



Risikobewertung von Entwicklungsprojekten

Masterarbeit

von

Christoph Gruber, BSc.

Technische Universität Graz

Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften

Institut für Betriebswirtschaftslehre und Betriebssoziologie

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Ulrich Bauer

Graz, im Januar 2015

In Kooperation mit:

ANDRITZ
Hydro

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....

date

.....

(signature)

Kurzfassung

Die ANDRITZ HYDRO GmbH in Weiz führt als innovatives Unternehmen im Energietechniksektor jährlich zahlreiche Projekte im Bereich der Forschung und Entwicklung durch. Die Abwicklung dieser Projekte ist aufgrund des ihnen innewohnenden Neuigkeitsgrades immer mit planungstechnischen Unsicherheiten verbunden. Im Bereich der F&E kommt hier aber noch die Unsicherheit hinzu, ob das geplante Vorhaben technologisch überhaupt realisierbar ist. Daraus ergeben sich einige Probleme mit der Abschätzung des notwendigen Projektumfangs in Hinblick auf Projektdauer und -kosten sowie mit der qualitativen und quantitativen Formulierung der technischen Projektziele. Daher treten regelmäßig Schwierigkeiten mit der Zielerreichung der Entwicklungsprojekte auf. Im Zuge dieser Masterarbeit soll ein System entwickelt werden, das diese Unsicherheiten im Zuge einer Risikobewertung abschätzt und Aussagen über die Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung des geplanten Projektumfangs, bzw. die Verfehlung der geplanten Projektziele liefert.

Anhand von Experteninterviews in anderen Technologieunternehmen, sowie einer Literaturstudie über Risikobewertung von Projekten, wurde der aktuelle Stand der eingesetzten Verfahren in diesem Bereich erhoben. Anhand der Ergebnisse dieser Studien wurde eine Methode zur Risikobewertung von Entwicklungsprojekten basierend auf einer für die Risikobewertung angepassten Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), die sogenannte RFMEA entwickelt. Dieses Verfahren wurde durch den Einsatz von Fuzzy Set Methoden an das menschliche Entscheidungs- und Kommunikationsverhalten angepasst. Anschließend wurden die Abläufe im F&E-Projektmanagement der ANDRITZ HYDRO Weiz analysiert und eine Risikoidentifikation durchgeführt. Die Risikohöhe, die Möglichkeiten zur Früherkennbarkeit und die interne Beeinflussbarkeit der identifizierten Risiken wurden mit einer Delphi-Befragung bewertet. Mithilfe einer Cross-Impact-Analyse wurde die Beeinflussung der Eintrittswahrscheinlichkeit der anderen Risiken bei Eintritt eines der identifizierten Risiken untersucht. Abschließend sind im Zuge von Expertenmeetings geeignete Fragen- und Antwortkomplexe für die Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit der einzelnen Risiken erstellt worden.

Auf Basis des entwickelten Verfahrens und der durchgeführten Bewertungen wurde ein standardisiertes und softwarebasiertes Bewertungstool für die Risikobewertung von Entwicklungsprojekten der ANDRITZ HYDRO Weiz erstellt. Dieses Werkzeug ermöglicht eine einfache und schnelle Bewertung des Projektrisikos und soll als verlässliches Werkzeug im F&E-Projektmanagement implementiert werden.

Abstract

As an innovative company in the energy technology sector, the ANDRITZ HYDRO GmbH Weiz annually conducts numerous research and development projects. Planning these projects is always connected to uncertainties because of their inherent degree of novelty. Additionally there is a certain amount of uncertainty concerning the technical feasibility due to the innovative nature of R&D itself, which causes some problems with the estimation of the project scope particularly with respect to planned project time and cost, as well as the qualitative and quantitative formulation of the technical project objectives. Therefore difficulties with the project being executed occur on a frequent basis. The objective of this master thesis is to develop a system to evaluate the degree of uncertainty and assess the risk level of R&D projects to predict the probability of exceeding the planned project scope, or missing the planned project objectives.

At first state-of-the-art methods used for risk assessment of R&D project were identified and evaluated. Therefore interviews with experts in other technology based companies, as well as a study of pertinent literature on risk assessment had been carried out. Subsequently a method for risk assessment based on an adjusted FMEA, the so-called RFMEA, was developed. By the use of fuzzy set methods this procedure was adapted to simulate human behavior with respect to making decisions and communication. Afterwards, the R&D project management processes within the ANDRITZ HYDRO GmbH Weiz were analyzed and a risk identification was performed. During a Delphi survey the magnitude of risk, the opportunities for early recognition and the internal controllability of the risk factors were rated. Using a cross-impact analysis the influence between the identified risks were evaluated. To conclude the empiric studies, appropriate question and answer complexes for the assessment of the probability of occurrence of the risks were created during meetings with experts.

Finally a standardized, software-based risk assessment tool for development projects was created. This tool was designed regarding to the developed method and the assessment of the risk factors. This tool allows an easy and rapid assessment of the risk levels of projects and should be implemented as a reliable tool in the R&D project management.

Danksagung

Ich möchte mich an erster Stelle herzlich bei meiner Familie bedanken, die es mir ermöglicht hat, dieses Studium erfolgreich zu absolvieren, und mir jederzeit mit gutem Rat und Unterstützung zur Seite stand.

Ein besonderer Dank gilt den zuständigen Vertretern der ANDRITZ HYDRO GmbH in Weiz, Herrn DI Dr. Bernd Schlegl, Frau DI Dr. Irmgard Bergmann und Herrn DI Werner Ladstätter, die mir im gesamten Verlauf der Arbeit mit Rat und Tat zur Seite standen und sich um die rasche Erledigung meiner Anliegen gekümmert haben. Einen großen Dank möchte ich auch meinen Betreuern, Herrn DI Jochen Kerschenbauer und Herrn DI Volker Koch vom Institut für Betriebswirtschaftslehre und Betriebssoziologie der Technischen Universität Graz, aussprechen, die mich mit wertvollen Ratschlägen unterstützt und mir während der gesamten Arbeit hervorragende Hilfestellungen gegeben haben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation.....	1
1.2	Problemstellung.....	2
1.3	Ziele.....	2
1.4	Aufgabenstellung.....	3
1.5	Untersuchungsbereich.....	3
2	Definition des Projektrisikos	4
2.1	Definition des Risikobegriffs.....	4
2.2	Definition von Entwicklungsprojekten.....	7
2.2.1	Definition von Entwicklung.....	7
2.2.2	Definition des Begriffes Projekt.....	9
2.3	Der Risikobegriff bei Entwicklungsprojekten.....	10
3	Scoring-Modelle zur Risikobewertung	11
3.1	Die Nutzwertanalyse zur Risikobewertung.....	11
3.1.1	Ablauf der Nutzwertanalyse.....	11
3.1.2	Unterschiede des Analytical Hierarchical Process zur Nutzwertanalyse.....	15
3.1.3	Änderungen zur Bewertung von Risiken mittels Nutzwertanalyse.....	16
3.2	Die Projekt Risiko FMEA.....	17
3.2.1	Die klassische FMEA.....	18
3.2.1.1	Grundlegende Arten von FMEAs.....	18
3.2.1.2	Die Risikoprioritätszahl.....	20
3.2.1.3	Die formale Gestaltung einer FMEA.....	22
3.2.2	Von der FMEA zur RMFEA.....	23
3.2.3	Aufbau und Ablauf der RFMEA.....	26
3.2.4	Aussagen und Ergebnisse der RFMEA.....	28
3.3	Auswahl eines Scoring-Modells zur Risikobewertung.....	31
4	Fuzzy Set Methoden	32
4.1	Unscharfe Mengen.....	32
4.2	Arbeiten mit Fuzzy Sets.....	35
4.2.1	Fuzzifikation qualitativer Aussagen.....	35
4.2.2	Inferenz von Fuzzy Sets.....	38

4.2.3	Defuzzifikation unscharfer Werte.....	42
5	Empirische Untersuchungen	45
5.1	Experteninterviews in Industrie- & Technologie-Unternehmen	45
5.1.1	Vorgehensweise bei den Experteninterviews	45
5.1.2	Auswertung der Interviews	46
5.1.3	Ergebnisse der Interviews	48
5.1.3.1	Ablauf der Risikobewertung in den befragten Unternehmen	48
5.1.3.2	Eingesetzte Verfahren und Kennzahlen zur Risikobewertung	49
5.1.3.3	Implementierte Risikomanagement-Systeme im Projektmanagement.....	50
5.1.3.4	Reaktion auf identifizierte Risiken	50
5.1.3.5	Eingesetzte Risikobewertungstools	51
5.1.3.6	Abschließende Bemerkungen.....	51
5.2	Projektrisiken im Entwicklungsbereich der ANDRITZ HYDRO.....	51
5.2.1	Vorgehensweise bei der Identifikation von Projektrisiken	52
5.2.2	Ergebnisse der Risikoidentifikation.....	53
5.2.2.1	Die Dimension der Innovation.....	55
5.2.2.2	Das Promotorenmodell	55
5.3	Bewertung der identifizierten Projektrisiken	57
5.3.1	Vorgehensweise bei der Entwicklung von Bewertungen für Projektrisiken	58
5.3.1.1	Die Delphi-Methode für Expertenbefragungen	58
5.3.1.2	Die Cross-Impact-Analyse	61
5.3.2	Ergebnisse der Bewertung der Projektrisiken	62
5.4	Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit	63
6	Risikobewertung von Entwicklungsprojekten	65
6.1	Beschreibung des verwendeten Verfahrens	65
6.2	Vorschlag zum Ablauf des Risikobewertungsprozesses	68
6.3	Vorstellung des Software-Tools zur Risikobewertung.....	69
6.4	Anwendung von FSM im Bewertungstool	72
6.4.1	Fuzzifikation und Inferenz am Beispiel der Bewertung der Projektgröße	72
6.4.2	Defuzzifikation am Beispiel der Bewertung des Risikos der Verzögerung einer Managemententscheidung	76
6.5	Fallbeispiel: Risikobewertung von ausgewählten Projekten.....	79
6.6	Eignung des Verfahrens zum Treffen von Durchführungsentscheidungen	81

7 Zusammenfassung und Ausblick.....	82
7.1 Zusammenfassung der empirischen Untersuchung.....	82
7.2 Zusammenfassung der Risikobewertung von Entwicklungsprojekten.....	83
7.3 Erweiterungsvorschläge zum gefundenen System.....	84
Literaturverzeichnis	85
Abbildungsverzeichnis	87
Tabellenverzeichnis	89
Abkürzungsverzeichnis	91
Anhang.....	92

1 Einleitung

Zu Beginn dieses einleitenden Abschnitts soll die Situation, die zur Durchführung dieser Masterarbeit geführt hat und die Problemstellung die dieser Arbeit zugrunde liegt, dargestellt werden. Anschließend werden die Ziele, die Aufgabenstellung und der betrachtete Untersuchungsbereich festgelegt, die sich aus der Analyse der Ausgangssituation und der Definition der Problemstellung ergeben haben.

1.1 Ausgangssituation

Die ANDRITZ HYDRO GmbH ist ein fortschrittliches, international führendes Unternehmen in den Bereichen Projektierung, Bau, Instandhaltung und Modernisierung von hydraulischen Kraftwerksanlagen. Um technologisch auf dem neusten Stand zu bleiben, wickelt die ANDRITZ HYDRO jährlich zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsprojekte ab, die sich in die Teilgebiete Turbinendesign, Generatordesign, Automation und elektrisches Energiesystem aufteilen. Der Standort der ANDRITZ HYDRO in Weiz ist ein weltweites Competence Center für F&E im Bereich Generatoren.

Die Forschungsprojekte der ANDRITZ HYDRO Weiz erstrecken sich von Grundlagenforschung bis zur kontinuierlichen Verbesserung bereits bestehender Produkte und Prozesse wodurch sie sich in ihrem Umfang und ihrer Komplexität stark unterscheiden. Im Zuge der Abwicklung dieser Projekte treten immer wieder Schwierigkeiten in der Erfüllung der geplanten Ziele auf. Eine Analyse im Bereich der F&E ergab, dass ein großer Teil der Meilensteine aufgrund diverser Probleme verzögert oder gestrichen wurden. Die Situation könnte sich beispielsweise wie in Abbildung 1.1 gezeigt darstellen.

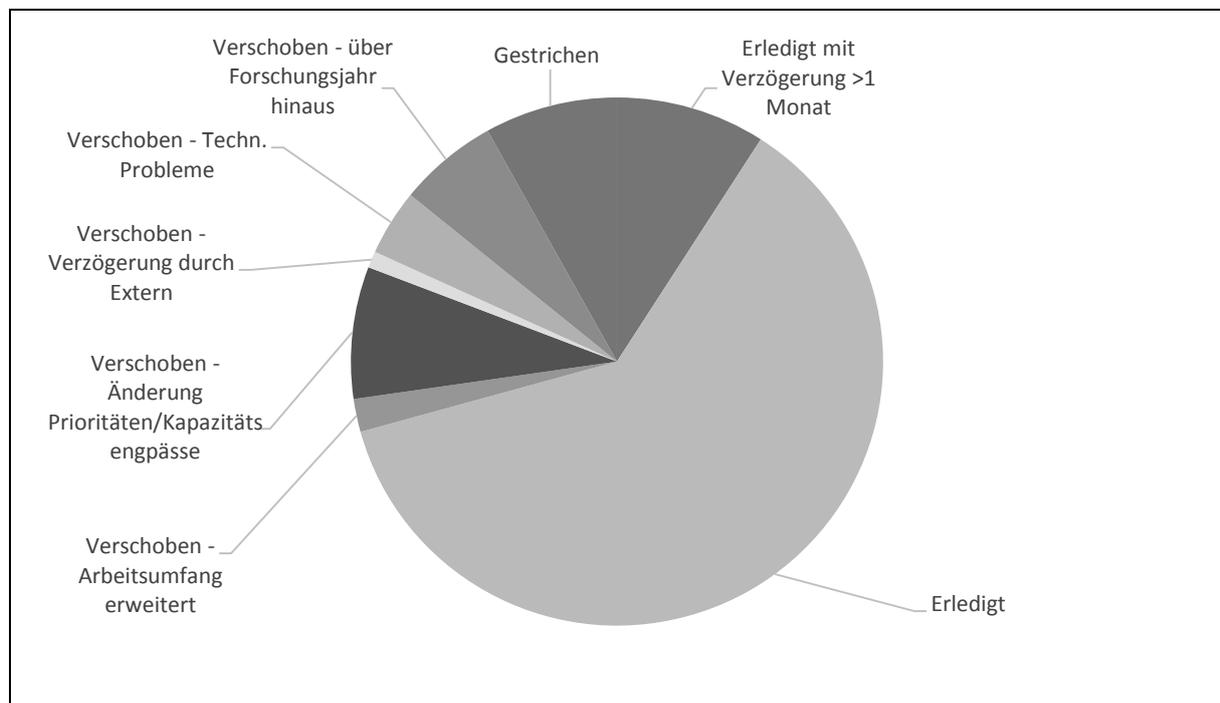


Abbildung 1.1 Beispielhafte Meilensteinanalyse im F&E-Projektmanagement

1.2 Problemstellung

Im Projektmanagement der ANDRITZ HYDRO Weiz ist kein Risikobewertungsprozess implementiert. Projekte im Bereich der angewandten Forschung, welche sich mit einem noch wenig bekannten Themengebiet beschäftigen, sind zum Beginn der Planung mit viel größeren Unsicherheiten verbunden als ein Projekt im Zuge eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses, das sich auf ein konkretes, bereits entwickeltes Produkt bezieht. Überschreitet ein Projekt den geplanten Umfang (wie z. B.: Projektdauer oder -kosten) oder kann es den geforderten Output nicht erreichen, wird nicht unterschieden, ob es sich um ein komplexes Projekt, bei dem mit einer Überschreitung zu rechnen war, oder um ein einfaches Projekt, welches mit hoher Wahrscheinlichkeit mit dem veranschlagten Projektumfang durchführbar gewesen wäre, handelt.

Für das Management ist teilweise schwer ersichtlich, wie engagiert die gesetzten Ziele sind und wie schwer daher die Erreichung dieser Ziele im geplanten Projektumfang ist. Andererseits existiert auch kein Tool für die F&E-Projektleiter, welches zeigt, wie ambitioniert die eigenen Ziele gesetzt wurden. Für beide Seiten wäre daher die Einführung eines Risikobewertungssystems von Vorteil. Mit Hilfe dieses Systems, könnte der nötige Projektumfang schon bei der Planung besser abgeschätzt werden, um eine Überschreitung des geplanten Projektumfangs zu vermeiden. Kommt es trotzdem im Laufe der Abwicklung des Projekts zu Problemen, kann man mit Hilfe eines solchen Systems auch besser beurteilen, inwieweit mit diesen Problemen in Vorhinein bereits zu rechnen war.

1.3 Ziele

Primäres Ziel dieser Arbeit ist es, ein funktionierendes und auf die ANDRITZ HYDRO Weiz angepasstes System zur Bewertung des Risikos eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes zu entwickeln. Betrachtet werden soll das Risiko bezüglich einer möglichen Überschreitung des veranschlagten Projektumfangs hinsichtlich Kosten, Dauer und Zielerreichung. Das Bewertungssystem soll sich an der Kennzahlenstruktur im F&E-Projektmanagement der ANDRITZ HYDRO Weiz orientieren.

Anschließend soll ein (eventuell softwaregestützter) Risiko-Bewertungsprozess im Projektmanagement der ANDRITZ HYDRO Weiz implementiert werden, um eine einfache Bewertung des Risikos zu ermöglichen. Der Output dieses Bewertungsbogens soll ohne großen Interpretationsaufwand eine eindeutige Aussage über das Risikopotenzial des untersuchten Projekts liefern. Der Mehraufwand für die Projektverantwortlichen für die Risikobewertung soll möglichst gering gehalten werden.

Das Risikobewertungssystem betrachtet hauptsächlich Projektrisiken wie das Überschreiten der Projektdauer oder der Projektkosten sowie das Verfehlen der Projektziele. Abschließend soll eine Aussage über die Eignung des gefundenen Risikobewertungssystems, daraus „Go or No-Go“-Entscheidungen für die Projektdurchführung treffen zu können, getroffen werden. Es soll analysiert werden ob die Aussagen welche man aus dem Risikobewertungsprozess erhält genügen, um eine Entscheidung über die Durchführung des untersuchten Projekts treffen zu können, oder um für eine qualifizierte Aussage weitere Kennzahlen benötigt werden.

1.4 Aufgabenstellung

Zu Beginn soll mit Hilfe externer Studien der aktuelle Stand der Risikobewertung von Entwicklungsprojekten erhoben werden. Der erste Schritt ist eine Literaturstudie über Möglichkeiten zur Risikobewertung von F&E-Projekten. Diese Studie soll Erkenntnisse über mögliche Risikobewertungsmethoden und deren Eignung für die Bewertung des Risikos der Überschreitung der Projektdauer und der Projektkosten, sowie über das Verfehlen der Projektziele bringen. Anschließend soll mit Hilfe einer empirische Studie über die Risikobewertung von Entwicklungsprojekten in anderen Industrieunternehmen untersucht werden, wie diese Unternehmen das Risiko ihrer Projekte im F&E-Bereich bewerten. Dafür soll in Experteninterviews erhoben werden, wie die Projekte in verschiedene Risikogruppen eingeteilt und welche Kennzahlen für die Risikobewertung herangezogen werden. Mit Hilfe dieser Studie soll auch ermittelt werden, wie diese Kennzahlen definiert sind, wie diese bestimmt bzw. bewertet werden und wie der Risikobewertungsprozess im Projektmanagement operationalisiert wurde.

Nach Abschluss der externen Studien soll eine Analyse des Kennzahlensystems, welches im Projektmanagement der ANDRITZ HYDRO Weiz Anwendung findet, durchgeführt werden. Diese Analyse soll bereits angewendete Kennzahlen oder bereits im Projektmanagement benötigte Größen identifizieren, welche auch für die Risikobewertung dieser Projekte eingesetzt werden können.

Die aus der Literaturstudie, den Interviews und der Analyse der Kennzahlen gewonnenen Informationen sollen anschließend dazu dienen, geeignete Kennzahlen und ein geeignetes Vorgehensschema zu entwickeln um das Projektrisiko eines Entwicklungsprojektes bewerten zu können. Dabei soll darauf geachtet werden, dass der Mehraufwand, der für die Risikobewertung nötig ist, so gering wie möglich gehalten wird. Nach Möglichkeit, sollen Kennzahlen gewählt werden, die aus bereits im F&E-Projektmanagement der ANDRITZ HYDRO Weiz verwendet Größen, gebildet werden. Unter Berücksichtigung der gefundenen Kennzahlen, sowie der entwickelten Vorgehensweise und Verfahren, soll ein einfacher, standardisierter und eventuell softwaregestützter Prozess zur Bewertung des Projektrisikos für die ANDRITZ HYDRO Weiz entwickelt werden. Dieser Bewertungsprozess soll anschließend auf bereits durchgeführte Projekte angewendet werden, um dessen Ergebnisse zu überprüfen und bei Bedarf anzupassen. An dieser Stelle soll auch geklärt werden, ob man mit den erhaltenen Ergebnissen eine adäquate Aussage über das Risiko des Systems treffen kann.

Abschließend soll eine Evaluierung des entwickelten Risikobewertungsprozess als mögliches Entscheidungskriterium für „Go or No-Go“-Entscheidungen von F&E-Projekten durchgeführt werden. Hierbei ist zu klären, ob solche Entscheidungen bereits ohne Erweiterung des Systems getroffen werden können, oder ob man dafür weitere Kennzahlen entwickeln muss.

1.5 Untersuchungsbereich

Der Untersuchungsbereich für diese Masterarbeit erstreckt sich auf das F&E-Projektmanagement, sowie auf das Kennzahlensystem im Projektmanagement, der ANDRITZ HYDRO Weiz und auf die für die Interviews mit den dafür ausgewählten Unternehmen.

2 Definition des Projektrisikos

Der Begriff Risiko ist nicht eindeutig definiert. Daher ist es am Beginn einer wissenschaftlichen Arbeit notwendig, sich über die Definition des Risikos, mit dem sich die Arbeit beschäftigen soll, sowie über den Gegenstand auf den dieser Begriff angewendet werden soll, klar zu werden. In der Literatur findet man zahlreiche, oftmals stark unterschiedliche Definitionen des Wortes Risiko. In diesem Kapitel soll nun ein für die Risikobewertung von Projekten geeigneter Risikobegriff erarbeitet werden.

2.1 Definition des Risikobegriffs

Die Herkunft des Wortes „Risiko“, ist bis heute nicht eindeutig geklärt. Der Duden (2013) gibt die Herkunft dieses Begriffes als „ungeklärt“ an. Kluge (1975) gibt im etymologischen Wörterbuch der deutschen Sprache zwei mögliche Ursprünge für den Begriff Risiko an. Einerseits kann der Begriff vom italienischen Wort „risco“ bzw. „rischio“, oder viel mehr dessen Vorgängern „risicare“ bzw. „rischiare“ abgeleitet sein. Diese Wörter bedeuten „Gefahr laufen, wagen“ und stammen wiederum von dem lateinischen Wort „risicare“, das so viel bedeutet wie „eine Klippe umschiffen“, was in der Antike als gefährliches Unterfangen galt. Ein anderer möglicher Ursprung liegt im spanischen Wort „arrisco“, welches ebenfalls „Wagnis, Gefahr“ bedeutet. Dessen Wurzeln liegen im arabischen Wort „rizq“, das den „Lebensunterhalt, der von Gott abhängt“, beschreibt.¹

Der Begriff „Risiko“ ist in der betriebswirtschaftlichen Praxis nicht eindeutig definiert.² Grundsätzlich unterscheidet man bei den Definitionen zwischen Risiko im engeren Sinn und Risiko im weiteren Sinn. Risiko im engeren Sinn bezeichnet nur die Wahrscheinlichkeit des Eintritts negativer Folgen auf das erwartete Ergebnis. Die Definition des Risikos im weiteren Sinn, bezieht auch eine positive Abweichung des erwarteten Ergebnisses mit ein.³ Diese Definitionen sollen in Abbildung 2.1 schematisch dargestellt werden. Die Wahrscheinlichkeit von negativen Abweichungen wird in der Literatur auch als „einseitiges Risikomaß“ oder im englischen als „downside risk“, „shortfall risk“ oder „pure risk“ bezeichnet. Die positive Abweichung findet man in der Literatur oft unter den Begriffen „Chance“ oder im englischen unter „upside risk“ oder „speculative risk“. Risiko im weiteren Sinn wird auch als „dichotome Risikodefinition“, bzw. „zweiseitiges Risikomaß“ bezeichnet.⁴

Um die Definition weiter zu verfeinern, kann das Risiko nach dem Grund für dessen Entstehung differenziert werden. Die wirtschaftswissenschaftliche Fachliteratur unterscheidet dabei zwischen der entscheidungsorientierten, der informationsorientierten und der zielorientierten Risikodefinition.⁵ Die einzelnen Risikodefinitionen sollen in den nächsten Absätzen näher erläutert werden.

¹ Vgl. Kluge, 1975, S. 602.

² Vgl. Philipp, 1967, S. 34.

³ Vgl. Gleißner, 2005, S. 27.

⁴ Vgl. Oehler, 2002, S. 12f.

⁵ Vgl. Schuppisser, 1978, S. 62ff.

