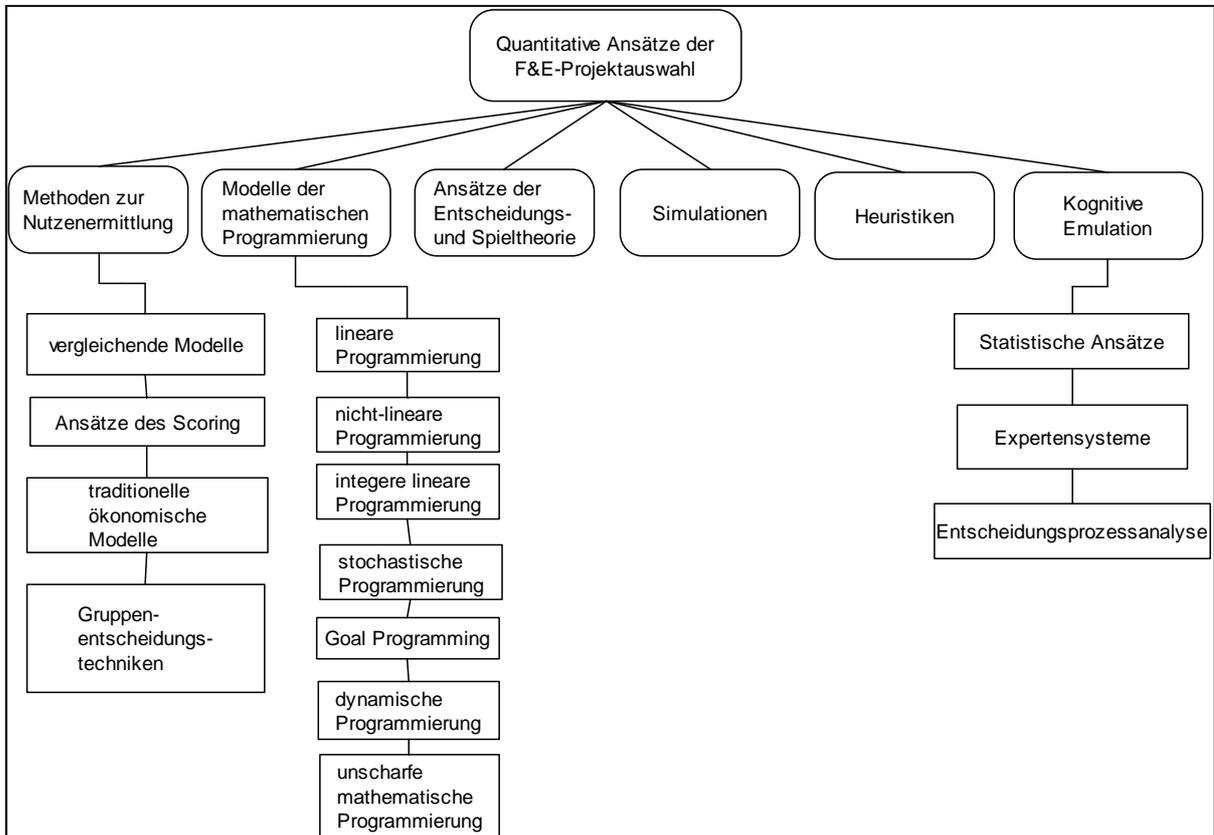


Abbildung 1: Quantitative Ansätze der F&E-Projektauswahl [eigene Darstellung in Anlehnung an Heidenberger und Stummer (1999)]

In Abschnitt 2.1 erfolgt zunächst ein Überblick über die wesentlichen Konzepte der Theorie der unscharfen Mengen. Die Organisation der folgenden Abschnitte basiert auf der oben erwähnten Taxonomie von Heidenberger und Stummer (1999) und ist in Abbildung 2 dargestellt. In den Abschnitten 2.2, 2.3, 2.4 und 2.5 werden die verschiedenen unscharfen quantitativen Ansätze vorgestellt, um einen tieferen Einblick in die Anwendungsgebiete der Theorie der unscharfen Mengen zu Zwecken der F&E-Projektauswahl zu ermöglichen.

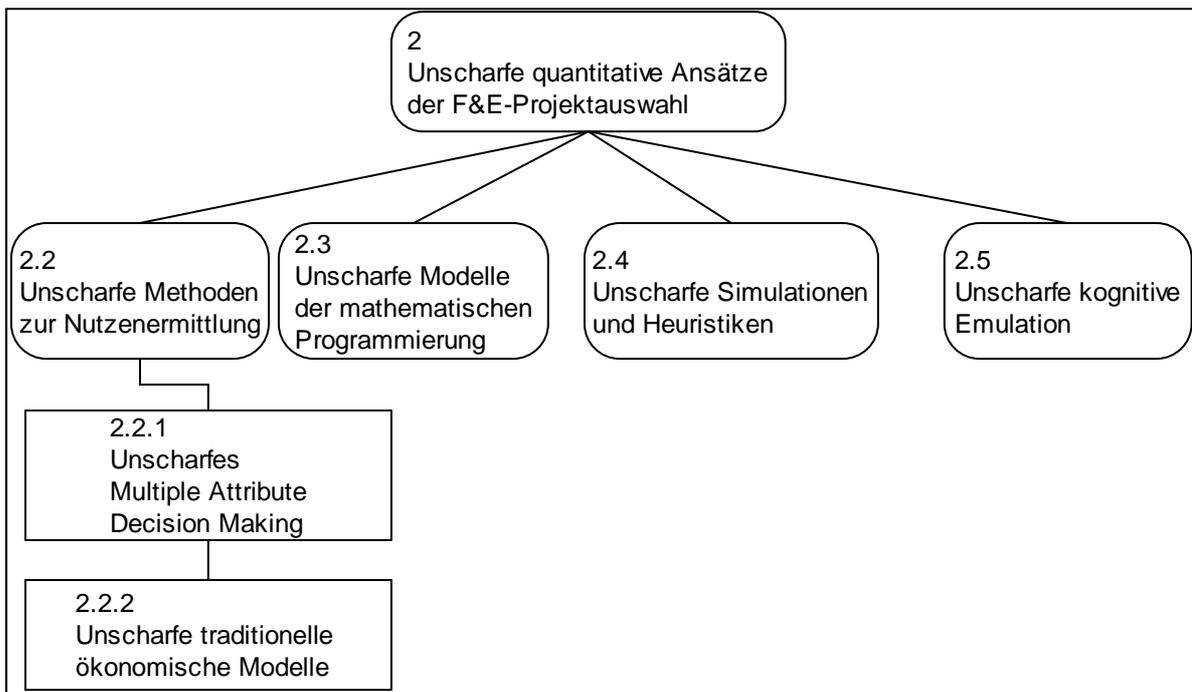


Abbildung 2: Unschärfe quantitative Ansätze der F&E-Projektauswahl

2.1 Einführung in die Theorie der unscharfen Mengen

Die Theorie der unscharfen Mengen ist eine mathematische Disziplin, die von Zadeh (1965) begründet wurde und der seither viel Aufmerksamkeit zuteil wurde. Zimmermann (1996, S.1) sieht die Theorie der unscharfen Mengen als Gegenstück zur dualen Logik. Bei der dualen Logik gibt es ausschließlich eindeutige Zugehörigkeiten in dem Sinn, dass ein Element einer Menge entweder zuzuordnen ist oder nicht. In der Praxis bedeutet das, dass eine Aussage bezüglich eines Zustandes entweder wahr oder falsch ist. Es gibt also keinen Spielraum zwischen wahr und falsch, der die Beurteilung eines nicht eindeutig klassifizierbaren Zustandes ermöglicht. Lootsma (1997, S.5f) spricht sogar von einer beinahe ideologischen Debatte zwischen der Wahrscheinlichkeitstheorie und der Theorie der unscharfen Mengen und hält fest, dass „... *probability theory never challenged the traditional bi-valent logic. It has its roots in gambling, where the rules and the outcomes are unambiguous, and it is still valid under these casino conditions only*“. Darum ist die Wahrscheinlichkeitstheorie auch nicht in der Lage, Paradoxa, wie das Sandhaufen-Paradoxon von Zenon, welches auch als Sorites-Paradoxon bekannt ist, zu lösen. Das dem Paradoxon zugrundeliegende Problem ist, ab wann eine Menge aus Sandkörnern als Sandhaufen einzustufen ist. Es ist unumstritten, dass ein einzelnes Sandkorn noch keinen Sandhaufen darstellt. Daran wird wohl auch das

Hinzufügen eines weiteren Sandkorns nichts ändern. Die Frage ist, ab welcher Anzahl an Sandkörnern die Menge der Sandkörner als Sandhaufen zu klassifizieren ist. Mittels der dualen Logik ist dieses Paradoxon nicht aufzulösen, da es keine klare Grenze gibt, ab der eine Menge an Sandkörnern ein Sandhaufen ist und unterhalb derer (also minus ein Sandkorn) sie kein Sandhaufen mehr ist. Zur Auflösung dieses Paradoxons kann die Theorie der unscharfen Mengen herangezogen werden. Diese macht es möglich, dass ein Element (eine bestimmte Anzahl an Sandkörnern) zu einem gewissen Grad sowohl der einen Menge („Sandhaufen“) als auch der anderen Menge („kein Sandhaufen“) zugeordnet werden kann. Je geringer die Anzahl der Sandkörner ist, desto geringer ist der Zugehörigkeitsgrad zur Menge „Sandhaufen“ und desto höher ist der Zugehörigkeitsgrad zur Menge „kein Sandhaufen“. Die Theorie der unscharfen Mengen ist daher für jene Bereiche geeignet, in denen vage bzw. unsichere Aussagen getroffen werden müssen, weil aus bestimmten Gründen keine exakte Bewertung des beobachteten Zustandes möglich ist.

In weiterer Folge werden Darstellungsformen und Operationen mit unscharfen Mengen (vgl. Abschnitt 2.1.1) und unscharfen Zahlen (vgl. Abschnitt 2.1.2) erläutert, um ein Verständnis für die Theorie der unscharfen Mengen aufzubauen.

2.1.1 Unscharfe Mengen

Zimmermann (1996, S.11) definiert eine unscharfe Menge \tilde{A} als eine Menge geordneter Paare in X , wobei X aus mehreren Objekten x besteht:

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X\}$$

$\mu_{\tilde{A}}(x)$ wird als Zugehörigkeitsfunktion bezeichnet und beschreibt den Grad der Zugehörigkeit von x in \tilde{A} , der X im Zugehörigkeitsraum M abbildet. Die Zugehörigkeitswerte nehmen Werte zwischen null und eins an, wobei nur jene Elemente dargestellt werden, deren Zugehörigkeitswerte größer als null sind. Bei normalisierten unscharfen Mengen ist das

Supremum der Zugehörigkeitsfunktion $\mu_{\tilde{A}}(x)$ gleich eins. Werden den Objekten x nur die Zugehörigkeitswerte null und eins zugewiesen, dann ist \tilde{A} keine unscharfe Menge, sondern eine „scharfe Menge“ (der Ausdruck „scharfe Menge“ ist als Synonym zum Ausdruck „Menge“ im Sinn der klassischen Mengenlehre zu verstehen und soll im Rahmen dieser Arbeit die Unterscheidung zwischen den Begriffen „Menge“ und „unscharfe Menge“ erleichtern).

Eine unscharfe Menge, deren Elemente reelle Zahlen sind, wird als Typ-1 unscharfe Menge bezeichnet. Sind die Elemente einer unscharfen Mengen wiederum unscharfe Mengen, so bezeichnet man diese Art als Typ-2 unscharfe Mengen. Allgemein wird von Typ-m unscharfen Mengen gesprochen. Jedoch sind bereits mit Typ-3 unscharfen Mengen keine effizienten Operationen mehr möglich. (Zimmermann 1996, S.24)

Wie für scharfe Mengen gibt es auch für unscharfe Mengen grundlegende mengentheoretische Operationen, nämlich den Durchschnitt, die Vereinigung und das Komplement.

Die Zugehörigkeitsfunktion $\mu_{\tilde{C}}(x)$ des Durchschnitts $\tilde{C} = \tilde{A} \cap \tilde{B}$ wird dargestellt durch (Zimmermann 1996, S.16)

$$\mu_{\tilde{C}}(x) = \min\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\}, x \in X$$

und stellt das logische „und“ dar.

Die Zugehörigkeitsfunktion $\mu_{\tilde{D}}(x)$ der Vereinigung $\tilde{D} = \tilde{A} \cup \tilde{B}$ wird dargestellt durch (Zimmermann 1996, S.17)

$$\mu_{\tilde{D}}(x) = \max\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\}, x \in X$$

und stellt das logische „oder“ dar.

Die Zugehörigkeitsfunktion $\mu_{\tilde{A}^-}(x)$ des Komplements der normalisierten unscharfen Menge \tilde{A} wird dargestellt durch (Zimmermann 1996, S.17)

$$\mu_{\tilde{A}^-}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x), x \in X$$

Es kann grundsätzlich zwischen zwei Klassen von mengentheoretischen Operationen unterschieden werden, nämlich den T-Normen und den T-Conormen. Der Durchschnitt gehört zur Klasse der T-Normen und die Vereinigung zu jener der T-Conormen. In Abbildung 3 wird veranschaulicht, welche Bereiche von den T-Normen und welche von den T-Conormen abgedeckt werden. Somit liefert der Min-Operator, der den Durchschnitt zweier unscharfer Mengen darstellt, die größte Schnittmenge zwischen zwei unscharfen Mengen aller T-Normen. Der Max-Operator, der die Vereinigung zwischen zwei unscharfen Mengen darstellt, ergibt die geringste Schnittmenge aller T-Conormen. Die „Averaging Operators“ können hingegen dazu verwendet werden, um Trade-Offs zwischen zwei unscharfen Mengen darzustellen (z.B. konkurrierende Ziele) (Zimmermann 1996, S.29ff). Die Definition ob eine Operation eine T-Norm, T-Conorm oder ein Averaging Operator ist, richtet sich also nach dem Ergebnis, das sie liefert (vgl. Abbildung 3). Welche Operation man zur Aggregation von unscharfen Mengen verwendet, hängt von verschiedenen Kriterien ab. (vgl. Zimmermann 1996, S.38ff)

Neben mengentheoretischen Operationen gibt es auch algebraische Operationen für unscharfe Mengen.

Die Zugehörigkeitsfunktion des kartesischen Produkts unscharfer Mengen $\tilde{A}_1, \dots, \tilde{A}_n$ in $X_1 \times \dots \times X_n$ wird dargestellt durch (Zimmermann 1996, S.28):

$$\mu_{(\tilde{A}_1 \times \dots \times \tilde{A}_n)}(x) = \min_i \{ \mu_{\tilde{A}_i}(x_i) \mid x = (x_1, \dots, x_n), x_i \in X_i \}$$

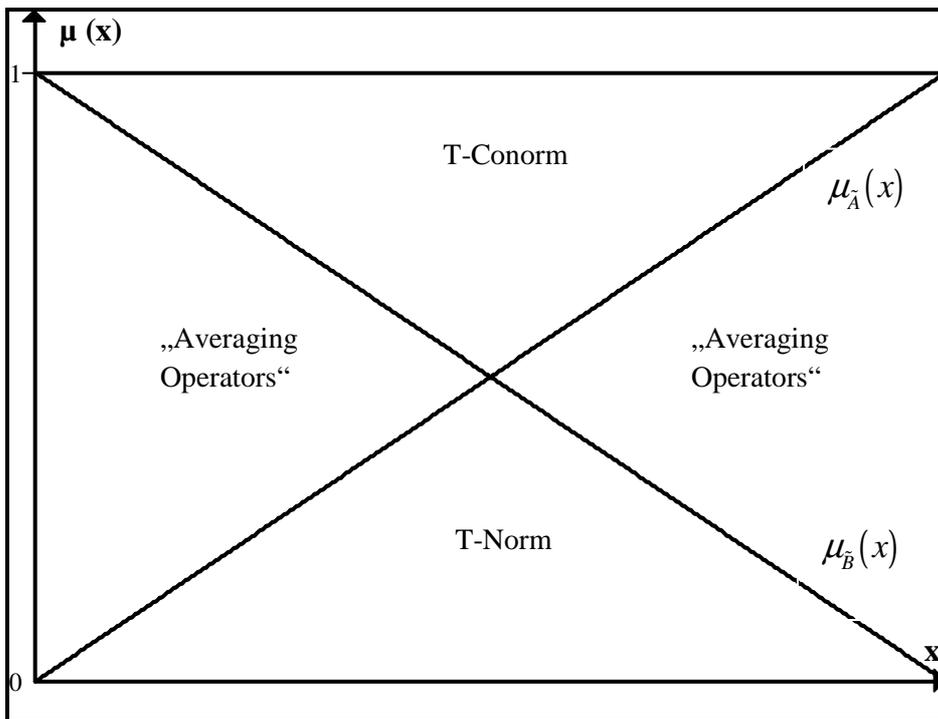


Abbildung 3: Einordnung von T-Norm und T-Conorm [eigene Darstellung in Anlehnung an Zimmermann (1996), S.38]

Die Zugehörigkeitsfunktion der m-ten Potenz der unscharfen Menge \tilde{A} wird dargestellt durch (Zimmermann 1996, S.28):

$$\mu_{\tilde{A}^m}(x) = [\mu_{\tilde{A}}(x)]^m, x \in X$$

Die Zugehörigkeitsfunktion der algebraischen Summe $\tilde{C} = \tilde{A} + \tilde{B}$ wird dargestellt durch (Zimmermann 1996, S.28):

$$\tilde{C} = \{(x, \mu_{\tilde{A}+\tilde{B}}(x)) | x \in X\}$$

wobei

$$\mu_{\tilde{A}+\tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) + \mu_{\tilde{B}}(x) - \mu_{\tilde{A}}(x) \cdot \mu_{\tilde{B}}(x)$$

Die Zugehörigkeitsfunktion der gebundenen Summe $\tilde{C} = \tilde{A} \oplus \tilde{B}$ wird dargestellt durch (Zimmermann 1996, S.28):

$$\tilde{C} = \{(x, \mu_{\tilde{A} \oplus \tilde{B}}(x)) | x \in X\}$$

wobei

$$\mu_{\tilde{A} \oplus \tilde{B}}(x) = \min\{1, \mu_{\tilde{A}}(x) + \mu_{\tilde{B}}(x)\}$$

Die gebundene Differenz Summe $\tilde{C} = \tilde{A} \ominus \tilde{B}$ wird dargestellt durch (Zimmermann 1996, S.28):

$$\tilde{C} = \{(x, \mu_{\tilde{A} \ominus \tilde{B}}(x)) | x \in X\}$$

wobei

$$\mu_{\tilde{A} \ominus \tilde{B}}(x) = \max\{0, \mu_{\tilde{A}}(x) + \mu_{\tilde{B}}(x) - 1\}$$

Das algebraische Produkt zweier unscharfer Mengen $\tilde{C} = \tilde{A} \odot \tilde{B}$ wird dargestellt durch (Zimmermann 1996, S.29):

$$\tilde{C} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x) \cdot \mu_{\tilde{B}}(x)) | x \in X\}$$

Basierend auf dem Extensionsprinzip von Zadeh (1973) und Dubois und Prade (1980, S.36ff) können auch ursprünglich scharfe Operationen auf unscharfe Mengen angewendet werden.

In manchen Anwendungen von unscharfen Mengen ist es notwendig, die unscharfen Mengen in scharfe Mengen umzuformen. Dieser Vorgang wird als Defuzzifizierung bezeichnet. Es gibt unterschiedliche Methoden der Defuzzifizierung, die sich in ihrem Ergebnis unterscheiden. (Zimmermann 1996, S. 212ff).

2.1.2 Unscharfe Zahlen

Zimmermann (1996, S.56) definiert eine unscharfe Zahl \tilde{M} als konvexe normalisierte unscharfe Menge bestehend aus reellen Zahlen, die exakt einen Wert x_0 hat mit $\mu_{\tilde{M}}(x_0)=1$ und deren Zugehörigkeitsfunktion $\mu_{\tilde{M}}(x)$ stückweise stetig ist. Eine unscharfe Zahl ist also ein spezieller Fall einer unscharfen Menge.

Eine vereinfachte Darstellungsform für unscharfe Mengen ist die sogenannte LR-Darstellung. „L“ steht für die linke Referenzfunktion und „R“ für die rechte Referenzfunktion, durch die die Zugehörigkeitsfunktion einer unscharfen Menge dargestellt wird. Die Referenzfunktionen sind dabei lineare Funktionen. Nichtlineare Funktionen sind zwar grundsätzlich auch dafür geeignet, um unscharfe Zahlen bzw. Mengen darzustellen jedoch ist eine LR-Darstellung dann nicht möglich.

Unscharfe Zahlen mit linearer LR-Darstellung werden auch dreieckförmige unscharfe Zahlen genannt (Bandemer und Gottwald 1993, S.67). Es gibt unterschiedliche Notationen für dreieckförmige unscharfe Zahlen. Sowohl $\tilde{M}=(l,m,r)$ als auch $\tilde{M}=(m,\alpha,\beta)$ sind zulässige Notationen. Eine unscharfe Zahl $\tilde{M}=(l,m,r)$ kann durch folgende lineare Funktionen dargestellt werden (vgl. Abbildung 4):

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l} & \text{wenn } x \in [l, m] \\ \frac{r-x}{r-m} & \text{wenn } x \in [m, r] \\ 0 & \text{wenn } x \notin [l, r] \end{cases}$$

Wenn $l = m = r$ bzw. $\alpha = 0$ und $\beta = 0$, dann ist \tilde{M} keine unscharfe Zahl, sondern eine reelle Zahl.

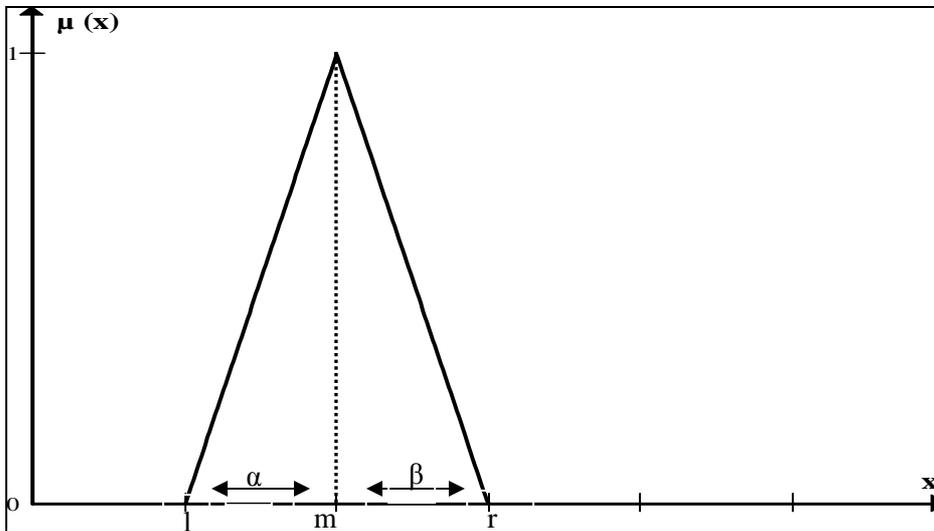


Abbildung 4: Dreieckförmige unscharfe Zahl

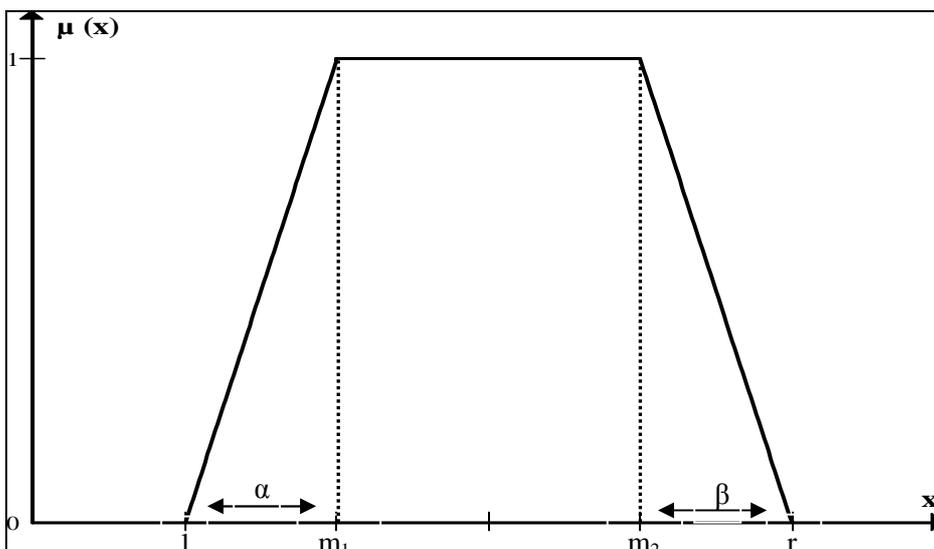


Abbildung 5: Trapezförmige unscharfe Zahl

Für den Fall, dass m ein Intervall $[m_1, m_2]$ ist, spricht man von einem unscharfen Intervall. Oft wird aber auch bei unscharfen Intervallen mit einer linearen LR-Darstellung von trapezförmigen unscharfen Zahlen gesprochen. Das unscharfe Intervall bzw. die trapezförmige unscharfe Zahl $\tilde{M} = (m_1, m_2, \alpha, \beta)$ wird durch folgende lineare Funktionen dargestellt, wobei α und β die Streubreite der unscharfen Zahl \tilde{M} ist (vgl. Abbildung 5):

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x - (m_1 - \alpha)}{\alpha} & \text{wenn } x \in [m_1 - \alpha, m_1] \\ 1 & \text{wenn } x \in [m_1, m_2] \\ \frac{(m_2 + \beta) - x}{\beta} & \text{wenn } x \in [m_2, m_2 + \beta] \\ 0 & \text{wenn } x \notin [m_1 - \alpha, m_2 + \beta] \end{cases}$$

Auf dreieckförmige unscharfe Zahlen $\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, r_1)$ und $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, r_2)$ können die folgenden arithmetischen Operationen angewendet werden (Bandemer und Gottwald 1993, S.67f):

$$\begin{aligned} \tilde{M}_1 \oplus \tilde{M}_2 &= (l_1 + l_2, m_1 + m_2, r_1 + r_2) \\ \tilde{M}_1 \ominus \tilde{M}_2 &= (l_1 - l_2, m_1 - m_2, r_1 - r_2) \\ -\tilde{M}_1 &= (-r_1, -m_1, -l_1) \\ \tilde{M}_1 \odot \tilde{M}_2 &\approx (l_1 \cdot l_2, m_1 \cdot m_2, r_1 \cdot r_2) \\ \tilde{M}_1 \oslash \tilde{M}_2 &\approx \left(\frac{l_1}{r_2}, \frac{m_1}{m_2}, \frac{r_1}{l_2} \right) \end{aligned}$$

Bandemer und Gottwald (1993, S.68) weisen darauf hin, dass „*Produkt und Quotient unscharfer Zahlen mit linearer LR-Darstellung ... i. allg. keine unscharfen Zahlen mit linearer LR-Darstellung mehr*“ sind. Bei der unscharfen Multiplikation und der unscharfen Division handelt es sich daher um Näherungsformeln, bei denen $l_1, l_2 \geq 0$ und bei der unscharfen Division zusätzlich $l_2 \neq 0$ gelten muss.

Bei trapezförmigen unscharfen Zahlen $\tilde{M} = (m_1, m_2, \alpha, \beta)$ und $\tilde{N} = (n_1, n_2, \alpha', \beta')$ gelten für die unscharfe Addition und Subtraktion folgende Formeln (Klir und Yuan 1995, S.102ff):

$$\tilde{M} \oplus \tilde{N} = (m_1 + n_1, m_2 + n_2, \alpha + \alpha', \beta + \beta')$$

$$\tilde{M} \ominus \tilde{N} = (m_1 + n_2, m_2 + n_1, \alpha + \alpha', \beta + \beta')$$

Ein wesentliches Instrument im Zusammenhang mit unscharfen Zahlen sind die α -Schnitte. Durch den α -Schnitt einer unscharfen Zahl \tilde{M} lässt sich eine Teilmenge \tilde{M}^α erstellen, für deren Elemente x , $\mu_{\tilde{M}^\alpha}(x) \geq \alpha$ gilt. In Abbildung 6 ist der α -Schnitt einer unscharfen Zahl dargestellt. Durch einen α -Schnitt entsteht eine α -Schnitt-Teilmenge, die sich durch das Intervall $[l^\alpha, m^\alpha]$ darstellen lässt. Lootsma (1997, S.26) definiert eine unscharfe Zahl \tilde{M} als unscharfe Menge im Gegenstandsbereich X , deren α -Schnitt-Teilmenge monoton schrumpfend ist, wenn α gegen eins geht und bei der es zumindest ein $x \in X$ gibt, für das $\mu_{\tilde{M}^\alpha}(x) = 1$ gilt. Durch Variation des Wertes α kann somit eine untere Grenze der erwünschten Zugehörigkeitsgrade der Elemente des Intervalls $[l^\alpha, m^\alpha]$ bestimmt werden.

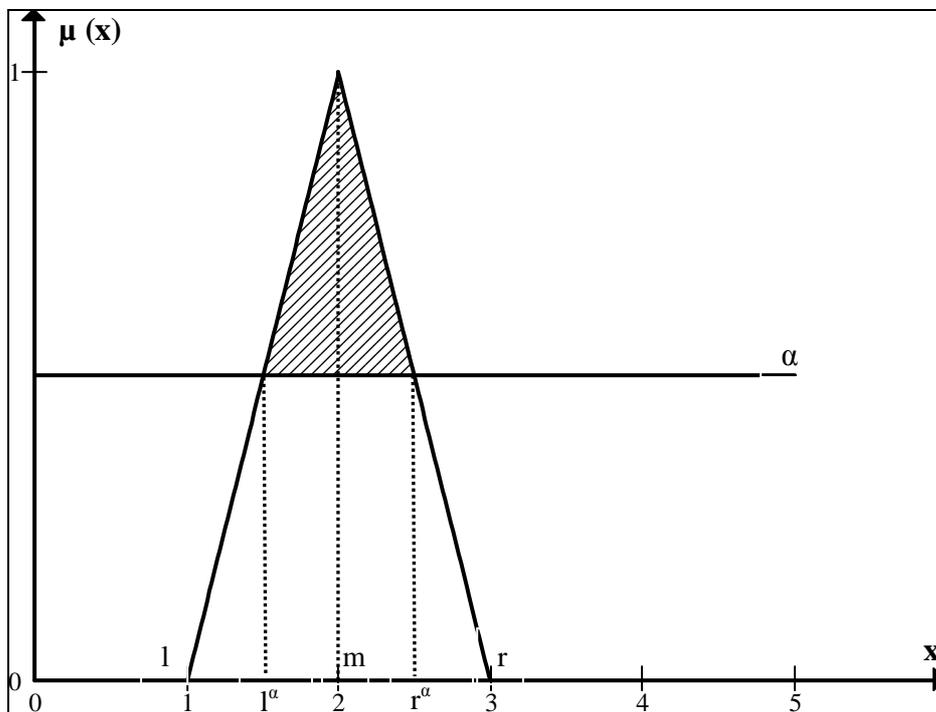


Abbildung 6: α -Schnitt einer unscharfen Zahl

Carlsson und Fuller (2003) entwickelten Formeln zur Berechnung der possibilistischen Varianz und des Erwartungswerts von unscharfen Zahlen. Der Erwartungswert $E(\tilde{A})$ und die Varianz $\sigma^2(\tilde{A})$ einer trapezförmigen unscharfen Zahl \tilde{A} lassen sich demnach berechnen durch

$$E(\tilde{A}) = \frac{m_1 + m_2}{2} + \frac{\beta - \alpha}{6}$$

und

$$\sigma^2(\tilde{A}) = \frac{(m_2 - m_1)^2}{4} + \frac{(m_2 - m_1)(\alpha + \beta)}{6} + \frac{(\alpha + \beta)^2}{24}.$$

Diese beiden Formeln können auch auf dreieckförmige unscharfe Zahlen angewendet werden, indem $m_1 = m_2$. Varianz und Erwartungswert von unscharfen Zahlen werden z.B. zur Berechnung von unscharfen Realoptionen benötigt. (vgl. Abschnitt 2.2.2)

2.2 Unscharfe Methoden der Nutzenermittlung

Die Literaturrecherche im Untersuchungszeitraum 1990-2008 hat gezeigt, dass die unscharfen Methoden der Nutzenermittlung in zwei wesentliche Subkategorien unterteilt werden können, nämlich die unscharfen Ansätze des „Multiple Attribute Decision Making“ (MADM) und die traditionellen unscharfen ökonomischen Modelle, wie sie schon in der Taxonomie von Heidenberger und Stummer (1999) vorkommen. Die Methoden der Nutzenermittlung sind durch eine relativ geringe Komplexität gekennzeichnet und daher besonders gut für den Einsatz in der Praxis geeignet, da sowohl der Entscheidungsprozess als auch die Ergebnisse für die Entscheidungsträger nachvollziehbar sind. Es gilt dabei sequentiell jene F&E-Projekte auszuwählen die den größten Nutzen für den Entscheidungsträger bringen. Es werden demnach so lange F&E-Projekte in das F&E-Projektportfolio aufgenommen, bis die verfügbaren Budgets erschöpft sind. In weiterer Folge werden die unscharfen Ansätze des

MADM (Abschnitt 2.2.1) und die unscharfen traditionellen ökonomischen Modelle (Abschnitt 2.2.2) vorgestellt.