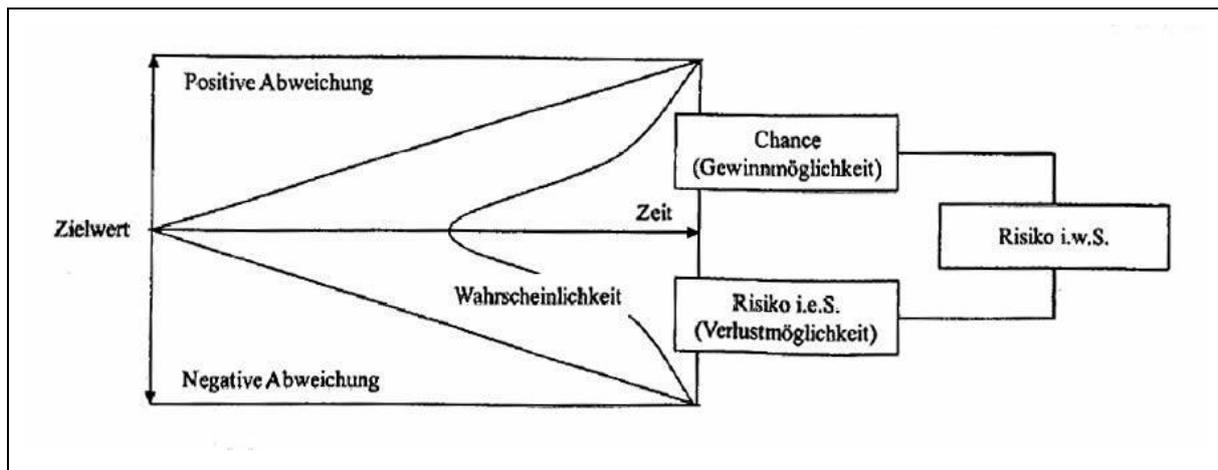


Abbildung 2.1 Dichotome Begriffsdefinition des Risikos⁶

Unter der **entscheidungsorientierten Risikodefinition** wird die Gefahr verstanden, dass aufgrund menschlichen Versagens eine „falsche“ Entscheidung getroffen wird.⁷ Diese Definition geht von einem vollkommenen Informationszustand aus. Problematisch dabei ist allerdings, dass zur Zeit der Entscheidung aufgrund der sich darbietenden Informationssituation oft keine bessere Entscheidung möglich gewesen wäre. Dieses Manko soll mit der nächsten, informationsorientierten Risikodefinition ausgeräumt werden.⁸

Die **informationsorientierte Risikodefinition** geht von einem messbaren Zustand unvollständiger Information als Grund für eine potenzielle Gefahr aus. Es können somit objektive Wahrscheinlichkeiten für den Eintritt eines gewissen Zustandes oder Ereignisses gefunden werden. Damit wird die reale Entscheidungssituation besser dargestellt und das Auftreten eines Risikos nicht ausschließlich auf menschliches Versagen reduziert. Können nur subjektive oder überhaupt keine Wahrscheinlichkeitswerte angegeben werden, so spricht die informationsorientierte Risikodefinition nicht mehr von Risiko, sondern von Ungewissheit.⁹ In Abbildung 2.2 sieht man das an Knight angelehnte Einteilungsschema der unterschiedlichen Informationszustände, welches von Schuppisser noch um die Kategorie der Ignoranz erweitert wurde. Unter Ignoranz wird in diesem Kontext die Abwesenheit jeglicher Wahrscheinlichkeiten verstanden, was auch den Extremfall der Ungewissheit darstellt.¹⁰

Als dritte Art existiert noch die **zielorientierte Risikodefinition**. Legt man diese Definition zugrunde, so versteht man darunter die Gefahr „...daß [sic] der Zweck nicht oder nicht vollkommen erreicht wird...“¹¹. Anders ausgedrückt, versteht man darunter das Risiko, dass die geplanten Ziele verfehlt, bzw. nur ein Teil dieser erfolgreich erreicht wird. Diese Definition geht nicht auf den Entstehungsgrund des Risikos, sondern nur auf die Auswirkung ein. Sie stellt die älteste und einfachste Definition des Risikobegriffs dar.

⁶ Diederichs, 2012, S. 9.

⁷ Vgl. Philipp, 1967, S. 17f.

⁸ Vgl. Schuppisser, 1978, S. 65.

⁹ Vgl. Knight, 1971, S. 19f.

¹⁰ Vgl. Schuppisser, 1978, S. 63f.

¹¹ Prion, 1935, S. 15.

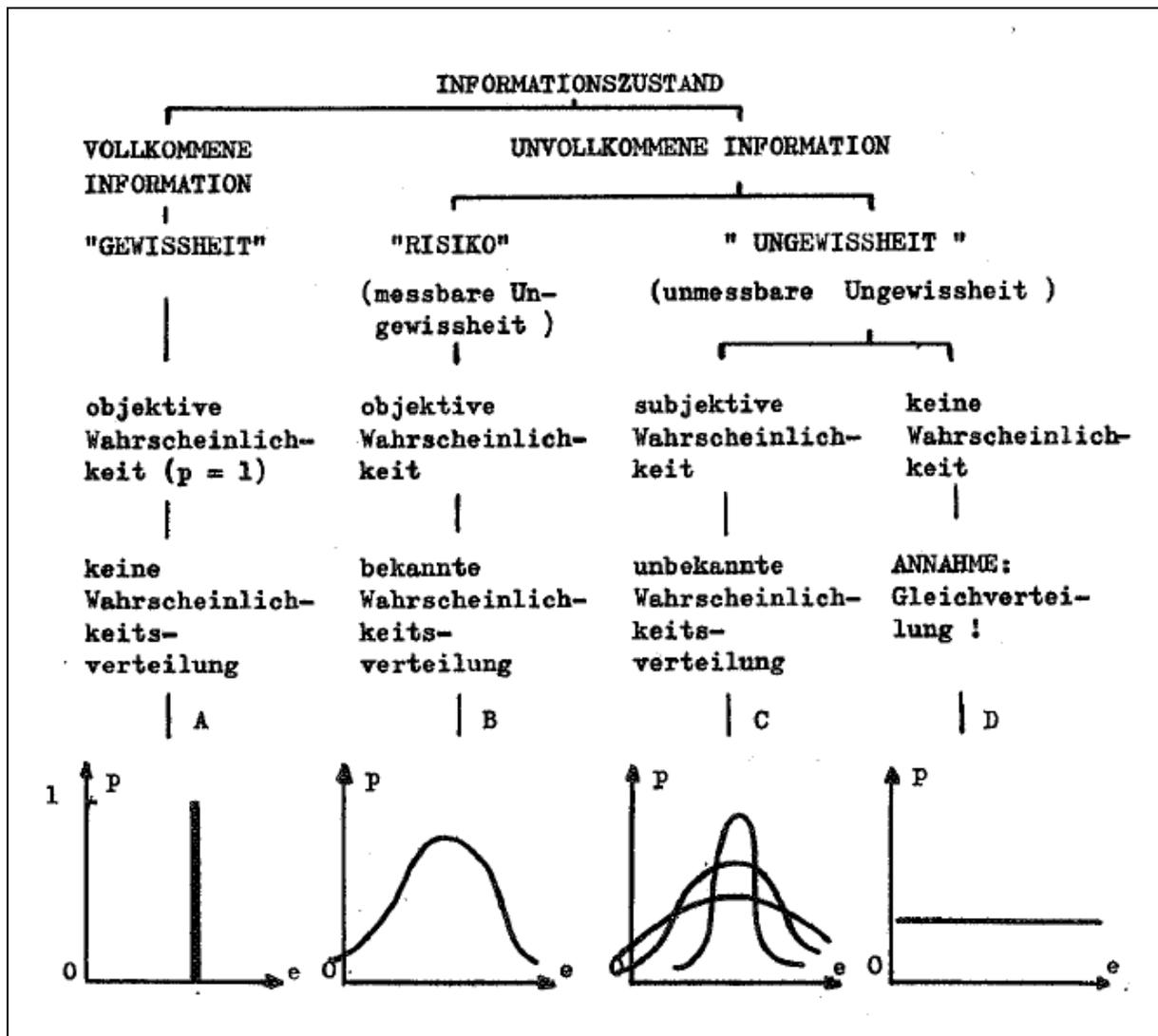


Abbildung 2.2 Risiko als Informationszustand¹²

Risiken können auch nach ihren Einflussbereichen in unterschiedliche Risikokategorien eingeteilt werden. In Tabelle 2.1 ist eine Übersicht der unterschiedlichen Risikokategorien für Unternehmen dargestellt. Die dargestellten Risikokategorien unterscheiden sich vor allem in ihrer Beeinflussbarkeit und ihrer Vorhersehbarkeit. Während Risiken „höherer Gewalt“ weder beeinflussbar noch vorhersehbar sind, können Unternehmensrisiken und deren Unterkategorien zum Großteil bewusst durch Entscheidungen beeinflusst und oft mit hinreichender Genauigkeit vorhergesagt und berechnet werden.¹³

¹² Schuppisser, 1978, S. 64.

¹³ Vgl. Keitsch, 2000, S. 11f.

Tabelle 2.1 Übersicht der Risikokategorien in Unternehmen¹⁴

Risiken „höherer Gewalt“	Politische und/oder ökonomische Risiken	Unternehmensrisiken		
		Betriebs- risiken	Geschäfts- risiken	Finanz- risiken
Erdbeben, Überschwemmung, Blitzschlag, Sturm ... etc.	Veränderungen im gesellschaftlichen Umfeld	Organisations- struktur, Ablauf- prozesse, EDV, Personal ... etc.	Produkte, Absatzmärkte, Innovationen, Investitionen	Verlustrisiken in den Finanz- positionen

In unterschiedlichen Branchen werden unterschiedliche Risikokategorien zu beachten sein. Während bei Finanzdienstleistungsunternehmen die Finanzrisiken eine übergeordnete Rolle spielen, stehen bei stark technologielastigen Unternehmen vor allem die Geschäftsrisiken im Vordergrund. Ab einer gewissen Unternehmensgröße hinsichtlich der Mitarbeiteranzahl und der Dimension der Infrastruktur, können auch Betriebsrisiken eine bedeutende Rolle spielen, die bei kleinen Start-ups noch eine untergeordnete Rolle spielen. Die Kategorien Betriebs-, Geschäfts- und Finanzrisiken können ebenfalls noch weiter unterteilt werden. Dies führt zu einer sehr großen Anzahl an verschiedenen Risikokategorien. Auf die weitere Unterteilung wird aber im Zuge dieser Arbeit verzichtet und auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen.

Die Risiken für Entwicklungsprojekte fallen in den Bereich des Geschäftsrisikos. Um diese näher definieren zu können, muss man zuerst die Erfolgskriterien für Projekte im Bereich der Entwicklung identifizieren. Anschließend wird die Begriffsdefinition des Risikos, auf die gefundenen Erfolgskriterien angewandt, um die Definition abschließen zu können. Diese Schritte werden in den nachfolgenden Abschnitten behandelt.

2.2 Definition von Entwicklungsprojekten

Nachdem eine geeignete Definition für den Begriff Risiko gefunden wurde, ist es wichtig, den Gegenstand, auf den dieser Begriff angewendet werden soll zu definieren: das Entwicklungsprojekt. Man muss nun die Begriffe „Entwicklung“ und „Projekt“ definieren, welche in dieser Arbeit verwendet werden sollen.

2.2.1 Definition von Entwicklung

Wie schon bei dem Begriff Risiko, gibt es auch für den Begriff Entwicklung keine eindeutige Definition. Man kommt nicht umhin, selbst gewählte Abgrenzungen zu definieren, um den Begriff Entwicklung oder auch den Begriff Forschung zu definieren.¹⁵ In dieser Arbeit sollen nun beide Begriffe erklärt werden. Für die weitere Arbeit werden mit dem Begriff Entwicklungsprojekte sowohl Projekte in der Forschung als auch in der Entwicklung angesprochen.

¹⁴ In Anlehnung an Keitsch, 2000, S. 11.

¹⁵ Vgl. Brockhoff, 1992, S. 35.

Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sind in den Innovationsprozess integriert. Innovation geht über die bloße Erfindung bzw. Entdeckung hinaus. Neben der Entdeckung neuen Wissens setzt Innovation auch die Markteinführung voraus. Bei Forschung und Entwicklung (F&E) handelt es sich um kreative, bewusste, planmäßige, systematische und nach methodischen Regeln ablaufende Vorgänge, die versuchen, aus der Kombination verschiedener Produktionsfaktoren die Gewinnung von neuem Wissen und neuen Erkenntnisse zu ermöglichen. Das Wort „ermöglichen“ indiziert, dass diese Aktivitäten nicht garantiert zu dem geplanten Ergebnis führen. Diese Definition lässt bewusst die wirtschaftliche Sichtweise komplett außer Acht.

Es sind nun die Begriffe „neu“ und „Wissen“ zu definieren, um F&E näher beschreiben zu können. Um eine Abgrenzung für den Begriff „neu“ zu finden, ist abzuklären, was als neu gilt. Ist dafür auch subjektiv neues (also für den Einzelnen neues) oder lediglich objektiv neues (also weltweit neues) Wissen ausreichend? Diese Frage ist nicht pauschal zu beantworten, da es auf die Phase der F&E, in der man sich befindet, ankommt, was als „neu“ gilt. Eine Abgrenzung des Begriffs „Wissen“ kann sofort dadurch erfolgen, dass man sich bei F&E lediglich auf naturwissenschaftliches oder ingenieurwissenschaftliches Wissen beschränkt.¹⁶

Forschung und Entwicklung werden heutzutage überwiegend in Grundlagenforschung, angewandte Forschung und Entwicklung unterteilt. Diese drei Phasen können nicht immer eindeutig voneinander unterschieden werden, da sie ineinander übergehen. Es gibt verschiedene Definitionen der einzelnen Phasen, welche im Inhalt und teilweise auch von der Bezeichnung her unterschiedlich sind.¹⁷ Dieser Arbeit wird die Einteilung der OECD (1980) zugrunde gelegt. Die Kriterien der einzelnen Phasen können in Tabelle 2.2 eingesehen werden. Andere Einteilungen geben oft mehr oder andere Phasen an. Diese werden hier aber nicht behandelt. Für weitere Informationen zu den unterschiedlichen Phasen wird auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen.

Tabelle 2.2 Abgrenzung der einzelnen Phasen der Forschung und Entwicklung nach OECD¹⁸

Grundlagenforschung	ist ausschließlich auf die Gewinnung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse gerichtet, ohne überwiegend an dem Ziel einer praktischen Anwendbarkeit orientiert zu sein.
Angewandte Forschung	ist ausschließlich auf die Gewinnung neuer wissenschaftlicher und technischer Erkenntnisse gerichtet. Sie bezieht sich vornehmlich auf eine spezifische praktische Zielsetzung oder Anwendung.
Entwicklung	Nutzung wissenschaftlicher Erkenntnisse, um zu neuen oder wesentlich verbesserten Materialien, Geräten, Produkten, Verfahren, Systemen oder Dienstleistungen zu gelangen (experimentelle Entwicklung).

¹⁶ Vgl. Brockhoff, 1992, S. 35.

¹⁷ Vgl. Brockhoff, 1992, S. 37.

¹⁸ Vgl. OECD, 2002, S. 30.

Nun kann man den Begriff „neu“ für die einzelnen Klassen betrachten. Die Grundlagenforschung sucht immer nach objektiv neuem Wissen, da sie im Forschungsprozess ganz am Anfang steht und sich auf keine Ergebnisse vorheriger Klassen beziehen kann. Für die angewandte Forschung sind die Ergebnisse der Grundlagenforschung als bekannt anzunehmen. Dieses Wissen kann zwar subjektiv neu sein, objektiv fehlt ihm jedoch der Anspruch der Neuheit. Praktische Anwendungen werden erst in der Phase der angewandten Forschung untersucht und müssen daher objektiv neu sein. Für die Entwicklung kann analog vorgegangen werden.

Für diese Arbeit soll die Anforderung an die Neuheit des durch F&E Aktivitäten gewonnenen Wissens etwas lockerer gefasst werden. Es genügt die subjektive Neuheit, also die Gewinnung von Wissen, das für das Unternehmen neu ist. Somit werden auch all jene F&E Aktivitäten berücksichtigt, welche versuchen, eine bereits in externen Organisationen erforschte und angewandte Technologie, die aber für das Unternehmen eine Neuheit darstellt, in bestehende oder neue Produkte zu integrieren.

2.2.2 Definition des Begriffes Projekt

Während für die vorangegangenen Begriffe in der Literatur keine eindeutigen Begriffsdefinitionen zu finden waren, ist der Begriff „Projekt“ sehr genau abgegrenzt. Die Definition lässt wenig Spielraum zur Interpretation offen, dennoch wird der Begriff im täglichen Sprachgebrauch oft falsch verwendet.

Unter dem Begriff Projekt, versteht man eine einmaliges, für die durchführende Organisation neuartiges Vorhaben, bei dem durch abgestimmte und gelenkte Tätigkeiten, unter Einhaltung der zugeteilten Ressourcen (Projektkosten und Projektdauer), versucht wird, ein vorgegebenes Projektziel zu erreichen. Dabei kommt eine projektspezifische Organisation bzw. Organisationsform zum Einsatz. Zusätzlich zu den oben genannten Merkmalen müssen bei einem Projekt auch eine bestimmte Größenordnung des Umfangs sowie eine gewisse Komplexität des Projektinhalts vorliegen. Diese zwei Punkte sind allerdings schwierig zu generalisieren, wodurch es keine eindeutige Abgrenzung gibt, ab wann es sich um ein Projekt handelt. Die Abgrenzung zwischen gewöhnlichen Geschäftstätigkeiten und einem Projekt muss fall- und unternehmensspezifisch betrachtet werden.¹⁹

Ein Projekt gilt als erfolgreich durchgeführt, wenn der geplante Output sowohl in der richtigen Qualität als auch mit der geforderten Quantität mit den veranschlagten Projektkosten und in der geplanten Projektdauer erreicht wird. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 2.3 dargestellt. Das magische Dreieck der Projektsteuerung zeigt die Faktoren auf, die vom Projektleiter beeinflusst werden können. Diese Faktoren decken sich mit den Kriterien für erfolgreich durchgeführte Projekte.²⁰

¹⁹ Vgl. Bea, 2011, S. 32ff.

²⁰ Vgl. Bea, 2011, S. 9.

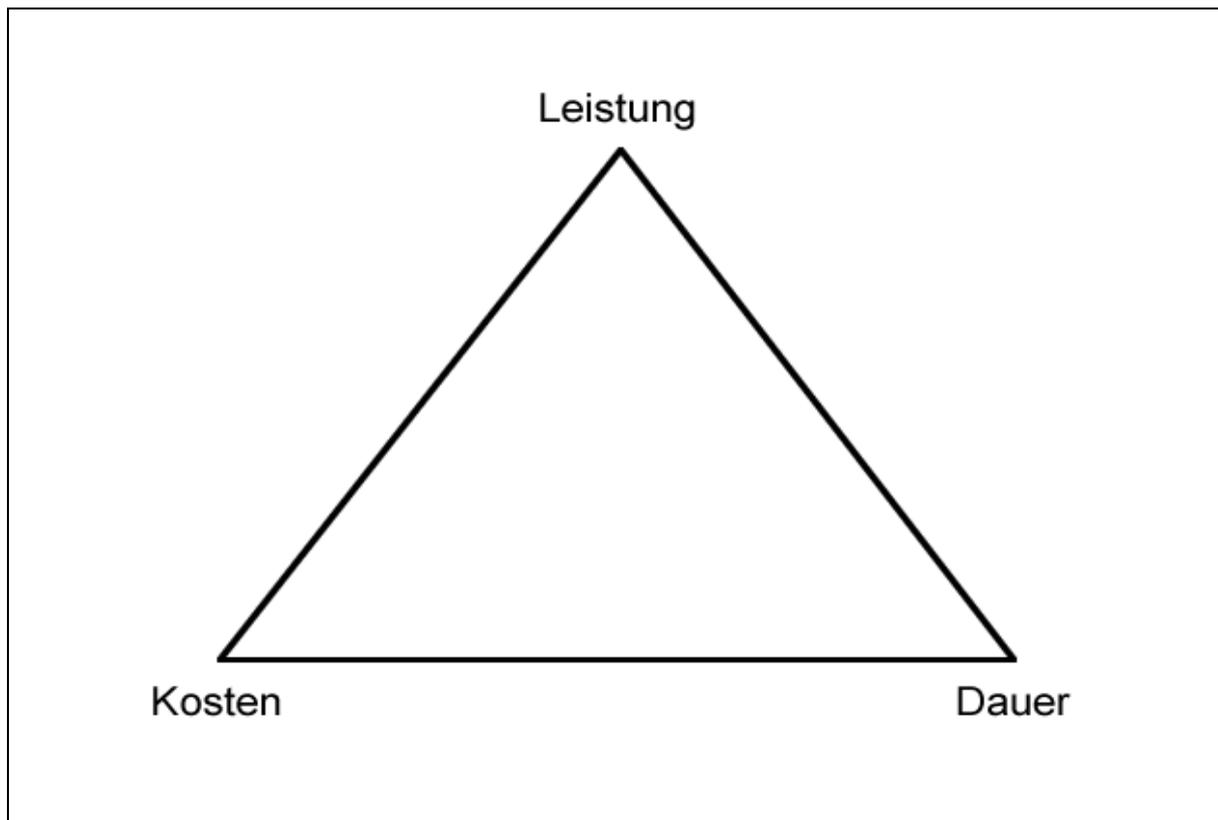


Abbildung 2.3 Magisches Dreieck der Projektsteuerung²¹

2.3 Der Risikobegriff bei Entwicklungsprojekten

Die in Kapitel 2.1 gefundenen Definitionen des Risikobegriffs müssen nun auf die in Kapitel 2.2.2 beschriebenen Erfolgsfaktoren von Entwicklungsprojekten übertragen werden. Es soll eine einseitige, negative und zielorientierte Risikodefinition zugrunde gelegt werden. Das heißt, es werden nur Ereignisse als Risiko bezeichnet, welche sich negativ auf die Projektziele bzw. auf den Erfolg eines Projektes auswirken. Dabei handelt es sich um Geschäftsrisiken, da sie bewusst von der Geschäftsführung eingegangen werden, um bestimmte Ergebnisse zu erreichen.

Als Risiko für Entwicklungsprojekte gelten somit alle Faktoren, die zur Überschreitung der Kosten, zu einer Verlängerung der Projektdauer oder zu einer Verminderung der Leistung, quantitativ und/oder qualitativ (Nicht-Erreichung der Projektziele), der untersuchten Projekte im Bereich der Forschung & Entwicklung führen.

Aus dieser Definition ist ersichtlich, dass es sich dabei um Projektrisiken, und nicht um wirtschaftliche oder operative Risiken eines Unternehmens handelt. Da diese Risiken aus der Natur der Entwicklungsprojekte entstehen, sind diese für alle Unternehmensformen, -größen ... etc. dieselben und daher nur vom Umfang des Entwicklungsprojekts abhängig. Diese Risiken sollen in den nachfolgenden Kapiteln identifiziert und über ein standardisiertes Schema bewertbar gemacht werden.

²¹ In Anlehnung an Bea, 2011, S. 10.

3 Scoring-Modelle zur Risikobewertung

Bei der Bewertung von Projektrisiken benötigt man ein Werkzeug, mit dem man qualitative Aussagen oder qualitativ gefundene Wahrscheinlichkeiten quantifizieren und somit bewerten kann. Dafür eignen sich sogenannten Scoring-Modelle besonders gut. Bei ihnen werden Punkte auf verschiedene Merkmale, bzw. in diesem Fall Risiken verteilt und im Anschluss wird eine Aussage über das Risiko eines Projektes generiert. Heutzutage gibt es verschiedene Scoring-Modelle, von denen die zwei gängigsten Methoden im deutschsprachigen Raum hier vorgestellt und verglichen werden sollen. Dabei handelt es sich um die Nutzwertanalyse und die Projekt Risiko FMEA.

3.1 Die Nutzwertanalyse zur Risikobewertung

Bei der Nutzwertanalyse handelt es sich um eine Methode zur Entscheidungsfindung bei Vorliegen einer endlichen Anzahl an Alternativen. Ihre Stärke liegt in der gleichzeitigen Verarbeitung von quantitativen und qualitativen Informationen, vor allem bei Kriterien die monetär schwer zu bewerten sind. Im Gegensatz zu anderen Methoden für die Entscheidungsfindung, ist es mit ihr auch möglich, subjektive Informationen in den Bewertungsprozess mit einzubeziehen. Sie stellt das im deutschsprachigen Raum meistverwendete Scoring-Modell dar, international kommt ihr der „Analytical Hierarchical Process“ (AHP) am nächsten. In den nachfolgenden Abschnitten sollen das Verfahren der Nutzwertanalyse, die Unterschiede zum international bekannten Modell des AHP und die notwendigen Änderungen zur Bewertung von Risiken genauer behandelt werden.

3.1.1 Ablauf der Nutzwertanalyse

In der Literatur gibt es viele verschiedene Varianten der Nutzwertanalyse. Grundsätzlich läuft die Analyse in fünf Schritten ab²²:

- Formulierung geeigneter Bewertungskriterien
- Ableitung von Gewichtungsfaktoren für die Kriterien
- Auswahl möglicher Kriteriumsausprägungen
- Alternativenbewertung durch Experten
- Berechnung des Nutzwertes und Reihung der Vorhaben nach den Nutzwerten

Steht man vor einer Entscheidung, muss man sich zuerst überlegen, welche Bereiche oder Kriterien dadurch in welchem Ausmaß beeinflusst werden können (Entscheidungsfeld) und in welchem Bereich das Ergebnis dieser Entscheidung liegen soll. Der gewünschte Bereich des Ergebnisses wird von äußeren Einflüssen (Entscheidungsdeterminanten), wie z.B. dem Informationssystem oder dem Wertsystems des Entscheiders beeinflusst.²³ Der gewünschte Bereich innerhalb des Entscheidungsfelds stellt das angestrebte Zielsystem dar. Das

²² Kriterien siehe Adam, 1996, S. 413.

²³ Vgl. Zangemeister, 1976, S. 38ff.