2.2.1 Unscharfes Multiple Attribute Decision Making

Das MADM gehört, so wie das „Multiple Objective Decision Making“ (MODM), zur Gruppe des „Multiple Criteria Decision Making“ (MCDM). Das MODM befasst sich mit Entscheidungsproblemen mit stetigem Entscheidungsraum. Das Hauptanwendungsfeld des MODM ist die unscharfe mathematische Programmierung (vgl. Abschnitt 2.3). Das MADM befasst sich hingegen mit Entscheidungsproblemen, denen ein unstetiger Entscheidungsraum zugrundeliegt. Die Begriffe MADM und MCDM werden trotz der zuvor erwähnten Hierarchie jedoch oft als Synonyme für dieselbe Gruppe von Modellen verwendet (Parlos 2000, S.1).

Yoon und Hwang (1995) definieren bestimmte Charakteristika für das MADM. Es wird stets eine endliche Zahl an Alternativen durchleuchtet, priorisiert, ausgewählt und gereiht. Im Falle der F&E-Projektauswahl kann man durch das MADM aus einer großen Menge von F&E-Projektvorschlägen eine Teilmenge aus jenen F&E-Projekten bilden, die durchgeführt werden sollen. Jedes Entscheidungsproblem des MADM besteht aus mehreren Attributen. Unter Attributen sind sowohl Ziele als auch Entscheidungskriterien zu verstehen. Typische Attribute der F&E-Projektauswahl können etwa den Bereichen Marketing (Markterfolg) oder Produktion (technische Erfolgswahrscheinlichkeit) zuzuordnen sein. Eine weitere Besonderheit des MADM ist, dass die zur Beurteilung herangezogenen Attribute unter Umständen nicht ohne weiteres vergleichbar sind, da die Attribute unterschiedliche Einheiten aufweisen können (z.B. Kosten und Nutzenwerte). Daher ist es eine entscheidende Aufgabe des MADM, Entscheidungsprobleme zu lösen, deren Attribute unterschiedliche Einheiten haben. Darüberhinaus kommen bei den meisten Ansätzen des MADM Gewichte zum Einsatz, die dazu dienen, die Attribute in Abhängigkeit zu deren Relevanz für das Entscheidungsproblem durch numerische Werte zu gewichten. Zur Darstellung des Entscheidungsproblems des MADM ist meistens die Aufstellung einer Entscheidungsmatrix geeignet.

Im Rahmen der unscharfen Ansätze des MADM kommt zusätzlich die Berücksichtigung sowohl qualitativer als auch quantitativer Daten hinzu. Um die qualitativen und quantitativen Daten miteinander vergleichbar zu machen und die Unsicherheit und Vagheit, die mit der subjektiven Bewertung der Attribute durch die Entscheidungsträger einhergeht, darzustellen, verwenden die Autoren der in diesem Abschnitt vorgestellten Ansätze (Coffin und Taylor 1996, Hwang und Yu 1998, Bialis et al. 2002, Enea und Piazza 2004, Ramadan 2004, Mohanty et al. 2005, Tolga und Kahraman 2008 und Yi et al. 2008) unscharfe Zahlen zu deren Darstellung.

Unscharfer Analytic Hierarchy Process (AHP)

Der bekannteste Ansatz der dem MADM zuzuordnen ist, ist der AHP von Saaty (1980). Im Untersuchungszeitraum 1990-2008 wurden zwei Ansätze zu Zwecken der F&E-Projektauswahl entwickelt (Enea und Piazza 2004 und Tolga und Kahraman 2008), die auf unscharfen AHPs basieren.

Der unscharfe AHP von Tolga und Kahraman (2008) basiert auf der Verwendung von trapezförmigen unscharfen Zahlen (vgl. Abschnitt 2.1). Die Bewertung der Alternativen erfolgt durch den für den AHP charakteristischen paarweisen Vergleich der Attribute. Der paarweise Vergleich wird von Experten durchgeführt. Die Subkriterien, anhand derer die Alternativen verglichen werden, sind in vier Hauptkriterien unterteilt, nämlich Produktion, Technik, Marketing und unscharfe Realoptionen (vgl. Abschnitt 2.2.2). Da subjektive Einschätzungen und persönliche Präferenzen stets einer gewissen Unsicherheit unterliegen, erfolgt der paarweise Vergleich anhand von linguistischen Variablen, die durch trapezförmige unscharfe Zahlen dargestellt werden (vgl. Tabelle 1).

Basierend auf dem paarweisen Vergleich von Attribut i und Attribut j erfolgt die Erstellung der reziproken unscharfen Entscheidungsmatrix $\tilde{D} = (d_{ij})_{n \times n}$, wobei $i, j = 1, 2, \dots, m$. Die relative Wertigkeit von Attribut i zu Attribut j wird in der unscharfen Entscheidungsmatrix durch die trapezförmigen unscharfen Zahlen aus Tabelle 1 dargestellt, wobei $d_{ii} = (1, 1, 1, 1)$ für alle $i = 1, 2, \dots, m$. Als nächstes erfolgt der Konsistenztest, um die Richtigkeit der Reihung der Alternativen zu gewährleisten. Dazu wandeln Tolga und Kahraman (2008) die unscharfe

Entscheidungsmatrix $\tilde{D} = (d_{ij})_{n \times n}$, $\tilde{d}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, n_{ij}, s_{ij})$ in eine „scharfe Entscheidungsmatrix“ (scharfe Entscheidungsmatrix ist ein Synonym für Entscheidungsmatrix) $D = (d_{ij})_{n \times n}$ um, indem sie den „Fuzzy Weighted Average“ (FWA) berechnen und führen den Konsistenztest für die scharfe Entscheidungsmatrix $D = (d_{ij})_{n \times n}$ durch. Tolga und Kahraman (2008) verwenden trapezförmige unscharfe Zahlen auch für die Darstellung der unscharfen Gewichte.

Linguistische Variable	Trapezförmige unscharfe Zahlen
Much less important	(0.167,0.200,0.250,0.333)
Less important	(0.250,0.333,0.500,1.000)
Less equal	(0.500,0.667,0.667,1.000)
Just equal	(1.000,1.000,1.000,1.000)
More equal	(1.000,1.500,1.500,2.000)
More important	(1.000,2.000,3.000,4.000)
Much more important	(3.000,4.000,5.000,6.000)

Tabelle 1: Skala für den paarweisen Vergleich der Attribute des unscharfen AHP [Quelle: Tolga und Kahraman (2008)]

Ein weiterer unscharfer AHP wurde von Enea und Piazza (2004) entwickelt. Dieser basiert grundsätzlich auf dem AHP von Saaty (1980) und wurde von einigen Autoren (Laarhoven und Pedrycz 1983, Chang 1996, Chang und Zhang 1992, Ruoning und Xiaoyan 1992) um die Theorie der unscharfen Mengen erweitert. Die Verwendung von unscharfen Mengen führt in diesem Fall zu besseren Ergebnissen bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeit und Verlässlichkeit der Resultate des Modells. Enea und Piazza (2004) stellen nämlich fest, dass:

„In fact, decision makers could not be able to provide a quantitative evaluation of the effect and of the implication of a project, but only a qualitative one („e.g. environmental impact is low“).“

Enea und Piazza (2004) bieten in ihrem Ansatz zwei alternative Methoden an, um den unscharfen AHP durchzuführen. Es wird jeweils eine paarweise Vergleichsmatrix angestrebt, die im Gegensatz zu Tolga und Kahraman (2008) aus dreiecksförmigen unscharfen Zahlen $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ besteht (vgl. Abschnitt 2.1).

Die erste Methode basiert auf dem Ansatz von Chang (1996). Dabei wird der „Fuzzy Synthetic Extent“ unter Berücksichtigung bestimmter Nebenbedingungen ermittelt, um zu garantieren, dass es sich bei den unteren Schranken der dreieckförmigen unscharfen Zahlen tatsächlich um ein Minimum und bei der oberen Schranke um ein Maximum handelt. Die zweite Methode basiert auf einem einfachen Modell der mathematischen Programmierung, wobei die Restriktionen denselben Zweck erfüllen wie die Nebenbedingungen aus der ersten Methode.

Sowohl die erste als auch die zweite Methode liefert alle nötigen Werte zur Berechnung des endgültigen unscharfen Gesamtergebnisses. Für die Verknüpfung der Gewichte jedes F&E-Projekts mit den Gewichten der entsprechenden Kriterien wählen Enea und Piazza (2004) einen Ansatz aus der Wahrscheinlichkeitstheorie. Außerdem bieten sie eine Möglichkeit, durch die ihr Ansatz auch für die Beurteilung durch eine Gruppe von Experten geeignet ist. Dabei wird der Durchschnitt der unscharfen paarweisen Vergleichsmatrix berechnet. Enea und Piazza (2004) zeigen, dass zur Ermittlung des Durchschnitts der geometrische Mittelwert geeigneter ist als der arithmetische Mittelwert, da bei der Durchschnittsermittlung durch den arithmetischen Mittelwert der Fall Eintritt, dass $\tilde{a}_{ij} \neq \frac{1}{\tilde{a}_{ji}}$, während beim geometrischen

Mittelwert $\tilde{a}_{ij} = \frac{1}{\tilde{a}_{ji}}$.

Unscharfer Analytic Network Process (ANP)

Eine allgemeinere Variante des AHP von Saaty (1980) ist der „Analytic Network Process“ (ANP) (Saaty 1996). Mohanty et al. (2005) entwickelten einen Ansatz zur F&E-Projektauswahl, der auf einem unscharfen ANP basiert und verwenden die einfach zu handhabenden dreieckförmigen unscharfen Zahlen zur Darstellung unscharfer Daten und der Präferenzen der Entscheidungsträger. Während bei einem AHP die Abhängigkeiten der

einzelnen Kriterien zueinander immer in eine Richtung der Hierarchie laufen, sind bei einem ANP wechselseitige Abhängigkeiten möglich. Durch diese Erweiterung ist der ANP für ein breiteres Aufgabenspektrum geeignet als der AHP.

Ähnlich wie beim AHP erfolgt auch beim unscharfen ANP ein paarweiser Vergleich der einzelnen Kriterien, die sowohl monetär als auch nicht-monetär sein können. Während bei einem AHP der Vergleich anhand der „Scores“ 1-9 erfolgt, wird beim unscharfen ANP von Mohanty et al. (2005) die Bewertung durch dreieckförmige unscharfe Zahlen \tilde{M}_1 bis \tilde{M}_9 , der Form $\tilde{M}_i = (l_i, m_i, u_i)$ vorgenommen, wobei $i = 1, 2, \dots, 9$. \tilde{M}_1 repräsentiert Gleichheit der verglichenen Attribute i und j , \tilde{M}_3 entspricht einer leichten Präferenz, \tilde{M}_5 steht für eine starke Präferenz, \tilde{M}_7 für eine sehr starke Präferenz und \tilde{M}_9 für die absolute Präferenz von i über j . Somit sind die unscharfen Scores \tilde{M}_1 bis \tilde{M}_9 Teilmengen des Gegenstandsbereichs Y der möglichen Bewertungen. Zu beachten ist, dass $Y \in [1, 9]$ und somit gilt $\tilde{M}_1 = (1, 1, 2)$ und $\tilde{M}_9 = (8, 9, 9)$. Die Entscheidungsträger werden im unscharfen ANP von Mohanty et al. (2005) von drei Faktoren beeinflusst, nämlich der Leistung, des Risikos und der speziellen Kategorie, der die F&E-Projekte zuzuordnen sind. Diese drei Faktoren werden wiederum in mehrere Attribute zerlegt, wodurch sich eine Hierarchie bildet, die aufgrund der wechselseitigen Abhängigkeit der Attribute und Faktoren zueinander als Netzwerk zu klassifizieren ist. Um die besten F&E-Projekte auszuwählen, werden Gewichtungsvektoren in jeder Ebene des Netzwerks ermittelt, wobei die einzelnen Gewichte durch eine Defuzzifizierung des Fuzzy Synthetic Extent ermittelt werden. Da es aufgrund der wechselseitigen Abhängigkeiten der Attribute zu Interdependenzen kommt, ist ein zusätzliches Werkzeug erforderlich, um die Gewichte dieser interdependenten Komponenten zu berechnen. Um eine langfristig stabile Menge an Gewichten zu erhalten, verwenden Mohanty et al. (2005) eine sogenannte „Supermatrix“, wodurch die wechselseitigen Effekte, die durch die interdependenten Komponenten entstehen, aufgelöst werden können. Die endgültige Reihung der F&E-Projekt ermitteln Mohanty et al. (2005) durch den „Overall Desirability Index“, der ein einheitsfreier Index ist und sich aus allen attributbezogenen relativen Gewichten der F&E-Projektalternativen zusammensetzt.

Unscharfe Scoring-Methoden

Ebenfalls dem MADM zuzuordnen sind die Methoden des Scoring. Diese sind dadurch gekennzeichnet, dass Entscheidungsträger anhand relativ weniger Kriterien die F&E-Projekte bewerten und die F&E-Projekte anhand der vergebenen Scores gereiht werden. Es werden anschließend so lange F&E-Projekte gemäß der vorgenommenen Reihung zum optimalen F&E-Projektportfolio hinzugefügt, bis das verfügbare Budget erschöpft ist. Eine Grundannahme ist, dass die F&E-Projekte nicht interdependent sind, sodass die Durchführung bzw. Nichtdurchführung eines F&E-Projekts keine Auswirkungen auf die Durchführbarkeit von anderen F&E-Projekten hat. Neben ökonomischen Faktoren können auch nicht-ökonomische Faktoren als Bewertungskriterien bestimmt werden. (Heidenberger und Stummer 1999)

Ramadan (2004) beschreibt im Rahmen seines unscharfen Ansatzes zur F&E-Projektauswahl die Vorgehensweise wie folgt: In einem ersten Schritt wird ein Expertenausschuss zusammengestellt, der die zur Verfügung stehenden F&E-Alternativen generiert und die Kriterien bestimmt, anhand derer die F&E-Projekte beurteilt werden sollen. In einem zweiten Schritt werden die F&E-Projekte durch die Experten anhand der zuvor bestimmten Kriterien bewertet und die Kriterien in Bezug auf ihren Beitrag zur Zielerreichung gewichtet. Sowohl die Bewertung als auch die Gewichtung erfolgt durch linguistische Variablen bzw. dreieckförmige unscharfe Zahlen, um im Entscheidungsprozess sowohl qualitative als auch quantitative Kriterien berücksichtigen zu können. In einem dritten Schritt wird eine Entscheidungsmatrix aufgestellt. Dabei werden sowohl unscharfe Daten und linguistische Variablen als auch exakte Daten verwendet. In einem vierten Schritt wird die Entscheidungsmatrix normalisiert (vgl. Abschnitt 2.1), um die Kriterien einheitsfrei und kompatibel zu machen. In einem fünften Schritt wird die gewichtete, normalisierte Entscheidungsmatrix erstellt, wobei die aggregierten Gewichte jedes Kriteriums mit den normalisierten Werten der Beurteilungskriterien multipliziert werden. In einem sechsten Schritt werden die sogenannten unscharfen Distanzen ermittelt, anhand derer die F&E-Projekte in einem abschließenden Schritt gereiht werden sollen.

Coffin und Taylor (1996) verwenden in ihrem Ansatz die drei Zielkriterien Gesamtgewinn des F&E-Projektportfolios, die Erfolgswahrscheinlichkeit des gesamten Projektportfolios und die Fertigstellungsdauer aller Projekte des Portfolios. Durch die Verwendung von unscharfen Mengen ist es ihnen möglich, die oben genannten Zielkriterien derart zu modellieren, dass sie,

anstatt auf eine strikte Maximierung bzw. Minimierung abzielen, einen akzeptablen Gewinn des F&E-Projektportfolios, eine akzeptable Erfolgswahrscheinlichkeit des F&E-Projektportfolios und eine akzeptable Fertigstellungsdauer aller F&E-Projekte des Portfolios anstreben können. Anhand dieser Kriterien können nun verschiedene F&E-Projektportfolios bewertet und deren Resultate verglichen werden. Die drei Ziele werden durch unscharfe Mengen dargestellt. Je nachdem, ob ein F&E-Projekt einen hohen Gesamtgewinn verspricht oder einen niedrigen, ist der Zugehörigkeitsgrad zum Zielkriterium Gesamtgewinn entweder hoch oder niedrig. Die Bewertung anhand der restlichen zwei Zielkriterien erfolgt auf dieselbe Weise. Die Summe der dadurch ermittelten Zugehörigkeitswerte wird sodann als übergeordnete Zielfunktion interpretiert, welche es zu maximieren gilt. Jenes F&E-Projektportfolio mit dem höchsten Summenwert erfüllt die angegebenen Kriterien am besten.

Einen weiteren unscharfen Ansatz für die Evaluierung von F&E-Projekten, der dem MADM zuzuordnen ist, entwickelten Bialis et al. (2002). Dieser ermöglicht es wiederum, sowohl quantitative als auch qualitative Kriterien in die Entscheidungsfindung einfließen zu lassen. Der Einsatz von unscharfen Mengen verringert die Sensitivität des Modells, da das optimale F&E-Projektportfolio nicht gänzlich durch eine falsche Entscheidung eines Entscheidungsträgers verändert wird. In diesem Modell werden 17 Subkriterien durch spezifische Fragen repräsentiert, die sich wiederum in fünf Hauptkriterien einordnen lassen. Ist ein Subkriterium quantitativer Natur, so gibt der Entscheidungsträger als Antwort auf die gestellte Frage eine exakte Zahl. Ist ein Subkriterium qualitativer Natur, so wird dem Entscheidungsträger eine Multiple-Choice-Frage gestellt, bei der er sich für eine von vier bis fünf vorgefertigten Antwortmöglichkeiten entscheiden kann. Sämtliche Antworten werden als linguistische Variablen und somit als unscharfe Mengen dargestellt. Bialis et al. (2002) verwenden dazu allerdings nicht die einfach zu handhabenden trapezförmigen oder dreiecksförmigen unscharfen Mengen, sondern eine nicht-lineare Darstellungsform (vgl. 2.1). Der Entscheidungsträger hat die Möglichkeit, die Kriterien seinen individuellen Präferenzen entsprechend zu gewichten. Während die vergebenen Scores linguistische Variablen sind und durch unscharfe Zahlen dargestellt werden, handelt es sich bei den vergebenen Gewichten nicht um unscharfe Zahlen. Die Evaluation der F&E-Projekte erfolgt durch die Auswertung einer $m \times n$ -Entscheidungsmatrix mit m F&E-Projekten und n Subkriterien. Um die Kompatibilität der quantitativen Kriterien und der qualitativen Kriterien zueinander zu gewährleisten, verwenden Bialis et al. (2002) auch für die quantitativen Kriterien, die durch scharfe Zahlen dargestellt werden, die Darstellungsform für unscharfe Zahlen. Eine scharfe Zahl A wird demnach dargestellt durch $A = (l, m, u)$, wobei $l = m = u$. Die Verknüpfung

unscharfer Zahlen mit scharfen Gewichten erfolgt durch die indirekte Methode des Fuzzy Weighted Average (FWA) von Schmucker (1984). Dabei werden die Intervalle der Zugehörigkeitsfunktion diskretisiert und durch α -Schnitte dargestellt (vgl. 2.1). Um die F&E-Projekte anhand ihrer FWAs vergleichbar zu machen, verwenden Bialis et al. (2002) eine Defuzzifizierungstechnik, und zwar den „improvement urgency index“ (IUI). Dabei wird nach dem gewichteten Mittelpunkt eines jeden Intervalls gesucht. Abschließend wird das Verhältnis zwischen dem Index IUI_i und den Durchführungskosten von F&E-Projekt i ermittelt. Anhand dieser Kennzahl werden die F&E-Projekte in einer abschließenden Rangliste gereiht. Aus dieser Rangliste werden so lange in absteigender Reihenfolge F&E-Projekte zum F&E-Projektportfolio hinzugefügt, bis das verfügbare Budget für die Durchführung von F&E-Projekten erschöpft ist.

Ein von der Grundstruktur ähnliches Modell entwickelten Yi et al. (2008). Dabei soll aus einer Menge von potentiellen F&E-Projekten die optimale Teilmenge ausgewählt werden. In einem ersten Schritt werden die Entscheidungsziele, Entscheidungskriterien und die Menge an potentiellen F&E-Projekten bestimmt. Die Ziele können dabei sowohl in Worten als auch in Zahlen formuliert werden. In einem zweiten Schritt werden die Gewichte der Entscheidungskriterien im Rahmen einer unscharfen Evaluierung ermittelt. Da die Entscheidungsträger ihre subjektiven Meinungen zum Ausdruck bringen, halten Yi et al. (2008) es für sinnvoll, den paarweisen Vergleich der Kriterien mit dreieckförmigen unscharfen Zahlen durchzuführen. Die dreieckförmigen unscharfen Zahlen sind die Elemente einer unscharfen reziproken Entscheidungsmatrix, wie sie beim AHP von Saaty (1980) zur Anwendung kommt, anhand derer der sogenannte „Performance Index“ ermittelt wird, indem die unscharfen Gewichte und die Ausprägung des jeweiligen Kriteriums in einem F&E-Projekt durch unscharfe Arithmetik (vgl. 2.1) aggregiert werden. Die Auswahl der optimalen F&E-Projekte erfolgt durch die unscharfe Simulationstechnik von Liu (2002) (vgl. Abschnitt 2.4).

Die unscharfen Methoden der Nutzenermittlung eignen sich besonders zur aggregierten Bewertung von F&E-Projekten. Während die unscharfen Scoring-Methoden lediglich eine Reihung der F&E-Projekte anhand von nichtinterdependenten Kriterien ermöglichen, werden sowohl durch den unscharfen AHP als auch durch den unscharfen ANP Interdependenzen zwischen den Kriterien berücksichtigt. Der ANP berücksichtigt im Gegensatz zum AHP aber auch wechselseitige Interdependenzen. Interdependenzen zwischen den F&E-Projekten, wie z.B. Synergieeffekte, können durch unscharfe Methoden der Nutzenermittlung hingegen nicht berücksichtigt werden.

2.2.2 Unscharfe traditionelle ökonomische Modelle

Mithilfe traditioneller ökonomischer Modelle können ökonomische Indizes, der erwartete Barwert des Cash-Flows oder Optionswerte von F&E-Projekten ermittelt werden. (Heidenberger und Stummer 1999). Mohanty et al. (2005) verwenden im Rahmen ihres unscharfen ANP (vgl. Abschnitt 2.2.1) eine unscharfe Cash-Flow-Methode.

Besondere Aufmerksamkeit wurde im Untersuchungszeitraum 1990-2008 der Ermittlung unscharfer Werte von Realoptionen geschenkt. Carlsson und Fuller (2003) definieren eine Realoption als

„...to have the possibility for a certain period to either choose for or against making an investment decision, without binding oneself up front. The real option is rule is that one should invest today only if the net present value is high enough to compensate for giving up the value of the option to wait. ... The main question ...for a deferrable investment opportunity is: How long do we postpone the investment, if we can postpone it up to T time periods ?“

Carlsson et al. (2001, 2005 und 2007) und Carlsson und Fuller (2003) verwenden in ihrem Modell zur Bewertung von Realoptionen einen um die Theorie der unscharfen Mengen erweiterten Ansatz von Merton (1973), der wiederum auf der Black-Scholes-Formel basiert und demnach einem stochastischen Prozess unterliegt, der die Varianz des Barwerts der erwarteten Cash-Flows regelt. Der unscharfe Wert einer Realoption wird mittels des Erwartungswerts des unscharfen Barwerts des Cash-Flows ermittelt, der durch eine trapezförmige unscharfe Zahl dargestellt wird. Für die erwarteten Kosten eines F&E-Projektes wird die gleiche Darstellungsform verwendet. Der Kern der unscharfen Mengen definiert den höchstwahrscheinlich eintretenden Fall und die Streubreiten das positive bzw. negative Potential der Variable (vgl. Abschnitt 2.1) und stellen somit Wahrscheinlichkeitsverteilungen dar. Die jährlichen Zinssätze und die maximale Zeit, um die eine Option aufgeschoben werden kann sowie der Wertverlust einer Option über deren Laufzeit sind weitere Komponenten des Modells von Carlsson et al. (2001, 2005 und 2007) und Carlsson und Fuller (2003), die jedoch nicht durch unscharfe Zahlen dargestellt werden. Um die entscheidende

Frage, wie lange die Investition hinausgeschoben werden soll um einen optimalen Nutzen zu erwirtschaften, zu beantworten, verwenden sie die Entscheidungsregel von Benaroch und Kauffman (2000) und erweiterten sie um die Theorie der unscharfen Mengen. Dabei wird auch die Risikoneigung des Entscheidungsträgers berücksichtigt und können die Entscheidungsregeln an den Grad der Risikoaversion angepasst werden. Die F&E-Projekte lassen sich anhand der daraus resultierenden Werte in einer Rangliste reihen und in absteigender Reihenfolge so lange zu einem F&E-Projektportfolio hinzufügen, bis das verfügbare Budget erschöpft ist.

Um festzustellen, inwiefern sich der unscharfe Kapitalwert eines F&E-Projekts verändert, wenn der Investitionszeitpunkt des Projektes verschoben wird, ermitteln Carlsson et al. (2007) in ihrem Ansatz die „possibilistic deferral flexibility“. Diese ist eine trapezförmige unscharfe Zahl, deren Berechnung auf dem unscharfen ROI basiert. Der unscharfe ROI wird wiederum auf Basis der unscharfen Cash-Flows der jeweiligen Periode und der scharfen Kosten ermittelt. Carlsson et al. (2007) argumentieren dies damit, dass die erwarteten Kosten von F&E-Projekten im Gegensatz zu den erwarteten Cash-Flows vom Unternehmen mit hoher Wahrscheinlichkeit richtig eingeschätzt werden. Dies ist allerdings kritisch zu betrachten, da Entscheidungsträger mangels Erfahrungswerten keinerlei Informationen bezüglich der Investitionskosten haben können. Es liegt in der Natur der Sache, dass bei F&E-Projekten, die durch einen hohen Innovationsgrad gekennzeichnet sind, die Effizienz und Effektivität des Mitteleinsatzes nur schwer im Vorhinein abgeschätzt werden können. Diese Annahme wird auch dadurch bestätigt, dass in der Mehrzahl der in Abschnitt 2 vorgestellten unscharfen Ansätze zur F&E-Projektauswahl sowohl der Output als auch der Input durch unscharfe Zahlen dargestellt wird.

Einen anderen Ansatz zur Bewertung unscharfer Realoptionen als Carlsson et al. (2001, 2005 und 2007) und Carlsson und Fuller (2003) wählen Wang und Hwang (2007). Es handelt sich dabei um eine Weiterentwicklung des Modells von Geske (1979). Dieses wurde von Wang und Hwang (2007) um die Theorie der unscharfen Mengen erweitert, um die unsicheren und flexiblen Daten im Rahmen der Bestimmung zukünftiger Cash-Flows, der Budgetrestriktionen und der Kosten darstellen zu können. Es wird dabei der unscharfe Wert eines F&E-Projekts anhand des unscharfen Barwerts der Investitionen zu den jeweiligen Investitionszeitpunkten, den Restlaufzeiten der Optionen, dem Zinssatz, der Rendite und der Volatilität des F&E-Projektgewinns berechnet. Im Gegensatz zum Black-Scholes-Modell, bei dem einfache Realoptionen verwendet werden, kommen beim Modell von Geske kumulative Normaldistributionen zur Anwendung.

Eine Realloption ist eine Bewertung der Konsequenzen einer Entscheidung zu einem bestimmten Zeitpunkt. Die Bewertung einer Realloption basiert immer auf der Bewertung einer vorhergehenden Realloption. Das Black-Scholes-Modell und das Geske-Modell berücksichtigen zwar die stochastische Unsicherheit und somit die Unsicherheit, ob ein Ereignis eintritt. Es wird jedoch nicht jene Unsicherheit über die spezifischen Merkmalausprägungen des eintretenden Ereignisses berücksichtigt. Diese Unsicherheit wird durch die Theorie der unscharfen Mengen dargestellt (vgl. Abschnitt 2.1). Im Falle der F&E-Projektauswahl ist jede Realloption aufgrund des innovativen Charakters von F&E-Projekten nicht nur mit einem hohem Maß an Unsicherheit bezüglich des Eintritts eines Ereignisses, sondern auch bezüglich dessen Merkmalausprägungen verbunden. Vor allem bei radikalen Innovationen liegt es in der Natur der Sache, dass ex ante weder bekannt ist, ob bestimmte Ereignisse eintreten, noch in welcher Form sie tatsächlich eintreten. Da sich das Risiko eines Bewertungsfehlers aufgrund dieser Unsicherheiten über die Laufzeit des F&E-Projekts kumuliert, ist festzuhalten, dass die Erweiterung der Ansätze zur Bewertung von Realoptionen durchaus sinnvoll und nachvollziehbar ist. Die Theorie der unscharfen Mengen bietet die Möglichkeit vager Annahmen bezüglich zukünftiger Ereignisse (z.B. zukünftige Cash-Flows, erwartete Kosten), wodurch die Konsequenzen einer falschen Bewertung einer Realloption weniger auf die zukünftigen Realoptionen wirken, da ein möglicher Bewertungsfehler bereits implizit berücksichtigt wird.