Zielsystem stellt die Grundlage der Nutzwertanalyse dar. Jeder, Fehler der bei der Erstellung dieses Systems geschieht, wirkt sich unmittelbar auf die Brauchbarkeit der Ergebnisse aus.²⁴

In den ersten drei der oben angeführten Schritte wird dieses Zielsystem definiert und operationalisiert. Zuerst werden die durch diese Entscheidung beeinflussbaren Kriterien ermittelt. Anschließend werden die einzelnen Kriterien gewichtet. Bei der Gewichtung handelt es sich meistens um einen subjektiven Schritt, da er die Vorstellungen der entscheidenden Person sehr stark widerspiegelt. In der Literatur findet man viele Methoden, um die Kriterien zu gewichten.²⁵ In dieser Arbeit wird nicht näher auf die einzelnen Gewichtungsmethoden eingegangen. Es wird hierzu auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen. Für die Gewichtung werden auch unterschiedliche Skalen verwendet. Meistens werden dabei 100 Prozentpunkte vergeben. Besteht ein Kriterium aus mehreren Teilkriterien, so müssen auch diese gewichtet werden. Dadurch erhalten die untergeordneten Kriterien eine absolute Gewichtung (gegenüber dem Gesamtnutzwert) und eine relative Gewichtung (gegenüber dem Teilnutzwert des übergeordneten Kriteriums).

Nachdem die Bewertungskriterien gefunden und gewichtet wurden, muss man sich darüber Gedanken machen, inwieweit bzw. in welchen Ausprägungen diese Ziele durch die Alternativen erreicht werden können. Es soll somit eine Skala für den Erfüllungsgrad der Kriterien gestaltet werden. Diese Skalen können nominal, ordinal oder kardinal bewertet werden. Die einzelnen Alternativen sollen damit bewertbar und vergleichbar gemacht werden. Dafür können Punkteskalen (z.B. zwischen eins und zehn) verwendet werden.²⁶

Nachdem das Zielsystem vollständig definiert und bewertbar gemacht wurde, sind nun die Erfüllungsgrade der Alternativen zu bewerten. Dafür sollen Experten mit einem umfangreichen Wissen im betrachteten Gebiet befragt werden. Sind alle Bewertungen vollständig, können die Teilnutzwerte und anschließend der Gesamtnutzwert der Alternativen berechnet werden.²⁷

Das Vorgehen bei der Nutzwertanalyse soll mit dem in Abbildung 3.1 dargestellten Beispiel vorgeführt werden. Für die Gewichtung der übergeordneten Kriterien soll ein vollständiger Paarvergleich durchgeführt werden. Dabei werden die zu bewertenden Kriterien wie in Tabelle 3.1 in einer sogenannten Dominanzmatrix gegenübergestellt. Bevorzugt man das Kriterium in der Spalte gegenüber dem in der Reihe, so schreibt man an diese Position eine Eins, falls umgekehrt eine Null. Anschließend werden die Werte in der Spalte aufsummiert und die Kriterien können in eine Rangfolge gebracht werden.²⁸ Bei diesem Beispiel wird auf die Rangfolge verzichtet und den Kriterien entsprechend ihrer Dominanzsumme in Prozentpunkten eine Gewichtung verliehen. Die untergeordneten Kriterien könnten wiederum mittels paarweisem Vergleich bewertet werden. Um die Komplexität des Beispiels zu reduzieren, werden diese Kriterien jeweils mit einer Gewichtung von 50% versehen.

24 Vgl. Zangemeister, 1976, S. 89.

25 Vgl. Zangemeister, 1976, S. 136ff.

26 Vgl. Zangemeister, 1976, S. 142ff.

27 Vgl. Adam, 1996, S. 414f.

28 Vgl. Zangemeister, 1976, S. 160f.

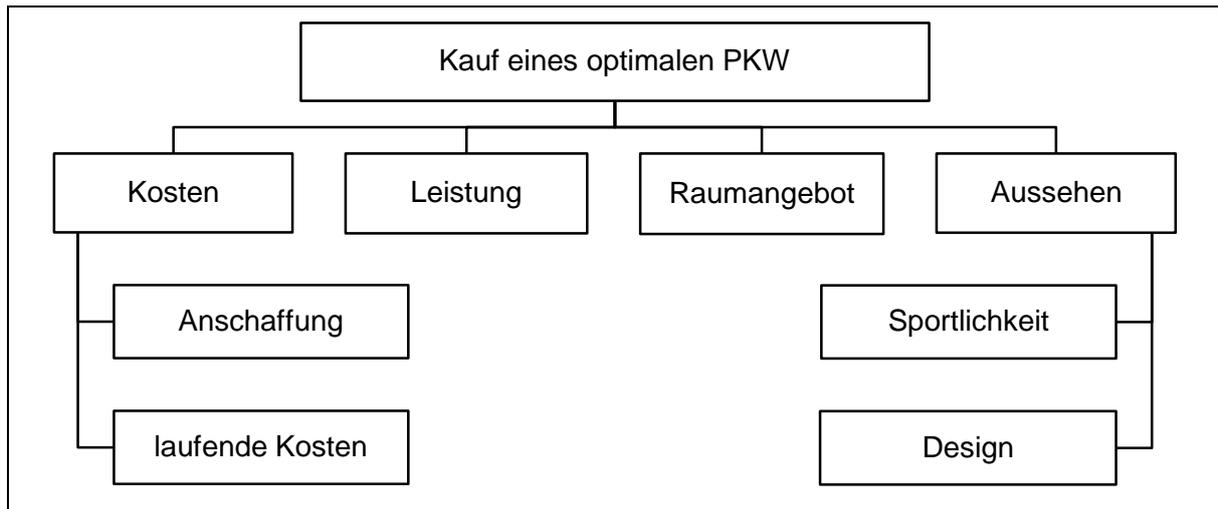


Abbildung 3.1 Schematische Darstellung Kauf eines PKW²⁹

Tabelle 3.1 Dominanzmatrix für vollständigen Paarvergleich³⁰

	Kosten	Leistung	Raumangebot	Aussehen
Kosten	1	1	0	1
Leistung	0	1	0	0
Raumangebot	1	1	1	1
Aussehen	0	1	0	1
Summe	2	4	1	3
Gewichtung	20	40	10	30

Die Nutzwertanalyse soll nun mit den in Tabelle 3.2 angeführten Modellvarianten erfolgen. Die angeführten Kennzahlen bestehen aus quantitativen und qualitativen Merkmalen der unterschiedlichen Modelle. Während die quantitativen Kennzahlen objektiv ermittelt werden können, beinhalten die qualitativen Merkmale wie Design immer die subjektive Meinung des Entscheidungsträgers. Für die quantitativen Kennzahlen bietet sich die Bewertung mittels Intervallskala an. Dabei werden die Kennzahlen in klar abgrenzbare Klassen eingeteilt. Die qualitativen Kennzahlen können mit einem nominal skalierten Schema bewertet werden. Dabei wird die Zugehörigkeit zu verbal beschriebenen Klassen bewertet. Ein Beispiel für diese zwei Skalen ist in Abbildung 3.2 dargestellt.

Nachdem alle Kriterien gewichtet und alle Alternativen bewertet wurden, wird die Nutzwertanalyse, wie in Tabelle 3.3 dargestellt, ausgewertet. Modell C ist nach dieser Analyse die Entscheidungsvariante mit dem höchsten Nutzwert. Man sollte sich daher für dieses Modell entscheiden.

²⁹ In Anlehnung an Meixner, 2012, S. 191.

³⁰ In Anlehnung an Zangemeister, 1976, S. 161.

Tabelle 3.2 Modellvarianten für PKW Kauf

	Modell A	Modell B	Modell C
Kosten			
Anschaffung	€ 16.500,-	€ 12.500,-	€ 20.500,-
Laufende Kosten	0,22 €/km	0,26 €/km	0,17 €/km
Leistung	76 kW	68kW	97 kW
Raumangebot	2,8 m ³	3,1 m ³	3,6 m ³
Aussehen			
Sportlichkeit	Unsportlich	Sportlich	Sehr sportlich
Design	Mittelmäßig	Sehr schön	Schön

Intervallskala für die Bewertung des Anschaffungspreis		Nominalskala für die Bewertung der Sportlichkeit	
> € 25.000	1	Sehr Unsportlich	1
€ 22.000 – 25.000	2	Unsportlich	3
€ 20.000 – 22.000	3	Mittel	5
€ 18.000 – 20.000	4	Sportlich	7
€ 16.000 – 18.000	5	Sehr Sportlich	9
€ 14.000 – 16.000	6		
€ 12.000 – 14.000	7		
€ 10.000 – 12.000	8		
€ 7.000 – 10.000	9		
< € 7.000	10		

Die Werte 2, 4, 6, 8 und 10 sind Zwischenwerte. Kann man sich zwischen zwei Klassen nicht entscheiden, so können auch diese Werte gewählt werden.

Abbildung 3.2 Beispielskalen für die Bewertung

Tabelle 3.3 Nutzwertanalyse PKW Kauf

Nutzwertanalyse PKW Kauf			Modell A		Modell B		Modell C	
	Gewicht absolut	Gewicht relativ	Bewertung	Nutzwert	Bewertung	Nutzwert	Bewertung	Nutzwert
Kosten	20							
Anschaffung	10	50	5	50	7	70	3	30
Laufende Kosten	10	50	5	50	3	30	8	80
Leitung	40		7	280	5	200	9	360
Raumangebot	10		3	30	5	50	8	80
Aussehen	30							
Sportlichkeit	15	50	3	45	7	105	9	135
Design	15	50	5	75	9	135	7	105
Summe	100			530		590		790
Rang				3		2		1

3.1.2 Unterschiede des Analytical Hierarchical Process zur Nutzwertanalyse

Der AHP wird in der Literatur oft als Erweiterung der Nutzwertanalyse dargestellt. Beide Verfahren sind für die Unterstützung der Entscheidungsfindung, bei einer endlichen Anzahl an Alternativen konzipiert worden. Im Gegensatz zu der auf Grundrechenarten basierenden Nutzwertanalyse setzt der AHP allerdings eine Reihe komplexer Rechenvorgänge mit Matrizen ein, um die beste Alternative zu ermitteln. Während man die Rechenvorgänge der Nutzwertanalyse auch im Kopf durchführen kann, benötigt man zur Auswertung des AHP ab einem gewissen Umfang die Rechenleistung eines Computers. Daher konnte sich dieses Verfahren auch erst Ende der 90er Jahre durchsetzen.

Um den AHP anwenden zu können, müssen nach Meixner (2012) die folgenden ihm zugrunde liegenden Axiome eingehalten werden:³¹

1. Die Eigenschaften zweier Alternativen i und j bezogen auf ein Kriterium des Zielsystems müssen sinnvoll auf einer metrischen, reziproken Skala verglichen werden können.
2. Die Eigenschaft einer Alternative gegenüber einem Kriterium kann niemals unendlich viel besser sein als die Eigenschaft einer anderen Alternative.
3. Es ist möglich, das Entscheidungsproblem in einer Hierarchie darzustellen. Es dürfen also keine Abhängigkeiten unter den Hierarchieelementen bestehen.
4. Für die Lösung des Problems wichtige Faktoren oder Alternativen sind vollständig in der erstellten Hierarchie erfasst.

Während bei der Nutzwertanalyse die Wahl der Bewertungsmethode zur Findung der Gewichte freigestellt ist, besteht der AHP auf den Einsatz des paarweisen Vergleichs. Bei diesem Vergleich muss angegeben werden, wie sehr man ein Kriterium bevorzugt, bzw. wie viel besser eine Alternative bei diesem Kriterium gegenüber einer anderen ist. Gibt man also die Zahl drei an, so ist damit gemeint, dass Variante A dreimal besser oder wichtiger als Variante B ist. Bei dieser Bewertung kommt für gewöhnlich eine Skala von eins bis neun zum Einsatz, da der menschliche Verstand ansonsten nicht mehr mit der Abstufung umgehen kann. Es wird dasselbe Verfahren für die Berechnung der Gewichte der Kriterien und für die Bewertung der einzelnen Alternativen herangezogen.³²

Ein großes Problem bei der Verwendung des AHP stellt dessen Instabilität dar. Bei Hinzufügen einer weiteren Alternative, vor allem wenn diese bei einem Kriterium besonders gut oder schlecht bewertet wurden, kann es zu sogenannten „rank reversals“ kommen. Darunter versteht man, dass ursprünglich Alternative A1 besser als Alternative A2 ist, durch Hinzufügen von Alternative A3 zur Bewertung, plötzlich A2 besser als A1 ist. Dies stellt den größten Kritikpunkt an diesem Verfahren dar, da eine Kontinuität der Bewertungen somit nicht gegeben ist. Daher soll dieses Verfahren auch im Zuge dieser Arbeit nicht näher betrachtet werden.³³

3.1.3 Änderungen zur Bewertung von Risiken mittels Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse wurde ursprünglich dazu entwickelt, um verschiedene schwer vergleichbare Projektalternativen einheitlich zu bewerten und miteinander zu vergleichen, um die Alternative auswählen zu können, welche für das Unternehmen den größten Nutzen hat. Später wurde diese Analyse vor allem bei Kaufentscheidungen als entscheidungsunterstützendes Verfahren angewandt. Für die Risikobewertung an sich ist das Verfahren in seiner ursprünglichen Form nicht geeignet. Durch die nötige Gewichtung der Risikofaktoren wäre damit nur möglich zu bewerten, welches Risiko vom Unternehmen bevorzugt wird und welche Alternative diesem Risikoprofil am besten entspricht. Der vergleichende Charakter

³¹ Axiome vgl. Meixner, 2012, S. 173f.

³² Vgl. Meixner, 2012, S. 200ff.

³³ Vgl. Meixner, 2012, S. 185.

dieser Methode verhindert prinzipiell auch die Anwendung bei Vorhandensein nur einer Alternative.

In der Literatur findet man einige Beispiele einer Nutzwertanalyse oder eines AHP für die Risikobewertung. Dabei wird die Kriteriengewichtung durch die Bewertung der Auswirkung des Risikos und die Bewertung des Erfüllungsgrades durch die Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit des Risikos ersetzt. Nachdem alle Risikofaktoren bewertet wurden, werden die Werte miteinander multipliziert. Somit erhält man eine Risikokennzahl für die einzelnen Risikofaktoren. Durch verschiedene Summationsregeln kann nun eine Gesamtrisikokennzahl für das vorliegende Projekt gefunden werden.

Sofern immer die gleichen Bewertungsgrundsätze angewandt werden, erhält man einen absoluten Wert für die Risikohöhe des Projektes. Bei der ursprünglichen Nutzwertanalyse erhält man allerdings nur Relativwerte der Nutzwerte zwischen den einzelnen Projekten. Wird ein Projekt mit einer anderen Alternative verglichen, kann es auch einen anderen Nutzwert erreichen. Somit ist die für die Risikobewertung angepasste Version der Nutzwertanalyse weit von deren ursprünglicher Aussage entfernt. Es wird an dieser Stelle auch in Frage gestellt, ob sich dieses angepasste Verfahren überhaupt noch Nutzwertanalyse oder AHP nennen darf. Im nächsten Kapitel wird ein Verfahren vorgestellt, welches schon ursprünglich für die Bewertung einer einzigen Alternative im Zuge des Qualitätsmanagements entwickelt wurde. Hier bedarf es einer geringeren Zahl an gravierenden Anpassungsmaßnahmen zur Risikobewertung als bei der Nutzwertanalyse. Dabei handelt es sich um die FMEA.

3.2 Die Projekt Risiko FMEA

Die Failure Modes and Effects Analysis bzw. die Fehler-Möglichkeiten und -Einfluss Analyse (FMEA), ist ein weit verbreitetes und umfangreiches Werkzeug im Qualitätsmanagement für die Risikobewertung in der Produkt oder Prozessentwicklung.³⁴ Ursprünglich wurde sie zur Bewertung des Risikos von technischen Bauteilen, Produkten, Prozessen und Dienstleistungen entwickelt. Die Projekt Risiko FMEA (RFMEA), ist eine modifizierte Version dieses Verfahrens, um eine Risikobewertung von Projekten durchführen zu können.³⁵ Sie ermöglicht eine umfangreiche Risikobewertung und eine erweiterte Möglichkeit zur Risikopriorisierung.³⁶ Dieses Scoring Modell ist anderen, wie z.B. der zuvor beschriebenen Nutzwertanalyse, bei der Risikobewertung von Projekten weit voraus. Diese Überlegenheit soll in diesem Kapitel 3.3 dargestellt werden.

Die RFMEA unterscheidet sich in manchen Punkten von ihrem Vorgänger, der FMEA. Die FMEA ist darauf ausgerichtet, Risiken bei konkreten Produkten oder Dienstleistungen aufzuzeigen. Viele Ereignisse können mit einem quantitativen Wert angegeben werden. Bei der RFMEA müssen viele qualitative Werte geschätzt werden. Auch die bei der RFMEA angewendeten Definitionen der einzelnen Risikokennzahlen müssen überarbeitet werden, um eine Übertragung des FMEA Schemas auf Projekte zu ermöglichen. Um Gemeinsamkeiten

³⁴ Vgl. Wirnsperger, 1996, S. 1292.

³⁵ Vgl. Carbone, 2003, S. 177.

³⁶ Vgl. Carbone, 2003, S. 182f.

und Unterschiede zwischen diesen beiden Methoden aufzuzeigen, soll zuerst die klassische FMEA vorgestellt werden. Anschließend werden die notwendigen Erweiterungen für die RFMEA und die sich daraus ergebenden Unterschiede zur FMEA dargestellt.

3.2.1 Die klassische FMEA

Bei der FMEA handelt es sich um ein formalisiertes, induktives System zur Identifikation von möglichen Fehlern oder Risiken in Systemen, Konstruktionen oder Prozessen. Induktiv heißt, dass beispielsweise der Ausfall eines Bauteils angenommen wird und anschließend nach den möglichen Ursachen, die zu diesem Versagen führen können, gesucht wird. FMEAs werden hauptsächlich im Qualitätsmanagement eingesetzt, um Fehler im Vorhinein zu erkennen. Sie können aber auch eingesetzt werden, um akute Probleme zu lösen.³⁷

3.2.1.1 Grundlegende Arten von FMEAs

Wie oben erwähnt, können FMEAs in folgende drei Kategorien eingeteilt werden: System-, Konstruktions- und Prozess-FMEA. Sie unterscheiden sich einerseits durch das eingesetzte Betrachtungsfeld bzw. durch die Anzahl der betrachteten Varianten oder Ideen und andererseits durch den Konkretisierungsgrad der betrachteten Varianten. Je weiter man mit der FMEA ins Detail geht, umso kleiner muss die Anzahl an möglichen Alternativen werden, um einen wirtschaftlich vertretbaren Aufwand zu gewährleisten.³⁸ Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 3.3 grafisch dargestellt.

Neben den oben genannten Merkmalen, unterscheiden sich die Kategorien auch im Betrachtungsgegenstand, den nötigen Eingangsgrößen und dem durchführenden Bereich in der Unternehmung.³⁹ Die methodischen Zusammenhänge zwischen den Typen sind in Tabelle 3.4 angeführt.

Tabelle 3.4 Methodischer Zusammenhang zwischen den FMEA Arten⁴⁰

	Betrachtungs- gegenstand	Eingangsgrößen/ Voraussetzungen	Durchführende Bereiche
System - FMEA	übergeordnetes Produkt/System	Produktkonzept	Entwicklung
Konstruktions - FMEA	Bauteil	Konstruktions- unterlagen	Konstruktion
Prozess - FMEA	Schritte des Ferti- gungsprozesses, des Montageprozesses, etc.	Fertigungs-/ Montagepläne	Allgemeine Planungsbereiche

³⁷ Vgl. Tietjen, 2003, S. 17f.

³⁸ Vgl. Tietjen, 2003, S. 25.

³⁹ Vgl. Tietjen, 2003, S. 19.

⁴⁰ Tietjen, 2003, S. 19.

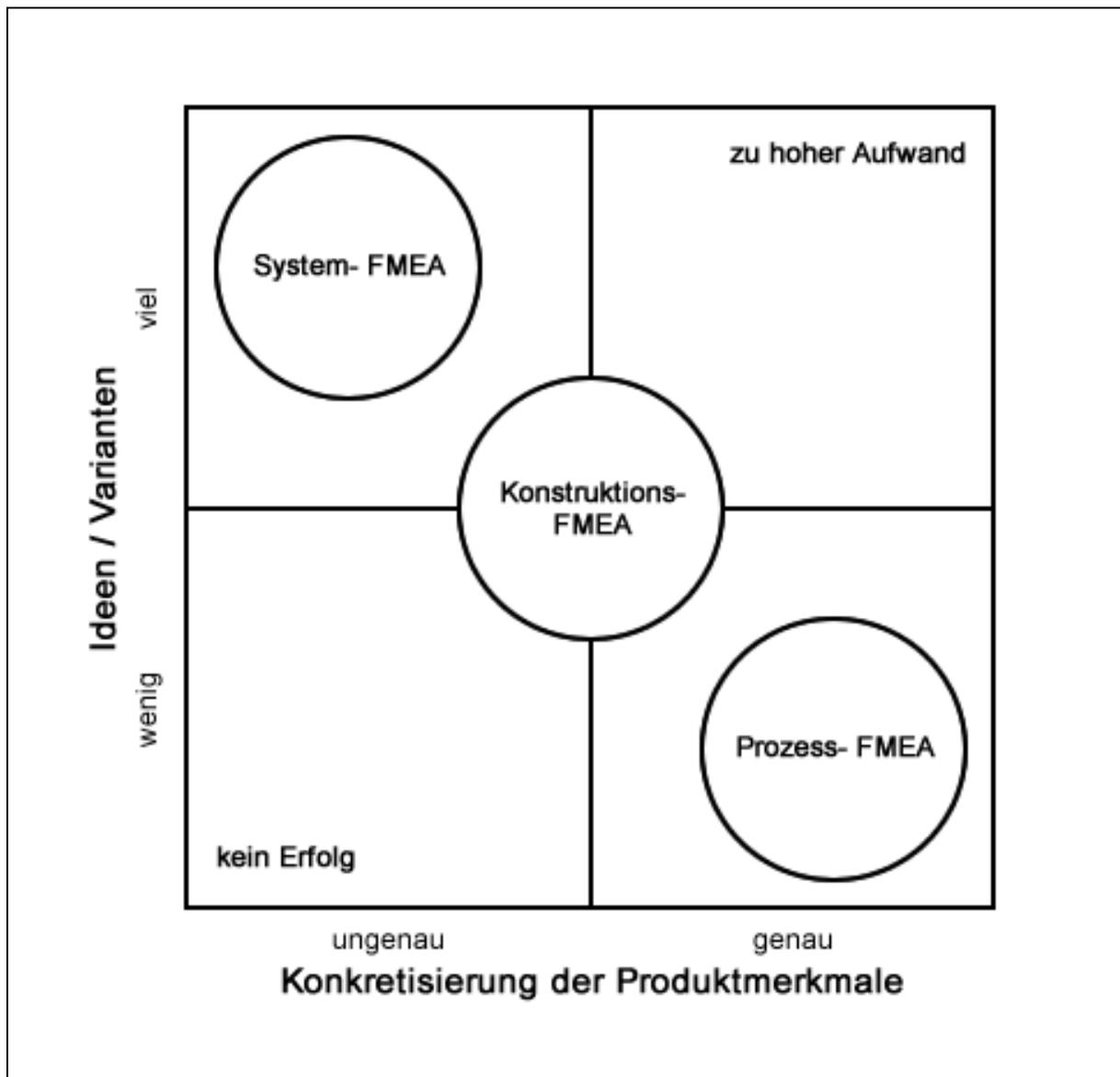


Abbildung 3.3 Portfolio-Darstellung der FMEA-Arten⁴¹

Die einzelnen Kategorien sind nicht unabhängig voneinander. In der System-FMEA identifizierte Fehler, können als Ausgangspunkt für eine Konstruktions-FMEA herangezogen werden. Deren Ergebnisse können als Ausgangsbasis für eine Prozess-FMEA dienen.⁴² Dieser Sachverhalt ist in Tabelle 3.5, anhand von drei verschiedenen FMEAs für das Versagen eines Motor (bzw. dessen Anlasser) dargestellt. Die unterschiedlichen FMEAs können ineinander überführt werden. So wird die identifizierte Fehlerursache der System-FMEA zur Fehlerart der Konstruktions-FMEA,...etc..⁴³

⁴¹ Tietjen, 2003, S. 25.

⁴² Vgl. Tietjen, 2003, S. 19.

⁴³ Vgl. Tietjen, 2003, S. 26.

Tabelle 3.5 Zusammenhang von FMEA-Arten am Beispiel eines Anlassers⁴⁴

	Fehlerfolge	Fehlerart	Fehlerursache
System - FMEA	Motor startet nicht	Anlasser defekt	Ankerwelle gebrochen
Konstruktions - FMEA	Anlasser defekt	Ankerwelle gebrochen	Zu hohe Pressung/ Einschnürung der Welle
Prozess - FMEA	Ankerwelle gebrochen	Zu hohe Pressung/ Einschnürung der Welle	Fertigungstoleranzen, Fügeart, etc.

3.2.1.2 Die Risikoprioritätszahl

Für die ermittelten Fehlerursachen wird im nächsten Schritt die sogenannte Risikoprioritätszahl (RPZ) ermittelt. Diese Zahl stellt das Gefährdungspotenzial, das von einem bestimmten Risiko ausgeht, dar. Sie ist, wie in Gleichung 3.1 dargestellt, das Produkt aus der Bewertung der Auftretswahrscheinlichkeit (A), der Bewertung der Bedeutung des Fehlers (B) und der Bewertung der Entdeckungswahrscheinlichkeit (E).⁴⁵

$$RPZ = A * B * E \quad 3.1$$

Die einzelnen Faktoren werden mit einer Zahl zwischen 1 und 10 bewertet. Die Zahl 1 steht hier für eine niedrige Auftretswahrscheinlichkeit, oder eine geringe Bedeutung, oder eine hohe Entdeckungswahrscheinlichkeit. Analog dazu steht die Zahl 10 für eine hohe Auftretswahrscheinlichkeit oder eine hohe Bedeutung oder eine niedrige Entdeckungswahrscheinlichkeit. Die RPZ kann einen Maximalwert von 1000 nicht überschreiten.

Nachdem alle Fehlerursachen bewertet wurden, können diese nach ihrer RPZ geordnet werden. Daraus ist gut ersichtlich, welche Ursachen besonderer Aufmerksamkeit bedürfen. Meist wird ein Schwellenwert für die RPZ gesetzt, bei dessen Überschreitung eine nähere Betrachtung oder ein Eingreifen nötig ist. Da die Bedeutung des Fehlers unmittelbar den Kunden betrifft, sollten unabhängig von der RPZ auch Risiken, welche hier eine hohe Bewertung erhalten haben, separat geprüft werden, um schwere Folgen für den Kunden auszuschließen.⁴⁶

Für die Bewertung der einzelnen Kriterien können nun sowohl qualitative als auch quantitative Größen herangezogen werden. In Tabelle 3.6 sind Bewertungskriterien für die Ausfallwahrscheinlichkeit angegeben. Man kann sich an diesen Kriterien orientieren, allerdings ist es oft nötig, diese an den betrachteten Bereich anzupassen. Durch die Anpassbarkeit ist die FMEA für eine Vielzahl von Problemstellungen geeignet. In Tabelle 3.4 ist ein beispielhaftes Bewertungsschema für die Bedeutung des Fehlers angeführt. In der Literatur findet man diese Kriterien auch häufig unter den Bezeichnungen Auswirkung, Schadenshöhe oder Schadensausmaß. Tabelle 3.8 zeigt ein Bewertungsschema für die Entdeckungswahrscheinlichkeit.

⁴⁴ Tietjen, 2003, S. 26.

⁴⁵ Vgl. Tietjen, 2003, S. 33.

⁴⁶ Vgl. Tietjen, 2003, S. 33f.

Tabelle 3.6 Bewertungsschema für die Auftrittswahrscheinlichkeit (System-/Konstruktions-FMEA)⁴⁷

Allgemeine Bewertungskriterien	Häufigkeit	Bewertungspunkte
Hoch Es ist nahezu sicher, dass Fehler in größerem Umfang auftreten werden.	1/2	10
	1/10	9
Mäßig Konstruktion entspricht generell Entwürfen, die in der Vergangenheit immer wieder Schwierigkeiten verursacht haben.	1/20	8
	1/100	7
Gering Konstruktion entspricht generell früheren Entwürfen, bei denen gelegentlich Fehler auftraten.	1/100	6
	1/1000	5
	1/2000	4
Sehr gering Konstruktion entspricht generell früheren Entwürfen, für die verhältnismäßig geringe Fehlerraten gemeldet wurden.	1/5000	3
	1/10000	2
Unwahrscheinlich Es ist unwahrscheinlich, dass ein Fehler auftritt.	0	1

Tabelle 3.7 Bewertungsschema für die Bedeutung des Fehlers⁴⁸

Allgemeine Bewertungskriterien	Bewertungspunkte
Es tritt ein äußerst schwerwiegender Fehler auf, der darüber hinaus die Sicherheit und/oder die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften beeinträchtigt.	10
	9
Es tritt ein schwerer Fehler auf, der eine Verärgerung beim Kunden auslöst (z.B. nicht fahrbereites Auto, Fehlfunktionen). Sicherheitsaspekte oder das Nicht-Einhalten gesetzlicher Vorschriften werden hierdurch nicht berührt bzw. treffen nicht zu.	8
	7
Es tritt ein mittelschwerer Fehler auf, der beim Kunden Unzufriedenheit auslöst. Der Kunde fühlt sich durch den Fehler belästigt oder ist verärgert. Mittelschwere Fehler sind z. B. „Lautsprecher brummt“, „zu hohe Pedalkräfte“ u. Ä.. Der Kunde wird diese Beeinträchtigung wahrnehmen bzw. bemerken.	6
	5
	4
Der Fehler ist unbedeutend und der Kunde wird nur geringfügig belästigt. Der Kunde wird wahrscheinlich nur geringe Beeinträchtigungen am Untersuchungsgegenstand bemerken.	3
	2
Es ist unwahrscheinlich , dass der Fehler irgendwie wahrnehmbare Auswirkungen auf das Verhalten des Untersuchungsgegenstandes haben könnte. Der Kunde wird den Fehler wahrscheinlich nicht bemerken.	1

⁴⁷Tietjen, 2003, S. 35.⁴⁸ Tietjen, 2003, S. 36.

Tabelle 3.8 Bewertungsschema für die Entdeckungswahrscheinlichkeit⁴⁹

Allgemeine Bewertungskriterien	Häufigkeit	Bewertungspunkte
Unwahrscheinlich Das Merkmal wird nicht geprüft, bzw. kann nicht geprüft werden. Verdeckter Fehler, der in der Fertigung oder Montage nicht entdeckt wird.	< 90 %	10
Sehr gering Nicht leicht zu erkennendes Fehlermerkmal. Erkennung durch visuelle oder manuelle 100% Prüfung möglich.	> 90 %	9
Gering Leicht zu erkennendes, messbares Fehlermerkmal. Erkennung durch eine 100% Prüfung (automatisch) möglich.	> 98 %	6 - 8
Mäßig Es handelt sich um ein augenscheinliches Fehlermerkmal. Erkennung durch eine 100% Prüfung (automatisch) möglich.	> 99,7 %	2 - 5
Hoch Funktioneller Fehler, der bei den nachfolgenden Arbeitsschritten bemerkt wird.	> 99,99 %	1

3.2.1.3 Die formale Gestaltung einer FMEA

Ein wichtiger Punkt, um die Ergebnisse festzuhalten und für zukünftige FMEAs heranziehen zu können, ist eine geeignete Dokumentation. Da es sich bei der FMEA um ein standardisiertes Verfahren zur Risikoidentifikation und –bewertung handelt, soll auch ihr formaler Aufbau gewissen Auflagen entsprechen. In Tabelle 3.9 ist der empfohlene Aufbau nach VDA '86 dargestellt. Zusätzlich zu den oben genannten Kriterien Auftrittswahrscheinlichkeit, Bedeutung und Entdeckungswahrscheinlichkeit, werden hier vor Allem die Fehlerbeschreibung, die Fehlerfolge und die Fehlerursache in den Mittelpunkt gestellt. Unter dem Punkt „aktuelle Maßnahme“ können zurzeit eingesetzte Vermeidungs- oder Prüfmaßnahmen angeführt werden. Überschreitet die ermittelte RPZ einen gewissen Wert, so kann man unter dem Punkt „empfohlene Maßnahme“, Verbesserungsvorschläge machen, um den Fehler besser zu erkennen oder zu vermeiden. Von großer Bedeutung ist auch die Nennung eines Verantwortlichen in der Spalte „Zu erledigen durch“, um sicher zu stellen, dass die gefundenen Verbesserungen oder die notwendigen Prüfungen wirklich durchgeführt werden.⁵⁰

In der Literatur findet man noch weitere Formblätter. Diese beeinflussen den Ablauf und die Aussage, welche man erhält, allerdings nicht signifikant.⁵¹ Das in Tabelle 3.9 dargestellte Formblatt spiegelt den klassischen formalen Aufbau einer FMEA wider. Auf die Darstellung

⁴⁹ Tietjen, 2003, S. 36.

⁵⁰ Vgl. Tietjen, 2003, S. 37.

⁵¹ Vgl. Tietjen, 2003, S. 38.

weiterer Formblätter wird an dieser Stelle verzichtet. Bei Interesse wird auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen.

Tabelle 3.9 Formblatt nach VDA '86

Name der FMEA											
Gegenstand der FMEA			Datum der letzten Änderung			FMEA-Typ			FMEA-Status		
Verantwortlicher Bereich			Bearbeiter/Bearbeiterin			Betroffene Bereiche			Attribute		
FMEA-Team											
Funktion	Pot. Fehler	Pot. Folge	D	Ursache	Aktuelle Maßnahme	A	B	E	RPZ	Empf. Maßnahme	Zu erledigen durch

3.2.2 Von der FMEA zur RMFEA

Wie schon am Anfang dieses Kapitels beschrieben, bedarf es für die Bewertung der Risiken von Projekten mittels FMEA einiger Anpassungen gegenüber den Definitionen und dem Ablauf eine klassischen FMEA. Die notwendigen Anpassungen für die Risikobewertung fallen allerdings erheblich kleiner aus als bei der Nutzwertanalyse, da die grundlegende Natur dieses Verfahrens nicht verändert werden muss. Da das Verfahren auch in der klassischen Version mit Wahrscheinlichkeiten arbeitet, müssen lediglich die Definitionen der einzelnen Kennzahlen an die Risikobewertung angepasst werden.

Der erste Unterschied zur klassischen FMEA ist, dass man keine möglichen Fehler, sondern mögliche Risiken betrachtet. Auch bei der RFMEA, wird die Risikoprioritätszahl als Produkt von drei Faktoren gebildet. Diese Auftrittswahrscheinlichkeit (A) wird zur Risiko-Eintrittswahrscheinlichkeit (RE), die Bedeutung des Fehlers (B) wird zur Risiko-Auswirkung (RA) und die Erkennungswahrscheinlichkeit (E) wird zur Risiko-Früherkennungswahrscheinlichkeit (RF) genannt. Somit kann die neue Risikopriorität wie in Gleichung 3.2 dargestellt berechnet werden.⁵²

$$RPZ = RE * RA * RF \quad 3.2$$

Bei der Risiko FMEA gibt es zusätzlich zu der bereits bekannten RPZ eine zweite Kennzahl. Diese wird Risikohöhe (RH) genannt und ist, wie in Gleichung 3.3 dargestellt, das Produkt aus Risiko-Eintrittswahrscheinlichkeit und Bedeutung des Fehlers. Diese Kennzahl wird später für die Auswertung der Ergebnisse benötigt.⁵³

$$RH = RE * RA \quad 3.3$$

⁵² Vgl. Carbone, 2003, S. 177.

⁵³ Vgl. Carbone, 2003, S. 177.

Die Risiko-Eintrittswahrscheinlichkeit gibt an, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass ein bestimmtes Risiko bei dem untersuchten Projekt auftritt. Die Risiko-Auswirkung ist ein Maß für die Höhe der Abweichung vom geplanten Wert. Für die Kennzahl RA muss die in Kapitel 2 gefundene Definition des Risikos bei Entwicklungsprojekten zugrunde gelegt werden. Es werden daher nur negative Risikofolgen betrachtet. Die Risiko-Auswirkung ist somit eigentlich ein Maß für die Höhe des durch das Risiko entstehenden Schadens. Der größte Unterschied zwischen der klassischen FMEA und der RFMEA liegt allerdings in der Definition der letzten Kennzahl. Die FMEA bewertet mit der Erkennungswahrscheinlichkeit die Wahrscheinlichkeit, dass ein Fehler erkannt wird bevor das Produkt o. Ä. an den Kunden ausgeliefert wird. Bei der RFMEA betrachtet man mit der Risiko-Früherkennungswahrscheinlichkeit die Länge der Zeitspanne vom Erkennen der ersten Anzeichen eines Risikos bis zum Eintreten der negative Folgen.⁵⁴

Wie schon bei der FMEA werden die einzelnen Kennzahlen auch bei der RFMEA auf einer Skala von eins bis zehn bewertet. Das Bewertungsschema für die Risiko-Eintrittswahrscheinlichkeit ist, wie in Tabelle 3.10 dargestellt, dem der Auftretenswahrscheinlichkeit sehr ähnlich. Der größte Unterschied liegt darin, dass keine absolute Häufigkeit des Auftretens, sondern eine prozentuale Eintrittswahrscheinlichkeit angegeben wird. Die Bewertungsschemen für die anderen beiden Kriterien weichen allerdings stark von denen der klassischen FMEA ab.⁵⁵

Tabelle 3.10 Bewertungsschema für die Risiko-Eintrittswahrscheinlichkeit (RE)

Allgemeine Bewertungskriterien	Eintrittswahrscheinlichkeit	Bewertungspunkte
Sicher Es ist nahezu sicher, dass das Risiko eintritt.	>95%	10
Sehr Hoch Die Wahrscheinlichkeit, dass das Risiko eintritt, ist sehr hoch.	90% 80%	9 8
Hoch Die Wahrscheinlichkeit, dass das Risiko eintritt, ist hoch.	70% 60%	7 6
Mäßig Die Wahrscheinlichkeit, dass das Risiko eintritt, ist mäßig	50% 40%	5 4
Gering Die Wahrscheinlichkeit, dass das Risiko eintritt, ist gering.	30% 10% - 20%	3 2
Unwahrscheinlich Es ist fast ausgeschlossen, dass das Risiko eintritt.	<10%	1

⁵⁴ Vgl. Carbone, 2003, S. 177.

⁵⁵ Vgl. Carbone, 2003, S. 177.

Bei dem Bewertungsschema für die Risiko-Auswirkung muss man nun zwischen den Auswirkungen auf die in Kapitel 2.3 genannten Risikofaktoren unterscheiden. Es sind also getrennte Bewertungskriterien für die Überschreitung der Projektdauer, die Überschreitung der Projektkosten und die Nicht-Erreichung der Projektziele notwendig. In Tabelle 3.11 ist ein kombiniertes Bewertungsschema für die drei Risikofaktoren dargestellt.

Tabelle 3.11 Bewertungsschema für die Risiko-Auswirkung (RA)⁵⁶

Allgemeine Bewertungskriterien	Bewertungspunkte
Projektdauer Großer Einfluss auf Meilensteine, Verlängerung der Projektdauer um >20%. Projektkosten Erhöhung der Personalkosten um >20%. Projektziele Projektziele können zur Gänze nicht erreicht werden.	10 oder 9
Projektdauer Großer Einfluss auf Meilensteine, Verlängerung der Projektdauer um 10% - 20%. Projektkosten Erhöhung der Personalkosten um 10% - 20%. Projektziele Projektziele zum Großteil nicht erreichbar.	8 oder 7
Projektdauer Verlängerung der Projektdauer um 5% - 10%. Projektkosten Erhöhung der Personalkosten um 5% - 10%. Projektziele Projektziele zum Teil nicht erreichbar (qualitativ und quantitativ).	6 oder 5
Projektdauer Verlängerung der Projektdauer um <5%. Projektkosten Erhöhung der Personalkosten um <5%. Projektziele Projektziele gefährdet, Erreichung mit höherem Aufwand jedoch wahrscheinlich.	4 oder 3
Projektdauer kein nennenswerter Einfluss auf die Projektdauer. Projektkosten kein nennenswerter Einfluss auf die Personalkosten. Projektziele kein nennenswerter Einfluss auf die Projektziele.	2 oder 1

⁵⁶ In Anlehnung an Carbone, 2003, S. 178.

In der Literatur wird bei den RFMEA mit der Risiko-Früherkennungswahrscheinlichkeit lediglich die Zeitspanne bewertet, welche vom Erkennen erster Symptome bis zum vollständigen Eintritt des Risikos vergehen.⁵⁷ Dieses Bewertungssystem soll hier um die Bewertung vorhandener Gegenmaßnahmen erweitert werden. Dazu wird das Bewertungsschema von Carbone (2003) um Kriterien für die Wirksamkeit der vorhandenen Gegenmaßnahmen erweitert. Sowohl die Bewertungsrichtlinien für die Risiko-Früherkennungswahrscheinlichkeit, als auch für die Wirksamkeit der Gegenmaßnahmen werden in einem Bewertungsschema kombiniert. Ein Beispiel für ein kombiniertes Bewertungsschema ist in Tabelle 3.12 dargestellt. Fällt ein Risikokriterium bei der Früherkennung in eine andere Bewertungsklasse als die Wirksamkeit der Gegenmaßnahmen, so ist der jeweils höhere Wert für die Bewertung heranzuziehen.

Tabelle 3.12 Bewertungsschema für die Risiko-Früherkennungswahrscheinlichkeit (RF) und die Wirksamkeit der Gegenmaßnahmen

Allgemeine Bewertungskriterien	Bewertungspunkte
Weder Früherkennung noch Gegenmaßnahmen vorhanden.	9 - 10
Früherkennungssystem nicht geprüft oder unzuverlässig und/oder nur schwache Gegenmaßnahmen bekannt.	7 - 8
Mittlere Wahrscheinlichkeit für rechtzeitige Früherkennung und/oder mäßig wirksame Gegenmaßnahmen vorhanden.	5 - 6
Rechtzeitige Erkennung sehr wahrscheinlich und/oder wirksame Gegenmaßnahmen vorhanden.	3 - 4
Hoch effektive Maßnahmen für rechtzeitige Erkennung, sowie wirksame Gegenmaßnahmen vorhanden.	1 - 2

3.2.3 Aufbau und Ablauf der RFMEA

Der formale Aufbau der RFMEA unterscheidet sich nicht stark von dem der klassischen FMEA. Ein Beispiel für die mögliche Gestaltung einer RFMEA ist in Tabelle 3.13 dargestellt. Das Formblatt kann individuell und projektspezifisch um weitere Spalten ergänzt werden.⁵⁸

Der Start der RFMEA ist als Gruppenmeeting gestaltet. Dabei soll ein entsprechend angepasstes Formular ausgefüllt werden. Die notwendigen Schritte während des Bewertungsprozesses von Projektrisiken mit Hilfe der RFMEA sind in Abbildung 3.4 dargestellt. Nach der Bewertung der einzelnen Risikofaktoren und der Berechnung der Kennzahlen werden jeweils Paretoverteilungen der Risikohöhe und der RPZ erstellt. Anhand dieser Verteilungen werden die kritischen Werte bestimmt und ein Risikodiagramm erstellt.⁵⁹ Die Vorgehensweise dabei wird in Kapitel 3.2.4 näher beschrieben.

⁵⁷ Vgl. Carbone, 2003, S. 177.

⁵⁸ Vgl. Carbone, 2003, S. 178.

⁵⁹ Vgl. Carbone, 2003, S. 179.

Tabelle 3.13 Beispielhafter formaler Aufbau einer RFMEA⁶⁰

Risiko- bezeichnung	RE	RA	RH	RF	RPZ	Zu erledigen durch

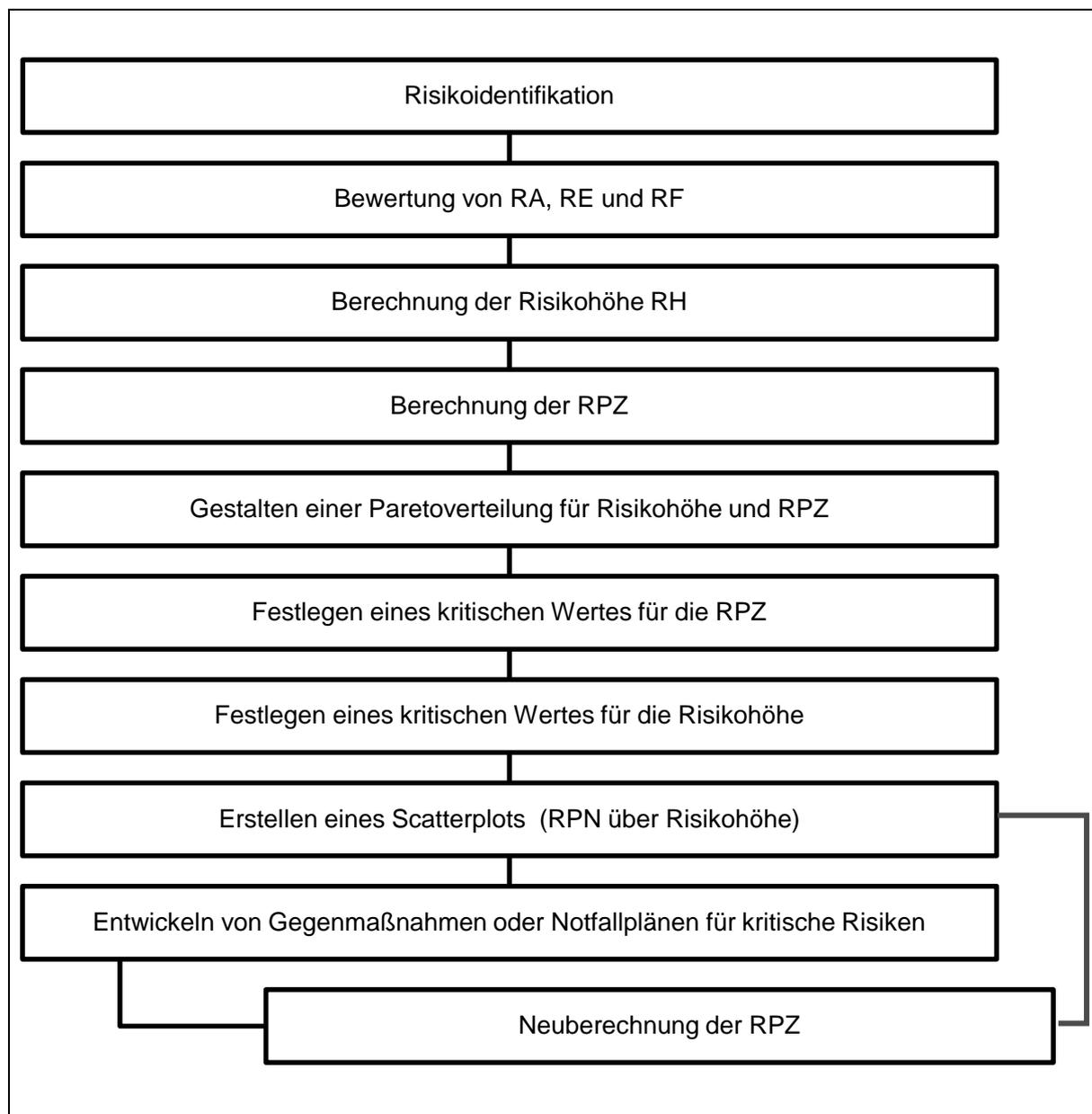


Abbildung 3.4 Beispielhafter Ablauf eines RFMEA-Prozesses⁶¹

Als abschließender Schritt werden für kritische Risiken Gegenmaßnahmen verbesserte Früherkennungsmaßnahmen und/oder Notfallpläne entwickelt und die RPZ erneut berechnet. Sollten die Risiken trotzdem kritisch bleiben, müssen die Gegenmaßnahmen überarbeitet oder

⁶⁰ In Anlehnung an Carbone, 2003, S. 178.

⁶¹ In Anlehnung an Carbone, 2003, S. 179.

das Risiko muss von einer höheren Instanz akzeptiert werden. Im Extremfall kann das Projekt auch abgebrochen werden, falls zu viele kritische Risiken existieren.⁶²

3.2.4 Aussagen und Ergebnisse der RFMEA

Die RFMEA liefert umfangreiche Aussagen, über die einzelnen Risikofaktoren. Da nicht nur Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkung, sondern auch die Früherkennbarkeit des Eintritts und die Wirksamkeit der Gegenmaßnahmen bewertet werden, können kritische Risiken sehr gut identifiziert werden. Für die Visualisierung der Risiken werden, wie schon im vorherigen Abschnitt erwähnt, je eine Paretoverteilung mit der Risikohöhe und der RPZ erstellt.⁶³ Die Erstellung der Paretoverteilungen werden anhand des in Tabelle 3.14 dargestellten RFMEA Beispiels demonstriert.

Tabelle 3.14 RFMEA Beispiel

	RE	RA	RH	RF	RPZ
Risiko A	3	8	24	9	216
Risiko B	6	8	48	8	384
Risiko C	5	8	40	1	40
Risiko D	4	3	12	5	60
Risiko E	7	5	35	7	245
Risiko F	5	4	20	7	140

Beim Erstellen einer Paretoverteilung, werden die einzelnen Risikofaktoren, der Höhe ihrer Bewertung nach sortiert, und mit diesen Werten in einem Diagramm dargestellt. Jetzt müssen die kritischen Werte für die Risikobewertung und die RPZ festgelegt werden. Dabei sollten projektspezifische Grenzen verwendet werden. Für das Auffinden der kritischen Werte für Risikohöhe und RPZ gibt es keine wissenschaftlichen Regeln. Im dargestellten Beispiel können diese Grenzwerte relativ leicht erkannt werden, das muss aber nicht immer der Fall sein. Sind die Risikohöhen und RPZ Werte gleichmäßiger verteilt, so ist es schwieriger, einen exakten Wert für diese Grenzen zu bestimmen. Risiken, die über diesen Grenzen liegen, bedürfen einer speziellen Betrachtung und werden kritische Risiken genannt. Prinzipiell gilt, je niedriger die Grenzen gewählt werden, desto mehr Aufwand ist für die Risikobekämpfung aufgrund neuer Gegenmaßnahmen, Früherkennungssystemen und Notfallplänen nötig.⁶⁴ Für das angeführte Beispiel wurde der kritische Wert für die Risikohöhe mit 30 und für die RPZ mit 200 gewählt. Die Paretoverteilungen des Beispiels mit den eingetragenen Grenzwerten sind in Abbildung 3.5 dargestellt.

⁶² Vgl. Carbone, 2003, S. 179.

⁶³ Vgl. Carbone, 2003, S. 179.

⁶⁴ Vgl. Carbone, 2003, S. 179.