2.3 Unscharfe Modelle der mathematischen Programmierung

Der Grundgedanke hinter der mathematischen Programmierung zu Zwecken der F&E-Projektauswahl ist, dass ein Entscheidungsträger seine F&E-Projektprojektauswahl so trifft, dass seine Ziele im Rahmen seiner Möglichkeiten möglichst gut erfüllt werden. Die Zielerreichung wird dabei durch die Zielfunktion dargestellt und der Rahmen seiner Möglichkeiten entspricht den Restriktionen (personelle, finanzielle und/oder strategische Restriktionen und Projektinterdependenzen). Heidenberger und Stummer (1999) identifizieren neben der linearen Programmierung, der nichtlinearen Programmierung, der ganzzahligen Programmierung, dem Goal Programming, der dynamischen Programmierung und der stochastischen Programmierung auch die unscharfe mathematische Programmierung als möglichen Ansatz der mathematischen Programmierung zur F&E-Projektauswahl. Im Untersuchungszeitraum 1990-2008 hat sich gezeigt, dass die Theorie der unscharfen Mengen

auf mehrere von Heidenberger und Stummer (1999) identifizierten Gruppen angewendet wurde. In weiterer Folge werden daher Modelle der unscharfen ganzzahligen linearen Programmierung, der unscharfen ganzzahligen nichtlinearen Programmierung und der unscharfen stochastischen Programmierung vorgestellt. Zum Goal Programming und zur dynamischen Programmierung konnten im Untersuchungszeitraum 1990-2008 hingegen keine Ansätze der F&E-Projektauswahl gefunden werden.

Unscharfe ganzzahlige lineare Programmierung

Heidenberger und Stummer (1999) bieten in ihrer Taxonomie eine differenzierte Sichtweise auf die ganzzahlige Programmierung, die lineare Programmierung und die unscharfe Programmierung. Die unscharfe ganzzahlige lineare Programmierung weist daher Wesensmerkmale dieser drei Gruppen auf. Modelle der linearen Programmierung bestehen aus einer linearen Zielfunktion und mehreren linearen Restriktionen, durch die eine optimale Lösung des Entscheidungsproblems angestrebt wird. Die ganzzahlige lineare Programmierung bietet zusätzlich die Verwendung von ganzzahligen Entscheidungsvariablen an, die in der Regel den Wert eins annehmen, wenn z.B. ein bestimmtes F&E-Projekt durchgeführt wird und null wenn nicht. Die unscharfe ganzzahlige lineare Programmierung zieht zusätzlich die Theorie der unscharfen Mengen hinzu, um Unsicherheit und Vagheit modellieren zu können. Unscharfe Zahlen werden verwendet, um z.B. flexible Budgets und erwartete Gewinne darzustellen. Die ganzzahligen Entscheidungsvariablen werden hingegen nicht durch unscharfe Zahlen, sondern durch reelle Zahlen dargestellt.

In Bezug auf die unscharfe mathematische Programmierung zur F&E-Projektauswahl können Weber et al. (1990) Pioniertätigkeiten zugeschrieben werden. Sie legen ihr Hauptaugenmerk auf die Modellierung von Unsicherheit, da diese überaus große Bedeutung für den Bereich der Forschung und Entwicklung hat und identifizierten die Theorie der unscharfen Mengen als geeignetes Instrument, um diese Unsicherheit in ihrem Modell zu implizieren. Dafür wandeln sie ein Modell der linearen Programmierung in ein Modell der unscharfen linearen Programmierung um.

Das ursprüngliche Modell der linearen Programmierung entspricht der folgenden Form (Weber et al. 1990):

$$\begin{aligned} \max \quad & c^T x \\ \text{sodass} \quad & Ax \leq b, x \geq 0, \\ & c, x \in \mathbb{R}^n, b \in \mathbb{R}^m, \\ & A \in \mathbb{R}^{m \times n} \end{aligned}$$

Im Gegensatz zur linearen Programmierung wird bei der unscharfen linearen Programmierung nicht darauf abgezielt, die Zielfunktion zu maximieren oder zu minimieren, sondern es wird lediglich ein zufriedenstellendes Ergebnis angestrebt. Darüber hinaus ist es bei der unscharfen linearen Programmierung nicht zwingend erforderlich, dass sämtliche Restriktionen streng eingehalten werden, sondern es können Über- bzw. Unterschreitungen zu einem gewissen Grad toleriert werden. Die Elemente der Matrix A und der Vektoren b und c sind dementsprechend keine reellen Zahlen mehr, sondern unscharfe Zahlen. Das Modell der unscharfen linearen Programmierung lautet somit (Weber et al. 1990):

$$c^T x \tilde{\geq} z$$

sodass

$$\begin{aligned} Ax &\tilde{\leq} b \\ x &\geq 0 \end{aligned}$$

Diese Darstellungsform eignet sich aufgrund der identischen Struktur von Zielfunktion und Restriktionen auch hervorragend zur Berücksichtigung mehrfacher Ziele. Das Modell besteht aus $(m+1)$ Zeilen bei einfacher Zielsetzung, wobei jede Zeile durch eine Zugehörigkeitsfunktion μ_i ($i=1, \dots, m$) dargestellt werden kann. Der daraus resultierende Zugehörigkeitsgrad gibt an, in welchem Ausmaß eine Restriktion bzw. ein Ziel erfüllt wird. Um einen möglichst effizienten Lösungsweg zu gewährleisten, werden stückweise lineare Zugehörigkeitsfunktionen μ_i mittels des min-Operators aggregiert (vgl. Abschnitt 2.1). In welchem Ausmaß die Restriktionen bzw. die Zielfunktion erfüllt sind, wird durch die unscharfe Menge \tilde{D} dargestellt, wobei

$$\tilde{D} = \{(x, \mu_{\tilde{D}}(x)); x \geq 0\},$$

mit

$$\mu_{\tilde{D}}(x) := \{\min \mu_i(x); i = 0, \dots, m\}.$$

Zu beachten ist, dass es sich bei \tilde{D} um eine Typ-2 unscharfe Menge handelt, da die Zugehörigkeitswerte der unscharfen Menge \tilde{D} wiederum unscharfe Mengen sind. (vgl. Abschnitt 2.1). Jene Lösung mit dem höchsten Zugehörigkeitsgrad in der Menge \tilde{D} ist die Lösung x^0 und wird dargestellt durch (Weber et al. 1990):

$$\mu_{\tilde{D}}(x^0) = \max_{x \geq 0} \mu_{\tilde{D}}(x)$$

Weber et al. (1990) fügen eine zusätzliche Variable δ hinzu und stellen sodann das Entscheidungsproblem wie folgt dar:

$$\begin{aligned} & \max \delta \\ & \text{sodass} \\ & \delta * p_0 - c^T x \leq -z + p_0, \\ & \delta * p_i + (Ax)_i \leq b_i + p_i, \quad i = 1, \dots, m, \\ & 0 \leq \delta \leq 1, \quad x \geq 0 \end{aligned}$$

Die Variablen p_0 und p_i dienen als Maß der maximal akzeptierten Abweichung von den Restriktionen bzw. der Zielfunktion. Die Verwendung der Variablen p_0 und p_i erinnert an das Goal Programming, bei dem ähnliche Variablen dazu verwendet werden, die Zielabweichung zu messen. Die Summe der Abweichungen wird sodann in der Zielfunktion minimiert. Weber et al. (1990) minimieren die akzeptierten Abweichungen p_0 und p_i indirekt über die Variable δ . Durch einfaches Umformen der Restriktionen erhält man

$$\delta p_0 - p_0 \leq c^T x - z$$

$$\delta p_0 - p_1 \leq b_i - Ax$$

und sieht, dass die Variable δ gleich dem Wert 1 ist, solange $c^T x \geq z$ gilt. Je kleiner δ ist, desto höher ist die Abweichung des angestrebten Werts z . Ähnlich verhält es sich bei der Restriktion, die die vorhandenen Budgets b_i betrifft. Solange der Ressourcenverbrauch kleiner oder gleich den vorhandenen Budgets ist, gilt $\delta=1$. Müssen Budgets überschritten werden, erhöht sich δ . Hier wird deutlich, dass lediglich ein akzeptabler Wert z (z.B.: Cash-Flow) angestrebt wird und kein maximaler, der auf Kosten von Budgetüberschreitungen gehen würde. Im Gegensatz zur linearen Programmierung wird bei der unscharfen linearen Programmierung der Lösungsraum erweitert, da die akzeptierten Abweichungen einen größeren Entscheidungsspielraum ermöglichen, falls keine andere Lösung möglich ist.

Ein weiteres Modell der unscharfen ganzzahligen linearen Programmierung stammt von Fasanghari und Roudsari (2008) und hat folgende Struktur:

$$\max z = \sum_{i \in N} \tilde{c}_i x$$

mit

$$\sum_{i \in N} a_i x \leq b$$

Im Gegensatz zu Weber et al. (1990) werden hier keine Abweichungen akzeptiert. Die Restriktionen enthalten ausschließlich reelle Zahlen, wohingegen die Zielfunktion unscharfe Zahlen beinhaltet. Die Berücksichtigung der Unsicherheit im Sinne der Theorie der unscharfen Mengen erfolgt somit rein durch die Berücksichtigung vager Ziele.

Unschärfe ganzzahlige nichtlineare Programmierung

Während bei der unscharfen ganzzahligen linearen Programmierung lineare Zielfunktionen und Restriktionen verwendet werden, sind bei der unscharfen nichtlinearen Programmierung nichtlineare Zielfunktionen und Restriktionen im Einsatz. Das führt dazu, dass die Modelle nicht ohne weiteres lösbar sind, sondern es müssen spezielle mathematische Lösungstechniken verwendet werden, um sie zu lösen. (Heidenberger und Stummer 1999)

Wang und Hwang (2007) verwenden zur optimalen F&E-Projektportfolioauswahl einen Ansatz der unscharfen ganzzahligen nichtlinearen Programmierung, um die Unsicherheit, die mit F&E-Projekten einhergeht, berücksichtigen zu können. Unter Unsicherheit wird dabei zum einen jene Unsicherheit verstanden, die mit der Ungewissheit zukünftiger Ereignisse einhergeht und zum anderen die Tatsache, dass manche Budgets flexibel gestaltet werden können. Ein flexibles Budget wird demnach durch eine unscharfe Zahl dargestellt. Dieser Gedankenansatz erinnert an den Ansatz von Weber et al. (1990) der durch die Gestattung von Abweichungen ebenfalls die Verwendung flexibler Budgets ermöglicht. Das Modell von Wang und Hwang (2007) ist folgendermaßen aufgebaut:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^n \left(\tilde{v}_i - \sum_{t=1}^T \tilde{c}_{it} \right) x_i,$$

mit

$$\sum_{i=1}^n (\tilde{c}_{it} x_i) \leq \tilde{B}_t \quad \forall t,$$

$$\sum_{i=1}^n \tilde{r}_{ikt} x_i \leq \tilde{R}_{kt} \quad \forall k, t,$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T (SI_{ij} \tilde{c}_{it} x_i) \leq \tilde{S}_j^U \quad \forall j,$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T (SI_{ij} \tilde{c}_{it} x_i) \geq \tilde{S}_j^L \quad \forall j,$$

$$\sum_{i=1}^n (RQ_i x_i) \geq \sum_{i=1}^n RQ_i \quad \forall i,$$

$$x_i - x_p \geq 0 \quad \forall i, p \text{ sodass } PR_{i,p} = 1,$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad \forall i$$

Der Überschuss der unscharfen zukünftigen Werte \tilde{v}_i der i zur Auswahl stehenden F&E-Projekte über die unscharfen Investitionskosten \tilde{c}_{it} der i F&E-Projekte in Projektphase t soll demnach unter Einhaltung bestimmter Restriktionen maximiert werden, wobei $x_i=1$, wenn Projekt i durchgeführt wird und $x_i=0$ wenn nicht. Es gibt unscharfe Budgets \tilde{B}_t die zum Zeitpunkt t eingehalten werden müssen, wobei \tilde{c}_{it} an unscharfen Kosten für Projekt i zum Zeitpunkt t anfallen. Außerdem steht nur eine unscharfe Zahl \tilde{R}_{kt} an Personal mit der speziellen Fähigkeit k zum Zeitpunkt t zur Verfügung, wobei \tilde{r}_{ikt} Personen mit Fähigkeit k für Projekt i zum Zeitpunkt t benötigt werden. Darüberhinaus kommen strategische Überlegungen zum Tragen, da höchstens ein unscharfes Budget \tilde{S}_j^U und mindestens \tilde{S}_j^L für solche F&E-Projekte verwendet werden kann, die Bestandteil der Strategie j des Unternehmens sind, wobei SI_{ij} den Wert 1 annimmt, wenn Projekt i Bestandteil der Strategie j ist und 0 wenn nicht. Nimmt RQ_i den Wert 1 an, so ist die Durchführung bestimmter F&E-Projekte i obligat und 0 wenn nicht. Ist die Durchführung von F&E-Projekt i abhängig von der Durchführung von F&E-Projekt p , dann nimmt $PR_{i,p}$ den Wert 1 an und 0 wenn nicht.

Die wesentlichen Merkmale des Ansatzes der unscharfen ganzzahligen Programmierung von Wang und Hwang (2007) sind somit die Berücksichtigung von Projektinterdependenzen und Unsicherheit sowie Vagheit bezüglich strategischer, personeller und finanzieller Restriktionen. Zur Lösung ihres Modells verwenden Wang und Hwang (2007) einen Ansatz der possibilistischen ganzzahligen Programmierung der auf dem Ansatz von Inuiguchi und Ramik (2000) basiert und mit qualitativer Wahrscheinlichkeitstheorie erweitert wurde, um die unscharfen Restriktionen handhaben zu können. Dabei wird aus Sicht eines risikoaversen Entscheidungsträgers das unscharfe Modell der ganzzahligen nichtlinearen Programmierung in ein Modell der ganzzahligen nichtlinearen Programmierung umgewandelt. Dieses kann dann mittels eines Optimierungsverfahrens gelöst werden. Durch die Veränderung der flexiblen Budgets kann der Entscheidungsträger eine Sensitivitätsanalyse vornehmen und so die Auswirkungen der Veränderung von Budgetrestriktionen nachvollziehen.

Karsak (2006) entwickelte ebenfalls ein Modell der unscharfen ganzzahligen nichtlinearen mathematischen Programmierung für die Auswahl von F&E-Projektportfolios mittels Realloptionen, wobei Interdependenzen von bis zu drei F&E-Projekten berücksichtigt werden können. Während die Optionspreise stochastische Variablen sind und die Entscheidungsvariablen binär und ganzzahlig sind, werden die Parameter des Modells durch

dreieckförmige bzw. trapezförmige unscharfe Zahlen dargestellt. Dadurch ist es möglich, die mangels verlässlicher Prognosen ungenauen Informationen und Daten bei F&E-Projekten zu modellieren. Karsak (2006) formuliert sein Modell zur F&E-Projektportfolioauswahl wie folgt:

$$\max Z^* = \sum_{i=1}^m V_i^e x_i$$

mit

$$\sum_{i=1}^m \tilde{C}_i x_i - \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m \tilde{C}_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{m-2} \sum_{j=i+1}^{m-1} \sum_{k=j+1}^m \tilde{C}_{ijk} x_i x_j x_k \leq \tilde{T}_B,$$

$$\sum_{i=1}^m \tilde{W}_i x_i - \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m \tilde{W}_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{m-2} \sum_{j=i+1}^{m-1} \sum_{k=j+1}^m \tilde{W}_{ijk} x_i x_j x_k \leq \tilde{T}_W,$$

$$\sum_{i \in Y_j} x_i \geq |Y_j| x_j, j \in \Theta_y,$$

$$x_j \in \{0,1\}, i = 1, \dots, m.$$

Es soll also der Gesamtgewinn maximiert werden, der sich aus den Gewinnen V_i^e aller F&E-Projekte x_i zusammensetzt, wobei $x_i = 1$, wenn F&E-Projekt i in das F&E-Projektportfolio aufgenommen wird und $x_i = 0$ wenn nicht. Der Gesamtgewinn ist unter Einhaltung bestimmter Restriktionen zu maximieren. So sind zwei Ressourcenrestriktionen zu beachten. Zum einen ist ein unscharfes Budgetlimit (\tilde{T}_B) einzuhalten und zum anderen gibt es auch nur eine unscharfe Anzahl an qualifizierten Fachkräften (\tilde{T}_W), die zur Umsetzung der F&E-Projekte zur Verfügung stehen. Sowohl diese beiden Obergrenzen als auch die Variablen, die den Verbrauch der knappen Ressourcen bestimmen (\tilde{W}, \tilde{C}), werden durch unscharfe Zahlen dargestellt. Um das unscharfe nichtlineare ganzzahlige Programmierungsmodell zu lösen, schlägt Karsak (2006) eine Linearisierung des Modells vor, wobei er auf einen Ansatz von Watters (1967) zurückgreift. Das linearisierte unscharfe ganzzahlige Programmierungsmodell kann sodann mit dem possibilistischen Ansatz von Inuiguchi und Ramik (2000) in ein scharfes Modell der mathematischen Programmierung umgewandelt werden.

Unscharfe stochastische Programmierung

Die stochastische Programmierung kommt immer dann zum Einsatz, wenn in einem Entscheidungsproblem stochastische Prozesse auftreten. Heidenberger und Stummer (1999) stellen fest, dass in Modellen der stochastischen Programmierung zumindest ein Inputfaktor unsicher und Wertschwankungen unterworfen ist. Die hier angesprochene Unsicherheit bezieht sich auf den Eintritt eines Ereignisses, so wie die Unsicherheit vor einem Würfelwurf bezüglich der geworfenen Augenzahl. Sobald der Würfel gefallen ist, besteht keine Unsicherheit mehr im Sinne der Stochastik in Bezug auf das eingetretene Ereignis. Mithilfe der Theorie der unscharfen Mengen kann auch eine andere Art der Unsicherheit dargestellt werden, nämlich die Unsicherheit über den Zustand des bereits eingetretenen Ereignisses. Der Wurf mit einem sechsseitigen Würfel mit Werten eins bis sechs ist ein schlechtes Beispiel für diese Art der Unsicherheit. Nimmt man stattdessen jedoch einen sechsseitigen Würfel, der nicht mit Werten eins bis sechs versehen ist, sondern dessen Seiten lediglich durch unterschiedliche Grauschattierungen gekennzeichnet sind und würfelt man bei schlechten Lichtverhältnissen, so ist es leicht nachvollziehbar, dass in diesem Fall zusätzlich zur stochastischen Unsicherheit vor dem Würfelwurf auch die Unsicherheit im Sinne der unscharfen Mengen nach dem Würfelwurf auftritt.

Huang (2007) entwickelte ein Modell, das der unscharfen stochastischen Programmierung zuzuordnen ist. Dieser Ansatz beinhaltet und aggregiert beide oben erwähnten Arten von Unsicherheit, nämlich die stochastische Unsicherheit und die Unsicherheit im Sinne der Theorie der unscharfen Mengen. Die stochastische Unsicherheit verwendet Huang (2007) bei der Bestimmung des Net-Cash-Flow durch die normalverteilte Variable $N(\mu, \sigma^2)$ und die Theorie der unscharfen Mengen zur Darstellung der Parameter μ und σ^2 der normalverteilten Variable $N(\mu, \sigma^2)$. Die Parameter μ und σ^2 werden als unscharfe Zahlen dargestellt, da der Entscheidungsträger nur eine vage Vorstellung über deren tatsächlich eintretenden Werte hat. Eine Variable, die eine Kombination von Unsicherheit im Sinne der Stochastik und jener im Sinne der Theorie der unscharfen Mengen in sich vereint, wird als „random fuzzy variable“ bzw. zufällige unscharfe Variable bezeichnet. Huang (2007) definiert die Investitionskosten und die jährlichen Net-Cash-Flows durch zufällige unscharfe Variablen. Eine zufällige unscharfe Variable ζ kann allgemein definiert werden durch

$$\zeta = \begin{cases} \zeta_1 & \text{mit Wahrscheinlichkeit } a_1 \\ \zeta_2 & \text{mit Wahrscheinlichkeit } a_2 \\ \vdots & \vdots \\ \zeta_m & \text{mit Wahrscheinlichkeit } a_m \end{cases}$$

wobei a_1, a_2, \dots, a_m reelle Zahlen in $[0,1]$ sind und $a_1 \vee a_2 \vee \dots \vee a_m = 1$ wobei \vee die T-Norm Maximumoperator ist (vgl. Abschnitt 2.1.1).

Die unscharfen Modelle der mathematischen Programmierung dienen dazu, unter Berücksichtigung von Restriktionen das optimale F&E-Projektportfolio auszuwählen. Restriktionen können sich auf finanzielle und/oder personelle Ressourcen beziehen. Außerdem können strategische Restriktionen und Projektinterdependenzen berücksichtigt werden. Die Theorie der unscharfen Mengen dient zur Darstellung von vagen, unsicheren bzw. unscharfen Informationen bzw. Daten.

2.4 Unscharfe Simulationsmodelle und Heuristiken

In den Abschnitten 2.2 und 2.3 wurden Modelle der F&E-Projektauswahl vorgestellt, bei denen die Umwelt, in die das Entscheidungsproblem eingebettet ist und das Entscheidungsproblem sehr vereinfacht dargestellt werden. Ohne diese Vereinfachung der Rahmenbedingungen, die die Entscheidungen der Entscheidungsträger beeinflussen, wäre die Komplexität der Modelle so groß, dass sie analytisch nicht mehr lösbar wären. Daher werden genau in jenen Fällen Simulationsmodelle und Heuristiken verwendet, in denen die Komplexität des Entscheidungsproblems erhalten bleiben soll, um es möglichst realistisch darzustellen. Bei Simulationsmodellen geschieht das dadurch, dass möglichst viele Details, die mit dem Entscheidungsproblem einhergehen in das Simulationsmodell aufgenommen werden. Dafür muss sich der Entscheidungsträger damit zufrieden geben, dass im Rahmen des Modells ausschließlich „What-If“-Fragen beantwortet werden können und keine optimale Lösung angestrebt werden kann. Simulationsmodelle kommen vor allem dann zum Einsatz, wenn keine geeigneten analytischen Instrumente zur Verfügung stehen und Experimente zu teuer und/oder zu zeitintensiv sind (Heidenberger und Stummer 1999).

Yi et al. (2008) verwenden zur Lösung ihres Ansatzes des MADM (vgl. Abschnitt 2.2.1) die unscharfe Simulationstechnik von Liu (2002). Dabei wird eine Rangliste anhand der Erwartungswerte von Performance Indizes erstellt.

Danmei et al. (2008) entwickelten einen unscharfen heuristischen Ansatz der F&E-Projektportfolioauswahl. Das Ziel ist, eine zulässige, gute Lösung zu erhalten, die sämtliche Restriktionen beachtet, jedoch nicht zwingendermaßen optimal ist. Nachdem im Rahmen einer Vorabprüfung all jene F&E-Projekte ausgewählt werden, die die Ressourcenrestriktionen einhalten, werden die F&E-Projekte anhand ihrer erwarteten Gewinne gereiht. Da die Bezifferung der erwarteten Gewinne einer gewissen Unsicherheit unterworfen ist, verwenden Danmei et al. (2008) trapezförmige unscharfe Zahlen zur Darstellung und deren α -Schnitte (vgl. Abschnitt 2.1), um die erwarteten Gewinne miteinander vergleichbar zu machen. Der paarweise Vergleich der daraus resultierenden Intervalle erfolgt durch die Vergleichsmethode von Gao und Zhou (2007), um eine Reihung der F&E-Projekte vornehmen zu können. Die F&E-Projekte werden anschließend in Gruppen zusammengefasst, wobei die Ordnung der F&E-Projekte innerhalb der einzelnen Gruppen in absteigender Reihenfolge anhand ihrer erwarteten Gewinne erfolgt. In einem abschließenden Schritt integrieren Danmei et al. (2008) die Projektablaufplanung als Entscheidungskriterium.

2.5 Unscharfe Ansätze der kognitiven Emulation

Heidenberger und Stummer (1999) definieren die Ansätze der kognitiven Emulation als Modelle, die dazu dienen eine Nachbildung der aktuellen Entscheidungsprozesse innerhalb eines Unternehmens herzustellen und geben zu bedenken, dass die Ableitung daraus gewonnener Erkenntnisse auf zukünftige Entscheidungssituationen aufgrund der Einmaligkeit von F&E-Projekten nur bedingt möglich ist. Zu den Ansätzen der kognitiven Emulation zählen statistische Ansätze, Expertensysteme und die Analyse von Entscheidungsprozessen.

Imoto et al. (2008) entwickelten ein unscharfes Regressionsmodell zur F&E-Projektevaluation, um die Resultate der Expertenevaluation innerhalb eines Unternehmens zu analysieren. Die Bewertung durch die Experten erfolgt anhand von sieben Kriterien. Die F&E-Projekte werden zum einen durch ein Scoring-Verfahren bewertet und zum anderen durch einen AHP. Die Ergebnisse dieser zwei Bewertungsverfahren werden im Rahmen einer

unscharfen Regressionsanalyse verglichen. Die Ergebnisse des AHP werden zur Gesamtbewertung der F&E-Projekte herangezogen und die Ergebnisse des Scoring anhand der einzelnen Kriterien werden als erklärende Variablen verwendet. Die zu analysierenden Daten werden als unscharfe Zahlen dargestellt, um eine möglichst große Informationsbreite zu gewährleisten.

Machacha und Bhattacharya (2000) entwickelten ein Expertensystem unter Berücksichtigung der Theorie der unscharfen Mengen, da sie diese als geeignetes Instrument ansehen, um die menschliche Entscheidungsfindung zu simulieren. Ihr Ansatz basiert auf der Reduktion von Unsicherheit. Zuerst werden die F&E-Projekte anhand vorab definierter Kriterien durch Experten bewertet. Die Kriterien werden so gewählt, dass sie die Problematik der F&E-Projektauswahl möglichst gut widerspiegeln. Die Bewertung erfolgt entweder durch linguistische Variablen oder durch unscharfe Zahlen. Anschließend werden Entscheidungsregeln aufgestellt, die festlegen sollen, in welcher Beziehung die definierten Kriterien zur Gesamtbewertung stehen. Jene F&E-Projektalternative mit der höchsten Gesamtbewertung wird als bestes F&E-Projekt gereiht.

Riddel und Wallace (2007) entwickelten ein Expertensystem zur F&E-Projektauswahl unter Berücksichtigung der Theorie der unscharfen Mengen, das in ein interaktives entscheidungsunterstützendes Modell eingebettet ist. Ihr primäres Ziel ist es, einen unüberschaubar großen Entscheidungsraum auf einen kleinen, handhabbaren Entscheidungsraum zu reduzieren. Der Entscheidungsraum besteht aus allen F&E-Projekten die zur Auswahl stehen. Eine erste Reduktion der F&E-Projektalternativen erfolgt durch die Bestimmung von Mindestanforderungen, die die F&E-Projekte erfüllen müssen. Alle F&E-Projekte, die die Mindestanforderungen, die durch scharfe Zahlen dargestellt werden, erfüllen, werden im Rahmen einer zweiten Reduktion durch eine unscharfe Bewertung von Experten miteinander verglichen. Die Präferenzen der Experten werden durch unscharfe Zahlen dargestellt. Die Experten haben die Möglichkeit, F&E-Projektportfolios im Rahmen einer unscharfen Aggregation zu erstellen und diese selbst zu verändern. Dadurch können Trade-Offs zwischen F&E-Projektalternativen identifiziert und in der Entscheidungsfindung berücksichtigt werden.

3 Rahmenbedingungen der F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung am Beispiel des sechsten FRP der EU

Die betriebliche F&E-Projektauswahl erfolgt in der Regel in jenem Unternehmen, das die jeweiligen F&E-Projekte durchzuführen plant. Es handelt sich dabei um eine Investitionsentscheidung des Unternehmens. Die F&E-Projektauswahl im Rahmen der Forschungsförderung ist keine Investitionsentscheidung des Unternehmens, welches das F&E-Projekt durchzuführen plant, sondern eine Entscheidung über die Förderung von F&E-Projekten durch einen Fördergeldgeber. Man kann hierbei zwischen der nationalen Forschungsförderung durch den Staat und der supranationalen Forschungsförderung durch eine übergeordnete Instanz, wie die EU unterscheiden. Während die betriebliche F&E-Projektauswahl zumeist eine Maßnahme des taktischen Innovationsmanagements darstellt und somit eher ein kurzfristiges bis mittelfristiges Planungsziel verfolgt wird, handelt es sich bei der F&E-Projektauswahl im Rahmen der Forschungsförderung um strategische Entscheidungen mit einem langfristigen Planungsziel, das über die eigentliche Durchführung des F&E-Projekts hinausgeht. Es geht viel mehr darum, als Wegbereiter zu fungieren, indem F&E-Projekte gefördert werden die als meritorische Angebote angesehen werden. Brockhoff (1999) definiert in diesem Zusammenhang meritorische Angebote wie folgt:

„Staatliche Einflußnahmen auf die Allokation der Produktionsfaktoren in Marktwirtschaften sind zu rechtfertigen, wenn Marktunvollkommenheiten vorliegen, wenn Marktversagen beobachtet wird oder wenn das Angebot im Urteil der politischen Entscheidungsträger bei privatem Angebot entsprechend den individuellen Präferenzen ein unerwünschtes Ausmaß annimmt. Wird dieses Ausmaß als zu niedrig angesehen, spricht man von meritorischen Angeboten.“

Seit 1984 werden in Europa Forschungsrahmenprogramme (FRP) entwickelt, um die europäische Forschungslandschaft zu stärken. Die Kooperation innerhalb der Forschung in Europa reicht allerdings noch viel weiter zurück als bis zu diesem ersten FRP. 1954 entstand die Europäische Organisation für Kernforschung (CERN) und 1971 die „European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research“ (COST), die die

Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftlern in unterschiedlichen Bereichen der Forschung unterstützt.

Das Ziel des sechsten FRP war es, „... die wissenschaftlichen und technologischen Grundlagen der Industrie der Gemeinschaft zu stärken und die Entwicklung ihrer internationalen Wettbewerbsfähigkeit zu fördern, sowie alle Forschungsmaßnahmen zu unterstützen, die aufgrund anderer Politiken der Gemeinschaft für erforderlich gehalten werden,“ (Europäisches Parlament/ Rat 2002) Weitere Ziele für das sechste FRP waren die Schaffung eines Europäischen Forschungsraums, das nachhaltige Wirtschaftswachstum, die Schaffung von Arbeitsplätzen und das Ziel „... bis 2010 zum wettbewerbsfähigsten und dynamischsten wissensbasierten Wirtschaftsraum der Welt zu werden“ (Europäisches Parlament/Rat 2002). Durch das sechste FRP sollte die Forschung und die technologische Entwicklung in Europa strukturiert, wissenschaftliche und technische Exzellenz weiterentwickelt und die Forschung in Europa koordiniert werden. Schließlich soll auch kleinen aber wissenschaftlich herausragenden Forschungsakteuren die Möglichkeit gegeben werden, den Aufstieg zur Spitzenforschung zu schaffen. Zur Erreichung dieser Ziele stellte die Europäische Gemeinschaft 16.270 Mio. Euro als Gesamthöchstbetrag in Aussicht (Europäisches Parlament/Rat 2002)

Im Rahmen des sechsten FRP wurden 56000 F&E-Projektvorschläge an die Europäische Kommission gerichtet. Aus diesen gingen 10058 abgeschlossene Verträge zwischen Europäischer Kommission und Antragstellern hervor. Im Vergleich zum fünften FRP verringerte sich die Erfolgsquote, also der Anteil abgeschlossener Verträge bezogen auf die Anzahl der F&E-Projektvorschläge, von 26 Prozent auf 24 Prozent. Auffallend ist ebenfalls, dass sich die Anzahl der Teilnehmer je F&E-Projekt verdoppelt hat, was bedeutet, dass die zur Förderung vorgeschlagenen F&E-Projekte größer geworden sind. (Rietschel 2009, S.14)

In Anbetracht der vielfältigen Zielsetzungen, des hohen Förderbetrags und der großen Anzahl an eingelangten F&E-Projektvorschlägen kommt der Gestaltung eines effektiven und effizienten Prozesses der F&E-Projektauswahl eine große Bedeutung zu.