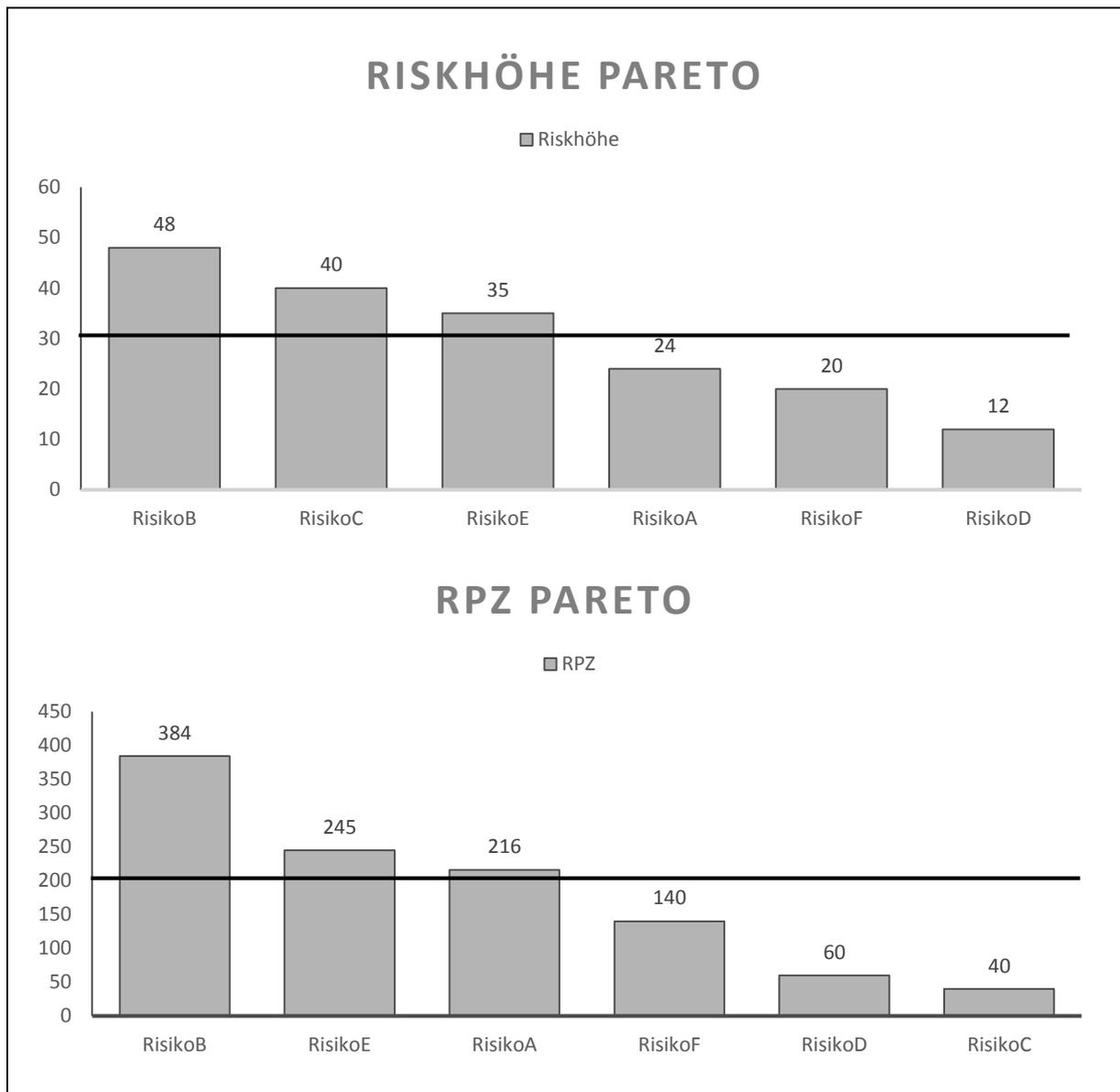


Abbildung 3.5 Paretoverteilungen für RPZ und Risikohöhe des vorliegenden Beispiels

Anschließend werden die bewerteten Risikofaktoren und die kritischen Werte für RPZ und Risikohöhe in ein Streudiagramm übertragen. Auf der Abszisse werden die Werte der Risikohöhe und auf der Ordinate die der RPZ aufgetragen. Anschließend werden die kritischen Werte als Geraden im Diagramm dargestellt. Durch diese Geraden wird das Diagramm in vier Quadranten unterteilt. Für die Risikofaktoren in den einzelnen Quadranten sind nun unterschiedliche Maßnahmen vorzusehen.⁶⁵

Im linken unteren Quadranten stehen sog. „Nicht signifikante Risiken“. Diese Risiken haben eine niedrige Eintrittswahrscheinlichkeit, eine geringe Auswirkung und können frühzeitig erkannt werden. Es müssen keine speziellen Maßnahmen für diese Risikofaktoren vorgesehen werden. Risiken in diesem Quadranten werden nicht näher betrachtet, da sie keine Gefahr für das Projekt darstellen.⁶⁶

⁶⁵ Vgl. Carbone, 2003, S. 179.

⁶⁶ Vgl. Carbone, 2003, S. 179.

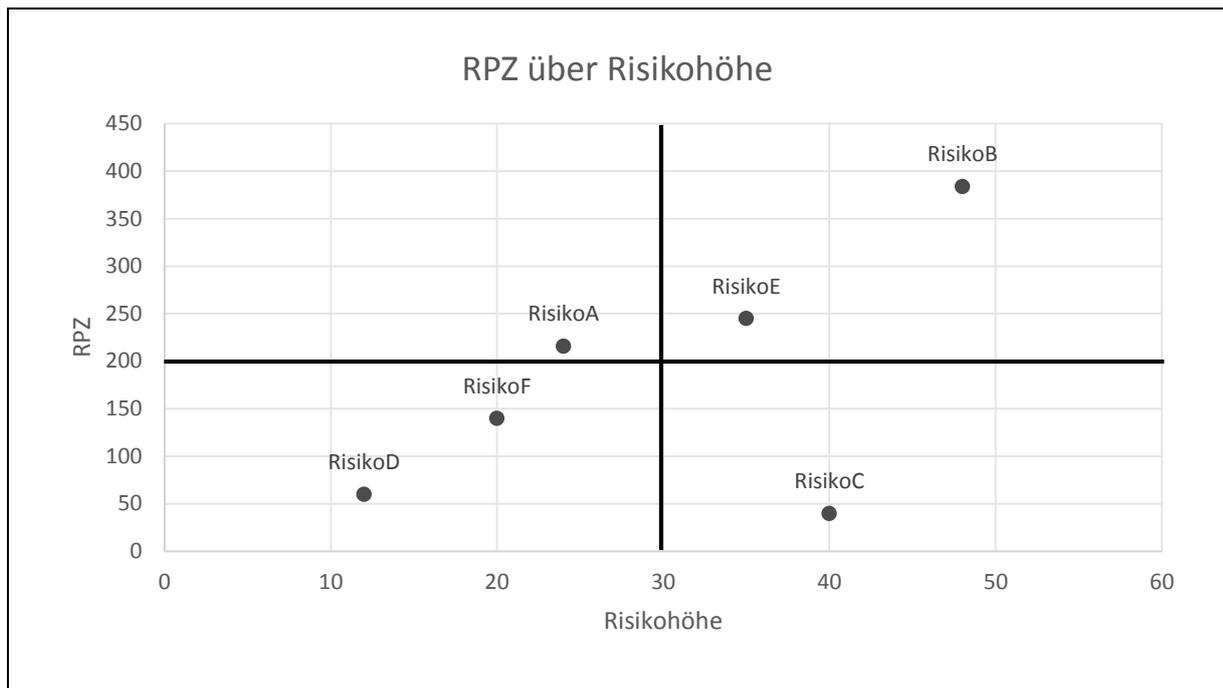


Abbildung 3.6 RPZ über Risikohöhe Streudiagramm des gewählten Beispiels⁶⁷

Im rechten unteren Quadranten stehen sog. „hohe Risiken“. Bei ihnen handelt es sich um Risiken mit großer Risikohöhe, die aber frühzeitig erkannt werden können. Risikofaktoren in diesem Quadranten haben zwar bedrohliche Einflüsse auf das Projekt, für sie müssen aber nicht sofort Maßnahmen geplant werden. Da Symptome dieser Risiken rechtzeitig erkannt werden können, reicht es, sich erst beim Eintreten dieser Anzeichen Gedanken über nötige Gegenmaßnahmen oder Notfallpläne zu machen. Je nach Höhe des Risikos, ist jedoch abzuwägen, ob aufgrund der möglichen Schadenshöhe nicht trotzdem im Vorhinein diverse Pläne entwickelt werden, um frühzeitig reagieren zu können.⁶⁸

Bei den Risiken im linken oberen Quadranten spricht man von sog. „abrupten Risiken“. Sie haben eine niedrige Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit, können aber nicht rechtzeitig identifiziert werden. Bei ihnen ist abzuwägen, ob sie einer gesonderten Betrachtung bedürfen. Treten Anzeichen dieser Risiken auf, so muss sofort reagiert werden, um ihre Auswirkungen zu vermeiden oder zu vermindern. Andererseits kann aber auch entschieden werden, dass, sofern diese Faktoren auftreten, nichts unternommen wird und man mit den Folgen weiterarbeiten muss. Die Folgen dieser Risiken, werden ohnehin keine großen Schäden anrichten. Meist werden Risiken in diesem Quadranten ignoriert, um den Umfang des Risikomanagements in einem überschaubaren Rahmen zu halten.⁶⁹

Im letzten Quadranten rechts oben befinden sich sog. „akute Risiken“. Sie können nicht rechtzeitig erkannt werden, haben eine hohe Eintrittswahrscheinlichkeit und hohe Auswirkungen auf den Erfolg des Projekts. Diese Risiken müssen vor Beginn des Projekts unbedingt bearbeitet werden. Es sind sofort Gegenmaßnahmen und Notfallpläne oder verbesserte Früherkennungsmaßnahmen zu erarbeiten. Nachdem die Maßnahmen für diese

⁶⁷ In Anlehnung an Carbone, 2003, S. 182.

⁶⁸ Vgl. Carbone, 2003, S. 179.

⁶⁹ Vgl. Carbone, 2003, S. 179.

Risikofaktoren überarbeitet worden sind, ist die RPZ erneut zu berechnen. Befindet sich trotz Bearbeitung aller akuten Risiken noch immer eine große Anzahl an Risikofaktoren in diesem Quadranten, so kann dies auch zu einem Abbruch des Projekts führen.⁷⁰

3.3 Auswahl eines Scoring-Modells zur Risikobewertung

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit, wird nur mehr auf die RFMEA eingegangen. Wie in den vorangegangenen Abschnitten dargestellt, ist dieses Verfahren der Nutzwertanalyse oder dem AHP im Zuge der Risikoanalyse überlegen. Vor allem die Berücksichtigung der Früherkennbarkeit und der Beeinflussbarkeit der einzelnen Risikofaktoren, macht den Einsatz für die Risikobewertung so interessant. Im Zuge eines Risikomanagements, können hiermit adäquate Risikovermeidungs- oder Notfallpläne erarbeitet werden.

Ein weiterer Grund für die Auswahl der RFMEA ist die weite Verbreitung der klassischen FMEA als Qualitätsmanagement-Werkzeug in Industrieunternehmen. Die Mitarbeiter dieser Unternehmen haben oftmals sehr gute Erfahrungen mit dem Einsatz von FMEAs gemacht. Somit ist die Akzeptanzhürde während der Implementierungsphase des Verfahrens geringer als bei unbekanntem Werkzeugen. Auch die Rechen- und Bewertungsschritte bei der FMEA sind, im Gegensatz zum AHP, transparent und nachvollziehbar. Es wird auf undurchsichtige, aufwendige und rechenintensive Matrizenoperationen verzichtet. Somit ist für den Anwender klar, wie es zu den einzelnen Bewertungen gekommen ist.

⁷⁰ Vgl. Carbone, 2003, S. 179.

4 Fuzzy Set Methoden

Unter dem Begriff „Fuzzy Sets“ (FS) kann mit dem Begriff „unscharfe Mengen“ ins Deutsche übersetzt werden. Die Fuzzy Set Methoden (FSM) befassen sich also mit dem Umgang mit unscharfen Informationen, welche zu unscharfen Mengen verdichtet werden können. Auf den ersten Blick wirkt der Begriff der „unscharfen Information“ fremd und unbekannt. Bei genauerer Betrachtung muss man jedoch feststellen, dass unsere Sprache meistens mit nicht exakt abgegrenzten Begriffen arbeitet. Wir sprechen von „schweren Maschinen“ oder einer „großen Teilnehmeranzahl“, machen uns aber selten Gedanken, wann Maschinen als „schwer“ oder Teilnehmeranzahlen als „groß“ gelten. Dieses Phänomen ist allerdings nicht auf die Faulheit der Menschen zurückzuführen, diese Begriffe exakt zu definieren, sondern vielmehr eine Grundvoraussetzung menschlicher Kommunikation. Müssten wir alles exakt benennen, um darüber sprechen zu können, müssten wir uns eine Unzahl verschiedener Begriffe, Redewendungen und komplizierter Satzkonstruktionen merken.⁷¹

Vor allem in der Steuerungs- und Regelungstechnik, stößt man bei Verwendung exakter Begriffe oft an die Grenzen. Man kann zum Beispiel die Untergrenze, dass das Wasser in einem Tank „heiß“ ist, mit einer Temperatur von 90°C definieren. Gleichzeitig legt man damit jedoch fest, dass Wasser mit einer Temperatur von 89,9999°C nicht „heiß“ ist. Dieser scharfe Übergang deckt sich allerdings nicht mit menschlicher Denk- und Verhaltensweise. Eine regelungstechnische Anwendung dieser unscharfen Logik findet man bei dem vollautomatischen Zementofen der Firma F. L. Smidth & Co., mit dem es erstmals gelang, den Prozess des Zementbrennens zu automatisieren. Die Brennstoffzufuhr des Zementofens wird durch Fuzzy Control (FC) über unscharfe, linguistische Ausdrücke geregelt.⁷² FC arbeitet, ähnlich wie menschliche Fachkräfte, mit Sätzen wie: „Wenn die Temperatur im Ofen hoch ist, dann reduziere die Brennstoffzufuhr. Wenn die Temperatur im Ofen sehr hoch ist, dann reduziere die Brennstoffzufuhr stark.“⁷³ Diese Vorgehensweise soll später in diesem Kapitel, anhand eines Beispiels anschaulich dargestellt werden.

4.1 Unscharfe Mengen

Die erste Frage, die sich nun in diesem Zusammenhang stellt, ist: Was ist eine unscharfe Menge? In der Mathematik oder den Ingenieurwissenschaften arbeitet man meistens mit hochpräzisen, scharfen Werten.⁷⁴ Ein Beispiel für einen solchen Wert wäre, wenn man die Masse eines Buches in Kilogramm angibt. Nehmen wir zum Beispiel ein Buch mit einer Masse von zwei Kilogramm. Nun soll das Buch in die Gewichtsklassen „sehr leicht“, „leicht“, „mittel“, „schwer“ und „sehr schwer“ eingeordnet werden. Mit Sicherheit würden viele, zumindest von einem schweren Buch, wenn nicht sogar von einem sehr schweren Buch sprechen. Wenn man nun eine exakte Logik anwendet, so könnten die Klassen wie folgt definiert werden: „sehr leicht“ (bis 99 Gramm), „leicht“ (100 bis 999 Gramm), „schwer“ (1kg bis 1,999 kg) und „sehr

⁷¹ Vgl. Böhme, 1993, S. 1.

⁷² Vgl. Traeger, 1993, S. 4f.

⁷³ Traeger, 1993, S. 4.

⁷⁴ Vgl. Traeger, 1993, S. 6.

schwer“ (ab 2 kg). Somit handelt es sich in unserem Beispiel um ein sehr schweres Buch. Auch hier können wir das oben angesprochene Problem der scharfen Logik feststellen. Wäre unser Buch um nur ein Gramm leichter, so wäre es nur mehr in der Gewichtsklasse „schwer“ zu finden. Der Umstand, dass ein Unterschied von nur einem Gramm zu einer anderen Einordnung führt, widerspricht der menschlichen Denkweise.⁷⁵

In Abbildung 4.1 ist eine exakte Definition der Gewichtsklasse „sehr schwer“ schematisch dargestellt. Der Buchstabe μ steht dabei für den Zugehörigkeitsgrad. Ein Zugehörigkeitsgrad von $\mu=0$ heißt, dass der Gegenstand dieser Klasse überhaupt nicht zugehörig ist. Ein Zugehörigkeitsgrad von $\mu=1$ bedeutet, dass der betrachtete Gegenstand dieser Klasse zur Gänze zugehört. Wie man in Abbildung 4.1 sieht, kann bei Verwendung exakter Logik ein Gegenstand entweder ganz oder gar nicht einer Klasse angehören. Zwischenstufen sind dabei nicht möglich.

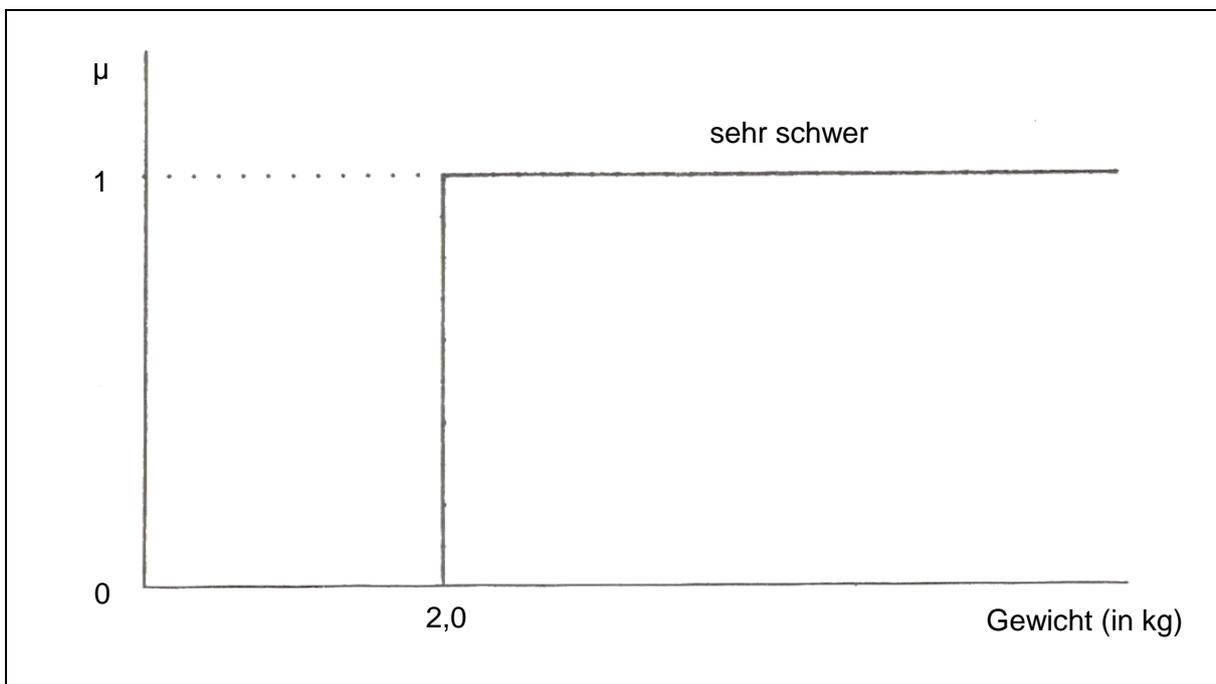


Abbildung 4.1 Beispiel Buch exakte Gewichtsklasse "sehr schwer"⁷⁶

Verwendet man unscharfe Mengen, so kann ein Gegenstand einer Klasse zur Gänze, zum Teil, oder überhaupt nicht angehören. Dazu verwendet man sogenannte Zugehörigkeitsfunktionen. Betrachten wir wieder das zwei Kilogramm schwere Buch aus dem vorherigen Beispiel, so könnte dies unter Verwendung der Fuzzy Logik, wie in Abbildung 4.2 schematisch dargestellt, zu 80% der Klasse „sehr schwer“ und zu 20% der Klasse „schwer“ angehören. Hätte das Buch nur mehr 1999 Gramm, so würde es z.B. noch immer zu 78% der Klasse „sehr schwer“ angehören und zu 22% der Klasse „schwer“. Der scharfe Übergang, welchen man bei Verwendung der scharfen Logik erhält, bleibt also aus. Dieses Vorgehen entspricht der menschlichen Denkweise viel eher als die scharfe Logik.⁷⁷

⁷⁵ Vgl. Traeger, 1993, S. 3ff.

⁷⁶ In Anlehnung an Traeger, 1993, S. 24.

⁷⁷ Vgl. Traeger, 1993, S. 4ff.

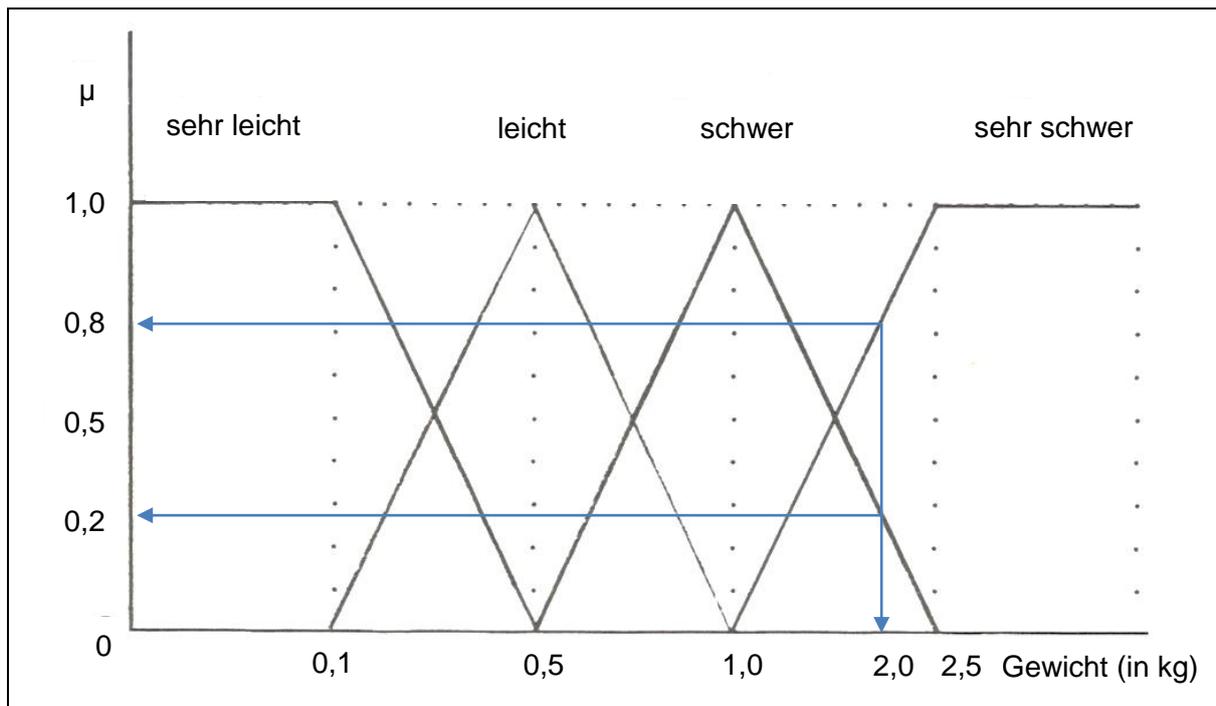


Abbildung 4.2 Beispiel Buch Fuzzy-Gewichtsklassen⁷⁸

Die Zugehörigkeit zu den einzelnen Klassen wird, wie oben erwähnt, durch Zugehörigkeitsfunktionen definiert. Diese Funktionen können verschiedene Gestalt haben. In der Praxis trifft man meistens auf lineare Dreiecksfunktionen, da diese einfach zu handhaben sind. In Abbildung 4.3 sind eine trapezförmige (links) und eine dreiecksförmige (Mitte) lineare Zugehörigkeitsfunktion dargestellt. In Abbildung 4.3 ist rechts eine Sonderform der linearen Zugehörigkeitsfunktionen dargestellt. Es handelt sich um einen sogenannten Singleton oder auch exakten Wert. Damit ist ersichtlich, dass die exakte Logik nicht im Widerspruch mit der unscharfen Logik steht, sondern ein Spezialfall dieser ist. Die Längen α und β in Abbildung 4.3 werden Einflussbreite genannt. Sind beide gleich lang, so kann man von symmetrischen linearen Zugehörigkeitsfunktionen sprechen. Gehen beide gegen 0, so erhält man den oben erwähnten Grenzfall eines Singleton.⁷⁹

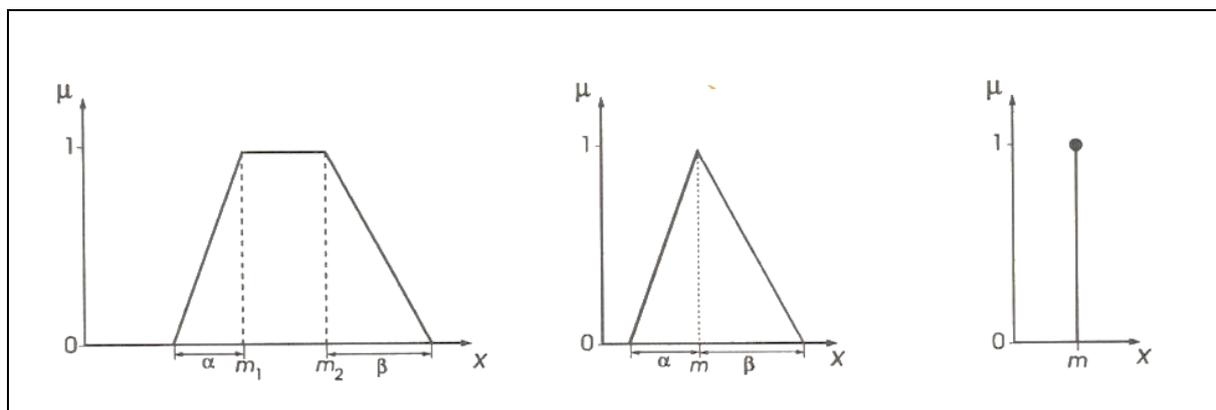


Abbildung 4.3 Zugehörigkeitsfunktionen mit linearen Grenzen⁸⁰

⁷⁸ In Anlehnung an Traeger, 1993, S. 50.

⁷⁹ Vgl. Kahlert, 1993, S. 12f.

⁸⁰ In Anlehnung an Kahlert, 1993, S. 13.