In den folgenden Abschnitten sollen die Akteure der F&E-Projektauswahl (Abschnitt 3.1), die verschiedenen Instrumente zur Durchführung von F&E-Projektvorschlägen (Abschnitt 3.2), die der Bewertung zugrundeliegenden Kriterien der F&E-Projektauswahl (Abschnitt 3.3) und die einzelnen Bausteine des Prozesses der F&E-Projektauswahl (Abschnitt 3.4) näher betrachtet werden um ein Verständnis für die Besonderheiten der F&E-Projektauswahl im Rahmen der Forschungsförderung aufzubauen.

3.1 Akteure der F&E-Projektauswahl

Der Prozess der betrieblichen F&E-Projektauswahl ist durch das Zusammenspiel verschiedener Akteure geprägt. Grundsätzlich kann zwischen drei Gruppen unterschieden werden, nämlich den Antragstellern, die den F&E-Projektvorschlag entwerfen und gegebenenfalls umsetzen, den Evaluatoren, die den F&E-Projektvorschlag bewerten und den Entscheidungsträger, die anhand der Empfehlungen der Evaluatoren eine Entscheidung bezüglich der Durchführung bzw. der Nichtdurchführung treffen. Die F&E-Projektvorschläge können zwar je nach Organisationsstruktur des Unternehmens aus unterschiedlichen Abteilungen oder Divisionen des Unternehmens stammen, jedoch handelt es sich bei den Antragstellern in der Regel um Personen aus dem Unternehmen und nicht um externe Antragsteller. Die Evaluatoren, die die F&E-Projektvorschläge bewerten, sind in der Regel auch Mitarbeiter des Unternehmens aus den für die Bewertung relevanten Bereichen, wie F&E, Controlling oder Marketing. Die Entscheidungen bezüglich der Durchführung oder Nichtdurchführung von F&E-Projekten werden ebenfalls intern durch eine Instanz getroffen.

In den FRPs der EU gibt es ebenfalls drei wesentliche Akteure, nämlich die Europäische Kommission, die unabhängigen Experten und die Antragsteller. Die Europäische Kommission ist der institutionelle Akteur der als Initiator, Koordinator und Fördergeldgeber der FRPs fungiert. Die drei wesentlichen Aufgaben der Europäischen Kommission sind die Zusammenführung der Forschungsmittel, die Definition der wissenschaftlichen und technologischen Prioritäten und die Verwaltung der FRPs. (Sombrowski 2005, S.35) Die F&E-Projektvorschläge werden von den Antragstellern eingereicht. Diese können Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Universitäten und sogenannte „Drittländer“ (Länder außerhalb der EU) sein (Rietschel 2009, S.8). Zur Bewertung der eingereichten F&E-Projektvorschläge werden unabhängige Experten von der Europäischen Kommission eingesetzt. Dabei handelt es sich um „... Wissenschaftler aus dem jeweiligen Spezialgebiet, Fachleute aus der Politik und den betreffenden Wirtschaftssektoren und aufgrund der fast durchgängigen Anwendungsorientierung der europäischen Forschungsprojekte auch Nutzer“ (Sombrowski 2005, S.41).

Die Auswahl der Experten gestaltet sich jedoch insofern schwierig, da viele Kriterien berücksichtigt werden müssen, um einen optimalen F&E-Projektauswahlprozess zu gewährleisten (Sombrowski 2005, S.247ff). Sämtliche unabhängige Experten, die zur Auswahl stehen, befinden sich in einem globalen Datenpool namens EXIS. Die Anzahl der

auf EXIS eingetragenen unabhängigen Experten beläuft sich auf ca. 32000. Es stehen verschiedene Kriterien zur Verfügung, mit denen die Suche eingegrenzt werden kann. Um aus dieser großen Anzahl an Möglichkeiten die passenden Experten für die jeweiligen F&E-Projektvorschläge auszuwählen, können die Suchergebnisse nach Nationalität, Erfahrung, Geschlecht und Sprachkompetenz gefiltert werden. Außerdem gibt es die Möglichkeit einer freien Textsuche bzw. einer Stichwortsuche, falls z. B. nach einer bestimmten Person gesucht wird, die als besonders geeignet für die Bewertung des F&E-Projektvorschlags angesehen wird. Durch Gruppierungen von F&E-Projektvorschlägen anhand von thematischen Schwerpunktsetzungen bzw. strategischen Zielen entstehen verschiedene Panels, die aus mehreren unabhängigen Experten bestehen. Es ist unbedingt notwendig, dass die Kompetenzen der unabhängigen Experten den Themenkreis des F&E-Projektvorschlags abdecken. Sollte das nicht so sein und würde infolgedessen ein F&E-Projektvorschlag abgelehnt werden, so kann das zur Unzufriedenheit des Antragstellers führen und einen Grund darstellen, in Zukunft keinen F&E-Projektvorschlag mehr einzureichen. Außerdem muss darauf geachtet werden, dass im Sinne der Gleichberechtigung eine Geschlechterbalance gegeben sein muss. Auch die berufliche Herkunft der unabhängigen Experten spielt eine Rolle bei der Zusammensetzung des Panels, da darauf geachtet werden soll, dass „... *ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Experten aus der Industrie, der universitären Forschung, Forschungsinstituten und den Nutzerkreisen ...*“ (Sombrowski 2005, S. 248) geschaffen wird. Ein weiteres Kriterium stellt die Balance zwischen erfahrenen und unerfahrenen unabhängigen Experten dar. Von entscheidender Bedeutung ist auch, dass die unabhängigen Experten aufgrund eines aktuellen oder vergangenen beruflichen Abhängigkeitsverhältnisses zu den Antragstellern in keinen direkten oder indirekten Interessenskonflikt hinsichtlich der Bewertung der F&E-Projektvorschläge geraten dürfen. (Europäische Kommission 2003, 2004a, b, c, 2005a, b, c)

Jene unabhängigen Experten, die von der Europäischen Kommission anhand der oben angeführten Kriterien aus der Datenbank EXIS ausgewählt werden und das Panel bilden, das zur Evaluation der F&E-Projektvorschläge zusammentritt, werden im Rahmen eines speziellen Briefings auf ihre Aufgaben vorbereitet. Die Briefings dienen vor allem dazu, die Homogenität der Bewertungen zu gewährleisten. Alle Evaluatoren sollen Entscheidungen treffen, die auf denselben Bewertungsgrundsätzen beruhen. Ein Hilfsmittel dafür sind die „Guidance Notes for Evaluators“ (Europäische Kommission 2003, 2004a, b, c, 2005a, b, c), die den Evaluatoren von den ausführenden Direktionen der Europäischen Kommission zur Verfügung gestellt werden. Für jeden Themenkreis, zu dem F&E-Projektvorschläge

eingereicht werden können, gibt es eigene Guidance Notes for Evaluators. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Guidance Notes for Evaluators, sind jedoch im Detail zu suchen. Der grundsätzliche Prozess der Evaluierung bleibt immer derselbe.

Der gesamte Prozess beruht auf den grundlegenden Anforderungen der Europäischen Kommission (2003) hinsichtlich Qualität, Transparenz, Gleichbehandlung, Unbefangenheit, Effizienz und Schnelligkeit sowie ethischer Erwägungen. Es sollen nur jene F&E-Projekte für eine Förderung ausgewählt werden, die eine entsprechende Qualität hinsichtlich Wissenschaft, Technologie und Management aufweisen. Der Auswahlprozess soll für die Antragsteller transparent sein und somit einen Leitfaden darstellen, der dabei hilft, den F&E-Projektvorschlag derart zu formulieren und zu gestalten, dass dieser größtmögliche Chancen auf eine Förderung hat. Denn das hat sowohl positive Auswirkungen für den Antragsteller, dessen Chancen, eine Förderung zu erhalten, steigen, als auch für die Europäische Kommission, da sich dadurch die durchschnittliche Qualität der F&E-Projektvorschläge erhöht. Alle F&E-Projektvorschläge sollen unabhängig von ihrem geographischen Ursprung und der Identität des Antragstellers gleich behandelt werden. Außerdem sollen die F&E-Projektvorschläge unbefangen und objektiv beurteilt werden. Von großer Bedeutung ist auch eine möglichst schnelle und effiziente Abwicklung des Auswahlprozesses und damit eine möglichst geringe „time-to-contract“. Nicht außer Acht gelassen werden auch ethische Erwägungen. Es ist stets zu hinterfragen, ob die eingereichten F&E-Projektvorschläge mit den ethischen Prinzipien der Europäischen Union und ihrer Mitgliedsstaaten vereinbar sind. (Europäische Kommission 2004a)

Wie eine Expertengruppe im Rahmen einer Ex-Post-Evaluation des sechsten FRP herausgefunden hat, bestehen durchaus Mängel, die zu beseitigen sind (Rietschel 2009, S.59). Die Komplexität des gesamten Prozesses und das Nichtvorhandensein von genauen Zeitplänen sind Barrieren aus der Sicht der Antragsteller. Erwähnenswert ist auch die Tatsache, dass aus der Sicht der evaluierenden Expertengruppe nicht erkennbar war, dass sich die Europäische Kommission bewusst ist, dass ein Managementprozess erforderlich ist, der die Komplexität der Aufgabe bewältigen kann. Die Komplexität entsteht vor allem durch die große Anzahl an F&E-Projektvorschlägen und die vielfältigen Bewertungsinstrumente. Die in Abschnitt 2 vorgestellten quantitativen Ansätze der betrieblichen F&E-Projektauswahl sind grundsätzlich dazu geeignet, diese Komplexität im Entscheidungsprozess zu bewältigen.

Der wesentliche Unterschied zwischen Akteuren der F&E-Projektauswahl in Unternehmen und der Forschungsförderung ist darin zu sehen, dass es sich bei ersteren in der Regel um

Akteure aus derselben Organisation handelt, während letztere aus unterschiedlichen Organisationen stammen und einmalig im Rahmen dieses Prozesses zusammengeführt werden. Daraus kann geschlossen werden, dass es keine gemeinsamen Erfahrungen in Bezug auf den Prozess der F&E-Projektauswahl gibt und daher eine Standardisierung des Prozesses der F&E-Projektauswahl im Rahmen der Forschungsförderung die Effizienz und Effektivität desselben erhöht. Dem wird seitens der Europäischen Kommission auch genüge getan, indem ein einheitlicher Prozess der F&E-Projektauswahl (vgl. Abschnitt 3.4) und Richtlinien für die Evaluierung bereitgestellt werden.

3.2 Instrumente zur Durchführung der F&E-Projektvorschläge

Die F&E-Projektvorschläge, die von den Antragstellern eingereicht werden, werden durch bestimmte Instrumente, die im Rahmen des sechsten FRP der EU zur Verfügung stehen, umgesetzt. Die zur Auswahl stehenden Instrumente werden in Tabelle 2 dargestellt.

Förderungsinstrument im sechsten FRP der EU
<ul style="list-style-type: none"> • Exzellenznetzwerke • Integrierte Projekte • Spezielle gezielte Forschungs- oder Innovationsprojekte • KMU-spezifische Forschungsprojekte • Maßnahmen zur Förderung und Entwicklung der Humanressourcen und der Mobilität • Koordinierungsmaßnahmen • Maßnahmen zur gezielten Unterstützung • Integrierte Infrastrukturinitiativen • Beteiligung der Gemeinschaft an Programmen mehrerer Mitgliedsstaaten nach Artikel 169 EG-Vertrag

Tabelle 2: Förderinstrumente im sechsten FRP der EU [eigene Darstellung in Anlehnung an Europäisches Parlament/Rat (2002)]

Während die Exzellenznetzwerke und die integrierten Projekte neue Instrumente sind, die vor dem sechsten FRP noch nicht zur Anwendung kamen, sind die restlichen Instrumente

zumindest auch schon beim fünften FRP zum Einsatz gekommen. Die Antragsteller können F&E-Projektvorschläge für die Umsetzung durch ein bestimmtes Instrument einreichen. Die Bewertung der F&E-Projektvorschläge erfolgt sodann anhand der für die jeweiligen Instrumente relevanten Kriterien und Subkriterien (vgl. Abschnitt 3.3).

Das Europäische Parlament und der Rat (2002) definieren die verschiedenen Instrumente zur Durchführung von F&E-Projekten wie folgt.

Exzellenznetzwerke kommen dann zum Einsatz, wenn es sich aus der Sicht der Gemeinschaft um vorrangige Themenbereiche handelt. Sie dienen dazu, das wissenschaftliche und technologische Spitzenniveau der Gemeinschaft weiterzuentwickeln. Dabei wird besonders darauf geachtet, jene Forschungskapazitäten die auf nationaler und regionaler Ebene vorhanden sind, europaweit zu integrieren und verfügbar zu machen. Ein Begriff, der dabei von großer Bedeutung ist, ist jener der „kritischen Masse“. Es wird nämlich seitens der Gemeinschaft angestrebt, in einem bestimmten wissenschaftlich technologischen Bereich durch das Zustandekommen einer kritischen Masse von Fachwissen Fortschritte zu erzielen und die vorhandenen Kenntnisse auszubauen. Unter einer kritischen Masse ist eine untere Schranke zu verstehen, unter der es nicht möglich erscheint, für die EU relevante Fortschritte in den entsprechenden Fachbereichen zu erzielen. Die kritische Masse ist als quantitatives Maß anzusehen, das durch die Bündelung von Forschungskapazitäten und –tätigkeiten auf dem entsprechenden Forschungsgebiet zustande kommt. Es geht hierbei also nicht um den Innovationsgrad des Vorhabens sondern ausschließlich um die zur Verfügung stehenden Ressourcen. Es soll hierbei vor allem die Zusammenarbeit zwischen Spitzenvertretern aus verschiedenen Sektoren, wie Hochschulen, Unternehmen sowie Wissenschafts- und Technologieorganisationen gefördert werden. Die Zielsetzung bei Exzellenznetzwerken ist eher langfristig und multidisziplinär und nicht auf bestimmte Produkte, Prozesse oder Dienstleistungen ausgerichtet. Daher verfügen die Exzellenznetzwerke auch über ein hohes Maß an Eigenständigkeit in Bezug auf das Management des Netzwerks. Das Zustandekommen einer kritischen Masse in einem bestimmten Bereich führt im optimalen Fall dazu, dass ein sogenannter „European Added Value“, also ein europäischer Mehrwert entsteht.

Im Gegensatz zu den Exzellenznetzwerken ist die Zielsetzung der integrierten Projekte auf konkrete Produkte, Prozesse oder Dienstleistungen ausgerichtet, die wiederum einem vorrangigen Themenbereich zuzuordnen sind. Es gibt also immer genau festgelegte wissenschaftliche Ziele. Diese können aber auch einen langfristigen Planungshorizont

aufweisen und eher risikoreich in Bezug auf die Maßnahmen sein. Um diese Ziele zu erreichen, ist es wiederum erforderlich, eine kritische Masse an Ressourcen und Fähigkeiten zu bewerkstelligen. Der Nutzen der Gemeinschaft soll sich durch eine gestärkte Wettbewerbsfähigkeit oder durch wichtige soziale Errungenschaften ergeben. Das Maßnahmenpaket der integrierten Projekte erstreckt sich von Maßnahmen der Forschung über solche der technologischen Entwicklung oder Demonstrationen bis hin zu Maßnahmen des Wissensmanagements. Auch die integrierten Projekte verfügen über ein hohes Maß an Eigenständigkeit, das sich vor allem dahingehend äußert, dass die Möglichkeit besteht, während der Laufzeit des F&E-Projekts, dessen Inhalte und auch die Beziehung der Projektteilnehmer zueinander anzupassen.

Exzellenznetzwerke und integrierte Projekte gehören zu den neuen Instrumenten, die erstmals im sechsten FRP zum Einsatz kamen. Die speziellen gezielten Forschungs- oder Innovationsprojekte sind hingegen ein traditionelles Instrument, das schon im fünften FRP zum Einsatz gekommen ist. Das Ziel dieses Instruments ist es, Forschungs- und Innovationsprojekte zu fördern die zur Verbesserung der europäischen Wettbewerbsfähigkeit beitragen und eine vorrangige Rolle aus der Sicht der EU einnehmen. Außerdem sollen sie einen klaren thematischen Schwerpunkt haben. Die speziellen gezielten Forschungs- und Innovationsprojekte sollen entweder Projekte der Forschung und technologischen Entwicklung oder Demonstrationsprojekte sein, um die Nutzbarkeit von neuen Technologien zu demonstrieren. Die Anwendungsfelder von speziellen gezielten Forschungs- oder Innovationsprojekten sind vorrangige Themenbereiche, spezielle Tätigkeiten der internationalen Kooperation, Förderung der Wechselwirkung von Forschung und Innovation und die Herstellung eines guten Verhältnisses zwischen Wissenschaft und Gesellschaft. Das Ziel von Projekten der Forschung und technologischen Entwicklung ist der Erwerb von Wissen, um Produkte, Prozesse oder Dienstleistungen zu verbessern oder die Befriedigung sozialer und gemeinschaftspolitischer Bedürfnisse. Die innovativen Konzepte und Methoden sollen auf europäischer Ebene erprobt, verifiziert und verbreitet werden.

Ein weiteres Instrument sind die Maßnahmen zur Förderung und Entwicklung der Humanressourcen und der Mobilität. Das Instrument dient dazu, die Aus- und Weiterbildung, die Entwicklung von Fachkenntnissen und den Wissenstransfer zu forcieren. Unterstützt werden sowohl Einzelpersonen als auch Aus- und Weiterbildungszentren sowie Gasteinrichtungen und europäische Forschungsteams.

Die Gemeinschaft bietet für alle im sechsten FRP vorgesehenen Tätigkeiten Koordinierungsmaßnahmen. Hier sollen vor allem die Rahmenbedingungen für die F&E verbessert werden. Dazu zählen die verbesserte Integration der Akteure der Forschung und der technologischen Entwicklung durch Maßnahmen, wie die Veranstaltung von Konferenzen und Tagungen, die Durchführung von Studien, der Austausch von Personal und Informationen, die Einführung von Informationssystemen und der Einsatz von Sachverständigengruppen sowie die Festlegung, Gestaltung und Verwaltung gemeinsamer Initiativen.

Den Koordinierungsmaßnahmen sehr ähnlich sind Maßnahmen zur gezielten Unterstützung. Neben der Durchführung von Studien und der Veranstaltung von Konferenzen werden die Projekte in operativen Belangen und auch in Bereichen der Information, Kommunikation und Diffusion des innovativen Produktes, Prozesses oder Services gefördert. Außerdem sollen Barrieren überwunden werden, die den grenzüberschreitenden Zugang zu Forschungsinfrastrukturen verhindern. Die Zielgruppe dieser Maßnahmen sind vor allem Klein- und Mittelunternehmen, kleine Forschergruppen, neu aufgebaute und weit entfernte Forschungsstätten mit dem Ziel, deren Teilnahme an den vorrangigen Themenbereichen des sechsten FRP zu erleichtern.

Um die Forschungsinfrastrukturen der Teilnehmer zu unterstützen, gibt es die integrierten Infrastrukturinitiativen. Es handelt sich dabei um ein Bündel aus verschiedenen Aktivitäten, die dazu dienen sollen, den Ausbau und die Entwicklung von Forschungsinfrastrukturen zu unterstützen, wie z.B. die Aus- und Weiterbildung von Forschern und Wissenschaftlern.

Die Bereitstellung verschiedener Instrumente zur Durchführung von F&E-Projekten unterstreicht den institutionellen Charakter der Forschungsförderung. Es werden Rahmenbedingungen geboten, um die Bedürfnisse einer breitgefächerten Gruppe von Antragstellern erfüllen zu können. Die Europäische Kommission fungiert daher nicht nur als Fördergeldgeber, sondern auch als Bereitsteller von Rahmenbedingungen, die für den F&E-Projekterfolg förderlich sind. Anhand welcher Kriterien (vgl. Abschnitt 3.3) die Bewertung der F&E-Projektvorschläge durch die unabhängigen Experten erfolgt, ist davon abhängig, welches der oben erwähnten Instrumente zur Durchführung gewählt wird.

3.3 Kriterien der F&E-Projektauswahl

So wie Unternehmen nur über ein begrenztes Budgets zur Umsetzung ihrer F&E-Vorhaben verfügen, hat auch die Europäische Kommission nur ein begrenztes Budget, um F&E-Projekte im Rahmen der FRPs zu fördern. Daher droht auch der Europäischen Kommission im Fall einer schlechten F&E-Projektauswahl der Verlust von Fördermitteln, wenn ein erfolgloses F&E-Projekt gefördert wird und Opportunitätskosten, da sie diese Fördermittel für die Förderung anderer, möglicherweise besserer F&E-Projekte verwenden hätte können (Martino 1995, S.1).

Die F&E-Projektvorschläge werden daher anhand bestimmter Kriterien bewertet, um festzustellen, welche für eine Förderung im Rahmen des sechsten FRP am geeignetsten sind. Tabelle 3 zeigt links die im Rahmen des sechsten FRP der EU zur Bewertung herangezogenen Kriterien und rechts die Kriterien der F&E-Projektauswahl in Bezug auf das Management und die Umsetzung von F&E-Projekten nach Martino (1995, S.91ff). Bei den Kriterien des sechsten FRP der EU handelt es sich um Hauptkriterien, die wiederum in diverse Subkriterien unterteilt sind. Die Subkriterien werden einzeln von den unabhängigen Experten mittels einer Scoring-Methode bewertet. Obwohl die Subkriterien zur Gänze den Hauptkriterien unterzuordnen sind, ergibt sich die Bewertung des Hauptkriteriums nicht aus der durchschnittlichen Bewertung der Subkriterien, also dem arithmetischen Mittel der Scores. Das Hauptkriterium wird gesondert bewertet und kann daher von der durchschnittlichen Bewertung der Subkriterien abweichen. Die zuvor ermittelten Scores der Subkriterien dienen lediglich als Richtlinie für die Bewertung des Hauptkriteriums. Ein wesentlicher Kritikpunkt an dieser Vorgehensweise ist darin zu sehen, dass es zu einer subjektiven Gewichtung der Subkriterien durch die unabhängigen Experten kommt. (Sombrowski 2005, S. 106) Das führt zwangsläufig zu unterschiedlichen Einschätzungen bezüglich der Bewertung eines Hauptkriteriums, da mangels einer Gewichtungsvorgabe der Subkriterien jeder unabhängige Experte den Subkriterien eine subjektive Bedeutung und damit auch ein unterschiedliches Gewicht zuordnet. Die Bewertung des Hauptkriteriums ist somit das Resultat eines Verhandlungsprozesses und damit auch von der Verhandlungsstärke der unabhängigen Experten abhängig.

Kriterien der F&E-Projektauswahl im 6. FRP	Kriterien der F&E-Projektauswahl nach Martino (1995, S.91ff)
<ul style="list-style-type: none"> • Relevance • Potential Impact • Science & Technology Excellence • Degree of Integration and the Joint Programme of Activities • Quality of the Coordination • Quality of the Support Action • Quality of the Consortium • Excellence of Participants • Quality of Management • Organisation and Management • Mobilisation of Resources 	<ul style="list-style-type: none"> • Probability of Technical Success • Existence of a Product Champion • Competence in the Required Discipline • Degree of Internal Commitment • Degree of Internal Competition of Resources • Intrinsic Merit of the Research • Potential for strategic Positioning • Stage of Innovation • Source of Project Proposal

Tabelle 3: Kriterien der F&E-Projektauswahl [eigene Darstellung in Anlehnung an Sombrowski (2005, S.177ff) und Martino (1995, S.91)]

In weiterer Folge sollen nun die Hauptkriterien und deren Subkriterien näher beschrieben und mit den Kriterien von Martino (1995, S.91ff) verglichen werden. Dabei wird vor allem die Bedeutung der Kriterien für die neuen Instrumente (integrierte Projekte und Exzellenznetzwerke) und die drei traditionellen Instrumente (spezielle gezielte Forschungs- oder Innovationsprojekte, Koordinationsmaßnahmen und Maßnahmen zur gezielten Unterstützung) betrachtet. Die Diskussion basiert auf dem im Anhang dargestellten Kriterienkatalog (Sombrowski 2005, S.176ff).

Das Kriterium „Relevance“ dient dazu, die Übereinstimmung der Forschungsziele der F&E-Projektvorschläge mit jenen der Europäischen Kommission sicherzustellen. Es wird dadurch beschrieben, inwiefern ein F&E-Projektvorschlag die Zielsetzungen des Arbeitsprogrammes adressiert. Das Kriterium kommt bei allen Instrumenten zur Anwendung und stellt somit eine entscheidende Hürde für jeden F&E-Projektvorschlag dar (Sombrowski 2005, S. 177). Es ist für die Europäische Kommission also von großer Bedeutung, dass die ausgewählten F&E-Projektvorschläge die Interessen der Europäischen Kommission adressieren. Das Kriterium der Relevanz wird von Martino (1995) für die betriebliche F&E-Projektauswahl nicht explizit definiert. Das überrascht insofern nicht, da bei der betrieblichen F&E-Projektauswahl die F&E-Projektvorschläge entweder aus einer Technologieabteilung oder aus der Marketingabteilung kommen. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von Technology-

Push- und Market-Pull-Innovationen. In beiden Fällen ist die Relevanz des F&E-Projekts gegeben, da sich die Ziele des F&E-Projekts entweder mit den Wünschen der Konsumenten decken oder eine Weiterentwicklung der Kernkompetenzen des Unternehmens darstellen. Es gilt lediglich, im Rahmen des Kriteriums „Potential for Strategic Positioning“ abzuwägen, ob Technology-Push-Innovationen auch die Bedürfnisse der Konsumenten adressieren. Die Relevanz des F&E-Projekts ist somit ein Kriterium, das eher für die F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung typisch ist und weniger für die betriebliche F&E-Projektauswahl.

Die Bewertung des Kriteriums „Potential Impact“ kommt ebenfalls bei allen Instrumenten zur Anwendung. Dieses Kriterium unterteilt sich in diverse Subkriterien. Bei den integrierten Projekten und den speziellen gezielten Forschungs- oder Innovationsprojekten, ist als Subkriterium zu bewerten, inwiefern der F&E-Projektvorschlag aus strategischer Sicht zu einer Verstärkung der Wettbewerbsfähigkeit oder zur Lösung von sozialen Problemen beiträgt bzw. wie geeignet der F&E-Projektvorschlag ist, um zur Lösung derartiger Probleme beizutragen. Bei den speziellen gezielten Forschungs- oder Innovationsprojekten, den Koordinierungsmaßnahmen und den Maßnahmen zur gezielten Unterstützung soll die Diffusion bzw. die Nutzung der Innovation möglichst optimal sein, bei den integrierten Projekten zusätzlich auch noch sämtliche Aktivitäten, die mit der Innovation zusammenhängen. Handelt es sich um ein Exzellenznetzwerk, so ist zu prüfen ob ein effektiver Plan vorhanden ist, um das angestrebte Wissen innerhalb und außerhalb des Netzwerkes zu verteilen bzw. zugänglich zu machen. Außerdem ist zu beurteilen, in welchem Ausmaß aus strategischer Sicht ein Bedarf seitens der EU vorhanden ist, die wissenschaftliche und technologische Exzellenz in jenem Themenkreis zu fördern, dem der F&E-Projektvorschlag zuzuordnen ist und ob die Ziele innerhalb des Netzwerkes in dieser speziellen Verbindung dazu geeignet sind, europäisches Spitzenniveau in diesem Forschungsbereich zu erreichen. Darüber hinaus ist abzuwägen, zu welchem Grad der F&E-Projektvorschlag einen dauerhaften strukturierenden Einfluss auf die europäische Forschung hat. Bei den Maßnahmen zur gezielten Unterstützung ist zu beurteilen, ob das angestrebte Ergebnis nur erreicht werden kann, wenn es auf europäischer Ebene durchgeführt wird und nicht auf nationaler Ebene. Bei den anderen Instrumenten ist darauf zu achten, ob der F&E-Projektvorschlag einen europäischen Mehrwert erzeugt, wenn man das F&E-Projekt auf europäischer Ebene durchführt. Bei den Koordinierungsmaßnahmen soll eine kritische Masse an Ressourcen in Europa mobilisiert werden. Bei den Maßnahmen zur gezielten Unterstützung soll die Unterstützung durch die Gemeinschaft einen erheblichen Einfluss auf den Umfang des Vorhabens, die Ambitionen und das Ergebnis haben. (Sombrowski 2005, S.

179) Zusammenfassend kann dieses Kriterium als Effizienz- bzw. Effektivitätskriterium bezeichnet werden. Die eingesetzten Ressourcen sollen durch einen entsprechenden Output gerechtfertigt werden. Dahingehend können wie schon beim vorigen Kriterium, Parallelen zu Martinos (1995, S.96f) Kriterium Potential for Strategic Positioning gezogen werden. Die Kriterien Relevance und Potential Impact können somit als strategische Kriterien der F&E-Projektauswahl im Rahmen des sechsten FRP angesehen werden.

Das Kriterium „Science & Technology Excellence“ und seine Subkriterien gewährleisten, dass die ausgewählten F&E-Projekte klar definierte Ziele haben und zu einem klaren Fortschritt im Vergleich zum State of the Art des jeweiligen Forschungsbereichs führen. Darüberhinaus ist zu beachten, dass der gewählte Ansatz des F&E-Projekts die Erreichung der gesetzten Ziele des F&E-Projekts gewährleistet. Hier lässt sich eine Parallele zu Martinos (1995, S.92f) Kriterium „Probability of Success“ ziehen. Je höher die wissenschaftliche und technologische Exzellenz des F&E-Projekts, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Umsetzung.

Das Kriterium „Degree of Integration and the Joint Programme of Activities“ wird ausschließlich zur Bewertung der Exzellenznetzwerke verwendet. Es zielt darauf ab, dass der erwartete Integrationsgrad den Aufwand eines Exzellenznetzwerks rechtfertigt, die gemeinsamen Aktivitäten ausreichend gut gestaltet sind, um diesen Integrationsgrad zu erreichen und die teilnehmenden Parteien auch zu einer derartigen wechselseitigen Integration der Aufgaben bereit sind.

Das Kriterium „Quality of the Coordination“, welches nur für die Beurteilung von Koordinierungsmaßnahmen zur Anwendung kommt, gewährleistet eine hohe Qualität des Forschungsvorhabens und eine ausreichende Robustheit der Koordinationsmechanismen, um die anvisierten Ziele zu erreichen. Das Kriterium „Quality of the Support Action“ ist ausschließlich auf die Maßnahmen zur gezielten Unterstützung anzuwenden. Die Ziele des F&E-Projektvorschlags und die Maßnahmen zur Erreichung dieser Ziele sowie der Projektplan sollen von ausreichend hoher Qualität sein. Die Antragsteller sollen eine ausreichend hohe Qualität bezüglich fachlicher Qualifikation aufweisen können. Das Kriterium „Quality of Consortium“ zielt darauf ab, dass die an integrierten Projekten, speziellen gezielten Forschungs- und Innovationsprojekten und Koordinierungsmaßnahmen teilnehmenden Parteien ein qualitativ hochwertiges Konsortium bilden und für die ihnen zugeteilten Aufgaben gut geeignet sind. Die Teilnehmer sollen sich in ihren Stärken möglichst gut ergänzen, um durch die daraus entstehenden Synergien einen europäischen Mehrwert zu

schaffen. Darüberhinaus soll bei integrierten Projekten die Teilnahme von Klein- und Mittelunternehmen (KMU) sichergestellt werden und bei Maßnahmen zur gezielten Unterstützung zumindest die Möglichkeit einer Teilnahme in Betracht gezogen werden. Hier zeigt sich, dass im Gegensatz zur F&E-Projektauswahl in Unternehmen bei der F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung auch wirtschaftspolitische Interessen eine wichtige Rolle spielen.