In Abbildung 4.4 sind weitere Formen für Zugehörigkeitsfunktionen dargestellt. Dabei handelt es sich um eine Winkelfunktion (Cosinushalbschenkel, links), eine Gauss-Glockenkurve (Mitte) und eine sog. LR-Fuzzy-Menge (rechts). Die letzte ist im Gegensatz zu den ersten beiden eine nicht-symmetrische Menge, d.h. die Grenzen auf der linken und rechten Seite, haben eine unterschiedliche Gestalt. Je nachdem, wie die Zugehörigkeitsfunktion aussieht, wird man eine abweichende Bewertung des gleichen Sachverhalts erlangen. Auch die Reaktion auf Veränderungen kann durch die Gestalt der Zugehörigkeitsfunktionen beeinflusst werden. Dadurch kann man die Aussage der FSM auf die jeweiligen Bedürfnisse anpassen.⁸¹

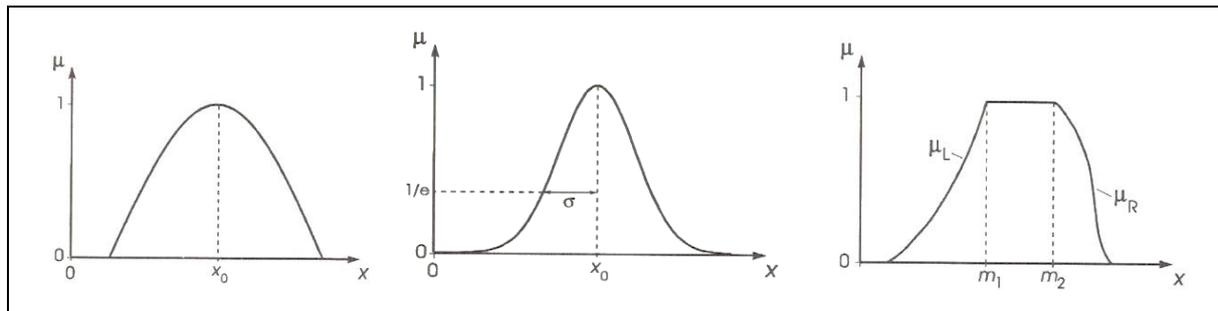


Abbildung 4.4 Zugehörigkeitsfunktionen mit nicht-linearen Grenzen⁸²

4.2 Arbeiten mit Fuzzy Sets

Um mit unscharfen Mengen zu arbeiten, sind einige Schritte notwendig. Zuerst müssen linguistische Ausdrücke in unscharfe Mengen umgewandelt werden. Diesen Vorgang nennt man „Fuzzifikation“ oder auch „Fuzzifizierung“. Anschließend kann man die einzelnen unscharfen Werte miteinander verrechnen. Dieser Schritt wird „Inferenz“ genannt. Zu guter Letzt müssen die aus der Inferenz erhaltenen Werte in linguistische Ausdrücke (oder Handlungsanweisungen im Zuge der FC) zurückgeführt werden. Diesen Schritt nennt man „Defuzzifikation“ oder „Defuzzifizierung“.⁸³ Für jeden dieser Schritte gibt es in der Literatur eine Vielzahl an unterschiedlichen Abläufen und Verfahren. In diesem Kapitel werden nur die gängigsten und für diese Arbeit relevanten Verfahren behandelt. Für weitere Ausführungen sei an dieser Stelle auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen.

4.2.1 Fuzzifikation qualitativer Aussagen

Wie schon eingangs erwähnt, liegt die Stärke der FSM in der Verarbeitung qualitativer linguistischer Ausdrücke. Dazu müssen diese Aussagen in ein für Computer verarbeitbares Format gebracht werden. Dieser Vorgang ist in Abbildung 4.5 schematisch dargestellt. Im Zuge der Fuzzifikation sollen nun konkrete Gegenstände bzw. scharfe Werte in unscharfe Klassen eingeteilt werden.⁸⁴ Um die Vorgehensweise bei der Fuzzifikation besser veranschaulichen zu können, soll in diesem Abschnitt als Beispiel das in Tabelle 4.1 dargestellte Projekt nach seiner Größe beurteilt werden.

⁸¹ Vgl. Kahlert, 1993, S. 11ff.

⁸² In Anlehnung an Kahlert, 1993, S. 12.

⁸³ Vgl. Traeger, 1993, S. 82ff.

⁸⁴ Vgl. Traeger, 1993, S. 91ff.

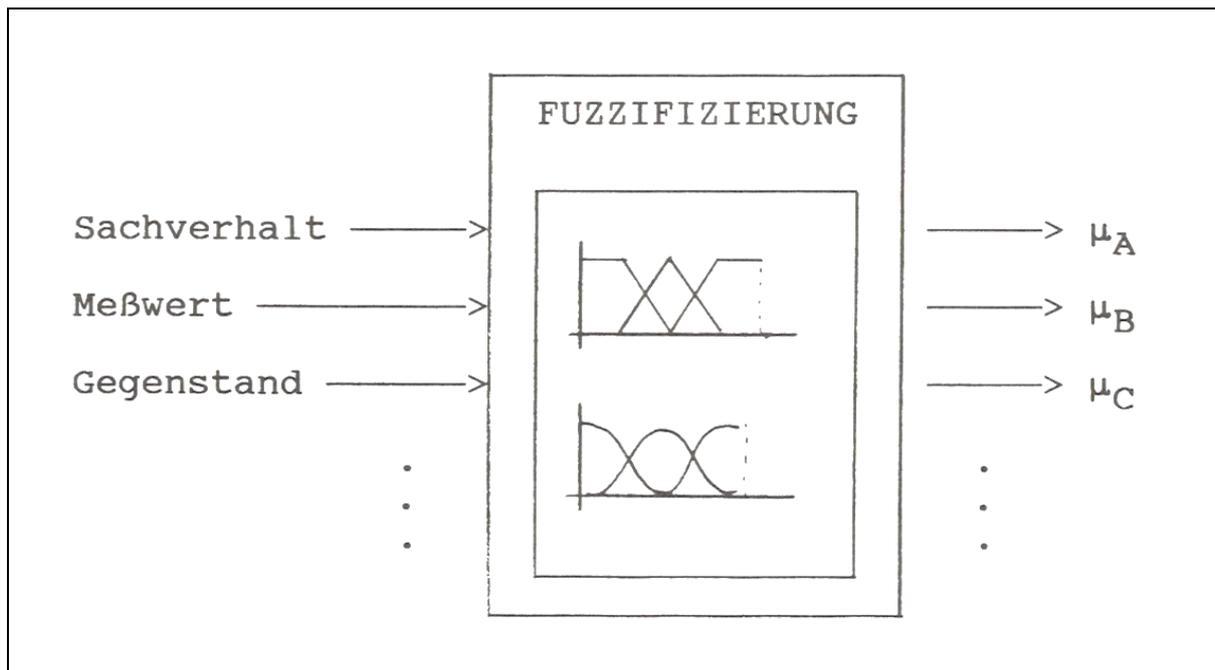


Abbildung 4.5 Ablauf der Fuzzifizierung⁸⁵

Tabelle 4.1 Daten des Beispielprojekts

Daten des Beispielprojekts	
Mitarbeiteranzahl	16 Personen
Geplante Projektkosten	€ 800.000,-

Die erste Aufgabe im Zuge der Fuzzifikation ist das Finden und Definieren der einzelnen Klassen. Dazu muss man die einzelnen unscharfen Mengen, deren Form der Zugehörigkeitsfunktionen und deren Einflussbreiten definieren.⁸⁶ Das oben dargestellte Projekt soll in den Dimensionen Projektmitarbeiterzahl, Projektkosten und Projektdauer untersucht werden. Die Einteilung soll jeweils in die Klassen „klein“, „mittel“, und „groß“ erfolgen.

Nachdem die einzelnen unscharfen Mengen festgelegt wurden, müssen die jeweiligen Zugehörigkeitsfunktionen definiert werden. Für dieses Beispiel werden lineare, dreiecksförmige Zugehörigkeitsfunktionen verwendet. Anschließend werden die Grenzen der einzelnen Mengen festgelegt und die Zugehörigkeitsfunktionen wie in Abbildung 4.6 und in Abbildung 4.7 dargestellt. Nun kann man die Daten, wie in den vorher genannten Abbildungen dargestellt, in die Diagramme eintragen und die Zugehörigkeitsgrade ablesen.⁸⁷ Für das gewählte Beispiel ergeben sich die in Tabelle 4.2 angeführten Zugehörigkeitsgrade. Dass die Zugehörigkeitsgrade wieder 1 ergibt, ist nicht zwingend notwendig, hat sich aber in der FC als praktisch erwiesen.⁸⁸

⁸⁵ Traeger, 1993, S. 91.

⁸⁶ Vgl. Traeger, 1993, S. 91ff.

⁸⁷ Vgl. Traeger, 1993, S. 92ff.

⁸⁸ Vgl. Traeger, 1993, S. 95.

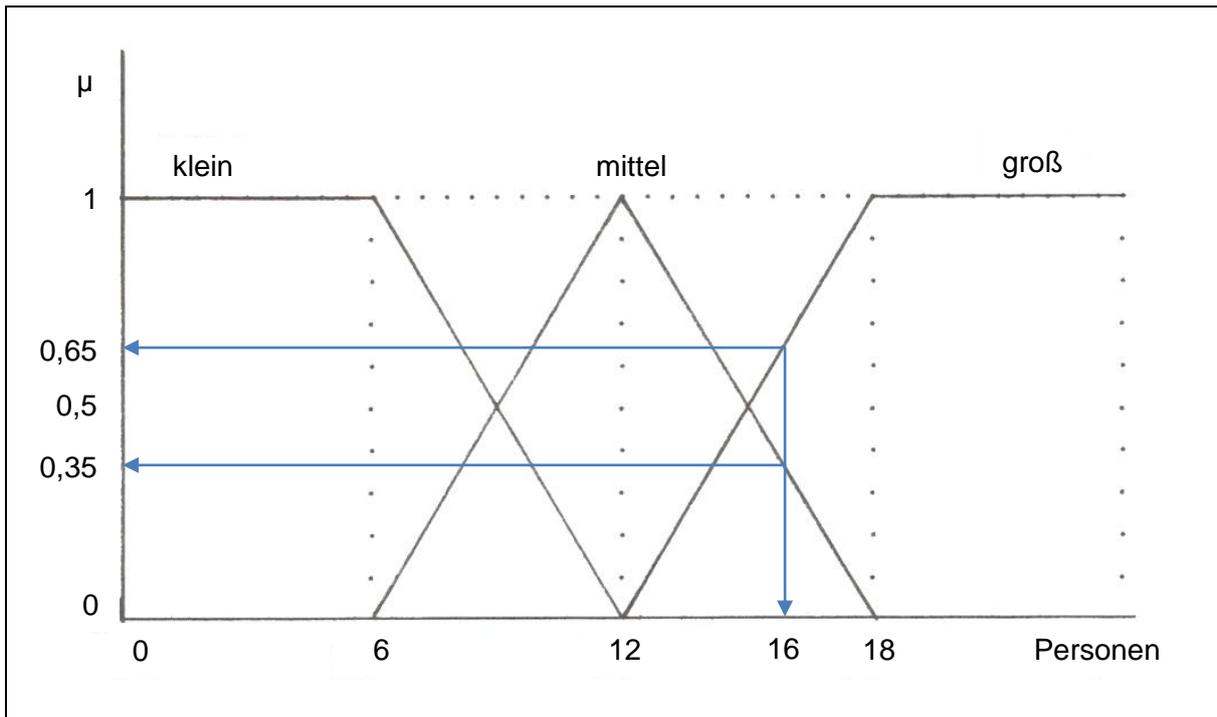


Abbildung 4.6 Fuzzifikation der Mitarbeiteranzahl⁸⁹

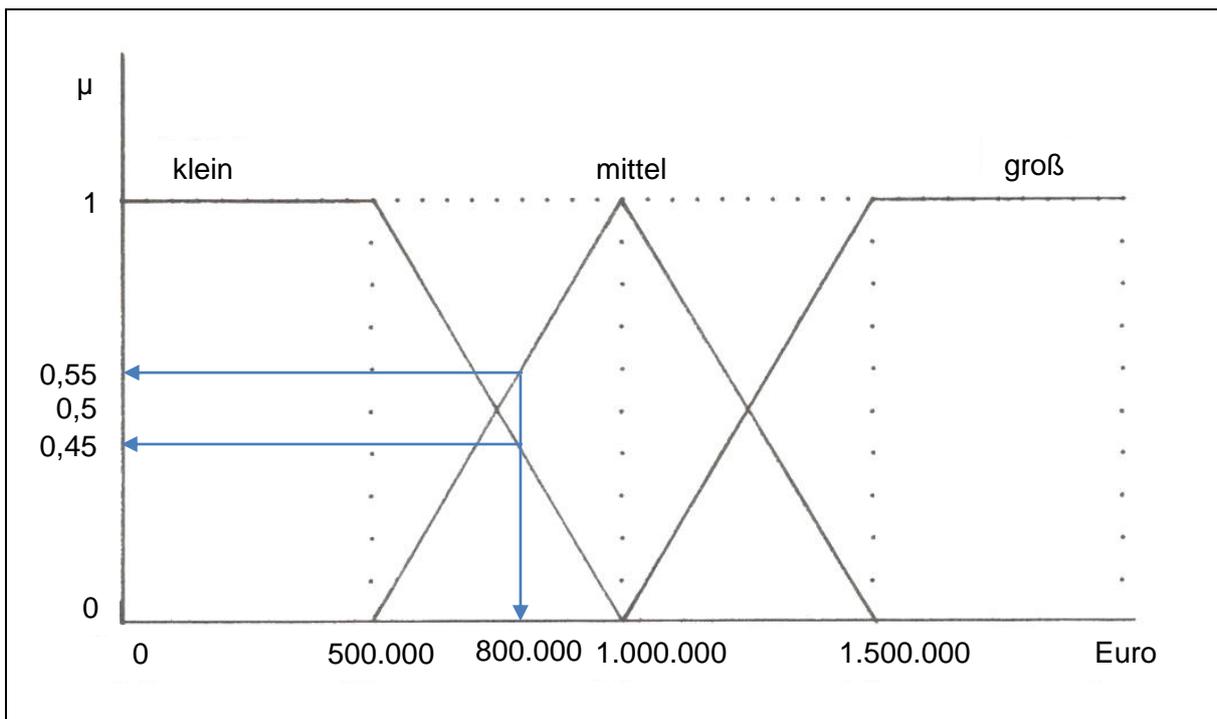


Abbildung 4.7 Fuzzifikation der geplanten Projektkosten⁹⁰

⁸⁹ In Anlehnung an Traeger, 1993, S. 93.

⁹⁰ In Anlehnung an Traeger, 1993, S. 93.

Tabelle 4.2 ermittelte Zugehörigkeitsgrade

	klein	mittel	groß
Mitarbeiteranzahl	$\mu_{kM} = 0$	$\mu_{mM} = 0,35$	$\mu_{gM} = 0,65$
Projektkosten	$\mu_{kP} = 0,45$	$\mu_{mP} = 0,55$	$\mu_{gP} = 0$

4.2.2 Inferenz von Fuzzy Sets

In dem im vorherigen Abschnitt besprochenen Beispiel gehört das untersuchte Projekt, im Bezug auf die Mitarbeiteranzahl zu 35% in die Klasse „mittel“ und zu 65% in die Klasse „groß“. Im Bezug auf die geplanten Projektkosten hingegen, gehört das Projekt zu 45% in die Klasse „klein“ und zu 55% in die Klasse „mittel“. Es soll nun eine Klassifizierung des gesamten Projekts erfolgen. Das geschieht im Prozess der Inferenz. Der Ablauf der Inferenz ist in Abbildung 4.8 schematisch dargestellt.

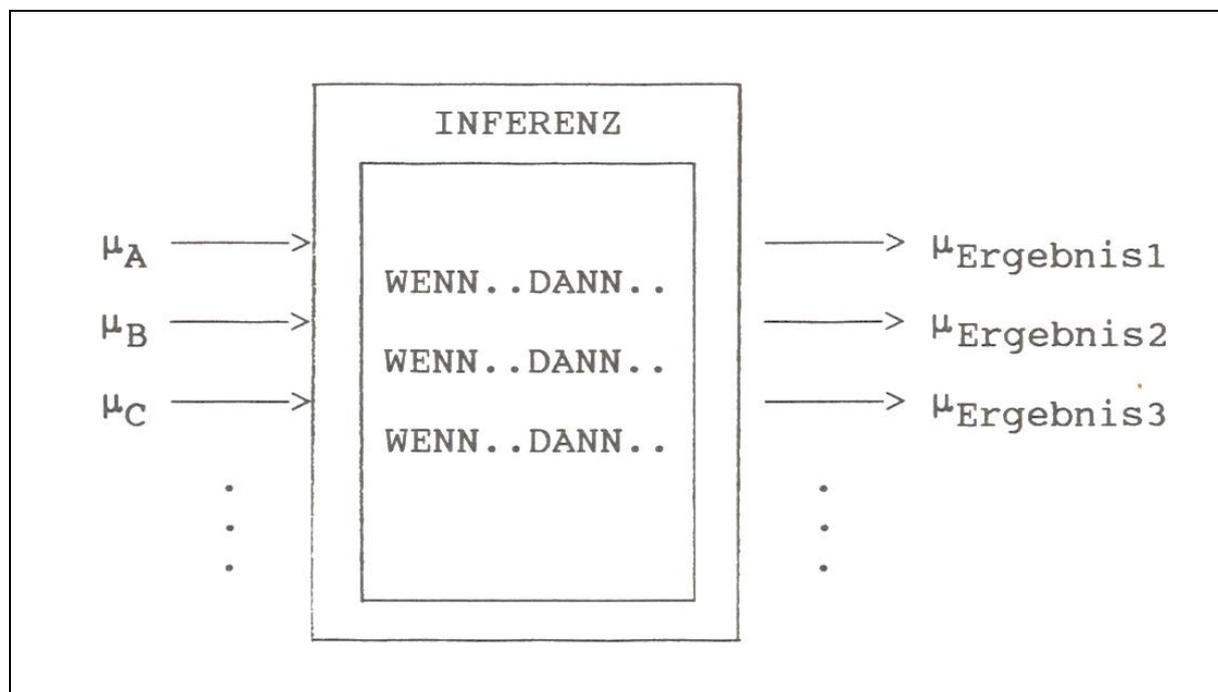


Abbildung 4.8 Ablauf der Inferenz⁹¹

Um das gewünschte Verhalten der FSM festzulegen, muss man im Zuge der Inferenz Entscheidungsmatrizen erstellen. Diese werden meist mit Hilfe von Expertenbewertungen erstellt.⁹² Daraus können die gewünschten Verarbeitungsregeln formuliert werden. Sie stellen die grundlegende Entscheidung für das anschließend verwendete Rechenverfahren dar. Für das gewählte Beispiel ist eine solche Matrix in Tabelle 4.3 dargestellt. Wie in dieser Tabelle dargestellt, müssen die Klassen des untersuchten Objekts nicht mit jenen der untersuchten

⁹¹ Traeger, 1993, S. 96.

⁹² Vgl. Dikmen, 2007, S. 497ff.

Merkmale übereinstimmen. Sprachlich können diese Zusammenhänge in „Wenn..., dann...“-Beziehungen ausgedrückt werden.⁹³ Diese können sich wie folgt anhören:

„WENN Größenklasse Mitarbeiteranzahl „klein“ UND Größenklasse Projektkosten „mittel“, DANN Größenklasse Projekt „klein-mittel“.usw.

Tabelle 4.3 Entscheidungsmatrix für die Größenklassen des gewählten Projekts⁹⁴

		Größenklasse Mitarbeiteranzahl		
		klein	mittel	groß
Größenklasse Projektkosten	klein	klein	klein-mittel	mittel
	mittel	klein-mittel	mittel	mittel-groß
	groß	mittel	mittel-groß	groß

Im nächsten Schritt müssen geeignete Operatoren gefunden werden, um die Verarbeitungsregeln operationalisieren zu können. Für die Wahl des geeigneten Operators gibt es jedoch kein Patentrezept. Der gewählte Operator muss das gegebene Problem zufriedenstellend lösen. Ist das nicht der Fall, muss er gegen einen anderen Operator ausgetauscht werden. Die einzelnen Verknüpfungen können mit den unten folgenden Operatoren realisiert werden. In den Gleichungen 4.1 bis 4.3 sind Operatoren für UND-Verknüpfungen angeführt. In den Gleichungen 4.4 bis 4.6 handelt es sich um Operatoren für ODER-Verknüpfungen.⁹⁵

$$\mu_{M1 \text{ und } M2} = \text{MIN}(\mu_{M1} ; \mu_{M2}) \tag{4.1}$$

$$\mu_{M1 \text{ und } M2} = \mu_{M1} * \mu_{M2} \tag{4.2}$$

$$\mu_{M1 \text{ und } M2} = \text{MAX}(0 ; [\mu_{M1} + \mu_{M2} - 1]) \tag{4.3}$$

Der Operator in Gleichung 4.1 wird Minimum-Operator oder MIN-Operator genannt. Den Operator in Gleichung 4.2 nennt man Produktoperator. Für den Operator in Gleichung 4.3 gibt es keinen festgelegten Namen. Von allen wird eine UND-Verknüpfung realisiert, allerdings weichen deren Ergebnisse voneinander ab. Wie schon oben erwähnt, muss man nun den Operator auswählen, welcher am besten für das vorliegende Problem geeignet ist.⁹⁶

$$\mu_{M1 \text{ oder } M2} = \text{MAX}(\mu_{M1} ; \mu_{M2}) \tag{4.4}$$

$$\mu_{M1 \text{ oder } M2} = \mu_{M1} + \mu_{M2} - \mu_{M1} * \mu_{M2} \tag{4.5}$$

$$\mu_{M1 \text{ oder } M2} = \text{MIN}(1 ; [\mu_{M1} + \mu_{M2}]) \tag{4.6}$$

Der Operator in Gleichung 4.4 wird Maximum-Operator oder MAX-Operator genannt. Für die Operatoren in den Gleichungen 4.5 und 4.6 gibt es keine definierten Bezeichnungen. Auch

⁹³ Vgl. Traeger, 1993, S. 96ff.

⁹⁴ In Anlehnung an Dikmen, 2007, S. 501.

⁹⁵ Vgl. Traeger, 1993, S. 36ff.

⁹⁶ Vgl. Traeger, 1993, S. 37.

hier muss der Operator gewählt werden, welcher das Problem zufriedenstellend löst.⁹⁷ In der Praxis hat sich der Minimum-Operator bei UND-Beziehungen und der Maximum-Operator bei ODER-Beziehungen als geeignet erwiesen.⁹⁸ Diese beiden Operatoren werden im Zuge dieser Arbeit näher beschrieben. Für weitere Operatoren, wie GAMMA-Operatoren oder kompensatorische Operatoren sei an dieser Stelle auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen.

Bei einem MIN-Operator wird jeweils das Minimum der betroffenen Zugehörigkeitsgrade als Wert für den resultierenden Zugehörigkeitsgrad gewählt. Das gewählte Beispiel verknüpft den Zugehörigkeitsgrad „mittel“ ($\mu_{mP} = 0,55$) der Projektkosten mit dem Zugehörigkeitsgrad „klein“ ($\mu_{kM} = 0$) der Mitarbeiteranzahl zu einem neuen Zugehörigkeitsgrad „klein-mittel“ (μ_{mk}) für die Projektgröße. Wendet man nun eine UND-Verknüpfung an, also: „Wenn Projektkosten „mittel“ UND Mitarbeiteranzahl „klein“ DANN Projektgröße „klein-mittel“.“, kann man dafür den MIN-Operator wählen.⁹⁹ Daher ergibt sich der Zugehörigkeitsgrad, wie in Gleichung 4.7 dargestellt, $\mu_{mk} = 0$.

$$\mu_{mk}(0,55 ; 0) = \text{MIN}(0,55 ; 0) = 0 \tag{4.7}$$

Wendet man für das gleiche Beispiel eine ODER-Verknüpfung an, also: „Wenn Projektkosten „mittel“ ODER Mitarbeiteranzahl „klein“ DANN Projektgröße „klein-mittel“.“, kann man dafür den MAX-Operator wählen. Nun ergibt sich der Zugehörigkeitsgrad, wie in Gleichung 4.8 dargestellt, $\mu_{mk} = 0,55$.

$$\mu_{mk}(0,55 ; 0) = \text{MAX}(0,55 ; 0) = 0,55 \tag{4.8}$$

Man kann an dieser Stelle schon erkennen, dass die Wahl der richtigen Verknüpfung, ebenso wie die Wahl des richtigen Operators für die Aussage, die man durch die FSM erhält, sehr wichtig ist. Wie schon oben erwähnt, gibt es aber keine allgemeingültigen Regeln für die Auswahl. Vielmehr muss von Fall zu Fall untersucht werden, welche Verknüpfung und welcher Operator sich am besten für diese Problemstellung eignen, bzw. welcher Operator für die gewählte Verknüpfung die gewünschte Aussage liefert.¹⁰⁰ In Tabelle 4.4 wurde der MIN-Operator und in Tabelle 4.5 wurde der MAX-Operator, auf das gewählte Beispiel angewendet.

Tabelle 4.4 Verarbeitung der Zugehörigkeitsgrade mit dem MIN-Operator

		Größenklasse Mitarbeiteranzahl		
		$\mu_{kM} = 0$	$\mu_{mM} = 0,35$	$\mu_{gM} = 0,65$
Größenklasse Projektkosten	$\mu_{kP} = 0,45$	$\mu_k = 0$	$\mu_{mk} = 0,35$	$\mu_m = 0,45$
	$\mu_{mP} = 0,55$	$\mu_{mk} = 0$	$\mu_m = 0,35$	$\mu_{mg} = 0,55$
	$\mu_{gP} = 0$	$\mu_m = 0$	$\mu_{mg} = 0$	$\mu_g = 0$

⁹⁷ Vgl. Traeger, 1993, S. 38.

⁹⁸ Vgl. Traeger, 1993, S. 98f.

⁹⁹ Vgl. Traeger, 1993, S. 97ff.

¹⁰⁰ Vgl. Traeger, 1993, S. 99ff.