Das Kriterium „Excellence of Participants“ richtet sich ausschließlich an die Exzellenznetzwerke und beinhaltet die Eignung der teilnehmenden Parteien für die jeweils zugeteilten Aufgaben, das Zustandekommen einer kritischen Masse an Fachwissen und Ressourcen und die aktive Forschung in den für das F&E-Projekt relevanten Bereichen. Die Fachkompetenz der Teilnehmer im Rahmen der übrigen Instrumente wird durch die Subkriterien der Hauptkriterien Quality of the Coordination, Quality of Consortium und Quality of the Support Action bewertet. Martino (1995, S.94) sieht eine ausreichende Kompetenz des Fachpersonals bei der Umsetzung von F&E-Projekten ebenfalls als wichtiges Kriterium der F&E-Projektauswahl. Die Fachkompetenz der an der Umsetzung der F&E-Projekte beteiligten Personen im Rahmen des sechsten FRP der EU ist somit ebenso wie in der betrieblichen F&E-Projektauswahl ein Kriterium.

Zusätzlich zu der Fachkompetenz der an der Umsetzung der F&E-Projekte beteiligten Personen ist im Rahmen des sechsten FRP der EU auch das Management und die Organisation der Antragsteller durch die Kriterien „Quality of Management“ bzw. „Organisation and Management“ zu bewerten. Zum einen befassen sich diese Kriterien mit der Eignung der Organisationsstruktur, der Qualität des Projektmanagements und des Wissensmanagements der teilnehmenden Parteien und zum anderen wird beurteilt, ob eine entsprechende Entscheidungsstruktur vorhanden ist und ob das Management auf einem ausreichend hohen Niveau ist. Im Kriterienkatalog von Martino (1995, S.93f) werden diese Kriterien im Kriterium „Existence of a Product Champion“ widerspiegelt, welches besagt, dass für die Umsetzung von F&E-Projekten ein Produkt-Champion vorhanden sein muss, der das F&E-Projekt vorantreibt, verteidigt und über den Respekt der teilnehmenden Personen und der Stakeholder des F&E-Projekts verfügt. Während im Rahmen der F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung die Organisation und das Management der Antragsteller als ganzes bewertet wird, ist in der betrieblichen F&E-Projektauswahl lediglich das Vorhandensein eines Produkt-Champions von Bedeutung. Eine naheliegende Begründung ist, dass bei der F&E-Projektauswahl in Unternehmen alle Antragsteller der verschiedenen F&E-Projekte aus derselben Organisationsstruktur stammen und sich daher in Bezug auf

Management und Organisation wenig bis gar nicht unterscheiden und dieses Kriterium somit nicht zur Differenzierung der F&E-Projektvorschläge geeignet ist.

Das Kriterium „Mobilisation of Resources“ dient dazu, dass für die Umsetzung der F&E-Projekte die nötigen Ressourcen vorhanden sind und im Falle eines integrierten Projekts darüberhinaus eine kritische Masse an Ressourcen aufgebracht wird, die für den Erfolg notwendig erscheint. Die Ressourcen müssen auch in geeigneter Weise integriert werden, um einen reibungslosen Ablauf des F&E-Projekts zu gewährleisten. Ein umfassender, geeigneter Finanzplan soll unterstützend zur Umsetzung des F&E-Projekts beitragen. Martino (1995, S.95) berücksichtigt die Knappheit von Ressourcen im Kriterium „Degree of Internal Competition for Resources“.

Die unabhängigen Experten stehen also vor der Herausforderung, die eingereichten F&E-Projektvorschläge anhand der oben erwähnten elf Hauptkriterien und der dazugehörigen 50 Subkriterien zu beurteilen. In Anbetracht des großen kognitiven Aufwands, mit dem die unabhängigen Experten bei der Bewertung der F&E-Projektvorschläge konfrontiert sind, überrascht es nicht, dass Rietschel (2009) im Rahmen der Evaluation des sechsten FRP bemängelt, dass die Time-to-Contract, also jene Zeitspanne von der Einreichung des F&E-Projektvorschlags bis zur Vertragsunterzeichnung, nach der das F&E-Projekt offiziell starten kann, im internationalen Vergleich überdurchschnittlich lang ist.

3.4 Prozess der F&E-Projektauswahl

In Abbildung 7 ist links der Prozess der F&E-Projektauswahl als Diagramm dargestellt, wie er auch im Leitfaden zu den Vorschlagsbewertungs- und auswahlverfahren der Europäischen Kommission (2004a) zu finden ist. Die Gestaltung des Diagramms ist jedoch etwas widersprüchlich, da aufgrund der verwendeten Symbole nicht eindeutig klar ist, bei welchen Elementen es sich um Ereignisse handelt und bei welchen um Entscheidungen. Daher ist rechts in Abbildung 7 der Prozess der F&E-Projektauswahl inhaltlich identisch als Flussdiagramm dargestellt, wobei Ellipsen die Start bzw. Endpunkte des Prozesses, Rechtecke Ereignisse und Rauten Entscheidungen darstellen. Der Verlauf des Flussdiagramms wird durch Pfeile festgelegt, wobei von jeder Entscheidung zumindest zwei Pfeile weggehen und jeder Pfeil in ein Ereignis (auch der Endpunkt ist ein Ereignis) mündet.

Diese Darstellungsform ist von entscheidender Bedeutung für die eindeutige und widerspruchsfreie Darstellung von Prozessabläufen.

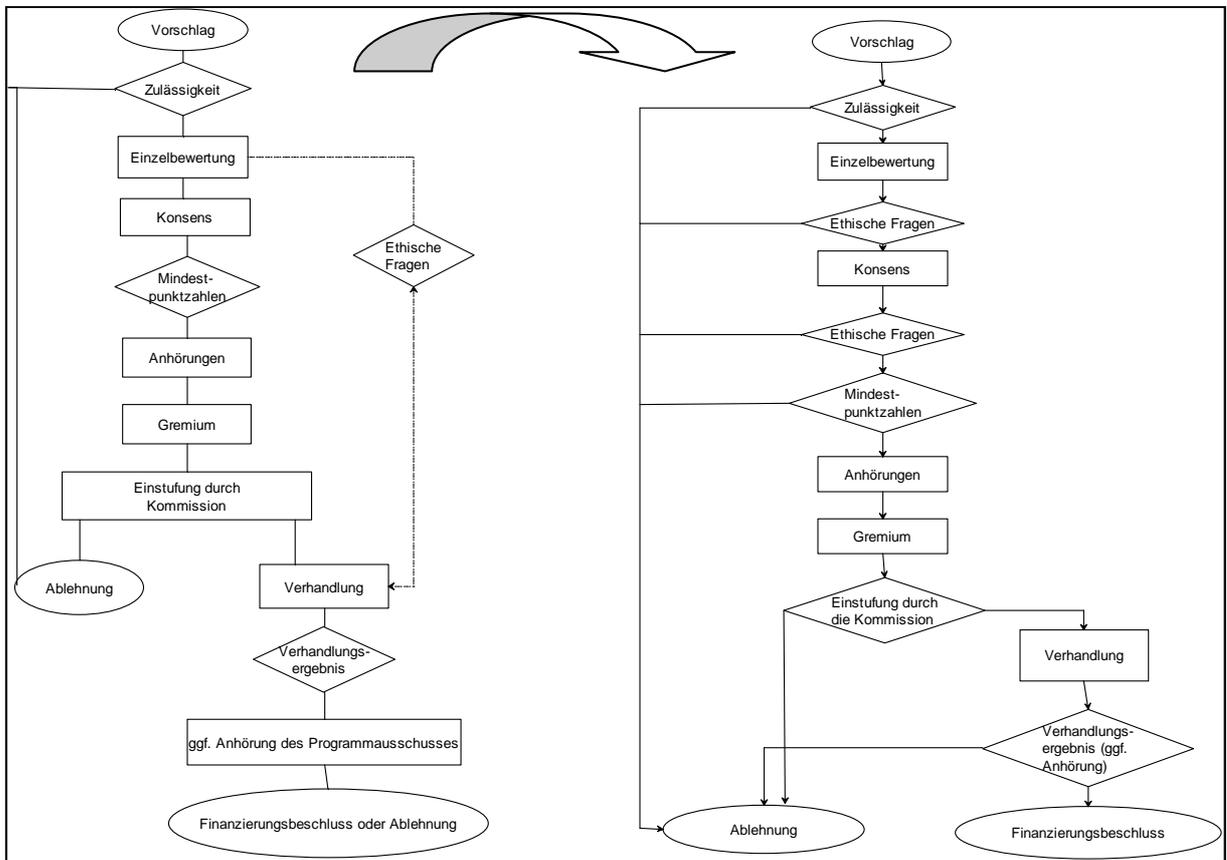


Abbildung 7: Darstellung des Prozesses der Vorschlagbewertungs- und Auswahlverfahren als Flussdiagramm [eigene Darstellung in Anlehnung an Europäische Kommission (2004a)]

Der Prozess der F&E-Projektauswahl beginnt mit der Einreichung der F&E-Projektvorschläge durch die Antragsteller.

Die Europäische Kommission kann zunächst eine Aufforderung zur Interessensbekundung starten. Dabei werden potentielle Antragsteller befragt, „... ob sie bereit wären, Vorschläge auszuarbeiten, und was sie von den voraussichtlichen Zielen und der Relevanz der Forschungsmaßnahmen halten.“ (Europäische Kommission 2004a) Das Ziel dieses Vorhabens ist, dass die Europäische Kommission Eindrücke davon erlangt, ob die potentiellen Antragsteller dazu bereit sind, Vorschläge auszuarbeiten und wenn ja, wie sie die Ziele und die Relevanz der Forschungsmaßnahmen einschätzen. Die Aufforderung zur Interessensbekundung hat allerdings keinen Einfluss auf die endgültige Entscheidung, ob der F&E-Projektvorschlag eines Antragstellers auch für eine Förderung ausgewählt wird

(Europäische Kommission 2004a). Die Aufforderung zur Interessensbekundung stellt also lediglich ein unverbindliches Ausloten der vorhandenen Interessen in der Forschungsgemeinschaft dar.

In einem weiteren Schritt erfolgt die Aufforderung zur Einreichung von Vorschlägen seitens der Europäischen Kommission. Im sechsten FRP wurden sieben genau abgegrenzte vorrangige Themenbereiche ausgeschrieben, zu denen die Antragsteller F&E-Projektvorschläge einreichen können, nämlich (i) Biowissenschaften, Genomik, und Biotechnologie im Dienste der Gesundheit, (ii) Technologien für die Informationsgesellschaft, (iii) Nanotechnologien und –wissenschaften, wissensbasierte Werkstoffe sowie neue Produktionsverfahren und –anlagen, (iv) Luft- und Raumfahrt, (v) Lebensmittelqualität und –sicherheit, (vi) nachhaltige Entwicklung, globale Veränderungen und Ökosysteme und (vii) Bürger und Staat in der Wissensgesellschaft. Diese breitgefächerte Palette an Forschungsfeldern lässt darauf schließen, dass der Prozess der F&E-Projektauswahl im Rahmen der Forschungsförderung einen weitaus höheren kognitiven Aufwand erfordert als der Prozess der F&E-Projektauswahl in Unternehmen, die zumeist nur in einem Forschungsfeld aktiv sind.

Die Europäische Kommission (2004a) bietet einen formlosen Vorabprüfungsdienst an, bei dem interessierte Antragsteller ihre F&E-Projektvorschläge auf ihre Zulässigkeit und darauf ob sie dem jeweiligen Geltungsbereich ((i)-(vi)) zuzuordnen sind, prüfen lassen können. Dies ist als spezielles Service für KMUs gedacht, um das finanzielle Risiko aufgrund eines komplett ausgearbeiteten, aber im Endeffekt abgewiesenen F&E-Projektvorschlags zu verringern. Das Verfahren der Einreichung der F&E-Projektvorschläge an sich ist durch die Europäische Kommission (2004a) klar geregelt: Nachdem die F&E-Projektvorschläge über ein elektronisches System oder auf Vordrucken eingereicht werden, erfolgt eine Bestätigung des Eingangs. Wenngleich die Zulassungskriterien für die unterschiedlichen Bereiche voneinander abweichen können, so gelten folgende für alle eingereichten F&E-Projektvorschläge, nämlich (a) fristgerechter Eingang, (b) die in der Aufforderung verlangte Mindestanzahl an Teilnehmern und (c) die Vollständigkeit des Vorschlags. Bei (c) ist zu beachten, dass sich die Vollständigkeit auf das Vorhandensein der notwendigen Teile des F&E-Projektvorschlags und nicht auf deren Inhalt bezieht.

Im Anschluss daran erfolgt eine formale Zulassungsprüfung der F&E-Projektvorschläge. Dabei soll überprüft werden, ob die jeweiligen Zulassungskriterien der Aufforderungen zur Einreichung von F&E-Projektvorschlägen erfüllt werden oder nicht. Jeder F&E-

Projektvorschlag, der auch nur eines der Zulassungskriterien nicht erfüllt, wird abgewiesen. Dabei spielt es keine Rolle, ob der Mangel sofort oder erst im weiteren Verlauf der F&E-Projektauswahl erkannt wird. Sobald der Mangel auftritt, stellt er einen Abweisungsgrund für den F&E-Projektvorschlag dar. (Europäische Kommission 2004a)

Jene Vorschläge, die für zulässig erklärt wurden, werden nun durch die unabhängigen Experten bewertet, die den jeweiligen F&E-Projektvorschlägen zugeordnet wurden. Die Bewertung der F&E-Projektvorschläge unterteilt sich in die Einzelbewertung und die Gruppenbewertung. (Europäische Kommission 2004a) Die Bewertung der F&E-Projektvorschläge durch die unabhängigen Experten erfolgt durch das Peer-Review-Verfahren. Sombrowski (2005, S.37) meint, dass der Grund, warum sich die Europäische Kommission des Peer-Review-Verfahrens bedient, darin liegt, „...eine objektive, durch externen Sachverstand abgesicherte Grundlage für die vorläufige Projektauswahl des Programm-Managements und für die formelle endgültige Projektauswahl zu erhalten.“ Allerdings betont Sombrowski (2005, S.37), dass die Stellung des Peer-Review-Verfahrens und damit die Bewertung der F&E-Projektvorschläge durch die unabhängigen Experten nicht überbewertet werden darf, da die endgültige Entscheidung über die F&E-Projektauswahl und damit über die Verteilung der Fördergelder die Europäische Kommission trifft und nicht die unabhängigen Experten. Das Ergebnis der Bewertung durch die unabhängigen Experten entspricht einem unverbindlichen Vorschlag zur F&E-Projektauswahl für die Europäische Kommission.

Die F&E-Projektvorschläge werden im Rahmen der Einzelbewertung anhand eines Scoring-Verfahrens bewertet, wobei bestimmte Kriterien und deren Subkriterien auf einer sechsstufigen Skala von null bis fünf Punkten bewertet werden. Heidenberger und Stummer (1999) definieren das Scoring als einen Ansatz, bei dem eine relativ geringe Anzahl an Beurteilungskriterien definiert wird. Das Scoring-Verfahren im Rahmen des Peer-Review basiert auf elf Hauptkriterien und 52 Subkriterien (vgl. Abschnitt 3.3). Ein Score von null Punkten wird vergeben, wenn der F&E-Projektvorschlag das ausgeschriebene Thema verfehlt oder wenn Informationen fehlen, die für die Bewertung durch die unabhängigen Experten notwendig wären. 1.0 bis 1.9 Punkte werden vergeben, wenn der F&E-Projektvorschlag von geringer Qualität in Bezug auf die zu beurteilenden Kriterien ist. Gründe dafür können fehlende Informationen sein. 2.0 bis 2.9 Punkte sind zu vergeben, wenn der F&E-Projektvorschlag sowohl Stärken als auch Schwächen enthält oder wenn Details fehlen, die den F&E-Projektvorschlag von anderen abheben würden. 3.0 bis 3.9 Punkte bedeuten, dass der F&E-Projektvorschlag im Großen und Ganzen als gut zu bewerten ist, auch wenn noch

kleine Schwächen vorhanden sind. 4.0 bis 4.9 Punkte stehen für eine sehr gute Bewertung des F&E-Projektvorschlags hinsichtlich der Bewertungskriterien. Entscheidend ist, dass der F&E-Projektvorschlag Aspekte beinhalten muss, die ihn eindeutig von anderen guten F&E-Projektvorschlägen abheben. Ein Score von fünf Punkten soll nur in Ausnahmefällen vergeben werden, nämlich wenn der unabhängige Experte der Ansicht ist, dass alle unabhängigen Experten den F&E-Projektvorschlag als exzellent ansehen werden und dadurch ein breiter Konsens darüber herrscht. Außerdem darf es keinerlei Verbesserungsvorschläge mehr geben. (Europäische Kommission 2005c)

Nachdem jeder unabhängige Experte die Einzelbewertung des zugeteilten F&E-Projektvorschlags abgeschlossen hat, erfolgt die Konsensphase (vgl. Abbildung 7). Dabei bilden all jene unabhängigen Experten, die denselben F&E-Projektvorschlag bewertet haben, ein sogenanntes Panel. Sie versuchen dabei, zu einem Konsens hinsichtlich der Bewertung des betreffenden F&E-Projektvorschlags zu kommen. Der Konsens ergibt sich dabei aber nicht aus dem arithmetischen Mittel der vergebenen Scores der einzelnen unabhängigen Experten, sondern es wird versucht im Rahmen einer Diskussion zu einem Konsens zu gelangen. Dabei sollen die unabhängigen Experten argumentieren, warum die F&E-Projektvorschläge, in Bezug auf die jeweiligen Kriterien ein bestimmtes Score erhalten haben. Die Argumente für die vergebenen Scores fließen in den sogenannten Konsensbericht ein, der den Antragstellern als Feedback dienen soll. Dieser Vorgang wird durch einen Berichterstatter der Europäischen Kommission koordiniert, der im wesentlichen die Aufgaben eines Moderators erfüllt. Die Europäische Kommission (2004a) behält sich das Recht vor, eine an die Konsensphase anschließende Gruppenbewertung aller F&E-Projektvorschläge durch alle dem Fachbereich zugeordneten unabhängigen Experten einzuberufen, wenn Art und Anzahl der Vorschläge, die auf eine bestimmte Aufforderung zur Interessensbekundung einlangen, es erfordern. Die Art der Entscheidungsfindung der Gruppenbewertung wird seitens der Europäischen Kommission jedoch nicht spezifiziert. Die Endpunktezahle der F&E-Projektvorschläge ergibt sich aus der gewichteten Konsensnote der einzelnen Kriterienblöcke. (vgl. Abschnitt 3.3)

Das Ergebnis der Konsensfindung wird dazu verwendet, um die F&E-Projektvorschläge auf die erforderlichen Mindestpunktezahlen zu überprüfen. All jene F&E-Projektvorschläge, die diese erforderlichen Mindestpunktezahlen nicht erreichen, werden aussortiert.

Es besteht die Möglichkeit von Anhörungen im Rahmen eines Gremiums von jenen Antragstellern, deren F&E-Projektvorschläge die Mindestpunktezahlen erreicht haben. Dies

dient dazu, um Empfehlungen für eine mögliche Zusammenlegung zu F&E-Projektclustern oder betreffend der Umsetzung des F&E-Projektvorschlags abzugeben. Darüberhinaus kann das Gremium prüfen, ob die vergebenen Scores aus der Konsensphase widerspruchsfrei sind und gegebenenfalls andere Scores vergeben. (Europäische Kommission 2004a) Die durch die unabhängigen Experten vergebenen Scores können insgesamt dreimal abgeändert werden, nämlich in der Konsensphase, in der Gruppenbewertung und im Gremium. Sombrowski (2005, S.230) kritisiert deshalb, dass dadurch eine „... *argumentative Umstufung der Projekttrangfolge...*“ stattfindet, die für Außenstehende nicht einsehbar ist, da die Europäische Kommission keine offene Publikationspolitik in diesem Bereich betreibt und die Ergebnisgenerierung Gefahr läuft, „...*teilweise vom individuellen Beharrungsvermögen und der Durchsetzungskraft von Einzelnen abzuhängen.*“ Dies schürt natürlich Zweifel an der Objektivität des Prozesses der F&E-Projektauswahl.

Zum Abschluss der Bewertungsphase erhält jeder Koordinator als Feedback einen zusammenfassenden Bewertungsbericht, der das Ergebnis der Konsensphase (die Scores und deren Begründung), die entsprechenden Anmerkungen des Gremiums zu den Scores und die sonstigen Empfehlungen des Gremiums bezüglich Umsetzung und Zusammenlegung der F&E-Projektvorschläge enthält. (Europäische Kommission 2004a)

Den Abschluss der Evaluation der F&E-Projektvorschläge stellt die Einstufung durch die Europäische Kommission dar, bei der die Bewertungen und die sonstigen Empfehlungen der unabhängigen Experten, die Vereinbarkeit mit den anvisierten Zielen und die zur Verfügung stehenden Haushaltsmittel berücksichtigt werden. Diese kann für die Antragsteller entweder eine Ablehnung oder die Aufnahme von Verhandlungen zur Folge haben. Manche F&E-Projektvorschläge werden auf eine Reserveliste gesetzt, für den Fall, dass die Verhandlungen mit den Koordinatoren ausgewählter F&E-Projektvorschläge scheitern. Die Verhandlungen können alle relevanten wissenschaftlichen, rechtlichen und finanziellen Aspekte betreffen. So ist es zum Beispiel möglich, dass inhaltliche Änderungen vorgenommen werden müssen (wissenschaftlicher Aspekt), bestimmte Vertragsklauseln geändert werden müssen (rechtlicher Aspekt) oder der Finanzierungsplan geändert werden muss (finanzieller Aspekt). Außerdem werden bestimmte Ausschließungsgründe geprüft, nämlich Interessenskonflikte und falsche Auskünfte der Antragsteller, jegliche Unregelmäßigkeiten im Zusammenhang mit dem Prozess der F&E-Projektauswahl und ethische Ausschließungsgründe. Die Zusammenlegung von F&E-Projekten zu F&E-Projektclustern oder sonstige Empfehlungen bezüglich der Durchführung, die von den unabhängigen Experten im Rahmen des Gremiums abgegeben wurden, werden ebenfalls in dieser Phase behandelt. Im Anschluss an das

Verhandlungsergebnis kommt es gegebenenfalls zu einer Anhörung des Programmausschusses. Abgeschlossen wird der Prozess der F&E-Projektauswahl durch den Finanzierungsbeschluss oder eine Ablehnung durch die Europäischen Kommission. (Europäische Kommission 2004a)

4 Unscharfe Ansätze der F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung

Im vorangegangenen Abschnitt wurden die Akteure, die Instrumente, die Kriterien und der Prozess der F&E-Projektauswahl am Beispiel des sechsten FRP der EU behandelt. Die F&E-Projektauswahl wird dabei zwar methodisch durch das Peer-Review und das Scoring unterstützt, jedoch darf die Rolle dieser Verfahren, wie bereits erwähnt, nicht überbewertet werden, da es viele Möglichkeiten während des Prozesses der F&E-Projektauswahl gibt, die Ergebnisse des Scoring bzw. des Peer-Review zu verändern. Trotz der hohen Komplexität der F&E-Projektauswahl aufgrund der großen Anzahl an F&E-Projektvorschlägen, der unterschiedlichen Umsetzungsinstrumente, der vielfältigen Forschungsbereiche und der zahlreichen Beurteilungskriterien, gibt es offenbar keine entscheidungsunterstützenden Modelle für die Entscheidungsträger. Die F&E-Projektauswahl im Rahmen der FRPs der EU, ist als komplexer anzusehen als die betriebliche F&E-Projektauswahl, bei der es in der Regel weniger F&E-Projektvorschläge, weniger Kriterien und weniger Umsetzungsinstrumente gibt. Doch selbst in der weniger komplexen betrieblichen F&E-Projektauswahl zeigen Dickinson et al. (2001), dass entscheidungsunterstützende Modelle den Auswahlprozess um ein Vielfaches erleichtern und verkürzen. Für die Auswahl der unabhängigen Experten gibt es ebenfalls keine methodische Unterstützung. Es gibt zwar die Datenbank EXIS, auf der die unabhängigen Experten und die Kriterien, anhand derer sie ausgewählt werden, eingetragen werden, aber es gibt keine Hinweise auf ein Verfahren, das die optimale Auswahl der unabhängigen Experten gewährleistet.

Es ist also festzuhalten, dass bei der F&E-Projektauswahl im Rahmen des sechsten FRP der EU keine entscheidungsunterstützenden Systeme zum Einsatz kommen bzw. deren Einsatz zumindest nicht dokumentiert ist. Die einzige methodische Unterstützung erfolgt durch das Scoring im Rahmen der F&E-Projektevaluierung. Die Generierung einer Entscheidung anhand der vergebenen Scores bleibt jedoch allein den kognitiven Fähigkeiten der unabhängigen Experten überlassen. Die Taxonomie von Heidenberger und Stummer (1999) zeigt die breite Palette an quantitativen Ansätzen der F&E-Projektauswahl und in Abschnitt 2 wird eine Taxonomie der unscharfen quantitativen Ansätze der F&E-Projektauswahl vorgestellt. Die dort angeführten Ansätze wurden für die betriebliche F&E-Projektauswahl entwickelt. Relativ wenig Aufmerksamkeit wurde im Vergleich dazu der F&E-Projektauswahl im Rahmen der Forschungsförderung zuteil. Die Modelle der betrieblichen F&E-Projektauswahl, sind nicht ohne weiteres auf jene in der Forschungsförderung

anzuwenden. Während es sich bei den Akteuren der betrieblichen F&E-Projektauswahl um interne Akteure handelt, die in der Regel alle aus derselben Organisation stammen, sind im Prozess der F&E-Projektauswahl im Rahmen der Forschungsförderung auch externe Akteure zugange, nämlich die unabhängigen Experten, die die F&E-Projektvorschläge bewerten (vgl. Abschnitt 3.1). Das erfordert ein besonderes Augenmerk auf die Darstellung der subjektiven Bewertungen durch diese externen Akteure. Außerdem spielen bei der F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung auch politische Faktoren und Interessensgruppen eine Rolle. Daher ist es von besonderer Bedeutung, dass es sich bei der F&E-Projektauswahl um einen offenen und fairen Prozess handelt (Sombrowski 2005, S.150).

Da es umstritten ist, „...ob die Erfolgsfaktoren eines Forschungsvorhabens ex ante verlässlich bestimmt werden können, wenn hinsichtlich der strategischen Projektmerkmale viele vage Annahmen hinsichtlich der potentiellen Auswirkungen getroffen werden müssen.“ (Sombrowski 2005, S.166), ist es naheliegend, bei der Modellierung eines entscheidungsunterstützenden Modells für die F&E-Projektauswahl auf die in Abschnitt 2.1 beschriebene Theorie der unscharfen Mengen zurückzugreifen. Diese ist, wie bereits ausführlich diskutiert wurde, hervorragend dafür geeignet, unscharfe, unsichere bzw. vage Informationen in quantitativen Ansätzen der F&E-Projektauswahl zu berücksichtigen. In diesem Abschnitt werden daher jene Ansätze der F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung behandelt, die auf der Theorie der unscharfen Mengen basieren. In den Abschnitten 4.1 bzw. 4.2 wird der Prozess der F&E-Projektauswahl in der National Natural Science Foundation of China (NSFC) bzw. in Taiwan beleuchtet und die dort eingesetzten unscharfen quantitativen Ansätze der F&E-Projektauswahl vorgestellt.

4.1 F&E-Projektauswahl auf Basis unscharfer Mengen in der National Natural Science Foundation of China (NSFC)

Die NSFC ist die größte staatliche Forschungsförderungsgesellschaft in China und wurde 1986 gegründet. Die NSFC, ist wie in Abbildung 8 ersichtlich organisatorisch in sieben wissenschaftliche Fachbereiche, fünf Abteilungen, zwei Geschäftsstellen und vier weiteren Einheiten in ihrem direkten Einflussbereich unterteilt. Die NSFC verfügt über keine eigene Forschungseinrichtung und ist somit ein ausschließlich institutioneller Akteur, der

Fördergelder und Rahmenbedingungen zur Verfügung stellt. Die wissenschaftlichen Fachbereiche sind für die Auswahl und das Management der F&E-Projekte zuständig.

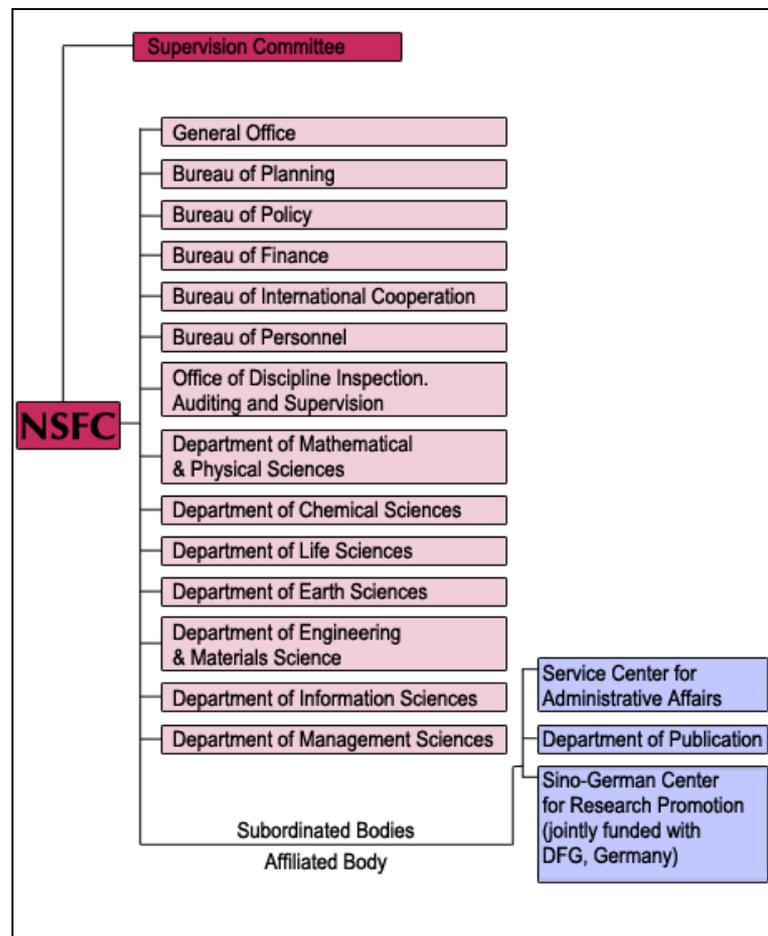


Abbildung 8: Organisationsstruktur des NSFC [Quelle: www.nsf.gov.cn am 6.10.2009]

Im Kalenderjahr 2008 wurden 49310 F&E-Projektvorschläge eingereicht. Im Vergleich dazu wurden 56000 Projektvorschläge im sechsten FRP der EU eingereicht (vgl. Tabelle 4), von denen 8824 genehmigt und gefördert wurden. Damit liegt die Erfolgsrate bei der NSFC, so wie beim sechsten FRP der EU, bei ca. 18 Prozent (vgl. Tabelle 4). Während die NSFC die meisten Forschungsförderungsprogramme einmal pro Jahr anbietet, erstrecken sich die FRPs der EU über einen Zeitraum von fünf Jahren. Grundsätzlich ist also festzuhalten, dass die Erfolgsrate der NSFC in Bezug auf die geförderten F&E-Projekte ähnlich derer des sechsten FRP der EU ist. Was hingegen auffällt ist, dass die Anzahl der eingereichten F&E-Projektvorschläge pro Jahr bei der NSFC um mehr als das Vierfache höher ist wie im sechsten FRP der EU (vgl. Tabelle 4). Die Schlussfolgerung daraus ist, dass der kognitive Aufwand, den die NSFC im Rahmen der F&E-Projektauswahl zu bewältigen hat, wesentlich

höher ist, als jener, den die Europäische Kommission im Rahmen des sechsten FRP zu bewältigen hatte. Tian et al. (2002) verweisen darauf, dass einzelne Entscheidungsträger Hunderte von F&E-Projektvorschlägen und Antragsteller auf ihre Eignung für eine Förderung durch das NSFC prüfen müssen. Um diesen kognitiven Aufwand zu bewältigen, wurde eine Reihe von entscheidungsunterstützenden Modellen entwickelt, um den Entscheidungsprozess im Rahmen der Forschungsförderung der NSFC zu vereinfachen (Tian et al. 2002, Wang et al. 2005, Tian et al. 2005, Liu und Ma 2005, Liu et al. 2006, Chen und Fan 2006, Fan et al. 2009)

	Eingereichte F&E-Projektvorschläge (auf Basis der Laufzeit des Programms)	Eingereichte F&E-Projektvorschläge (Durchschnittswert auf Jahresbasis)	Erfolgsquote (geförderte Projekte im Verhältnis zu den eingereichten F&E-Projektvorschlägen)
NSFC	49310	49310	ca. 18%
6.FRP der EU	56000	11200	ca. 18%

Tabelle 4: Übersicht über die Anzahl eingereicherter F&E-Projektvorschläge und deren Erfolgsquote in der NSFC und im 6. FRP der EU [eigene Darstellung in Anlehnung an Rietschel (2009) und NSFC (2008)]

Der Prozess der F&E-Projektauswahl gliedert sich grundsätzlich in sechs verschiedene Entscheidungsprozesse (vgl. Tabelle 5), nämlich (i) die Einreichung der F&E-Projektvorschläge, (ii) die Auswahl der unabhängigen Experten, (iii) das Peer-Review, (iv) die Aggregation der Ergebnisse des Peer-Review, (v) die Evaluation im Panel und (vi) die finale Entscheidung. Es fällt auf, dass der Prozess der F&E-Projektauswahl der NSFC sehr ähnlich jenem im Rahmen des sechsten FRP der EU ist (vgl. Abbildung 7).

Bei beiden werden in einem ersten Schritt die F&E-Projektvorschläge auf ihre Zulässigkeit geprüft. Sowohl die Europäische Kommission als auch die NSFC stehen vor der Herausforderung, den F&E-Projektvorschlägen die geeigneten unabhängigen Experten zuzuordnen. Beide verwenden das Peer-Review-Verfahren zur Evaluation der F&E-Projektvorschläge durch die unabhängigen Experten und es fungieren Bedienstete der Europäischen Kommission bzw. der NSFC als Koordinatoren des Peer-Review. Sowohl die Aggregation der Ergebnisse des Peer-Review der NSFC als auch die Konsensphase des sechsten FRP der EU dienen dazu, die Bewertungen der einzelnen unabhängigen Experten zu einer ganzheitlichen Bewertung zusammenzufassen. Die Evaluation im Panel der NSFC entspricht der Gruppenbewertung des sechsten FRP der EU. Bei beiden werden bestimmte F&E-Projektvorschläge nochmals bewertet und eine Empfehlungsliste der zu fördernden

F&E-Projekte erstellt. Das Ende des Prozesses der F&E-Projektauswahl bildet in beiden Fällen die finale Entscheidung durch die NSFC bzw. die Europäische Kommission. Somit ist sowohl beim Prozess der F&E-Projektauswahl des sechsten FRP der EU, als auch bei jenem der NSFC eine Kompetenzverteilung dahingehend vorhanden, dass die unabhängigen Experten die Bewertung der F&E-Projektvorschläge vornehmen und Empfehlungen weitergeben, aber die endgültige Entscheidung über die Auswahl der zu fördernden F&E-Projekte von der NSFC bzw. der Europäischen Kommission getroffen wird.

Entscheidung	Entscheidungsträger	Verantwortungen
Einreichung der F&E-Projektvorschläge	Divisions- und Abteilungsmanager des NSFC Antragsteller Koordinatoren der Antragsteller	Validierung des Inhalts der Projektvorschläge Überprüfung, ob die Antragsteller und die Projektvorschläge die Anforderungen erfüllen
Auswahl der unabhängigen Experten	Divisionsmanager	Unabhängige Experten den F&E-Projektvorschlägen zuordnen F&E-Projektvorschläge den entsprechenden Divisionen zuordnen
Peer-Review	Divisionsmanager Externe Evaluatoren	Bewertung der F&E-Projektvorschläge durch die externen Evaluatoren Validierung des Inhalts der Resultate des Peer-Review Koordination des Evaluationsprozesses durch die Divisionsmanager
Aggregation der Ergebnisse des Peer-Review	Divisionsmanager	Aggregation der Resultate des Peer-Review F&E-Projektvorschläge für die Panevaluation empfehlen
Evaluation im Panel	Divisions- und Abteilungsmanager Panexperten	Entscheidungen treffen bezüglich marginaler F&E-Projektvorschläge Erstellung einer Empfehlungsliste zu fördernder F&E-Projekt
Finale Entscheidung	Topmanager Abteilungsmanager	Bestätigung der finalen Empfehlungsliste Ausnahmefälle behandeln

Tabelle 5: Entscheidungen im Rahmen der F&E-Projektauswahl der NSFC [eigene Darstellung in Anlehnung an Tian et al. (2002)]

Der Prozess der F&E-Projektauswahl der NSFC ist ein weit gefasster Begriff, der die Einreichung der F&E-Projektvorschläge, die Auswahl der unabhängigen Experten, das Peer-Review, die Aggregation der Ergebnisse des Peer-Review, die Evaluation im Panel und die finale Entscheidung umfasst (vgl. Tabelle 5). Der Prozess der F&E-Projektauswahl lässt sich somit in die vorbereitenden Maßnahmen, wo die F&E-Projektvorschläge eingereicht und die unabhängigen Experten ausgewählt werden, die F&E-Projektevaluierung und die F&E-Projektauswahl unterteilen (vgl. Tabelle 6). Das Resultat der F&E-Projektevaluierung ist eine Empfehlungsliste, anhand derer die Topmanager der NSFC die F&E-Projektauswahl treffen. Es empfiehlt sich, wie bei der F&E-Projektauswahl im sechsten FRP der EU, die finale Entscheidung bezüglich der Förderung von F&E-Projekten losgelöst von der F&E-Projektevaluierung zu betrachten (vgl. Abschnitt 3.4), da die Topmanager der NSFC gegenüber der Empfehlungsliste der unabhängigen Experten und Panelexperten nicht weisungsgebunden sind und es sich um eine Entscheidung handelt, bei der auch politische Kriterien eine Rolle spielen, die für die unabhängigen Experten im Rahmen der F&E-Projektevaluierung jedoch keine Rolle spielen.

Prozess der F&E-Projektauswahl					
Einreichung der Projektvorschläge	Auswahl der unabhängigen Experten	Peer-Review	Aggregation der Ergebnisse des Peer-Review	Evaluation im Panel	Finale Entscheidung
Vorbereitende Maßnahmen		F&E-Projektevaluierung			F&E-Projektauswahl

Tabelle 6: Prozess der F&E-Projektauswahl

Die Grundstruktur des Prozesses der F&E-Projektauswahl des NSFC erinnert an die grundsätzliche Struktur der Methoden zur Nutzenermittlung (vgl. Abschnitt 2.2), da auch bei diesen zuerst die F&E-Projekte anhand bestimmter Kriterien evaluiert werden und anschließend eine Reihung anhand der Ergebnisse erfolgt.

In den folgenden Abschnitten wird der modellunterstützte Prozess der F&E-Projektauswahl auf Basis unscharfer Mengen im Rahmen der Forschungsförderung der NSFC näher betrachtet. Es werden Modelle zur Expertenauswahl (Abschnitt 4.1.1) und zur F&E-Projektevaluierung (Abschnitt 4.1.2) vorgestellt, die die Entscheidungsträger des NSFC bei

ihren Tätigkeiten unterstützen sollen. Im Sinne einer widerspruchsfreien, ganzheitlichen Betrachtung der beiden vorgestellten Ansätze wurde die Notation im Vergleich zu den ursprünglichen Ansätzen von Sun et al. (2008) und Zhou et al. (2001) teilweise verändert, um Doppelbelegungen von Variablen bzw. Indizes zu vermeiden. Darüberhinaus wird die analytische Methodik der vorgestellten Ansätze durch die numerischen Beispiele in Abschnitt 4.1.3 verdeutlicht. Abschnitt 4.1.4 befasst sich mit der Implementierung der vorgestellten Modelle in der NSFC.

4.1.1 Auswahl der unabhängigen Experten

Nachdem der Prozess der F&E-Projektauswahl in der NSFC mit der Einreichung der F&E-Projektvorschläge durch die Antragsteller begonnen hat und sowohl die F&E-Projektvorschläge als auch die Antragsteller durch die entsprechenden Abteilungen der NSFC auf ihre Eignung überprüft wurden, gilt es für die zuständigen Divisionsmanager der NSFC, jene unabhängigen Experten auszuwählen, die die F&E-Projektvorschläge im Rahmen des Peer-Review evaluieren sollen. Die zur Auswahl stehenden unabhängigen Experte werden aus einer Datenbank mit mehr als 50000 eingetragenen unabhängigen Experten und 700 Panelexperten ausgewählt. (Sun et al. 2008)

Sun et al. (2008) entwickelten einen Ansatz zur Evaluierung von Experten für die F&E-Projektauswahl der NSFC. Die in der Datenbank aufscheinenden Experten werden durch fünf Kriterien beschrieben, nämlich durch (i) Stichworte, (ii) Publikationen, (iii) Projekte, (iv) vergangene Leistungen in der F&E-Projektauswahl und (v) die Meinung anderer Experten. Bei den Kriterien (i)-(iv) handelt es sich um objektive Informationen. Die Experten beschreiben ihren Forschungsbereich durch (i) zwei Stichworte aus einem von der NSFC zur Verfügung gestellten Entscheidungsbaum, dessen Knoten verschiedene wissenschaftliche Disziplinen sind, um die Experten den entsprechenden Forschungsbereichen zuzuordnen. Knoten, die wiederum anderen Knoten hierarchisch untergeordnet sind, stellen wissenschaftlich Unterdisziplinen eines Forschungsbereichs dar. Je näher ein von den Experten angegebenes Stichwort am Ursprungsknoten liegt, desto größer ist der dadurch repräsentierte Forschungsbereich. Dadurch soll sichergestellt werden, dass den zu bewertenden F&E-Projektvorschlägen jene unabhängigen Experten zugeordnet werden, die mit dem entsprechenden Forschungsbereich am besten vertraut sind. Dieser Prozess entspricht

einer Vorauswahl der unabhängigen Experten. Die nach dieser Vorauswahl verbleibenden unabhängigen Experten werden zudem anhand der Quantität, Qualität und der zeitlichen Verteilung ihrer (ii) Publikationen, (iii) Projekte und (iv) vergangenen Leistungen in der F&E-Projektauswahl sowie anhand der (v) Meinung anderer Experten desselben Forschungsbereichs, bezüglich der Eignung für die Bewertung des entsprechenden F&E-Projektvorschlags bewertet. Die Bewertung anhand der Kriterien (ii) bis (v) erfolgt durch die Kennzahlen Q_j^k (vgl. Tabelle 7), wobei $k = 1, \dots, 4$ (entspricht den Kriterien (ii) bis (v) und $j = 1, \dots, J$.

Kennzahlen zur Bewertung der unabhängigen Experten
Q_j^1 ... Quantität, Qualität und Zeitverteilung der Publikationen
Q_j^2 ... Quantität, Qualität und Zeitverteilung der Projekte
Q_j^3 ... Quantität, Qualität und Zeitverteilung bisheriger Leistungen in der F&E-Projektauswahl
Q_j^4 ... Meinung anderer Experten

Tabelle 7: Kennzahlen der Bewertung der unabhängigen Experten [eigene Darstellung in Anlehnung an Sun et al. (2008)]

Während sich die Kennzahlen Q_j^1 , Q_j^2 und Q_j^3 mit objektiven Informationen befassen, repräsentiert die Kennzahl Q_j^4 subjektive Informationen, die aus den Meinungen anderer Experten resultieren. Die subjektive Bewertung erfolgt dabei durch linguistische Variablen, da die meisten Experten linguistische Bewertungen gegenüber der Bewertung durch numerische Werte vorziehen (Sun et al. 2008).

Die subjektive Bewertung S_{ij}^r durch Experte i für Kandidat j , wobei $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, J$ und $r = 0, \dots, 6$, erfolgt anhand einer siebenstufigen Skala $S = \{S_{ij}^0, \dots, S_{ij}^6\}$ (vgl. Tabelle 8). Zur Darstellung der linguistischen Variablen verwenden Sun et al. (2008) ein Wertepaar, welches als Zwei-Tupel bezeichnet wird und sich aus der linguistischen Variable S_{ij}^r , und einer reellen Zahl α_{ij} , wobei $\alpha_{ij} \in [-0.5, 0.5[$, zusammensetzt. Der Parameter α_{ij} gibt an inwiefern die von Experte i gewünschte Bewertung für Kandidat j von der zur Verfügung

stehenden linguistischen Variable S_{ij}^r abweicht. Dadurch ergibt sich ein stetiger Bewertungsraum.

Siebenstufige Skala zur Bewertung der Eignung unabhängiger Experten für die Bewertung eines bestimmten F&E-Projektvorschlags
$S_{ij}^0 =$ sehr niedrig $S_{ij}^1 =$ niedrig $S_{ij}^2 =$ mehr oder weniger niedrig $S_{ij}^3 =$ mittelmäßig $S_{ij}^4 =$ mehr oder weniger hoch $S_{ij}^5 =$ hoch $S_{ij}^6 =$ sehr hoch

Tabelle 8: Siebenstufige Skala zur Bewertung der Eignung unabhängiger Experten für die Bewertung eines bestimmten F&E-Projektvorschlags [Quelle: Sun et al. (2008)]

Wenn (S_{ij}^r, α_{ij}) und $(S_{ij}^{r'}, \alpha_{ij})$ linguistische Zwei-Tupel sind, dann ist S eine geordnete Menge, sodass $S_{ij}^r \geq S_{ij}^{r'}$ gilt, wenn $r \geq r'$. Es gibt einen Negationsoperator $Neg(S_{ij}^r) = S_{ij}^{r'}$, sodass $r' = 6 - r$. Darüberhinaus gibt es einen Maximierungsoperator $MAX(S_{ij}^r, S_{ij}^{r'}) = S_{ij}^r$, wenn $S_{ij}^r \geq S_{ij}^{r'}$ und einen Minimierungsoperator $MIN(S_{ij}^r, S_{ij}^{r'}) = S_{ij}^{r'}$, wenn $S_{ij}^r < S_{ij}^{r'}$. Sun et al. (2008) setzen voraus, dass die Menge der möglichen subjektiven Bewertungen S den Experten bekannt ist, diese perfekt zwischen den Teilmengen S_{ij}^r unterscheiden können und die Experten in der Lage sind, Bewertungen durch linguistische Variablen vorzunehmen. Die Variable β_{ij} ist das numerische Äquivalent zum linguistischen Zwei-Tupel (S_{ij}^r, α_{ij}) . Die Transformation des linguistischen Zwei-Tupels (S_{ij}^r, α_{ij}) in dessen numerisches Äquivalent β_{ij} , erfolgt durch die Funktion Δ^{-1} (Sun et al. 2008):

$$\Delta^{-1} : S \times [-0.5, 0.5[\rightarrow [0, 6]$$

$$\Delta^{-1}(S_{ij}^r, \alpha_{ij}) = r + \alpha_{ij} = \beta_{ij}$$

Da die Bewertung von mehreren Experten durchgeführt wird, erfolgt eine Aggregation der Bewertungen über das arithmetische Mittel der einzelnen Bewertungen durch

$$Q_j^4 = \sum_{i=1}^m \frac{1}{m} \Delta^{-1}(S_{ij}^r, \alpha_{ij})$$

$$S_{ij}^r \in S$$

$$\alpha_{ij} \in [-0.5, 0.5[$$

wobei die Bewertungen durch die Experten alle gleich gewichtet werden.

Durch die Transformation der linguistischen Zwei-Tupel (S_{ij}^r, α_{ij}) in deren numerische Äquivalente β_{ij} ist die Kennzahl Q_j^4 eine reelle Zahl und somit mit den Kennzahlen Q_j^1 , Q_j^2 und Q_j^3 aggregierbar.

Durch einen AHP werden die Gewichte v_k ermittelt, mit denen die Kennzahlen Q_j^k ($k=1,2,3,4$) gewichtet werden, und die Gesamtbewertung von Kandidat j erfolgt sodann durch (Sun et al. 2008):

$$Q_j^k = \sum_{k=1}^4 (v_k \times Q_j^k)$$

Die Bewertung der Experten durch die Kriterien (i)-(v) ist ein integrativer Bestandteil des „Group Decision Support Systems“ (GDSS) von Sun et al. (2008). Die entsprechenden Formeln zur Bestimmung der Kennzahlen Q_j^1 , Q_j^2 , Q_j^3 und Q_j^4 befinden sich in einer

Modell-Datenbank. Ein weiterer Bestandteil der Modell-Datenbank ist ein Modell zur Verteilung von Gewichten durch die Entscheidungsträger für den Fall, dass die Entscheidungsmatrix inkonsistent ist oder die Zielsetzung sich ändert. Die Daten, die zur Bestimmung der Werte Q_j^1 , Q_j^2 , Q_j^3 und Q_j^4 benötigt werden, werden aus einer anderen Datenbank gewonnen. In einer sogenannten Wissensdatenbank sind darüberhinaus Entscheidungsregeln für die Klassifizierung der Experten, die Benotungen von Journals und Projekten sowie Richtlinien für die Umwandlung qualitativer in quantitative Regeln enthalten. (Sun et al. 2008)

Das GDSS von Sun et al. (2008) wurde in der NSFC getestet. Die Integration von qualitativer und quantitativer Information und die Kombination von subjektiver und objektiver Information wurde von den Entscheidungsträgern der NSFC äußerst positiv bewertet. Sun et al. (2008) identifizieren bestimmte Voraussetzungen für die erfolgreiche Implikation innovativer entscheidungsunterstützender Systeme, wie dem oben beschriebenen GDSS. Forschungsförderungsgesellschaften, wie die NSFC, müssen Trainings anbieten, um die Entscheidungsträger entsprechend einzuschulen. Den Entscheidungsträgern muss der Vorteil der anonymen Dateneingabe in ein entscheidungsunterstützendes System verdeutlicht werden, da die freie Meinungsäußerung dadurch eher gefördert wird als im Rahmen einer Versammlung. Die Verhinderung von Informationsmissbrauch und die Anonymität der Entscheidungsträger müssen sichergestellt sein. Außerdem muss die Organisationskultur entsprechend angepasst werden, um die Akzeptanz des neuen entscheidungsunterstützenden Systems zu gewährleisten.

4.1.2 F&E-Projektevaluierung

Die F&E-Projektevaluierung umfasst das Peer Review, die Aggregation der Ergebnisse des Peer-Review und die Evaluation im Panel (vgl. Tabelle 6). Tian et al. (2002 und 2005) entwickelten für diese Prozesse entscheidungsunterstützende Systeme, die Modelle enthalten, die auf der Theorie der unscharfen Mengen basieren. Tian et al. (2005) verwenden einen unscharfen Ansatz zur Evaluierung von Journals von Zhou et al. (2002) zur Entscheidungsunterstützung im Rahmen der Evaluation im Panel, der speziell für unstrukturierte Gruppenentscheidungen geeignet ist. Tian et al. (2002) verwenden einen unscharfen Ansatz zur Evaluierung von Journals von Zhou et al. (2001) zur Bewertung der

F&E-Projektvorschläge durch die unabhängigen Experten im Rahmen des Peer-Review. Die Aggregation der einzelnen Bewertungen im Rahmen der Evaluation im Panel erfolgt durch einen unscharfen Ansatz von Zhou (2000).

Die Ansätze von Zhou et al. (2001) und Zhou et al. (2002) sind identisch bis auf die Tatsache, dass bei Zhou et al. (2001) den Entscheidungsträgern zusätzlich die Möglichkeit einer Sensitivitätsanalyse geboten wird. Demnach sind auch die Ansätze von Tian et al. (2002) und Tian et al. (2005) in Bezug auf das Modell zur Evaluierung der F&E-Projektvorschläge identisch. Die Ansätze von Zhou et al. (2001 und 2002) wurden ursprünglich zur Bewertung von Journals verwendet und von Tian et al. (2002 und 2005) zur Evaluierung der F&E-Projektvorschläge übernommen. Das Modell von Zhou et al. (2002) wurde dabei von der Grundstruktur her nicht verändert. Der einzige Unterschied besteht darin, dass jene Variablen, die sich bei Zhou et al. (2001 und 2002) auf die Bewertung von Journals beziehen, sich bei Tian et al. (2002 und 2005) auf die Bewertung von F&E-Projektvorschlägen beziehen. Zur Evaluierung der F&E-Projektvorschläge wird sowohl objektive als auch subjektive Information verwendet. Die subjektive Information ist die Evaluierung durch die unabhängigen Experten. Die objektive Information ist die Leistung von aktuell geförderten F&E-Projekten der Antragsteller. Das analytische Konzept ist in neun Schritte gegliedert (Zhou et al. 2001):

Erster Schritt: Ermittlung der Zugehörigkeitsfunktionen

Zunächst befassen sich Zhou et al. (2001) mit der Bewertung der F&E-Projektvorschläge anhand von objektiven Informationen. Dazu wird eine Kennzahl P_l^x benötigt, die für die ex-ante Bewertung von F&E-Projekten geeignet ist. Die Leistung der aktuell geförderten F&E-Projekte der Antragsteller wird analysiert und mithilfe der Theorie der unscharfen Mengen wird ein Zusammenhang zwischen der Kennzahl P_l^x und den möglichen Bewertungen (A, B und C) hergestellt. In Abbildung 9 wird exemplarisch der Zusammenhang zwischen der Kennzahl P_l^x und den für die Bewertung von F&E-Projektvorschlag l zur Verfügung stehenden Noten („A“, „B“ und „C“) dargestellt. Die Noten A, B und C werden durch unscharfe Mengen \tilde{g}_d , mit Zugehörigkeitsfunktionen $\mu_{\tilde{g}_d}$, dargestellt, wobei $d = 1, 2, 3$ (bzw. allgemein formuliert $d = 1, \dots, D$). Für jeden F&E-Projektvorschlag l ergeben sich somit

entsprechend der Kennzahl P_l^x Zugehörigkeitswerte $b_{dl}^0 = \mu_{\tilde{g}_d}(P_l^x)$, die die Zugehörigkeit zur unscharfen Menge \tilde{g}_d angeben. Dadurch entsteht für jeden F&E-Projektvorschlag l ein Vektor $V^l = (\mu_{\tilde{g}_1}(P_l^x), \dots, \mu_{\tilde{g}_d}(P_l^x))$ der den Bewertungsraum von F&E-Projektvorschlag l beschreibt.

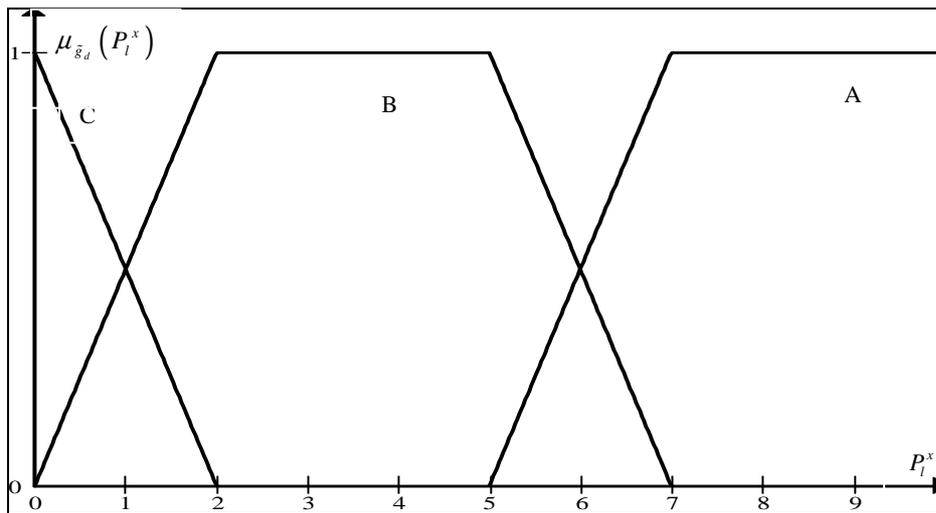


Abbildung 9: Zugehörigkeitsfunktionen der Noten zur Bewertung der F&E-Projektvorschläge

Zweiter Schritt: Ermittlung der Zugehörigkeitsgrade

Durch eine unscharfe Abbildung f der Kennzahl P_l^x von F&E-Projektvorschlag l auf den Bewertungsraum V^l kann der Zugehörigkeitsgrad $b_{dl}^0 \in [0,1]$ für jeden F&E-Projektvorschlag l zu den unscharfen Mengen \tilde{g}_d ermittelt werden. Die unscharfe Abbildung f wird allgemein definiert durch:

$$f : P_l^x \rightarrow (\mu_{\tilde{g}_1}(P_l^x), \dots, \mu_{\tilde{g}_d}(P_l^x))$$

Während die subjektiven Bewertungen der unabhängigen Experten in weiterer Folge mit dem Bewerterindex $t = 1, \dots, t^*$ gekennzeichnet werden, erhält die objektive Bewertung den

Bewerterindex $t=0$. Dementsprechend ist das Ergebnis der oben dargestellten unscharfen Abbildung der objektive Bewertungsvektor $\hat{V}^l = (b_{1l}^0, \dots, b_{Dl}^0)$ für F&E-Projektvorschlag l .

Dritter Schritt: Bewertung durch die unabhängigen Experten

Nach der Bewertung anhand von objektiven Informationen, erfolgt nun die subjektive Bewertung der F&E-Projektvorschläge durch die unabhängigen Experten. Eine Gruppe von unabhängigen Experten $E = \{E^t\}$, wobei $t=1, \dots, t^*$ bewertet L F&E-Projektvorschläge innerhalb eines Panels. Zur Bewertung stehen wie bei der objektiven Bewertung die Noten \tilde{g}_d zur Verfügung. Die unabhängigen Experten E^t müssen ihre Bewertungen abgeben, indem sie in die Matrix M^t jene Zugehörigkeitsgrade $b_{dl}^t \in [0,1]$ eintragen, die die Zugehörigkeit von F&E-Projektvorschlag l zu Note \tilde{g}_d repräsentieren. Die Matrix M^t wird wie folgt dargestellt:

$$M^t = \begin{pmatrix} b_{11}^t & b_{12}^t & \dots & b_{1L}^t \\ b_{21}^t & b_{22}^t & \dots & b_{2L}^t \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{D1}^t & b_{D2}^t & \dots & b_{DL}^t \end{pmatrix}$$

Die unabhängigen Experten haben zwei Möglichkeiten die F&E-Projektvorschläge zu bewerten. Zum einen können sie die numerischen Werte b_{dl}^t selbst in die Matrix M^t eintragen, um die Zugehörigkeitswerte der F&E-Projektvorschläge zu den zur Verfügung stehenden Noten zu bestimmen. Zum anderen können sie aus einer vorgefertigten Tabelle linguistische Variablen auswählen (vgl. Tabelle 9), die im Fall eines dreistufigen Bewertungsschemas (A, B, C) durch äquivalente Drei-Tupel dargestellt werden, die dann entsprechend in die Matrix M^t eingetragen werden. Damit wollen Zhou et al. (2001) jenen unabhängigen Experten die Bewertung erleichtern, die qualitative gegenüber quantitativen Bewertungsformen vorziehen.

Linguistische Bewertung	Äquivalentes Drei-Tupel $(b_{1l}^t, b_{2l}^t, b_{3l}^t)$
Eindeutig A	(1,0,0)
Etwas schlechter als A	(0.9,0.1,0)
Schlechter als A	(0.7,0.3,0)
Viel besser als B	(0.5,0.5,0)
Besser als B	(0.2,0.8,0)
Eindeutig B	(0,1,0)
Etwas schlechter als B	(0,0.9,0.1)
Schlechter als B	(0,0.7,0.3)
Viel besser als C	(0,0.5,0.5)
Besser als C	(0,0.2,0.8)
Eindeutig C	(0,0,1)

Tabelle 9: Linguistische Bewertungsformen der unabhängigen Experten [Quelle: Zhou et al. (2001)]

Vierter Schritt: Gewichtung der subjektiven und objektiven Bewertungskriterien

Für die unabhängigen Experten und/oder für übergeordnete Instanzen besteht die Möglichkeit, die subjektiven und objektiven Bewertungen zu gewichten. Dadurch kann festgelegt werden, ob der objektiven oder der subjektiven Bewertung größere Bedeutung zukommen soll und/oder ob die Bewertungen der einzelnen unabhängigen Experten ein unterschiedliches Gewicht erhalten sollen. Dies scheint vor allem dann sinnvoll, wenn einem unabhängigen Experten und damit seiner Bewertung eine herausragende Stellung zukommt. Wird jedem unabhängigen Experten das gleiche Gewicht zugeordnet, dann repräsentiert dies die Bewertung des Panels als Ganzes. Die Gewichte können für die Bewertung eines jeden F&E-Projektvorschlags individuell festgelegt werden und werden durch den Gewichtungsvektor W^l dargestellt.

Fünfter Schritt

Die subjektiven Bewertungen der t^* unabhängigen Experten werden in der subjektiven Bewertungsmatrix B^l zusammengefasst, wobei jede Matrix die subjektiven Bewertungen aller t^* unabhängiger Experten zu F&E-Projektvorschlag l enthält.

$$B^l = \begin{pmatrix} b_{1l}^1 & b_{2l}^1 & \dots & b_{Dl}^1 \\ b_{1l}^2 & b_{2l}^2 & \dots & b_{Dl}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{1l}^{t^*} & b_{2l}^{t^*} & \dots & b_{Dl}^{t^*} \end{pmatrix}$$

Sechster Schritt: Kombination der objektiven und subjektiven Bewertungen

Die Kombination der objektiven und subjektiven Bewertungen von F&E-Projektvorschlag l erfolgt durch Hinzufügen des objektiven Bewertungsvektors \hat{V}^l als erste Zeile mit dem Index $t=0$ in die subjektive Bewertungsmatrix B^l , woraus sich eine Evaluierungsmatrix \hat{B}^l ergibt. Somit enthält die Zeile $t=0$ die objektive Bewertung und die Zeilen $t=1, \dots, t^*$ die subjektiven Bewertungen.

$$\hat{B}^l = \begin{pmatrix} b_{1l}^0 & b_{2l}^0 & \dots & b_{Dl}^0 \\ b_{1l}^1 & b_{2l}^1 & \dots & b_{Dl}^1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{1l}^{t^*} & b_{2l}^{t^*} & \dots & b_{Dl}^{t^*} \end{pmatrix}$$

Siebenter Schritt: Integration der Gewichte

Die im sechsten Schritt ermittelte Evaluierungsmatrix \hat{B}^l , die sowohl subjektive als auch objektive Bewertungen enthält, wird nun mit dem im vierten Schritt ermittelten Gewichtungsvektor W^l verknüpft. Daraus resultiert der gewichtete Evaluierungsvektor Y^l :

$$\begin{aligned} Y^l &= W^l \circ \hat{B}^l \\ &= (w_l^0, w_l^1, \dots, w_l^{r^*}) \circ \begin{pmatrix} b_{1l}^0 & b_{2l}^0 & \dots & b_{Dl}^0 \\ b_{1l}^1 & b_{2l}^1 & \dots & b_{Dl}^1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{1l}^{r^*} & b_{2l}^{r^*} & \dots & b_{Dl}^{r^*} \end{pmatrix} \\ &= (y_{1l}, y_{2l}, \dots, y_{Dl}) \end{aligned}$$

wobei $y_{dl} = (w_l^0 \bullet b_{dl}^0) \oplus (w_l^1 \bullet b_{dl}^1) \oplus \dots \oplus (w_l^{r^*} \bullet b_{dl}^{r^*})$. „ \bullet “ bezeichnet das algebraische Produkt und „ \oplus “ die gebundene Summe. (vgl. Abschnitt 2.1)

Achter Schritt: Konsensfindung

Ein unscharfer Evaluierungsvektor Y^l für einen bestimmten F&E-Projektvorschlag l kann z.B. folgendermaßen aussehen:

$$Y^l = (0.8, 0.2, 0)$$

Hier wäre bei möglichen Noten A, B und C die Vergabe von Note A angebracht, da diese durch einen Zugehörigkeitswert von 0.8 beschrieben wird. Ist die Notenvergabe jedoch nicht so eindeutig, wie z.B. im Fall von $Y^l = (0.34, 0.33, 0.33, 0)$, dann wird es schwer, einen

Konsens zu finden. Wann ein Konsens möglich ist und wann nicht, lässt sich mathematisch bestimmen. Wenn $y_{dl} = \max(y_{1l}, y_{2l}, \dots, y_{Dl})$, dann wird ein Parameter δ herangezogen, um festzustellen, ob $|y_{dl} - y_{d+1l}| < \delta$ mit $d < D$. Das würde bedeuten, dass die Evaluierung des F&E-Projektvorschlags zwischen den Bewertungen \tilde{g}_d und \tilde{g}_{d+1} liegt. Wenn $|y_{dl} - y_{d'l}| < \delta$, mit $d < d'$, $d' \neq d+1$ und $d < D-1$, dann haben die unabhängigen Experten stark voneinander abweichende Evaluierungen abgegeben. In diesen beiden Fällen wird auf den neunten Schritt verwiesen.