Tabelle 4.5 Verarbeitung der Zugehörigkeitsgrade mit dem MAX –Operator

		Größenklasse Mitarbeiteranzahl		
		$\mu_{kM} = 0$	$\mu_{mM} = 0,35$	$\mu_{gM} = 0,65$
Größenklasse Projektkosten	$\mu_{kP} = 0,45$	$\mu_k = 0,45$	$\mu_{mk} = 0,45$	$\mu_m = 0,65$
	$\mu_{mP} = 0,55$	$\mu_{mk} = 0,55$	$\mu_m = 0,55$	$\mu_{mg} = 0,65$
	$\mu_{gP} = 0$	$\mu_m = 0$	$\mu_{mg} = 0,35$	$\mu_g = 0,65$

Wie man in Tabelle 4.4 und Tabelle 4.5 erkennen kann, können nun für einen Zugehörigkeitsgrad mehrere Werte vorhanden sein. Auch hier gibt es mehrere Regeln, die zu einem Ergebnis führen können. Die richtige Vorgehensweise muss auch hier für jede Problemstellung individuell ausgewählt werden. Dabei haben sich folgende drei Strategien als geeignet erwiesen:¹⁰¹

1. Maximum der Zugehörigkeitsgrade auswählen.
2. Arithmetischen Mittelwert der Zugehörigkeitsgrade bilden.
3. Zugehörigkeitsgrade mit dem in Gleichung 4.5 dargestellten Operator verknüpfen.

Tabelle 4.6 Anwendung der unterschiedlichen Verfahren auf den MIN-Operator

	μ_k	μ_{mk}	μ_m	μ_{mg}	μ_g
Verfahren 1	0	0,35	0,45	0,55	0
Verfahren 2	0	0,175	0,267	0,275	0
Verfahren 3	0	0,35	0,8	0,55	0

Tabelle 4.7 Anwendung der unterschiedlichen Verfahren auf den MAX-Operator

	μ_k	μ_{mk}	μ_m	μ_{mg}	μ_g
Verfahren 1	0,45	0,55	0,65	0,65	0,65
Verfahren 2	0,45	0,5	0,4	0,5	0,65
Verfahren 3	0,45	0,753	1,2	0,773	0,65

In Tabelle 4.6 und Tabelle 4.7 sieht man, dass die erhaltenen Zugehörigkeitsgrade stark von der gewählten Verknüpfung und den gewählten Auswahlverfahren abhängen. Für das weitere Vorgehen in diesem Kapitel werden die in Tabelle 4.6 unter Verwendung des Verfahrens 3 erhaltenen Werte, verwendet.

Im nächsten und letzten Schritt der Inferenz, müssen die Ergebnisteilflächen bestimmt werden. Auch hierzu gibt es wieder eine Vielzahl an möglichen Verfahren. In dieser Arbeit sollen die folgenden zwei Methoden beschrieben werden:¹⁰²

1. Die MAX/MIN-Methode
2. Die MAX/PROD-Methode

¹⁰¹ Vgl. Traeger, 1993, S. 101f.

¹⁰² Vgl. Traeger, 1993, S. 102ff.

Bei der MAX/MIN-Methode werden die Zugehörigkeitsfunktionen in der Höhe der einzelnen Zugehörigkeitsgrade abgeschnitten. Die so erhaltenen Flächen werden zu der Ergebnisfläche zusammengefasst. In Abbildung 4.9 ist die Ergebnisfläche für die Werte aus Tabelle 4.6 unter Verwendung der MAX/MIN-Methode dargestellt.¹⁰³

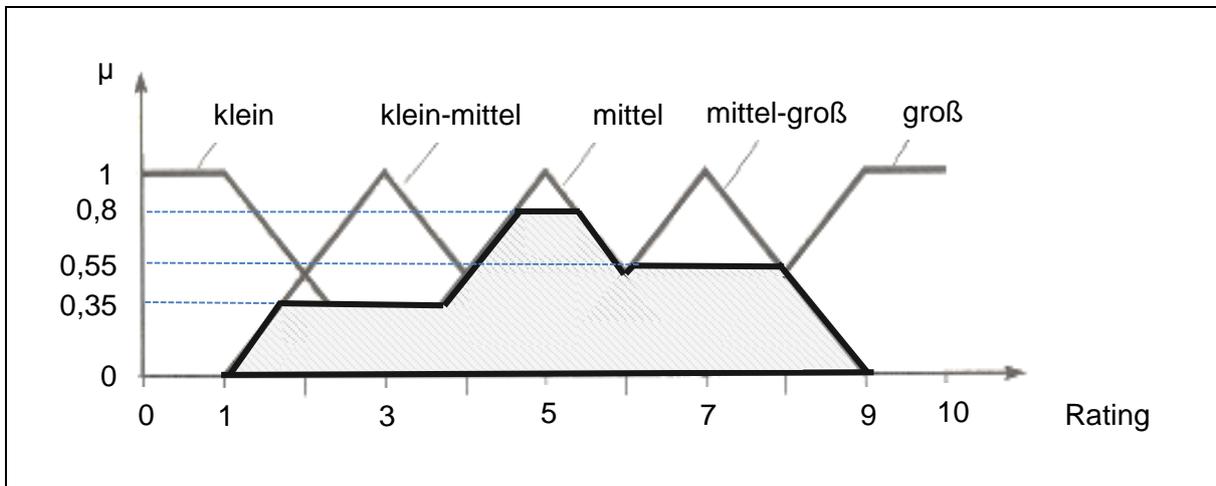


Abbildung 4.9 Ergebnisfläche bei Verwendung der MAX/MIN-Methode

Bei der MAX/PROD-Methode werden die Zugehörigkeitsfunktionen mit den jeweiligen Zugehörigkeitsgraden multipliziert und zu der Ergebnisfläche zusammengefasst. In Abbildung 4.10 ist die Ergebnisfläche für die Werte aus Tabelle 4.6 unter Verwendung der MAX/PROD-Methode dargestellt.¹⁰⁴

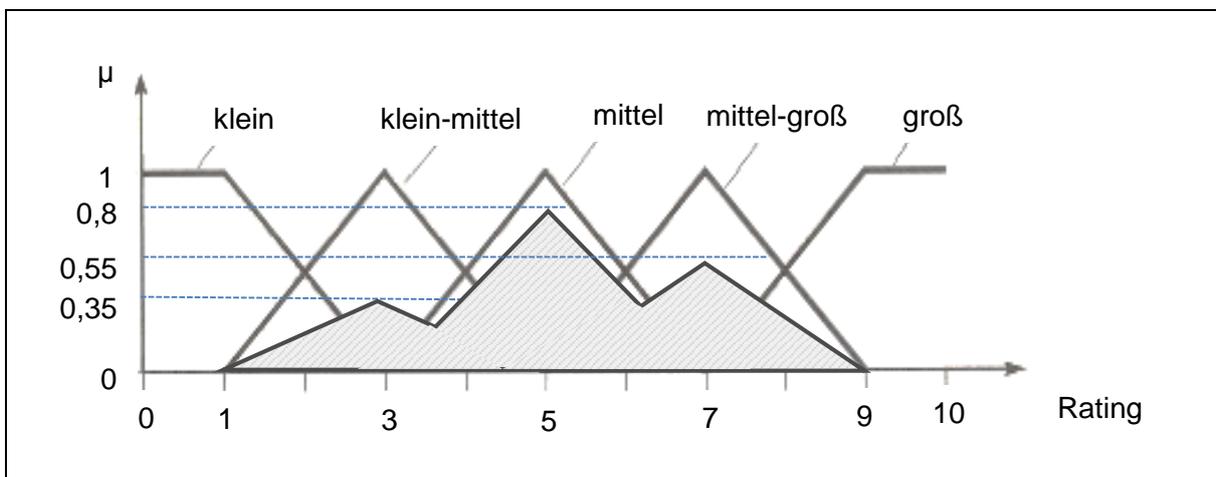


Abbildung 4.10 Ergebnisfläche bei Verwendung der MAX/PROD-Methode

4.2.3 Defuzzifikation unscharfer Werte

Im letzten Abschnitt wurden die Ergebnisflächen für das gewählte Beispiel ermittelt. Allein aus diesen Flächen ist aber keinerlei Aussage möglich. Der unscharfe Sachverhalt muss nun in einen konkreten Wert umgewandelt werden. Das geschieht während der Defuzzifikation, oder auch Defuzzifizierung. In Abbildung 4.11 ist der schematische Ablauf einer Defuzzifikation

¹⁰³ Vgl. Traeger, 1993, S. 102ff.

¹⁰⁴ Vgl. Traeger, 1993, S. 105ff.

dargestellt. Die in der Inferenz ermittelten Ergebnisflächen sollen nun über festgelegte Defuzzifikationsregeln in scharfe Werte umgewandelt werden.¹⁰⁵

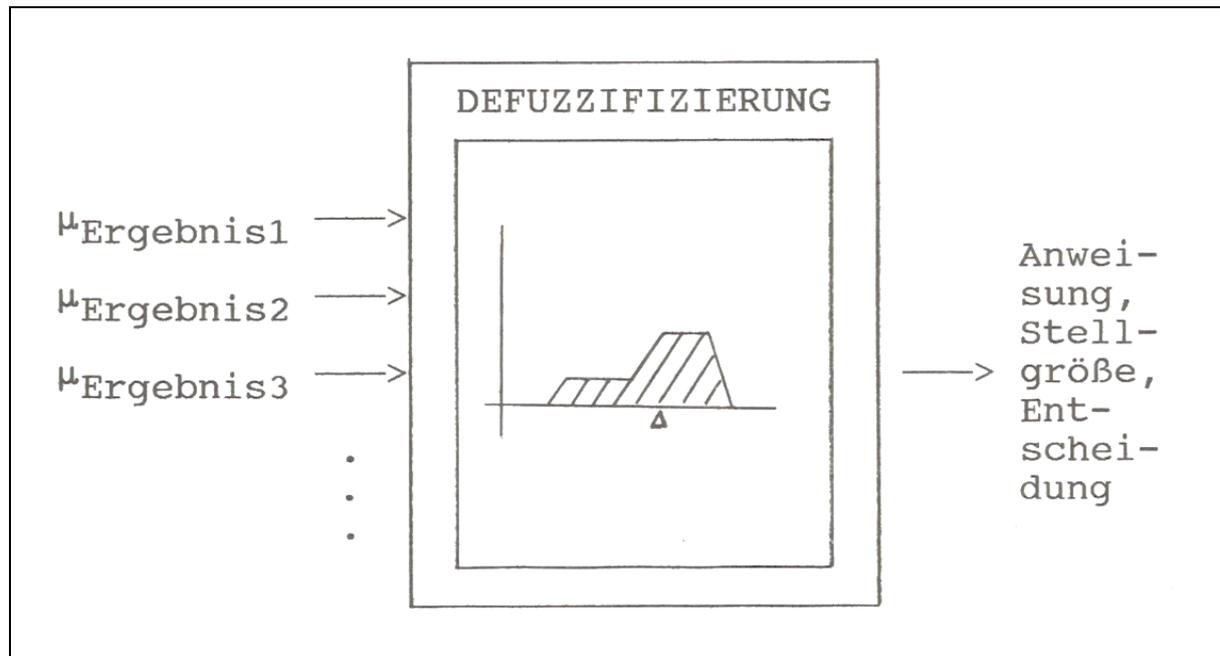


Abbildung 4.11 Ablauf der Defuzzifizierung¹⁰⁶

Auch für die Defuzzifikation existieren einige Methoden. Einerseits hängt die Auswahl der Methode von der gewünschten Aussage ab. Andererseits hat auch die zur Verfügung stehende Rechenleistung einen gewissen Einfluss auf die Wahl der Defuzzifikationsmethode. In dieser Arbeit wird nur die Methode der Schwerpunkt-Defuzzifikation behandelt. Dabei handelt es sich um eine einfache, leicht verständliche und mit überschaubarem Rechenaufwand realisierbare Methode für die Defuzzifikation. Für weitere Defuzzifikationsmethoden sei an dieser Stelle auf einschlägige Fachliteratur verwiesen.¹⁰⁷

Wie der Name schon vermuten lässt, wird der Schwerpunkt der Ergebnisfläche ermittelt und als Lösungswert ausgegeben. In Gleichung 4.9 ist die Berechnung der x-Koordinate des Schwerpunktes einer beliebigen Fläche angegeben. Der gesuchte Wert für die Bewertung liegt auf der Abszisse, da auf ihr die Einteilung für das untersuchte Merkmal angegeben ist. Daher ist es ausreichend, die x-Koordinate des Schwerpunkts zu berechnen.¹⁰⁸

$$x_s = \frac{\int x \cdot dA}{\int dA} \quad 4.9$$

Wendet man diese Formel auf das vorliegende Beispiel an, so erhält man für die x-Koordinate des Schwerpunkts den Wert 5,27. In Abbildung 4.12 ist die Lage des Schwerpunkts dargestellt. Dieser Wert kann nun als Ergebnis ausgegeben werden oder in eine linguistische Bewertung zurück „fuzzifiziert“ werden. Hierzu kann man wieder die Schritte aus Kapitel 4.2.1 anwenden. Die Klasse mit dem höchsten Zugehörigkeitsgrad kann als Ergebnis ausgegeben werden. Mit einem Zugehörigkeitsgrad von $\mu = 0,8$ wäre das in diesem Beispiel die Klasse „mittel“. Es

¹⁰⁵ Vgl. Traeger, 1993, S. 108f.

¹⁰⁶ Traeger, 1993, S. 108.

¹⁰⁷ Vgl. Traeger, 1993, S. 109ff.

¹⁰⁸ Vgl. Traeger, 1993, S. 112f.

handelt sich also um ein Projekt mittlerer Größe. Wie schon in den vorherigen Abschnitten beschrieben, ist dieses Ergebnis stark von den verwendeten Methoden und Verfahren abhängig. An dieser Stelle ist nun zu prüfen, ob das Ergebnis der FSM den Erwartungen entspricht oder ob es noch einmal überarbeitet werden muss.

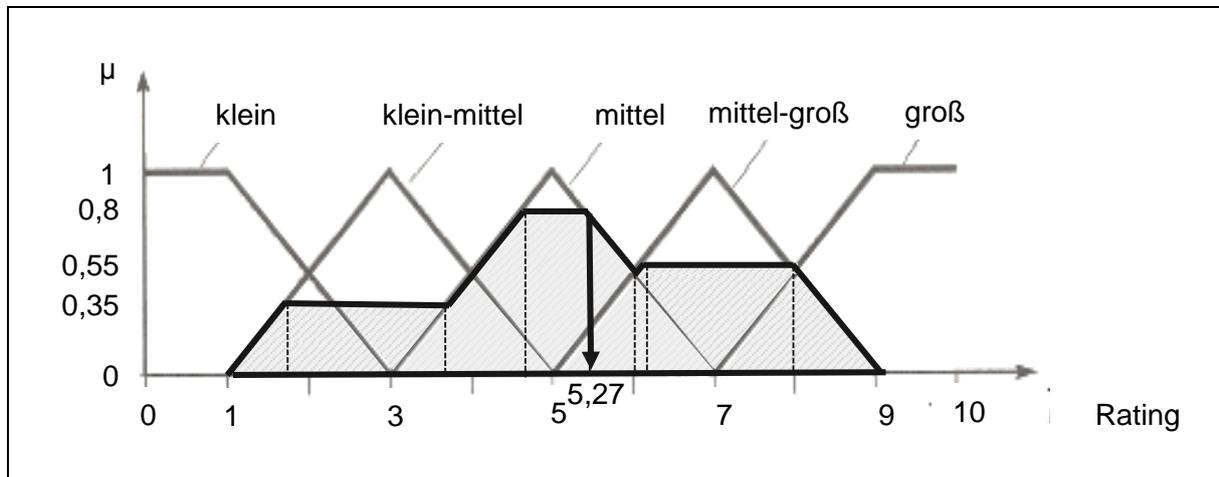


Abbildung 4.12 Darstellung des Schwerpunktes

5 Empirische Untersuchungen

Die Bewertung des Risikos eines Projekts ist eine sehr komplexe Angelegenheit, die ein hohes Maß an Erfahrung voraussetzt. Meistens ist eine quantitative Risikobewertung nicht möglich und man muss auf Schätzungen und Erfahrungswerte von Experten ausweichen. Die Vollständigkeit der identifizierten Risiken und die Qualität der Schätzwerte sind ausschlaggebend für eine objektive und adäquate Risikobewertung.¹⁰⁹ Das Ergebnis dieser Arbeit und die Brauchbarkeit der Ergebnisse der Risikobewertung im praktischen Einsatz hängen stark von der Qualität der empirischen Untersuchungen ab. Aus diesem Grund wurde diesem Kapitel besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

5.1 Experteninterviews in Industrie- & Technologie-Unternehmen

Risikobewertung ist bei der heutigen Wirtschaftslage oft entscheidend für den Erfolg oder Misserfolg von Projekten und letztlich auch für das Überleben der Unternehmen, die hinter den Projekten stehen. Mit Hilfe von Experteninterviews in diversen Industrie- und Technologieunternehmen soll herausgefunden werden, ob und wie diese Unternehmen die Risiken in ihren Projekten im Bereich der Forschung und Entwicklung identifizieren und bewerten. Die Interviews sollen versuchen, folgende Forschungsleitfragen zu beantworten.

- **Wie sieht der Ablauf bzw. der Prozess der Risikobewertung in den befragten Unternehmen aus?**
- **Welches Verfahren zur Risikobewertung wird von den Unternehmen eingesetzt?**
- **Ist ein Risikomanagement-System im Projektmanagement implementiert und wie ist es gestaltet?**
- **Wie wird auf identifizierte Risiken reagiert?**
- **Gibt es ein softwaregestütztes Risikobewertungstool und wie ist es gestaltet?**

Die Ergebnisse dieser Interviews sollen auch als Benchmark angesehen werden, an denen sich die weiteren Schritte der Risikoidentifikation und der Risikobewertung sowie die Gestaltung des softwarebasierten Risikobewertungs-Tools orientieren.

5.1.1 Vorgehensweise bei den Experteninterviews

Für die Interviews wurden Unternehmen ausgesucht, welche sich in Unternehmensgröße und der Branche, in der sie tätig sind, unterscheiden. Dies ist damit begründet, dass davon ausgegangen werden muss, dass Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen auf andere Merkmale im Zuge der Risikobewertung achten. Auch liegt die Vermutung nahe, dass sich mit zunehmender Größe der Unternehmen der Bedarf an Risikobewertung und Risikomanagement ändert und deren Abläufe zunehmend professioneller gestaltet sind. Um möglichst aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, ist daher eine differenzierte Gruppe von

¹⁰⁹ Vgl. Chapman, 1998, S. 333.

Interviewpartnern nötig. Eine Klassifizierung der befragten Unternehmen ist im Anhang auf Seite 108 dargestellt.

Der Leitfaden für die Interviews kann im Anhang auf Seite 93 eingesehen werden. Er teilt sich in zwei große Blöcke auf. Der erste Block umfasst die Abschnitte eins bis drei des Leitfadens und dient der Klassifikation des befragten Unternehmens, der im Unternehmen durchgeführten F&E und des dort vorherrschenden F&E-Projektmanagements. Dieser Block ist als Fragebogen gedacht, wurde von den Unternehmen schon im Vorfeld ausgefüllt und während der Interviews mit dem Befragten nur kurz durchgegangen, um mögliche Unklarheiten auszuräumen oder Missverständnisse zu vermeiden. Der zweite Block erstreckt sich über die Punkte vier bis sechs und dient zur Untersuchung des Risikomanagements im Unternehmen. Punkt vier bezieht sich dabei explizit auf die Risikobewertung im Bereich der F&E im Unternehmen und soll die vorher vorgestellten Forschungsleitfragen beantworten. Dafür wurden die folgenden fünf Unterpunkte definiert:

- Ablauf (Prozess) der Risikobewertung
- Eingesetztes Verfahren in der Risikobewertung
- Implementiertes Risikomanagement-System
- Reaktion auf identifizierte Risiken
- Eingesetztes Risikobewertungstool

Punkt fünf beinhaltet Fragen zur Erfolgsbewertung in der F&E. Dieser Punkt ist nur zu beantworten, falls im Unternehmen keine Risikobewertung von F&E Projekten vorgenommen wird und somit Punkt vier nicht beantwortet werden kann. Im letzten Punkt des Leitfadens haben die Befragten noch die Möglichkeit, ihrer Meinung nach für die Risikobewertung wichtige, aber durch den Fragebogen nicht abgedeckte Themengebiete anzuführen.

Alle Interviewpartner haben freiwillig an den Interviews teilgenommen. Als Gegenleistung für die Teilnahme an den Interviews wurde den teilnehmenden Unternehmen eine anonymisierte Auswertung der Interviews zur Verfügung gestellt. Die Interviews wurden als strukturierte leitfadengestützte Gespräche, die zum Teil aus offenen und zum Teil aus geschlossenen Fragestellungen bestanden, geführt. Gegenstand der Befragung waren, wie oben erwähnt, die Punkte vier bis sechs des Interviewleitfadens. Die Interviews wurden entweder am Firmenstandort des befragten Unternehmens oder über Telefon geführt, mit einem Sprachaufnahmegerät aufgenommen und im Anschluss transkribiert. Eine Befragung wurde aus zeitlichen Gründen zur Gänze als Fragebogen-Befragung durchgeführt. Für die Transkription wurde das während der Interviews Gesagte, bereits paraphrasiert, in die am Interviewleitfaden angelegten Auswertungsbögen übertragen.

5.1.2 Auswertung der Interviews

Die durchgeführten Experteninterviews wurden, wie in den Ergebnissen zu sehen ist, quantitativ ausgewertet. Es wurde bei den Auswertungen der offenen Fragen bewusst auf eine qualitative Inhaltsanalyse verzichtet, da diese meistens eine Reduktion des Informationsgehalts des Gesagten einschließt und somit durch das nötige Abstraktionsniveau zu Missverständnissen bei den eingesetzten Verfahren und Methoden führen kann. Auch die Anwendung der induktiven Kategorienbildung nach Mayring benötigt ein hohes Maß an Abstraktion und führt daher

absichtlich eine Vereinheitlichung und Vereinfachung des Materials herbei. In dieser Auswertung sollen aber vor allem die Unterschiede zwischen den einzelnen Abläufen der Risikobewertung in den befragten Unternehmen herausgearbeitet werden, was aber je nach gewähltem Abstraktionsgrad durch die induktive Kategorienbildung erschwert bzw. unmöglich gemacht wird.¹¹⁰

Die Interviews wurden bereits bei der Transkription paraphrasiert und auf die wesentlichen Informationen zusammengefasst. Für das Verständnis unnötige Füllwörter oder Füllsätze wurden schon während der Transkription vernachlässigt. Sprachliche Stilisierungen wurden, soweit es für die Untersuchung notwendig war, vereinheitlicht. Diese Schritte geschahen aber immer mit dem besonderen Augenmerk darauf, dass keine Informationen verloren dadurch gingen.

Die paraphrasierten Antworten der einzelnen Unternehmen auf die offenen und geschlossenen Fragen wurden in Tabellenspalten angeordnet, sodass Unterschiede oder Gemeinsamkeiten sofort festgestellt werden konnten. In diese Auswertungstabelle wurden alle Fragen ihrer Reihenfolge nach eingefügt. Ein kurzer Auszug aus der Auswertungstabelle ist in Tabelle 5.1 dargestellt. Aufgrund der mit den Teilnehmern vereinbarten Geheimhaltung ist die vollständige Auswertungstabelle dieser Arbeit nicht beigefügt. Im nächsten Schritt wurden die Häufigkeiten einzelner Antworten und die Unterschiede in den verwendeten Verfahren analysiert. Eine ausführliche Zusammenfassung befindet sich in Kapitel 5.1.3.

Tabelle 5.1 Auszug der Auswertungstabelle für die Experteninterviews

Frage	Unternehmen A	Unternehmen B	Unternehmen C
4.20 Welches Verfahren verwenden Sie um qualitative Kriterien zu bewerten?	FMEA für Komponenten und Baugruppen, Expertenbewertungen und Bewertungsmeetings für Design und Technik	Nutzwertanalyse, Fehlerbaumanalyse, Balanced Score Card, Umfeldanalyse SWOT-Analyse	FMEA, Expertenbewertung, Fehlerbaumanalyse erst, wenn die Fehler bereits aufgetreten sind, im Zuge eine 8D-Analyse
4.21 Bewerten Sie das Risiko, dass ein Projekt die geplante Projektdauer überschreitet?	JA	JA	JA
4.22 Welche Kriterien verwenden Sie zur Risikobewertung der Projektdauerüberschreitung und wie sieht die Bewertungsmethode aus?	Neuheitsgrad der Technologie, Möglichkeit etwaiger Iterationen	Anzahl der Managemententscheidungen, da sich diese verzögern können, je nach Größe des Stakeholderkreises	
4.23 Bewerten Sie das Risiko, dass ein Projekt die geplanten Projektkosten überschreitet?	JA	NEIN	NEIN, da stark an Projektdauer gebunden

¹¹⁰ Vgl. Mayring, 2010, S. 63ff.

5.1.3 Ergebnisse der Interviews

Alle befragten Unternehmen haben angegeben, Probleme mit der Zielerreichung ihrer Projekte in der Forschung und Entwicklung zu haben. Vor allem die Projektdauer wird in allen Unternehmen zu einem hohen Prozentsatz der Projekte überschritten. Sehr selten werden Projekte allerdings abgebrochen oder verfehlen die Projektziele komplett. Alle befragten Unternehmen analysieren und bewerten ihre Entwicklungsprojekte hinsichtlich des Projektrisikos. Bei der Risikobewertung gehen die Unternehmen sehr unterschiedlich vor. Es ist zu erkennen, dass der Standardisierungsgrad der Risikoanalyse und –bewertung mit der Größe des betrachteten Unternehmens verbunden ist. Größere Unternehmen haben dabei meistens stärker standardisierte Abläufe und Verfahren als kleinere Unternehmen in derselben oder einer verwandten Branche. Auch zwischen den Branchen konnte ein Unterschied festgestellt werden. Hierbei zeigten vor allem Unternehmen aus der Automobil-Zulieferindustrie einen Hang zu stark standardisierten Methoden. In den folgenden Abschnitten sollen nun die oben gestellten Untersuchungs-Leitfragen, anhand der während der Experteninterviews gesammelten Daten beantwortet werden.

5.1.3.1 Ablauf der Risikobewertung in den befragten Unternehmen

Die betrachteten Risiken während der Risikoanalyse unterscheiden sich sehr stark. Bei allen Unternehmen werden technische und wirtschaftliche Risiken gesondert betrachtet. Während nur ein Unternehmen keine Kennzahlen für das Risiko eines Projekts verwendet, werden von den anderen Unternehmen qualitativ oder quantitativ erfassbare Kennzahlen definiert und analysiert. Ein Unternehmen geht über den Horizont der technischen und wirtschaftlichen Bewertung hinaus und analysiert auch das vorhandene „Skill-Set“ im Unternehmen, also ob die richtigen Spezialisten in ausreichender Anzahl vorhanden sind.