Eine Reihung der L F&E-Projektvorschläge anhand der Evaluierungsvektoren Y^l ist von Zhou et al. (2002) nicht vorgesehen, ist jedoch allgemein bzw. bei einem dreistufigen Bewertungssystem unter Zuhilfenahme eines Hilfsvektors $H = (D, D-1, \dots, 2, 1)$ bzw. $H = (3, 2, 1)$ möglich. Die Elemente des Hilfsvektors stellen somit ähnlich wie beim Ansatz von Sun et al. (2008) numerische Äquivalente der Noten bzw. Bewertungen dar (vgl. Abschnitt 4.1.1). Demnach ist F&E-Projektvorschlag l gegenüber F&E-Projektvorschlag l' vorzuziehen, wenn $H \circ Y^{l'} > H \circ Y^l$.

Neunter Schritt: Sensitivitätsanalyse

Für den Fall, dass die unabhängigen Experten im achten Schritt zu keinem Konsens gefunden haben, wird von Zhou et al. (2001) eine Sensitivitätsanalyse angeboten. Dabei können die unabhängigen Experten ihre subjektiven Evaluierungen und/oder die vergebenen Gewichte verändern und den Einfluss auf Y^l beobachten.

Die vorangegangenen neun Schritte beschreiben das Modell von Zhou et al. (2001), das von Tian et al. (2002) für das Peer-Review und für die Aggregation der Ergebnisse des Peer-Review (vgl. Tabelle 6) im Rahmen eines entscheidungsunterstützenden Systems verwendet wird. Zur Unterstützung der Panel-Experten in der Phase der Evaluation im Panel (vgl. Tabelle 6) verwenden Tian et al. (2002) einen Ansatz von Zhou (2000). Im Rahmen der Evaluation im Panel können die Panel-Experten ihre Präferenzen in unterschiedlichen Formaten ausdrücken. Jeder Panel-Experte kann sein bevorzugtes Präferenzformat auswählen, um seine persönlichen Evaluierungen darzustellen (Tian et al. 2005).

4.1.3 Numerische Beispiele

In diesem Abschnitt werden die in den Abschnitten 4.1.1 und 4.1.2 vorgestellten analytischen Konzepte anhand von zwei numerischen Beispielen näher erläutert. Dadurch soll ein besseres Verständnis für die praktische Anwendbarkeit der Theorie der unscharfen Mengen gefördert werden.

Auswahl der unabhängigen Experten

Nachdem ein Kandidat j , wobei $j=1,\dots,J$, im Rahmen der Vorauswahl als potentieller unabhängiger Experte zur Bewertung eines F&E-Projektvorschlags ausgewählt worden ist, wird er anhand der Kennzahlen Q_j^1 , Q_j^2 , Q_j^3 und Q_j^4 (vgl. Tabelle 7) bewertet. Dazu wird das analytische Konzept aus Abschnitt 4.1.1 verwendet. Die Gewichte v_k , wobei $k=1,\dots,4$, mit denen die Kennzahlen Q_j^k gewichtet werden, sowie die Kennzahlen Q_j^1 , Q_j^2 und Q_j^3 werden als gegeben angenommen, da bei deren Berechnung die Theorie der unscharfen Mengen nicht zur Anwendung kommt (Der interessierte Leser wird auf Sun et al. (2008) verwiesen.).

$$Q_j^1 = 1.2, Q_j^2 = 0.9, Q_j^3 = 0.8$$

$$v_j^1 = 0.26, v_j^2 = 0.34, v_j^3 = 0.23, v_j^4 = 0.17$$

Die Berechnung der Kennzahl Q_j^4 , die die Meinung anderer Experten repräsentiert, erfolgt durch das in Abschnitt 4.1.1 vorgestellte analytische Konzept. Kandidat j wird durch drei Experten anhand ihrer subjektiven Einschätzungen bewertet. „Experte 1“ empfindet die Eignung von Kandidat j als hoch bis sehr hoch. Da es keine linguistische Variable „hoch bis sehr hoch“ gibt, sondern nur „hoch“ oder „sehr hoch“ (vgl. Tabelle 8), wählt er als

linguistische Variable „sehr hoch“ und wählt $\alpha_{1j} = -0,5$. Die subjektive Bewertung von Experte 1 für Kandidat j wird somit durch das Zwei-Tupel $(S_{1j}^6, -0,5)$ dargestellt. „Experte 2“ und „Experte 3“ führen ihre Bewertungen auf dieselbe Art und Weise durch. Dadurch ergeben sich folgende Bewertungen der Experten für Kandidat j :

$$\text{Experte 1: } (S_{1j}^r, \alpha_{1j}) = (S_{1j}^6, -0,5)$$

$$\text{Experte 2: } (S_{2j}^r, \alpha_{2j}) = (S_{2j}^5, 0,4)$$

$$\text{Experte 3: } (S_{3j}^r, \alpha_{3j}) = (S_{3j}^6, -0,4)$$

Die linguistischen Zwei-Tupel werden nun in ihre numerischen Äquivalente transformiert, wobei $\beta_{1j} = 5,5$, $\beta_{2j} = 5,4$ und $\beta_{3j} = 5,6$. Da die Meinungen der Experten alle gleich gewichtet sind, lautet die zu ermittelnde Kennzahl $Q_j^4 = 5,5$. Die Kennzahl Q_j^4 kann somit mit den übrigen Kennzahlen Q_j^1 , Q_j^2 und Q_j^3 unter Berücksichtigung der Gewichte v_j^k zu einer übergeordneten Kennzahl $Q_j = 1,737$ aggregiert werden. Anhand der Kennzahl Q_j können die Kandidaten gereiht werden. Wenn zusätzlich zu Kandidat j ein weiterer Kandidat j' zur Auswahl steht, dessen Eignung zur Bewertung eines bestimmten F&E-Projektvorschlag durch die Kennzahl $Q_{j'} = 1,385$ repräsentiert wird, dann ist Kandidat j besser geeignet als Kandidat j' , da $Q_j > Q_{j'}$.

F&E-Projektevaluierung

Ein F&E-Projektvorschlag l wird zum einen objektiv anhand einer Kennzahl P_l^x und zum anderen subjektiv durch drei Experten E^t beurteilt, wobei $t = 1, 2, 3$. Sowohl die subjektive als auch die objektive Bewertung erfolgt anhand eines dreistufigen Bewertungsschemas (A, B, C).

Erster und zweiter Schritt

In Abschnitt 3.2 wird die kritische Menge an Fachwissen bzw. Ressourcen als quantitatives Kriterium erwähnt, das im Zusammenhang mit einem F&E-Projektvorschlag erfüllt werden muss, damit eine Förderung aus Sicht des Fördergeldgebers gerechtfertigt ist. Angenommen es gibt eine Kennzahl P_l^x mit der sich diese kritische Menge darstellen lässt, dann ist durch die Zugehörigkeitsfunktionen in Abbildung 9 dargestellt, zu welchem Grad F&E-Projektvorschlag l mit der entsprechenden Kennzahl P_l^x den Noten A, B und C zugehörig ist. Angenommen die Menge an Ressourcen die im Rahmen von F&E-Projektvorschlag l bzw. l' mobilisiert wird, führt zu einer Kennzahl $P_l^x = 8$ bzw. $P_{l'}^x = 6.5$, dann wird der objektive Bewertungsvektor $\hat{V}^l = (1,0,0)$ bzw. $\hat{V}^{l'} = (0.75,0.25,0)$ durch eine unscharfe Abbildung der Kennzahlen P_l^x und $P_{l'}^x$ auf den Bewertungsraum (vgl. Abbildung 9) ermittelt.

Dritter Schritt

Panel	Subjektive Bewertung für F&E-Projektvorschlag l	Äquivalentes Drei-Tupel	Subjektive Bewertung für F&E-Projektvorschlag l'	Äquivalentes Drei-Tupel
E^1	„etwas schlechter als A“	(0.9,0.1,0)	„Viel besser als B“	(0.5,0.5,0)
E^2	(0.7,0.3,0)	(0.7,0.3,0)	(0.8,0.2,0)	(0.8,0.2,0)
E^3	„eindeutig B“	(0,1,0)	„schlechter als A“	(0.7,0.3,0)

Tabelle 10: Beispiel: Bewertung durch die unabhängigen Experten

Die unabhängigen Experten E^1 , E^2 und E^3 bewerten innerhalb eines Panels die F&E-Projektvorschläge l und l' (vgl. Tabelle 10). Während Experte E^1 und Experte E^3 linguistische Bewertungsformen bevorzugen, führt Experte E^2 die Bewertung durch die Bestimmung eines Drei-Tupels durch.

Die Bewertungen der drei Experten werden in die Matrizen M^1 , M^2 und M^3 eingetragen:

$$M^1 = \begin{pmatrix} 0.9 & 0.5 \\ 0.1 & 0.5 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, M^2 = \begin{pmatrix} 0.7 & 0.8 \\ 0.3 & 0.2 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, M^3 = \begin{pmatrix} 0 & 0.7 \\ 1 & 0.3 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Vierter Schritt

Wenn bei der Evaluierung beider F&E-Projektvorschläge die subjektiven Bewertung der drei unabhängigen Experten gleich gewichtet werden sollen und darüberhinaus der subjektiven Bewertung des Panels gleich viel Bedeutung zukommen soll, wie der objektiven Bewertung anhand der Kennzahl P_l^x , dann lauten die Gewichtungsvektoren für die F&E-Projektvorschläge l und l'

$$W^l = W^{l'} = \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6} \right).$$

Fünfter Schritt

Die subjektiven Bewertungen der drei unabhängigen Experten für die F&E-Projektvorschläge l und l' werden in die entsprechenden Beurteilungsmatrizen B^l und $B^{l'}$ übertragen:

$$B^l = \begin{pmatrix} 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, B^{l'} = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0 \end{pmatrix}$$

Sechster Schritt

Die Aggregation der subjektiven Bewertungen B^l bzw. $B^{l'}$ und der objektiven Bewertungen \hat{V}^l bzw. $\hat{V}^{l'}$ erfolgt durch die Erstellung der Matrizen \hat{B}^l bzw. $\hat{B}^{l'}$:

$$\hat{B}^l = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \hat{B}^{l'} = \begin{pmatrix} 0.75 & 0.25 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0 \end{pmatrix}$$

Siebenter Schritt

Die Evaluierung von F&E-Projektvorschlag l bzw. l' erfolgt durch die Verknüpfung der aggregierten subjektiven und objektiven Bewertungen \hat{B}^l bzw. $\hat{B}^{l'}$ mit dem Gewichtungsvektor W^l bzw. $W^{l'}$:

$$Y^l = \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6} \right) \circ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} = (0.77, 0.23, 0),$$

$$Y^{l'} = \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6} \right) \circ \begin{pmatrix} 0.75 & 0.25 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0 \end{pmatrix} = (0.71, 0.29, 0)$$

Der Zugehörigkeitsgrad von F&E-Projektvorschlag l bzw. l' zu Note A beträgt somit 0.77 bzw. 0.71, zu Note B 0.23 bzw. 0.29 und zu Note C jeweils 0.

Achter Schritt

Die Konsensfindung der unabhängigen Experten wird, aufgrund der eindeutigen Ergebnisse die der vorangegangene Schritt gebracht hat, höchstwahrscheinlich zu dem Ergebnis führen, dass sowohl F&E-Projektvorschlag l als auch l' mit der Note A bewertet werden. Finden die unabhängigen Experten jedoch nicht zu einem Konsens, dann können sie eine Sensitivitätsanalyse durchführen (vgl. Abschnitt 4.1.2).

Wenn die unabhängigen Experten eine Reihung der F&E-Projekte anstreben, dann ist es in diesem Fall leicht ersichtlich, dass F&E-Projektvorschlag l vor F&E-Projektvorschlag l' zu reihen ist, da ersterer einen höheren Zugehörigkeitsgrad zu Note A aufweist. Diese Vermutung kann durch Zuhilfenahme des Hilfsvektors $H = (3, 2, 1)$ auch quantitativ bekräftigt werden, da

$$(3, 2, 1) \circ \begin{pmatrix} 0.77 \\ 0.23 \\ 0 \end{pmatrix} > (3, 2, 1) \circ \begin{pmatrix} 0.71 \\ 0.29 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

4.1.4 Implementierung der Modelle

Die Implementierung der Modelle aus den Abschnitten 4.1.1 und 4.1.2 erfolgt über das „Internet-based Information System“ (ISIS, <http://isis.nsf.gov.cn>). ISIS besteht aus einer Datenbank, einer Modellbank und einer Wissensbank. In der Modellbank sind Modelle zur Auswahl der unabhängigen Experten, zur Bewertung der F&E-Projektvorschläge und zur Aggregation von Präferenzen in unterschiedlichen Formaten enthalten. Während mathematische Modelle für gut strukturierte Entscheidungsprobleme geeignet sind und zu einer optimalen Lösung führen, sind auf Regeln basierende Wissenssysteme gut für unstrukturierte und semi-strukturierte Entscheidungsprobleme geeignet. (Tian et al. 2002) In der Wissensbank sind daher Entscheidungsregeln enthalten, um die Entscheidungsträger bei der Einreichung der F&E-Projektvorschläge, bei der Auswertung der Resultate des Peer-

Review und bei der finalen Entscheidung bezüglich der Förderung der F&E-Projekte zu unterstützen. In der Phase der Einreichung der F&E-Projektvorschläge helfen die Entscheidungsregeln aus der Wissensbank den Entscheidungsträgern, die F&E-Projektvorschläge in die vier Kategorien „invalid“, „incomplete“, „undetermined“ und „valid“ einzuordnen. (Tian et al. 2002) In der Datenbank sind zwei wesentliche Datensätze vorhanden, nämlich Daten, die das Personal betreffen und Daten, die die F&E-Projektvorschläge betreffen. (Tian et al. 2002)

4.2 F&E-Projektauswahl auf Basis unscharfer Mengen in der Forschungsförderung in Taiwan

Das Ministry of Economic Affairs (MOEA) in Taiwan gründete 1979 das Department of Industrial Technology (DoIT) und zeitgleich wurde das Technology Development Program (TDP) ins Leben gerufen, welches dem DoIT untergeordnet ist. Das TDP sollte zur Verbesserung der industriellen Technologien in Taiwan dienen. Die Kernkompetenz von DoIT ist die Förderung der Anwendung innovativer Technologien und des industriellen Wachstums, die Verbesserung technologischer Anwendungen und Services, die Förderung von F&E-Humankapital, die Förderung internationaler F&E-Kooperationen, der Aufbau einer Infrastruktur für die Technologieentwicklung und die Stärkung der Beziehungen zwischen innovativen Akteuren. Aufgrund limitierter natürlicher Ressourcen in Taiwan sieht das DoIT in der Forschungsförderung die einzige Möglichkeit, die internationale Wettbewerbsfähigkeit der taiwanesischen Wirtschaft langfristig zu gewährleisten. DoIT investierte im Jahr 2003 17.19 Billionen Neue Taiwan Dollar (NTD) und im Jahr 2008 schon 18.50 Billionen NTD. Im Jahr 1997 wurden das Industrial Technology Development Programm (ITDP) und noch einige kleinere Programme eingeführt. Das Ziel des ITDP ist, industrielle F&E-Projekte zu fördern. Von 1999 bis 2008 gab es 588 Anträge, von denen 259 angenommen wurden. (Huang et al. 2008) Das ist eine hohe Annahmequote von 44 Prozent verglichen mit den Annahmequoten der NSFC und des sechsten FRP der EU (vgl. Tabelle 4). Die TDPs adressieren drei verschiedene Zielgruppen, nämlich den industriellen Sektor, Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Im Jahr 2007 entfielen vom Gesamtbudget 75.7 Prozent auf die Förderung der Forschungsinstitute, 18.8 Prozent auf die des industriellen Sektors und 5.5 Prozent auf jene der Hochschulen. (DoIT 2009)

Hsu et al. (2003) und Huang et al. (2008) entwickelten unscharfe Ansätze zur F&E-Projektauswahl, die speziell auf die F&E-Projektauswahl im Rahmen der TDPs zugeschnitten sind. Die Ansätze der F&E-Projektauswahl von Hsu et al. (2003) und von Huang et al. (2008) sind dem MADM zuzuordnen (vgl. 2.2.1). und werden in den folgenden beiden Abschnitten vorgestellt.

4.2.1 F&E-Projektauswahl durch unscharfes Scoring

Hsu et al. (2003) entwickelten einen unscharfen Ansatz des MADM zur F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung für das MOEA in Taiwan. Diese Methode wurde in einer nationalen Forschungseinrichtung in Taiwan angewendet und dient dazu, das erforderliche Fachwissen, das für die F&E-Projektauswahl benötigt wird und die unterschiedlichen Zielsetzungen der verschiedenen Interessensgruppen in einem Entscheidungsprozess zu integrieren, die Unsicherheit, die in der Natur von F&E-Projekten liegt, entsprechend zu berücksichtigen und diese Unsicherheit zu Zwecken der Evaluierung messbar zu machen. Dafür verwenden Hsu et al. (2003) einen AHP, um die unterschiedlichen Zielsetzungen zu integrieren sowie eine Gruppenentscheidungsmethode basierend auf den durch den AHP bestimmten Kriterien und Zielsetzungen und einen unscharfen Scoring-Ansatz, um die subjektiven Bewertungen der Experten darstellen zu können.

Für die Evaluierung der F&E-Projektvorschläge verwenden Hsu et al. (2003) linguistische Variablen, die sie anhand von dreieckförmigen unscharfen Zahlen darstellen (vgl. Abschnitt 2.1). \tilde{E}_{ij}^k ist die unscharfe Evaluierung von F&E-Projekt i durch Experte k in Bezug auf das Kriterium bzw. die Zielsetzung j und wird dargestellt durch

$$\begin{aligned}\tilde{E}_{ij}^k &= (LE_{ij}^k, ME_{ij}^k, UE_{ij}^k), \\ j &\in S, \\ 1 &\leq k \leq m, \\ 1 &\leq j \leq n, \\ 1 &\leq i \leq l\end{aligned}$$

wobei ME_{ij}^k der Kern, LE_{ij}^k die untere Grenze und UE_{ij}^k die obere Grenze der dreieckförmigen unscharfen Zahl ist. Diese Darstellungsform entspricht der LR-Darstellung von unscharfen Zahlen. (vgl. Abschnitt 2.1) Da die Evaluierung durch mehrere Experten erfolgt und deren Wissen und Erfahrung variieren, ermitteln Hsu et al. (2003) den unscharfen arithmetischen Mittelwert \tilde{E}_{ij} der Evaluierungen \tilde{E}_{ij}^k von m Experten durch

$$\tilde{E}_{ij} = \left(\frac{1}{m}\right) \otimes (\tilde{E}_{ij}^1 \oplus \tilde{E}_{ij}^2 \oplus \dots \oplus \tilde{E}_{ij}^m).$$

Das Symbol \otimes entspricht der unscharfen Multiplikation und \oplus der unscharfen Addition (vgl. Abschnitt 2.1).

Um zu einer unscharfen Entscheidung zu gelangen, aggregieren Hsu et al. (2003) die Gewichte w_j , die aus dem AHP gewonnen werden, mit den unscharfen Evaluierungen der Experten indem sie den Vektor $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^t$ mit der Matrix $\tilde{E} = (\tilde{E}_{ij})$ verknüpfen:

$$\tilde{R} = \tilde{E} * w$$

Das Zeichen "*" symbolisiert die unscharfe Addition und Multiplikation und das Ergebnis ist ein gewichteter unscharfer Entscheidungsvektor $\tilde{R} = (\tilde{R}_1, \dots, \tilde{R}_i, \dots, \tilde{R}_n)$, der dargestellt wird durch:

$$\tilde{R} = (LR_i, MR_i, UR_i), \forall i$$

$$LR_i = \sum_{j=1}^n LE_{ij} \times w_j$$

$$MR_i = \sum_{j=1}^n ME_{ij} \times w_j$$

$$UR_i = \sum_{j=1}^n UE_{ij} \times w_j$$

Da es sich bei $\tilde{R} = (\tilde{R}_1, \dots, \tilde{R}_i, \dots, \tilde{R}_I)$ um unscharfe Entscheidungen handelt, verwenden Hsu et al. (2003) eine Methode der Defuzzifizierung, nämlich die Ermittlung der „Best Non-Fuzzy Performance“ (BNP). Die BNP wird berechnet durch:

$$BNP_i = LR_i + \frac{[(UR_i - LR_i) + (MR_i - LR_i)]}{3}, \forall i$$

Die Reihung der i F&E-Projekte erfolgt anhand der Werte BNP_i . Diese Reihung ist maßgebend für die Auswahl der F&E-Projekte durch die Entscheidungsträger, die so lange F&E-Projekte aus der Rangliste auswählen können, bis das vorhandene Budget erschöpft ist.

Hsu et al. (2003) identifizieren verschiedene Vorteile ihres Ansatzes. Zum einen gewährleistet der modellunterstützte Prozess der F&E-Projektauswahl einen offenen und fairen Entscheidungsprozess. Zum anderen dient ihr Ansatz nicht nur dazu, die F&E-Projekte zu evaluieren und sie zu reihen, sondern er fördert auch die Motivation der Antragsteller, qualitativ hochwertige F&E-Projektvorschläge zu erarbeiten und erhöht somit die Qualität der F&E-Projekte. Allerdings identifizieren Hsu et al. (2003) auch Schwächen ihres Ansatzes, nämlich, dass nicht alle Interaktionen zwischen den Kriterien und den F&E-Projekten berücksichtigt werden und, dass die mathematische Komplexität eine wesentliche Barriere für die potentiellen Anwender darstellt. Die mathematische Komplexität der Ansätze des unscharfen Scoring ist jedoch im Vergleich zu anderen unscharfen quantitativen Ansätzen der F&E-Projektauswahl (vgl. Abschnitt 2) relativ niedrig. Eine Möglichkeit der Berücksichtigung von Interaktionen bzw. Interdependenzen von F&E-Projekten bieten der unscharfe AHP und der unscharfe ANP (vgl. Abschnitt 2.2.1). Die unscharfe mathematische Programmierung bietet ebenfalls die Möglichkeit zur Modellierung von Interaktionen bzw. Interdependenzen (vgl. Abschnitt 2.3). Die Problematik besteht jedoch darin, dass die Berücksichtigung von Interaktionen bzw. Interdependenzen zwangsläufig zu einer erhöhten mathematischen Komplexität führt und es aufgrund dieses Trade-Offs nicht möglich erscheint, beide Schwächen des Ansatzes von Hsu et al. (2003) zu beseitigen.

4.2.2 F&E-Projektauswahl durch einen unscharfen AHP

Huang et al. (2008) entwickelten einen Ansatz zur F&E-Projektauswahl des ITDP in Taiwan basierend auf einem unscharfen AHP (vgl. Abschnitt 2.2.1). Anders als Hsu et al. (2003), die eine unscharfe Entscheidungsmatrix verwenden (vgl. Abschnitt 4.2.1), verwenden Huang et al. (2008) eine scharfe Entscheidungsmatrix und bilden dabei den „Index of Optimism“, um die Gewichtung der Kriterien unter Berücksichtigung verschiedener Entscheidungsrisiken vorzunehmen. Zur Darstellung der Beurteilungen der Kriterien durch die Experten des ITDP verwenden Huang et al. (2008) dreieckförmige unscharfe Zahlen. Die Evaluierung der F&E-Projektvorschläge umfasst zwei wesentliche Schritte. In einem ersten Schritt werden die F&E-Projektvorschläge von drei bis fünf Experten in den jeweiligen Forschungsbereichen unabhängig voneinander in Bezug auf die technische Machbarkeit und den erwarteten finanziellen Rückfluss der F&E-Projekte evaluiert. Unsicherheiten bezüglich Technik und Markt und das Nichtvorhandensein von Daten aus der Vergangenheit führen dazu, dass die Evaluierungen subjektiv und intuitiv erfolgen. Die finale Entscheidung, ob ein F&E-Projektvorschlag angenommen oder abgewiesen wird, erfolgt durch 38 Experten von verschiedenen wissenschaftlichen Fachbereichen des IDTP. Daher kommt es in dieser Phase unter Umständen zu divergenten Evaluierungen, die eine Lösung erforderlich machen, die zu einem gewissen Grad auf einem Kompromiss beruht. (Huang et al. 2008)

Für die F&E-Projektauswahl verwenden Huang et al. (2008) einen unscharfen AHP. Der Vergleich der Kriterien erfolgt durch subjektive Einschätzungen der Experten. Daher verwenden sie so wie Mohanty et al. (2005) (vgl. Abschnitt 2.2.1) dreieckförmige unscharfe Zahlen $\tilde{1}$ bis $\tilde{9}$. Die unscharfen dreieckförmigen Zahlen $\tilde{1}$ bis $\tilde{9}$ repräsentieren linguistische Variablen, wobei $\tilde{1}=(1,1,2)$ für „extremely unimportant“, $\tilde{5}=(4,5,6)$ für „relatively important“ und $\tilde{9}=(8,9,10)$ für „extremely important“ steht.

Das Berechnungsverfahren des Ansatzes von Huang et al. (2008) lässt sich in sechs Schritte unterteilen.

In einem ersten Schritt erfolgt der relative Vergleich der Kriterien und Alternativen durch die unscharfen Zahlen $\tilde{1}$ bis $\tilde{9}$.

In einem zweiten Schritt werden die unscharfen Entscheidungsmatrizen \tilde{A}_k und \tilde{E} erstellt. Es werden K Kriterien C_1, C_2, \dots, C_K paarweise miteinander verglichen, wobei für jedes C_k ($1 \leq k \leq K$) eine Entscheidungsmatrix \tilde{A}_k erstellt wird. Die unscharfe Entscheidungsmatrix \tilde{E} dient zum paarweisen Vergleich der Kriterien C_k . Die beiden unscharfen Entscheidungsmatrizen werden dargestellt durch

$$\tilde{A}_k = \begin{pmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1(n-1)} & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2(n-1)} & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{a}_{(n-1)1} & \tilde{a}_{(n-1)2} & \cdots & 1 & \tilde{a}_{(n-1)n} \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & \tilde{a}_{n(n-1)} & 1 \end{pmatrix}$$

wobei $a_{ij} = 1$, wenn $i = j$ und $a_{ij} \in [\tilde{9}^{-1}, \tilde{9}]$ und

$$\tilde{E} = \begin{pmatrix} 1 & \tilde{e}_{12} & \cdots & \tilde{e}_{1(n-1)} & \tilde{e}_{1n} \\ \tilde{e}_{21} & 1 & \cdots & \tilde{e}_{2(n-1)} & \tilde{e}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{e}_{(n-1)1} & \tilde{e}_{(n-1)2} & \cdots & 1 & \tilde{e}_{(n-1)n} \\ \tilde{e}_{n1} & \tilde{e}_{n2} & \cdots & \tilde{e}_{n(n-1)} & 1 \end{pmatrix}$$

wobei $e_{ij} = 1$, wenn $i = j$ und $e_{ij} \in [\tilde{9}^{-1}, \tilde{9}]$.

Es gibt n Entscheidungsträger J_1, \dots, J_n ($1 \leq l \leq n$), wobei jeder eine Entscheidungsmatrix $\tilde{A}_{kl} = [\tilde{a}_{ij}^{kl}]$ für jedes Kriterium C_k erstellt und eine Entscheidungsmatrix $\tilde{E}_l = [\tilde{e}_{ij}^l]$ für den paarweisen Vergleich der Kriterien C_k zueinander. Um die durchschnittlichen Entscheidungsmatrizen $\tilde{A}_k = [\tilde{a}_{ij}^k]$ und $\tilde{E} = [\tilde{e}_{ij}]$ auf Basis aller Entscheidungsmatrizen der n Entscheidungsträger zu berechnen, wird wie folgt vorgegangen:

$$\tilde{a}_{ij}^k = \left(a_{ij}^{k1} \otimes \dots \otimes a_{ij}^{kn} \right)^{\frac{1}{n}},$$

$$\tilde{e}_{ij} = \left(e_{ij}^1 \otimes \dots \otimes e_{ij}^n \right)^{\frac{1}{n}}$$

In einem dritten Schritt bestimmen Huang et al. (2008) den „Degree of Optimism“ (DoO) μ für \tilde{A} und \tilde{E} um die unterschiedlichen Entscheidungsrisiken zu simulieren, die mit den Evaluierungen der Experten einhergehen. Der Index μ wird folgendermaßen berechnet, indem α fixiert wird:

$$\tilde{a}_{ij}^\alpha = \mu a_{iju}^\alpha + (1-\mu) a_{ijl}^\alpha, \quad \forall \mu \in [0,1]$$

$$\tilde{e}_{ij}^\alpha = \mu e_{iju}^\alpha + (1-\mu) e_{ijl}^\alpha, \quad \forall \mu \in [0,1]$$

Dadurch können die scharfen Entscheidungsmatrizen \tilde{A}^* und \tilde{E}^* ermittelt werden:

$$\tilde{A}^* = \begin{pmatrix} 1 & \tilde{a}_{12}^\alpha & \dots & \tilde{a}_{1(n-1)}^\alpha & \tilde{a}_{1n}^\alpha \\ \tilde{a}_{21}^\alpha & 1 & \dots & \tilde{a}_{2(n-1)}^\alpha & \tilde{a}_{2n}^\alpha \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{a}_{(n-1)1}^\alpha & \tilde{a}_{(n-1)2}^\alpha & \dots & 1 & \tilde{a}_{(n-1)n}^\alpha \\ \tilde{a}_{n1}^\alpha & \tilde{a}_{n2}^\alpha & \dots & \tilde{a}_{n(n-1)}^\alpha & 1 \end{pmatrix}$$

$$\tilde{E}^* = \begin{pmatrix} 1 & \tilde{e}_{12}^\alpha & \dots & \tilde{e}_{1(n-1)}^\alpha & \tilde{e}_{1n}^\alpha \\ \tilde{e}_{21}^\alpha & 1 & \dots & \tilde{e}_{2(n-1)}^\alpha & \tilde{e}_{2n}^\alpha \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{e}_{(n-1)1}^\alpha & \tilde{e}_{(n-1)2}^\alpha & \dots & 1 & \tilde{e}_{(n-1)n}^\alpha \\ \tilde{e}_{n1}^\alpha & \tilde{e}_{n2}^\alpha & \dots & \tilde{e}_{n(n-1)}^\alpha & 1 \end{pmatrix}$$

In einem vierten Schritt ermitteln Huang et al. (2008) den unscharfen Eigenwert λ durch

$$\tilde{A} * \tilde{x} = \tilde{\lambda} \tilde{x}$$

wobei \tilde{A} eine unscharfe $n \times n$ -Matrix ist, die aus unscharfen Zahlen \tilde{a}_{ij} besteht, und \tilde{x} ein unscharfer $n \times 1$ Eigenvektor ist, der aus unscharfen Zahlen \tilde{x}_i besteht. Die unscharfe Multiplikation und Addition wird unter Zuhilfenahme von Intervallarithmetik und α -Schnitten durchgeführt:

$$\left[a_{il}^\alpha x_{il}^\alpha, a_{iu}^\alpha x_{iu}^\alpha \right] \oplus \dots \oplus \left[a_{inl}^\alpha x_{nl}^\alpha, a_{inu}^\alpha x_{nu}^\alpha \right] = \left[\lambda x_{il}^\alpha, \lambda x_{iu}^\alpha \right]$$

wobei

$$\tilde{A} = \left[\tilde{a}_{ij} \right], \tilde{x} = (\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n),$$

$$a_{ij}^\alpha = \left[a_{ijl}^\alpha, a_{iju}^\alpha \right], \tilde{x}_{ij}^\alpha = \left[x_{ijl}^\alpha, x_{iju}^\alpha \right], \lambda_l^\alpha = \left[\lambda_l^\alpha, \lambda_u^\alpha \right]$$

$$0 \leq \alpha \leq 1, i = 1, 2, \dots, n \text{ und } j = 1, 2, \dots, n$$

In einem fünften Schritt ermitteln Huang et al. (2008) die Gewichte $\tilde{w}_k = (\tilde{w}_{1k}, \dots, \tilde{w}_{nk})$ für \tilde{A}_k^* und die Gewichte $\tilde{e} = (\tilde{e}_1, \dots, \tilde{e}_K)$ für \tilde{E}^* .

Der abschließende sechste Schritt dient der Reihung der F&E-Projektvorschläge anhand aller Kriterien. Dazu werden die Bewertungen über alle hierarchischen Stufen des AHP aggregiert und die abschließenden unscharfen Gewichte für Alternative \tilde{A}_j ermittelt, indem die α -Werte variiert werden. Die Reihung der F&E-Projekte erfolgt durch den Vektor $r^T = (r_1, \dots, r_n)$,

$$\text{wobei } r_j = \sum_{k=1}^K w_{ij} e_k.$$

Huang et al. (2008) stellen fest, dass der unscharfe AHP den Experten dabei hilft, die unterschiedlichen Wahrnehmungen bezüglich der Evaluierung der Kriterien zu kompensieren. Außerdem hilft die Theorie der unscharfen Mengen bei der Darstellung der Vagheit die mit der Evaluierung von F&E-Projekten im Rahmen der Forschungsförderung einhergeht. Allerdings identifizieren Huang et al. (2008) auch Einschränkungen ihres Ansatzes. Insbesondere ist es ihnen nicht möglich, mittels des unscharfen AHP wechselseitige Interdependenzen zwischen den Kriterien darzustellen. Die Kriterien sind, wie für einen AHP typisch, nur einseitig voneinander abhängig. Einen Ansatz, der sich dieser Thematik annimmt, ist jener von Mohanty et al. (2005), der den ANP von Saaty (1996) um die Theorie der unscharfen Mengen erweitert hat, um die wechselseitigen Beziehungen zwischen den Kriterien darstellen zu können (vgl. Abschnitt 2.2.1).

5 Conclusio

In den vorangegangenen Abschnitten wurde gezeigt, dass unscharfe Ansätze der F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung verwendet werden, um jene F&E-Projektvorschläge auszuwählen, die aus Sicht des Fördergeldgebers gefördert werden sollen. Die Theorie der unscharfen Mengen dient dabei als Instrument zur Darstellung von Vagheit, Unsicherheit bzw. Unschärfe und der simultanen Berücksichtigung von qualitativen und quantitativen Information bzw. Daten. Die dabei behandelte Unsicherheit ist von der Unsicherheit im Sinne der Wahrscheinlichkeitstheorie abzugrenzen (vgl. Abschnitt 2.1). In den Abschnitten 2.2, 2.3, 2.4 und 2.5 wurde gezeigt, dass die Theorie der unscharfen Mengen für alle quantitativen Ansätze der F&E-Projektauswahl eine mögliche und durchaus sinnvolle Erweiterung darstellt, wenn vage, unsichere bzw. unscharfe und/oder sowohl qualitative als auch quantitative Informationen im Entscheidungsprozess zu berücksichtigen sind.

Die F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung ist von der betrieblichen F&E-Projektauswahl hinsichtlich der Akteure und des Prozesses der F&E-Projektauswahl und der Instrumente zur Durchführung der F&E-Projekte zu unterscheiden. Während in der betrieblichen F&E-Projektauswahl vorrangig interne Akteure tätig sind, handelt es sich bei den Akteuren der F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung um Personen, die nicht derselben Organisation angehören. Der Interpretation der subjektiven Bewertungen der F&E-Projektvorschläge kommt daher eine besondere Bedeutung zu. Da die Akteure in der Regel über keine gemeinsamen Erfahrungen hinsichtlich der F&E-Projektauswahl verfügen, ergibt sich ein erhöhter Standardisierungsbedarf des Prozesses der F&E-Projektauswahl. Die Vielzahl von verschiedenen Instrumenten zur Durchführung von F&E-Projekten und die große Anzahl an F&E-Projektvorschlägen führen zu einer noch größeren Komplexität, als sie ohnehin schon in der betrieblichen F&E-Projektauswahl vorhanden ist. Darüberhinaus ist zu berücksichtigen, dass in der Forschungsförderung auch politische Aspekte eine Rolle spielen. Der Prozess der F&E-Projektauswahl im sechsten FRP der EU ist jenem der NSFC sehr ähnlich. Während im sechsten FRP keine Ansätze der F&E-Projektauswahl zum Einsatz kommen bzw. deren Einsatz nicht dokumentiert ist, kommt in der NSFC hingegen eine Vielzahl von Ansätzen der F&E-Projektauswahl zum Einsatz, die auf der Theorie der unscharfen Mengen basieren und die auf der Plattform ISIS den Entscheidungsträgern während des kompletten Entscheidungsprozesses zur Verfügung stehen. Die F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung in Taiwan ist im Vergleich zu jener im sechsten

FRP der EU und der NSFC nicht so umfangreich und komplex. Die vorgestellten unscharfen Ansätze der F&E-Projektauswahl sind daher nicht in ein umfassendes entscheidungsunterstützendes System integriert, sondern sind unabhängig voneinander zu betrachten.

Während zu Zwecken der betrieblichen F&E-Projektauswahl bereits eine breite Palette an quantitativen Ansätzen mit der Theorie der unscharfen Mengen erweitert wurde, wurden in der F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung in erster Linie unscharfe Methoden der Nutzenermittlung verwendet. Unscharfe Modelle der mathematischen Programmierung, Simulationsmodelle, Ansätze der kognitiven Emulation und der Entscheidungs- und Spieltheorie der F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung gibt es bislang keine. Deren Entwicklung stellt daher zukünftige, mögliche Forschungsfelder dar.

E Literaturverzeichnis

- Aubin, J.-P. (1981); „*Cooperative Fuzzy Games*“, Mathematics of Operations Research 6, 1, 1-13
- Bandemer, H. und Gottwald, S. (1993); „*Einführung in Fuzzy-Methoden: Theorie und Anwendung unscharfer Mengen*“, 4. überarbeitete und erweiterte Auflage, Berlin: Akademie Verlag
- Benaroch, M. und Kauffman, R. J. (2000); „*Justifying Electronic Banking Network Expansion Using Real Options Analysis*“, Management Information Systems Quarterly 24, 2, 197-225
- Berry, M. M. J. und Taggart, J. H.; (1994); „*Managing Technology and Innovation: A Review*“, R&D Management 24, 4, 341-354
- Bialis, N., Lolos, D., Antoniadis, A., Emiris, D. (2002); „*A Fuzzy Sets Approach to New Product Portfolio Management*“, Engineering Management Conference, 2002 1, 485-490
- Brockhoff, K. (1999), „*Forschung und Entwicklung: Planung und Kontrolle*“, 5. ergänzte und erweiterte Auflage, München; Wien: Oldenbourg
- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2009); <http://www.bmvit.gv.at/> (aufgerufen am 13.11.2009)
- Carlsson, C. und Fuller, R. (1996); „*Fuzzy multiple criteria decision making: Recent developments*“, Fuzzy Sets and Systems, 78, S.139-153
- Carlsson, C. Fuller, R. und Majlender, P. (2001); „*Project selection with fuzzy real options*“, Proceedings of the Second International Symposium of Hungarian Researchers on Computational Intelligence, Budapest, November 12, S.81-88
- Carlsson, C. und Fuller, R. (2003); „*A Fuzzy Approach to Real Option Valuation*“, Fuzzy Sets and Systems 139, 297-312
- Carlsson, C., Fuller, R. und Majlender, P. (2005); „*A Fuzzy Real Options Model for R&D Project Evaluation*“, Proceedings of the Eleventh IFSA World Congress, Beijing, China, July 28-31, 1650-1654

- Carlsson, C., Fuller, R., Heikkilä, M. und Majlender, P. (2007); „*A Fuzzy Approach to R&D Project Portfolio Selection*“, International Journal of Approximate Reasoning 44, 93-105
- Chang, D.-Y. (1996); „*Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP*“, European Journal of Operational Research 95, 649-655
- Chang, D.-Y. und Zhang, L.L. (1992); „*Extent Analysis and Synthetic Decision*“, Optimization Techniques and Application 1, 352-355
- Chen, Y. und Fan, Z.-P. (2006); „*A Multiobjective Optimization Model for Packing Proposals in Large-Scale R&D Project Review*“, Management Science and Engineering, International Conference on, 359-363
- Coffin, M.A. und Taylor, B.W. (1996); „*Multiple criteria R&D project selection and scheduling using fuzzy logic*“, Computers Ops Res. Vol.23, No.3, S.207-220
- Danmei, Z., Tie, Z., Xingtong, W. und Dongling, C. (2008); „*A Novel R&D Project Portfolio Selection Decision Approach Based on Fuzzy Logic and Heuristics Scheduling*“, Chinese Control and Decision Conference, 144-147
- DeBaets, B., Van de Walle, B. und Kerre, E. (1995); „*Fuzzy Preference Structures Without Incomparability*“, Fuzzy Sets and Systems 76, 333-348
- Department of Industrial Technology (2009); „*Funding Allocation*“, http://doit.moea.gov.tw/newenglish/02_TDP/structure.asp
- Department of Industrial Technology (2009); „*Origins of Technology Development Programms*“, http://doit.moea.gov.tw/newenglish/02_TDP/tdp_origins.asp
- Dickinson, M.W., Thornton, A.C. und Graves, S. (2001); „*Technology Portfolio Management: Optimizing Interdependent Projects Over Multiple Time Periods*“, IEEE Transactions on Engineering Management 48, 4, S.518-527
- Dubois, D. und Prade, H. (1980); „*Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*“, New York, London, Toronto
- Enea, M. und Piazza, T. (2004); „*Project Selection by Constrained Fuzzy AHP*“, Fuzzy Operations and Decision Making, 3, S. 39-62
- Europäisches Parlament/ Rat (2002); *Beteiligungs- und Verbreitungsregeln*

- Europäische Kommission (2003); *Guidance Notes for Evaluators – Participating in evaluation of proposals for NEST*
- Europäische Kommission (2004a); *Leitlinien zu den Vorschlagsbewertungs- und –auswahlverfahren*
- Europäische Kommission (2004b); *Guidance Notes for Evaluators – Participating evaluation of proposals for EURON*
- Europäische Kommission (2004c); *Guidance Notes for Evaluators – Participating in evaluation of proposals for Priority 5*
- Europäische Kommission (2005a); *Guidance Notes for Evaluators – Participating in evaluation of proposals for Calls TREN-4*
- Europäische Kommission (2005b); *Guidance Notes for Evaluators - Participating in evaluation of proposals for the Identification of new methods of promoting and encouraging Trans-national Technology Transfer*
- Europäische Kommission (2005c); *Guidance Notes for Evaluators – Participating in the evaluation of proposals for Human Resources and Mobility actions*
- Fan, Z.-P., Chen, Y., Ma, J. und Zhu, Y. (2009); „*Decision Support for Proposal Grouping: A Hybrid Approach Using Knowledge Rule and Genetic Algorithm*“, *Expert Systems with Applications* 36, 2, 1, 1004-1013
- Fasanghari, M. und Roudsari, F. H. (2008); „*Optimized ICT Project Selection Utilizing Fuzzy System*“, *World Applied Sciences Journal* 4, 1, 44-49
- Gao, P.Y und Zhou, Y. (2007); „*Statistics Decision Method Fuzzy Numbers Ordering*“, *Statistics and Decision*, 237, 5, 31-31
- Geske, R. (1979); „*The Valuation of Compound Options*“, *Journal of Financial Economics* 7(1), S. 63-81
- Heidenberger, K. und Stummer, C. (1999); „*Research and Development Project Selection and Resource Allocation: A Review of Quantitative Modelling Approaches*“, *International Journal of Management Reviews* 1, 2, 197-224

- Hsu, Y.-G., Tzeng, G.-H. und Shyu, J.Z. (2003); „*Fuzzy Multiple Criteria Selection of Government-Sponsored Frontier Technology R&D Projects*“, R&D Management 33, 5, 539-551
- Huang, X. (2007); „*Optimal Project Selection With Fuzzy Random Parameters*“, International Journal of Production Economics 106, 513-522
- Huang, C.-C., Chu, P.-Y. und Chiang, Y.-H. (2008); „*A Fuzzy AHP Application in Government-Sponsored R&D Project Selection*“, Omega - The International Journal of Management Science 36, 1038-1052
- Hwang, H.-S. und Yu, J.-C. (1998); „*R&D project evaluation model based on fuzzy set priority*“, Computers Industrial Engineering, Vol.35, Nos. 3-4, S.567-570
- Inuiguchi, M. und Ramik, J. (2000); „*Possibilistic Linear Programming: A Brief Review of Fuzzy Mathematical Programming and a Comparison with Stochastic Programming in Portfolio Selection Problem*“, Fuzzy Sets and Systems 111, S. 3-28
- Karsak, E.E. (2006); „*A Generalized Fuzzy Optimization Framework for R&D Project Selection*“, Computational Sciences and its Applications – ICCSA 2006, Vol 3982, S. 918-927
- Klir, G.J. und Yuan, B. (1995); „*Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*“, Prentice-Hall: New Jersey
- Laarhoven, P.J.M. und Pedrycz, W. (1983), „*A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory*“, Fuzzy Sets and Systems 11, 199-227
- Liu, B. (2002); „*Theory and Practice of Uncertain Programming*“, Physica Verlag, Heidelberg
- Liu, O. und Ma, J. (2005); „*A Web Service Approach to Model Management in DSS*“, The 9th Pacific Asia Conference on Information Systems, 377-391
- Liu, O., Tian, Q. und Ma, J. (2006); „*A Fuzzy Description Logic Approach to Model Management in R&D Project Selection*“, Proceedings of the 8th Pacific Asia Conference on Information Systems (PACIS 2004), 67-80

- Lootsma, F.A. (1997); „*Fuzzy Logic for Planning and Decision Making*“, Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, Boston, London
- Ma, J., Zhang, Q. und Fan, Z.; „*Web-based Group Decision Support for R&D Project Outcome Assessment in Government Funding Agencies*“, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.11.1936&rep=rep1&type=pdf> (aufgerufen am 6.10.2009)
- Machacha, L.L. und Bhattacharya, P. (2000), „*A fuzzy logic-based approach to project selection*“, Transactions on Engineering Management, Vol. 47, No.1, S.65-73
- Martino, J.P. (1995), „*Research and Development Project Selection*“, Wiley: New York
- Merton, R.C. (1973), „*Theory of Real Option Pricing*“, Bell Journal of Economics and Management Science 4, 141-183
- Mohanty, R.P., Agarwal, R., Choudhury, A.K. und Tiwari, M.K. (2005); „*A Fuzzy ANP-based Approach to R&D Project Selection: A Case Study*“, International Journal of Productin Research Vol 43, No 24, S. 5199-5216
- NSFC (2008), „*2008 Annual Report*“, <http://nsfc.gov.cn>
- Parlos, P. (2000), „*Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*“, Kluwer Academic Publishers, London
- Ramadan, M.Z. (2004); „*A Fuzzy Model for R&D Project Selection with Multi-criteria Decision Making*“, Proceedings of the 2nd IIEC-2004, December 19-21, Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia
- Riddel, S. und Wallace, W.A. (2007); „*The Use of Fuzzy Logic and Expert Judgement in the R&D Project Portfolio Selection Process*“, Portland International Center for Management of Engineering and Technology, 5-9 August, S. 1228-1238
- Rietschel, E.T.(2009); *Evaluation of the Sixth Framework Programmes for Research and Technological Development 2002-2006*; Report of the Expert Group
- Ruoning, X. und Xiaoyan, Z. (1992); „*Extension of the Analytic Hierarchie Process in Fuzzy Environment*“, Fuzzy Sets and Systems 52, 251-257
- Saaty, T.L. (1980); „*The Analytic Hierarchie Process*“, New York: McGraw-Hill

- Saaty, T.L. (1996); „*The Analytic Network Process*“; RWS Publications, Expert Choice, Inc.
- Schmucker, K.J. (1984); „*Fuzzy Sets, Natural Language Computations and Risk Analysis*“, Computer Science Press, Rockville MA
- Sombrowski, D. (2005); „*Inputevaluation in der europäischen Forschungspolitik: Gestaltung und Implementation der Projektauswahl durch die EU-Kommission*“, Deutscher Universitätsverlag: Wiesbaden
- Sun, Y.-H., Ma, J., Fan, Z.-P. und Wang, J. (2008); „*A Group Decision Support Approach to Evaluate Experts for R&D Project Selection*“, IEEE Transactions on Engineering Management 55, 1, 158-170
- Tian, Q., Ma, J. und Liu, O. (2002); „*A Hybrid Knowledge and Model System for R&D Project Selection*“, Expert Systems with Applications 23, 3, 265-271
- Tian, Q., Ma, J., Liang, J., Kwok, R.C.W. und Liu, O. (2005); „*An Organizational Decision Support System for Effective R&D Project Selection*“, Decision Support Systems 39, 403-413
- Tolga, A.C. und Kahraman, C. (2008); „*Fuzzy Multiattribute Evaluation of R&D Projects Usind a Real Options Valuation Model*“, International Journal of Intelligent Systems 23, 1153-1176
- Wang, K., Wang, C.K. und Hu, C. (2005); „*Analytic Hierarchy Process with Fuzzy Scoring in Evaluating Multidisciplinary R&D Projects in China*“, IEEE Transactions on Engineering Management 52, 1, 119-129
- Wang, J. und Hwang, W.-L. (2007); „*A Fuzzy Set Approach for R&D Portfolio Selection Using a Real Options Valuation Model*“, Omega 35, S.247-257
- Watters, L.J. (1967); „*Reduction of Integer Polynomial Programming Problems to Zero-One Linear Programming Problems*“, Operations Research 15, S. 1171-1174
- Weber, R., Werners, B. und Zimmermann, H.-J. (1990); „*Planning models for research and development*“, European Journal of Operational Research 48, S.175-188
- Yi, C., Ning, Y. und Jin, Q. (2008); „*A Fuzzy Multi-criteria Evaluation Approach for R&D Project Selection*“ 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 1-4

- Yoon, K.P. und Hwang, C.-L. (1995) „*Multiple Attribute Decision Making: An Introduction*“, Sage University Paper series on Quantitative Applications in the Social Sciences, 07-104, Thousand Oaks, CA: Sage
- Yuan, Y. und Shaw M.J. (1995); „*Induction of Fuzzy Decision Trees*“, Fuzzy Sets and Systems 69, 2, 125-139
- Zadeh, L.A. (1965); „*Fuzzy Sets*“, Information and Control 8
- Zadeh, L.A. (1973); „*The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning*“, Memorandum ERL-M 411, Berkeley
- Zhou, D. (2000); *Fuzzy Group Decision Support System Approach to Group Decision Making in Multi-Criteria*”, PhD Dissertation, City University of Hong Kong
- Zhou, D., Ma, J. und Turban, E. (2001); „*Journal Quality Assessment: An Integrated Subjective and Objective Approach*“; IEEE Transactions on Engineering Management 48, 4, 479-490
- Zhou, D., Ma, J., Turban, E. und Bolloju, N. (2002); „*A Fuzzy Set Approach tot he Evaluation of Journal Grades*“, Fuzzy Sets and Systems 131, 63-74
- Zimmermann, H.-J. (1996), „*Fuzzy Set Theory and Its Applications* “, 3. Auflage, Kluwer Academic Publishers: Boston

F Anhang

A-1: Kriterienkatalog der F&E-Projektauswahl im sechsten FRP der EU (Quelle: Sombrowski 2005, 177ff)

Hauptkriterium	Instrumente(Projekttypen)				
Subkriterium	IP	NoE	STREP	CA	SSA
Relevance	X	X	X	X	X
The extent to which:					
the proposed project addresses the objectives of the work programme.	X	X	X	X	
the proposal addresses key issues to defined [!] in the work programme/call, specific programmes or ERA, as appropriate					X
Hauptkriterium	Instrumente(Projekttypen)				
Subkriterium	IP	NoE	STREP	CA	SSA
Potential Impact	X	X	X	X	X
The extent to which:					
the proposed project is suitably ambitious in terms of its strategic impact on reinforcing competitiveness (including that a SMEs) or on solving societal problems	X				
the proposed project is likely to have an impact on reinforcing competitiveness or on solving societal problems.			X		
Europe has a strategic need to strengthen S&T excellence on the topic by means of restructuring of the existing research capacities and the way research is carried out.		X			
the goals of the network are, in that connection, suitably ambitious particularly, in terms of achieving European leadership and acting as a world force on this topic.		X			
the proposed approach is likely to have a durable structuring impact on European research		X			
The innovation -related activities and exploitation and/or dissemination plans are adequate to ensure optimal use of the project results.	X				
exploitation and/or dissemination plans are adequate to ensure optimal use of the project results.			X		
there is an effective plan for spreading excellence, exploiting results and disseminating knowledge, including to SMEs and to those outside the network.		X			
exploitation and/or dissemination plans are adequate to ensure optimal use of the project results, where possible beyond the participations in the projects.				X	X
the proposal demonstrates a clear added value in carrying out the work at European level and takes account of research activities at national level and under European initiatives	X	X	X	X	
the impact on the proposed work can only be achieved if carried out at European level.					X
the project mobilises a critical mass of resources in Europe.				X	
the Community support would have a substantial impact on the action and its scale, ambition and outcome.				X	X

Hauptkriterium	Instrumente(Projekttypen)				
Subkriterium	IP	NoE	STREP	CA	SSA
Science & Technology Excellence	X		X		
The extent to which:					
the project has clearly defined objectives.	X				
the project has clearly defined and well focused objectives.			X		
the objectives represent clear progress beyond the current state-of-the-art	X		X		
the proposed S&T approach is likely to enable the project to achieve ist objectives in research and innovations.	X		X		
Hauptkriterium	Instrumente(Projekttypen)				
Subkriterium	IP	NoE	STREP	CA	SSA
Degree of integration and the joint programme of activities The extent to which		X			
the expected degree of integration justifies supporting the proposal as a network of excellence		X			
the joint programme of activities is sufficiently well designed to achieve the expected degree of intgration		X			
the participating organisations have made a convincing commitment towards a deep and durable integration continuing beyond the period of Community support.		X			
Hauptkriterium	Instrumente(Projekttypen)				
Subkriterium	IP	NoE	STREP	CA	SSA
Quality of the coordination				X	
The research actions/programmes to be coordinated are demonstrably high quality				X	
the coordination mechanisms proposed are sufficiently robust for ensuring the goals of the action				X	
Quality of the support action					X
the proposed objectives are sound and the proposed approach, methodology and work plan are of a sufficiently high quality for achieving these objectives.					X
the applicant(s) represent(s) a high level of competence in trms of professional qualifications and/or experience.					X
The proposed activities are innovative and orignal (if applicable).					X
Quality of the consortium	X		X	X	
The extent to which:					
the participations collectively constitute a consortium of high quality.	X		X	X	
the participants are well-suited and committed to the tasks assigned to them.	X		X		
the participants are well-suited to the tasks assigned to them.				X	
the project combines the complementary expertise of the participants to generate added value with respect to the individual participants' programmes				X	
the profiles of the participants, including those to be included later, have been clearly described.	X				
the real involvement of SMEs has been adequately adressed.	X				
the opportunity of involving SMEs has been adequately adressed.			X		
There is a good complementarity between participants.	X		X		

Hauptkriterium	Instrumente(Projekttypen)				
Subkriterium	IP	NoE	STREP	CA	SSA
Excellence of participants		X			
The extent to which:					
the participants are currently conducting excellent research relevant to the topic of the network or are capable of important contributions to the joint programme of activities.		X			
the participants are well-suited to the tasks assigned to them.		X			
they collectively have the necessary critical mass of expertise and resources to carry out the joint programme of activities successfully		X			
Hauptkriterium	Instrumente(Projekttypen)				
Subkriterium	IP	NoE	STREP	CA	SSA
Quality of Management The	X		X	X	X
extent to which:					
the organisational structure is well matched to the complexity of the project and to the degree of integration required.	X				
the project management is demonstrably of high quality.	X		X	X	X
there is a satisfactory plan for the management of knowledge, of intellectual property and of other innovation-related activities.	X		X	X	
the management structure is credible in terms of professional qualifications, experience, track record and capacity to deliver.					X
Organisation and management The		X			
extent to which:					
the organisational structure of the network provides a secure framework for any necessary structural decisions to be taken.		X			
the management of the network is demonstrably of high quality.		X			
there is well-considered plan for promoting gender equality in the network.		X			
Hauptkriterium	Instrumente(Projekttypen)				
Subkriterium	IP	NoE	STREP	CA	SSA
Mobilisation of resources The	X		X	X	X
extent to which:					
the project mobilises the minimum critical mass of resources (personnel, equipments, finance ...) necessary for success.	X				
the project foresees the resources (personnel, equipment, finance, ...) necessary for success.			X		
the project provides the resources (personnel, equipment, finance, ...) necessary for success.				X	x
the resources are convincingly integrated to form a coherent project.	X		X	X	
the overall financial plan for the project is adequate.	X		X	X	X

A-2: Abstract (deutsch)

Die Theorie der unscharfen Mengen gilt als geeignetes Instrument, um die Unsicherheit und Vagheit darzustellen die mit der Forschungs- und Entwicklungs (F&E)-Projektauswahl einhergeht. Eine Taxonomie der unscharfen quantitativen Ansätze der betrieblichen F&E-Projektauswahl gliedert die vorgestellten Ansätze in unscharfe Methoden der Nutzenermittlung, unscharfe Modelle der mathematischen Programmierung, unscharfe Simulationsmodelle und Heuristiken sowie unscharfe Ansätze der kognitiven Emulation und zeigt somit die vielfältigen Einsatzgebiete der Theorie der unscharfen Mengen im Bereich der F&E-Projektauswahl. Einen speziellen Fall der F&E-Projektauswahl, stellt die Projektauswahl in der Forschungsförderung dar. In der Europäischen Union (EU) erfolgt die Forschungsförderung durch die sogenannten Forschungsrahmenprogramme. Am Beispiel des sechsten Forschungsrahmenprogrammes der EU werden die Besonderheiten der Projektauswahl in der Forschungsförderung erläutert. Die große Anzahl an eingereichten F&E-Projektvorschlägen, die Vielfalt der Beurteilungskriterien und die unterschiedlichen Instrumente zur Durchführung erfordern ein Auswahlverfahren, das eine optimale F&E-Projektauswahl gewährleistet. Obwohl die Projektauswahl im 6. FRP ein komplexer Prozess ist, erfolgt sie ohne den Einsatz von entscheidungsunterstützenden quantitativen Modellen. Am Beispiel der F&E-Projektauswahl der National Natural Science Foundation of China (NSFC) und des Department of Industrial Technology (DoIT) in Taiwan wird hingegen gezeigt, dass der Einsatz von entscheidungsunterstützenden quantitativen Modellen im Rahmen der Forschungsförderung sowohl möglich als auch sinnvoll ist. Der Großteil der dort eingesetzten Modelle basiert auf der Theorie der unscharfen Mengen. Während im Rahmen der F&E-Projektauswahl in der Forschungsförderung primär unscharfe Methoden der Nutzenermittlung zur Entscheidungsunterstützung verwendet werden, stellen unscharfe Modelle der mathematischen Programmierung, unscharfe Simulationsmodelle, unscharfe Ansätze der kognitiven Emulation sowie unscharfe Ansätze der Entscheidungs- und Spieltheorie Potentiale dar, die bisher noch nicht ausgeschöpft wurden, deren Eignung jedoch im Rahmen der betrieblichen F&E-Projektauswahl bereits größtenteils unter Beweis gestellt wurde.

A-3: Abstract (englisch)

The fuzzy set theory is considered to be a proper instrument to depict the uncertainty and vagueness concerning r&d-project selection. A taxonomy of fuzzy quantitative approaches for r&d-project selection in the private sector shows the different fields of application of fuzzy set theory and is organized into fuzzy benefit measurement methods, fuzzy mathematical programming approaches, fuzzy simulation models and heuristics and fuzzy cognitive emulation. Project selection in research funding agencies is a special case of r&d-project selection. In the European Union (EU) research funding is carried out via the so called framework programmes. Using the example of the sixth framework programme the characteristics of project selection in research funding agencies are defined. Due to the numerousness of submitted proposals, the diversity of evaluation criteria and the wide range of instruments of implementation, there is a need for a project selection process, that guarantees optimal project selection. Although project selection in the sixth framework programme is a complex process, it takes place without decision support via quantitative models. Using the example of the r&d project selection in the National Natural Science Foundation of China (NSFC) and in the Department of Industrial Technology (DoIT) in Taiwan, it is demonstrated that the use of quantitative modelling approaches is possible and reasonable. The majority of the models used for r&d-project selection in the context of research funding is based on the fuzzy set theory, especially fuzzy benefit measurement methods. Although fuzzy mathematical programming, fuzzy simulation models, fuzzy cognitive emulation and fuzzy approaches in decision and game theory have not been used yet in the context of project selection in the research funding area, their applicability has already been shown and therefore their application in the research funding area represents possible future fields of study.

A-4: Lebenslauf

Persönliche Daten	Vor- und Nachname: Mario Enzenberger Geburtsdatum: 02.06.1980 Geburtsort: St. Pölten, Österreich E-Mail: marioenzenberger@gmx.at
Abgeschlossene Studien	Bakkalaureatsstudium Betriebswirtschaft (Universität Wien, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften) - Vertiefung: Management Magisterstudium Betriebswirtschaft (Universität Wien, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften) - KFK Innovations- und Technologiemanagement - KFK Organisation und Planung