Auch bei der Einteilung der Projekte in einzelne Risikoklassen werden von den Unternehmen unterschiedliche Strategien verfolgt. Nur ein Unternehmen differenziert die Forschungsprojekte nicht anhand des Risikos. In den anderen Unternehmen werden Risikoklassen definiert, in die die Projekte qualitativ oder quantitativ eingeteilt werden. Unternehmen A teilt die F&E-Projekte qualitativ in die Klassen Forschungsprojekt, Technologieprojekt und Produktentwicklungsprojekt ein. Anhand dieser Risikoklassen ist ein, auch bei den meisten anderen Unternehmen vorherrschendes Kriterium für die Einteilung ersichtlich: der Neuheitsgrad der untersuchten Technologie. Dieses Kriterium ist im Kapitel 5.2.2.1 Die Dimension der Innovation auf Seite 55 genauer erklärt.

Die Anzahl der Risikoklassen reicht in der Befragung von zwei bis fünf verschiedene Klassen. Sehr interessant ist die Situation bei Unternehmen E. Dort gab es bis vor Kurzem fünf Risikoklassen. Da das aber zu komplex war, wird zurzeit an der Definition von lediglich drei verschiedenen Klassen gearbeitet. Unternehmen B differenziert lediglich zwischen Kleinprojekten und Großprojekten, welche sie aufgrund der geplanten Projektdauer unterscheiden. Auch Unternehmen D hat zwei Klassen von Projekten, die aber formal nicht als solche gekennzeichnet sind. Der Unterschied liegt in der Vorstudie, welche bei riskanten Projekten durchgeführt wird. Im weiteren Projektverlauf werden die Projekte allerdings nicht mehr in unterschiedliche Klassen eingeteilt. Interessant ist auch die Einteilung und vor allem deren Konsequenzen bei Unternehmen C. Dort teilt man die Projekte in fünf verschiedene

Klassen, anhand des Neuheitsgrades der Technologie, des Budgets und der geplanten Mann-Monate ein. In Klasse 1 handelt es sich um eine bekannte und bereits gut erforschte Technologie, in Klasse 5 um eine komplette Neuentwicklung. Bei den Klassen 4 und 5 werden schon in der Planungsphase etwaige Iterationsschritte eingeplant. Sollte nun während des Projekts eine Iteration bei der Entwicklung von Nöten sein, kommt es nicht zu einer Überschreitung der Projektdauer.

Bei fünf der befragten Unternehmen ist der Projektleiter für die Risikobewertung verantwortlich. Dieser wird bei den meisten von einem Expertenteam oder einem Vorgesetzten unterstützt. Die Risikobewertung findet in den meisten Unternehmen laufend während des Projekts statt. Man kann in diesem Zusammenhang von Risikomonitoring sprechen. Bei allen Unternehmen ist die Risikobewertung ein Teil der „Go- oder No-Go“-Entscheidung. Für diese Entscheidungen werden meistens die Gates des Stage-Gate-Modells oder die Meilensteine des Projektstrukturplans als Entscheidungszeitpunkte herangezogen. Das Unternehmen C hat zum Beispiel im Projektmanagement elf Meilensteine definiert. An den Meilensteinen 3 (Ende der Vorstudie) und 6 (Beginn der Prototypenfertigung) ist eine „Stop or Go“-Entscheidung zu treffen, an der das Risiko gesondert bewertet und in diese Entscheidung eingebunden wird.

5.1.3.2 Eingesetzte Verfahren und Kennzahlen zur Risikobewertung

Bei den eingesetzten Verfahren zur Risikobewertung unterscheiden sich die Befragten Unternehmen weniger stark. Fünf Unternehmen verwenden FMEAs, Bewertungsmeetings sowie Expertenbewertungen für die Risikobewertung. Dabei werden FMEAs vor allem zur Bewertung von technischen oder konstruktiven Risiken eingesetzt. Nur Unternehmen B unterscheidet sich von den anderen und verwendet Nutzwertanalysen, Fehlerbaumanalysen, Balanced Scorecards, Umfeld- und SWOT- Analysen zur Risikobewertung. Vor allem die Umfeldanalyse ist eine interessante Erweiterung zu den genutzten Methoden, da die einzelnen Interessengruppen (sowohl intern als auch extern) einen großen Einfluss auf den Fortschritt und den Erfolg der Entwicklungsprojekte haben.

In den Risikobewertungsverfahren kommen bei allen Unternehmen qualitative Kennzahlen und Kriterien zum Einsatz. Eines dieser Kriterien ist der schon oben genannte Neuheitsgrad der Technologie. Weitere genutzte Kennzahlen sind Erfüllungsgrade, geschätzte Zahlenwerte (kommerziell und technisch) sowie qualitativ gefundene Eintrittswahrscheinlichkeiten. Bei Unternehmen F fließt auch die strategische Bedeutung des F&E-Vorhabens für den Geschäftsbereich und das gesamte Unternehmen mit ein. Wie aus den Interviews ersichtlich, spielen quantitative Kennzahlen vor allem eine Rolle, wenn das Projekt bereits fortgeschritten ist. Zu diesen Kennzahlen zählen Kosten, geplante Ausfälle oder Fehler, diverse Kennzahlen aus den FMEAs ... etc.

Ein interessanter Ansatz für die Bewertung des Risikos der Projektdauerüberschreitung wurde von Unternehmen B gewählt. Man analysiert und bewertet dort die Anzahl der nötigen Managemententscheidungen, da sich diese verzögern können, in Verbindung mit der Größe des Stakeholderkreises, der Einfluss auf diese Entscheidungen hat. Daraus kann eine Einschätzung über die Wahrscheinlichkeit der Projektdauerüberschreitung generiert werden. Ein wichtiger Punkt bezüglich der Bewertung des Risikos der Projektkostenüberschreitung kommt von Unternehmen E. Bei dem Interview wurde erwähnt, dass die internen Kosten meistens sehr exakt vorausgesagt werden können. Je mehr Kunden während eines Projekts

Mitsprache hatten, umso eher wurden die Projektkosten überschritten. Das kommt daher, dass sich die Kundenanforderungen oft während des Projektes änderten oder sich die Kunden erst im Laufe des Projekts Gedanken über den gewünschten Output machten.

5.1.3.3 Implementierte Risikomanagement-Systeme im Projektmanagement

Fünf der befragten Unternehmen haben ein Risikomanagementsystem im Projektmanagement implementiert. Vier von ihnen haben auch ein System zur Risikopriorisierung definiert. Dieses Priorisierungssystem wird genutzt, um kritische Risiken zu erkennen und gezielte Gegenmaßnahmen einleiten zu können. Mit diesem System können auch Risiken identifiziert werden, die keiner sofortigen Behandlung bedürfen oder die vollständig vernachlässigt werden können. Bei den Unternehmen, die eine FMEA zur Risikobewertung einsetzen, werden die RPZs als Kennzahl für die Risikopriorisierung verwendet. Unternehmen A hat ein Ampelsystem, bei dem die Risiken in die Klassen Rot, Gelb und Grün eingeteilt werden. Die Einteilung erfolgt bei diesem System auf den Anlassfall bezogen und ohne standardisierte Einteilungsvorschriften.

Von den Unternehmen, die ein Risikopriorisierungssystem nutzen, wenden drei unterschiedliche Maßnahmen, je nach Risikoprioritätsklasse, an. Dabei werden hohe Risiken sofort behandelt. Bei Risiken in den anderen Klassen wird individuell betrachtet, ob Minderungs- oder Vermeidungsmaßnahmen nötig sind. Somit können die zur Verfügung stehenden Ressourcen optimal auf die kritischen Risiken aufgeteilt und ein Maximum an Effizienz bei der Risikobekämpfung erreicht werden.

5.1.3.4 Reaktion auf identifizierte Risiken

In den meisten Unternehmen wird bei den Konsequenzen zwischen den einzelnen Risikoklassen unterschieden. Tritt ein Risiko auf, wird entschieden, ob eine Fortführung wirtschaftlich möglich und sinnvoll ist. Bei Unternehmen B kann die Projektleitung bei Auftreten eines Risikos eine Stufe auf der Hierarchieebene nach oben gehoben werden. Dadurch erhöht sich der Stellenwert des Projekts und man kann dem Risiko oder dessen Auswirkungen bestmöglich entgegenwirken. Viele Probleme können dadurch schon im Vorhinein verhindert werden.

In allen Firmen gibt es nach Abschluss oder nach Abbruch des Projekts sogenannte „Lessons-Learned“-Meetings. Dabei werden aufgetretene Probleme und wie man damit umgegangen ist, besprochen. Bei Unternehmen E gibt es auch regelmäßige konzernweite Meetings, um die gewonnenen Erfahrungen schnellstmöglich für alle Unternehmensbereiche zugänglich zu machen. Im Interview mit Unternehmen C wurde explizit darauf hingewiesen, dass man auf eine genaue Analyse des Fehlers oder Problems verzichtet und eher durch Ursachenanalyse neue Handlungsanweisungen abzuleiten versucht. Dadurch kann bei wiederholtem Auftreten dieses Problems besser reagiert werden. Das Ergebnis wenn der Fehler „mit der Lupe betrachtet“ wird, ist oft nur die genaue Kenntnis „Was“ und nicht „Warum“ etwas schief gegangen ist.

5.1.3.5 Eingesetzte Risikobewertungstools

Nur drei der befragten Unternehmen setzten ein softwarebasiertes Risikobewertungstool ein. Dabei handelt es sich vor allem um über längere Zeit gewachsene und weiterentwickelte Excel-Tabellen, die von Unternehmen selbst gestaltet wurden. Für FMEAs gibt es auch käufliche Tools (z. B. IQ-FMEA von APIS). Diese werden allerdings nur von einem Unternehmen eingesetzt, da diese kompatibel mit den eingesetzten Tools von Kunden oder Lieferanten sind und die Ergebnisse somit übertragen werden können.

5.1.3.6 Abschließende Bemerkungen

In allen Unternehmen sind Probleme mit der Risikobewertung aufgetreten. Vor allem die Identifizierung aller Risiken ist sehr wichtig für eine korrekte Risikobewertung und für die Gestaltung eines adäquaten Risikomanagementsystems. Das Auftreten nicht identifizierter Risiken oder Probleme führt häufig zum schwerwiegenden Folgen oder sogar zum Abbruch des Projekts, wohingegen für im Vorfeld identifizierte Risiken, meistens gute Notfall- und Vermeidungspläne existieren. Der Aufwand für eine solche Analyse darf dabei aber nicht unterschätzt werden. Ein weiterer wichtiger Punkt für die Qualität der Risikobewertung ist die Erfahrung der bewertenden Personen. Den Bewertungen der Risiken und der Abschätzung der Folgen liegt eine Lernkurve zugrunde. Daher sollte man sich, besonders an Anfang, nicht blind auf die Ergebnisse der Risikobewertung verlassen.

Führt man ein Risikobewertungssystem ein, stößt man anfänglich oft auf Akzeptanzprobleme seitens der Mitarbeiter und, aus Mangel an Verständnis, oft auch seitens des Managements. Eine leicht verständliche und transparente Kommunikation sowie ein hohes Maß an Verständnis der beteiligten Parteien ist wichtig, um die Risiken erfolgreich zu minimieren. Aber auch wenn alle diese Punkte erfüllt sind, sollte man sich nicht blind auf die Aussage von standardisierten Risikobewertungstools verlassen und deren Ergebnisse kritisch hinterfragen.

5.2 Projektrisiken im Entwicklungsbereich der ANDRITZ HYDRO

„Wenn du den Feind und dich selbst kennst, brauchst du den Ausgang von hundert Schlachten nicht zu fürchten“¹¹¹

Eine vollständige Identifikation der auftretenden Risiken während Forschungs- und Entwicklungsprojekten ist, wie schon oben erwähnt, für die Gestaltung eines funktionstüchtigen Risikobewertungssystems essenziell.¹¹² Auch in den Interviews wurde erwähnt, dass Risiken die nicht identifiziert werden, eine sehr große Gefahr für das jeweilige Projekt darstellen, da sie im Risikomanagement nicht berücksichtigt werden. Es existieren somit weder Maßnahmen, die diese Risiken mindern oder vermeiden sollen, noch existieren Notfallpläne, falls diese Risiken eintreten. In den Experteninterviews wurde schon erwähnt, dass Projekte meistens wegen nicht identifizierter Risiken scheitern.

¹¹¹ Sunzi, 2001, S. 35.

¹¹² Vgl. Chapman, 1998, S. 333.

5.2.1 Vorgehensweise bei der Identifikation von Projektrisiken

Die Identifikation der Projektrisiken soll in Expertenmeetings stattfinden. Die Meetings werden einerseits mit Projektleitern und andererseits mit Personen aus dem Controlling und Management in getrennten Meetings durchgeführt. Durch diese Vorgehensweise soll aufgrund der verschiedenen Sichtweisen der einzelnen Gruppen eine möglichst vollständige Identifikation der Risiken erreicht werden. Um etwaige negative Einflüsse auf die Meetings infolge unterschiedlicher hierarchischer Stellungen im Unternehmen zu vermeiden, werden getrennte Meetings mit den einzelnen Gruppen durchgeführt. Im Zuge dieser Meetings sollen folgende Forschungsleitfragen beantwortet werden:

- **Welche Risiken treten bei Entwicklungsprojekten der ANDRITZ HYDRO Weiz auf?**
- **Wie sollen Risikoklassen definiert sein, um die Entwicklungsprojekte der ANDRITZ HYDRO Weiz nach ihrem Risiko zu klassifizieren?**

Um eine strukturierte Vorgehensweise während des Meetings zu gewährleisten, wird die „nominal group technique (NGT)“ angewandt. Bei der NGT handelt es sich um eine Kreativitätstechnik, bei welcher die Teilnehmer Ideen oder - in diesem konkreten Fall - Risiken in Entwicklungsprojekten zuerst ohne Diskussion mit den anderen Teilnehmern auf ein Blatt Papier aufschreiben. Anschließend werden die so identifizierten Risiken reihum genannt und so aufgeschrieben, dass jeder Teilnehmer diese sehen kann. Anschließend wird in einer Gruppendiskussion evaluiert, ob alle Risiken genannt wurden oder ob noch welche hinzugefügt werden müssen.¹¹³

Durch die NGT wird ausgeschlossen, dass einzelne Teilnehmer die Risikoidentifikation dominieren und somit anderen die Möglichkeit nehmen, auch etwas beizutragen. Verglichen mit anderen Kreativtechniken wie z. B. Brainstorming ... etc., wird mit der NGT sowohl die Anzahl, als auch die Qualität der genannten Risiken gesteigert. Der Ablauf eines NGT-Meetings ist viel strukturierter und effizienter als der eines Brainstormings, da letzteres oft dazu neigt, chaotisch und unstrukturiert zu verlaufen.

Je mehr Teilnehmer an diesem Meeting teilnehmen, desto mehr Risiken können identifiziert werden.¹¹⁴ Die optimale Gruppengröße, um andere störende Einflüsse, z. B. Einschüchterung aufgrund der Gruppengröße ... etc., zu vermeiden, liegt allerdings unter zwölf Teilnehmern.¹¹⁵ Es hat sich aber gezeigt, dass die optimale Gruppengröße von Gruppenarbeiten, welche Interaktionen unter den Mitgliedern benötigen, circa bei sieben Personen liegt. Diese Anzahl liefert eine große Vielfalt an Vorschlägen und andererseits ein vertretbares Maß an sich überschneidenden Ideen.¹¹⁶

Die Risikoidentifikation mittels NGT-Meetings ist sehr strukturiert und effizient abgelaufen. Allen Teilnehmern hat diese Vorgehensweise für einen kreativen Prozess sehr gut gefallen und es wurden nur positive Feedbacks gegeben. Die oben gestellten Forschungsleitfragen konnten mit

¹¹³ Vgl. Chapman, 1998, S. 339.

¹¹⁴ Vgl. Chapman, 1998, S. 339.

¹¹⁵ Vgl. Chapman, 1998, S. 335.

¹¹⁶ Vgl. Delbecq, 1975, zit. nach Chapman, 1998, S. 338.

dieser Vorgehensweise sehr gut beantwortet werden. Im Zuge der Risikoidentifikation wurden die Einflussfaktoren der folgenden sechs Risikobereiche untersucht.

- Risiken zur Überschreitung der Projektdauer
- Risiken zur Nicht-Erreichung der Projektziele
- Risiken zur Überschreitung der Personalkosten
- Risiken zur Überschreitung der Infrastrukturkosten
- Risiken zur Überschreitung der Sach- und Materialkosten
- Risiken zur Überschreitung der Kosten für wissenschaftliche Partner und Leistungen Dritter

Für jeden Bereich wurde eine eigene NGT-Runde durchgeführt. Es wurden zwei Meetings, mit unterschiedlichen Teilnehmern durchgeführt. Im ersten Meeting waren Personen mit Management- oder Controllinghintergrund der ANDRITZ HYDRO Weiz anwesend. Das zweite Meeting wurde mit Projektleitern der ANDRITZ HYDRO Weiz durchgeführt. Diese Gruppen wurden bewusst voneinander getrennt, um negative Einflüsse, wie zum Beispiel die Scheu vor der Kritik an einem Vorgesetzten durch seinen Mitarbeiter, zu vermeiden. Es wurde ausdrücklich erwähnt, dass die Nennung eines Risikofaktors bei mehreren Risikobereichen möglich ist, um Faktoren zu identifizieren, welche mehrere Risikobereiche beeinflussen. Die Ergebnisse der beiden Meetings wurden anschließend in einer Risiko-Landkarte dargestellt, um die Risikofaktoren zu strukturieren und diejenigen Faktoren sichtbar zu machen, welche mehrere Bereiche beeinflussen.

5.2.2 Ergebnisse der Risikoidentifikation

Im Zuge der Meetings wurden knapp 80 Risikofaktoren identifiziert. Zwölf dieser Faktoren beeinflussen mehr als einen Risikobereich. Die vollständige Risiko-Landkarte ist auf der nächsten Seite in Abbildung 5.1 dargestellt. Eine Version im Format DIN A3 kann im Anhang auf Seite 108 eingesehen werden. Die identifizierten Risikofaktoren dienen nun als Grundlage für die Suche nach Bewertungskriterien für Projektrisiken in Kapitel 5.3.

Die letzte Frage bei den NGT-Meetings beschäftigte sich mit der Suche nach möglichen Risikokategorien für Entwicklungsprojekte und nach Einteilungskriterien in diese Kategorien. Dabei wurden neben projektspezifischen Risiken vor allem die Merkmale der Position im Technologielebenszyklus und dem Vorhandensein von Promotoren für ein Projekt (z. B. Unterstützung seitens des Managements) genannt. Diese Risikomerkmale sollen in den nachfolgenden Kapiteln 5.2.2.1 und 5.2.2.2 kurz dargestellt werden.

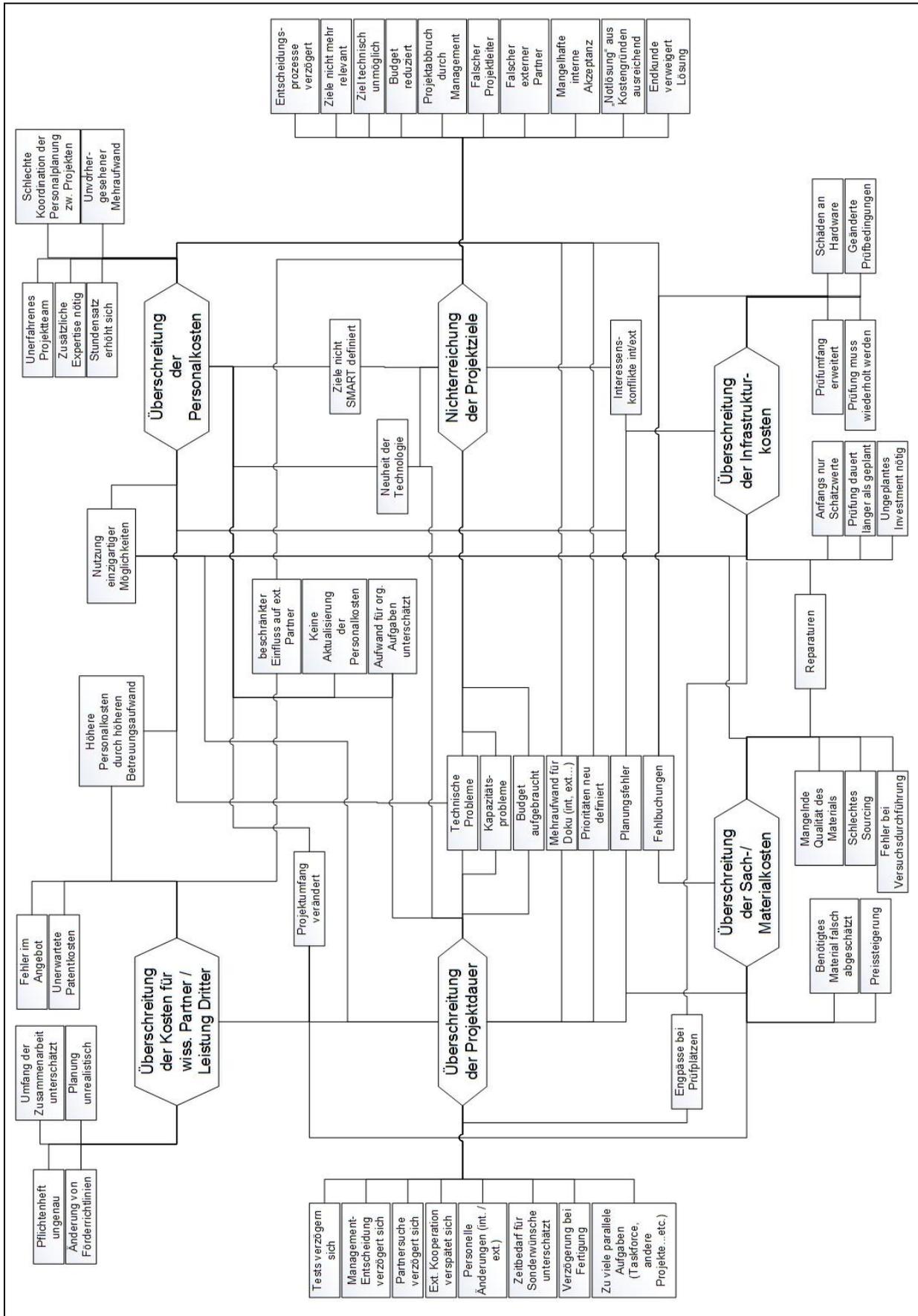


Abbildung 5.1 Risiko-Landkarte für Entwicklungsprojekte der ANDRITZ HYDRO Weiz

5.2.2.1 Die Dimension der Innovation

In der Fachliteratur wird oft von dem Neuheitsgrad oder dem Bekanntheitsgrad einer Innovation gesprochen. Doch wie kann man Innovation messen? Hauschildt und Gemünden (2011) versuchen eine Klassifikation unter anderem über die Beantwortung folgender Fragen zu erreichen.¹¹⁷

- **Was ist an dieser Innovation neu? (inhaltliche Dimension)**
- **Wie neu ist diese Innovation? (Intensitätsdimension)**
- **Für wen ist diese Innovation neu? (subjektive Dimension)**

Um diese Dimensionen analysieren zu können, muss man allerdings konkretere Fragestellungen finden. Little (1986) hat dafür die in Abbildung 5.2 dargestellten Indikatoren sowie die zugehörigen Ausprägungen definiert. Über diese Ausprägungen der Indikatoren kann man nun auf den Ausschöpfungsgrad des Wettbewerbspotenzials schließen. Dieser Zusammenhang wird Technologielebenszyklus (TLZ) genannt und weist meistens einen s-förmigen Verlauf auf. Für diese Arbeit sollen diese Indikatoren noch um die kumulierten Forschungskosten erweitert werden. Diese Kosten sind bei sehr neuen Technologien eher gering, steigen aber rapide an, um schließlich bei den reifen Basistechnologien gegen einen Maximalwert zu streben.¹¹⁸

Durch Beantwortung dieser Fragen kann der untersuchten Technologie eines Entwicklungsprojekts eine Position im TLZ zugeordnet werden. Je neuer dabei die Technologie ist, bzw. je weiter vorne sich die Technologie im TLZ befindet, umso höher ist auch das Risiko, dass dieses Projekt den geplanten Umfang überschreitet oder die technischen Projektziele nicht erreicht.¹¹⁹ Diese Tatsache wird im Risikobewertungstool ausgewertet und zur Risikobewertung herangezogen. Befindet sich die untersuchte Technologie zum Beispiel ganz vorne im TLZ (Schrittmachertechnologie), ist auch die Leistungsfähigkeit der Technologie noch größtenteils unbekannt. Projekte, die sich mit solchen Technologien beschäftigen, können zu kompletten Fehlschlägen werden, da weder klar ist, ob diese Technologie funktioniert noch ob die gewünschten Ergebnisse überhaupt erreicht werden können.

5.2.2.2 Das Promotorenmodell

Dieses Modell geht davon aus, dass ein gewisser Widerstand überwunden werden muss, damit eine Innovation ablaufen kann. Personen, welche eigene Energie aufbringen, um diese Hindernisse zu überwinden und bis zum Abschluss vorantreiben, werden Promotoren genannt. Diese Energie bringt der Promotor neben seinen täglichen Arbeitsaufgaben auf. Witte (1973) unterscheidet zwischen zwei Arten von Promotoren: dem Machtpromotor und dem Fachpromotor.¹²⁰

¹¹⁷ Vgl. Hauschildt, 2011, S. 24.

¹¹⁸ Vgl. Little, 1986, S. 52ff.

¹¹⁹ Vgl. Michel 1990, S. 67f.

¹²⁰ Vgl. Witte, 1973, S. 14ff.

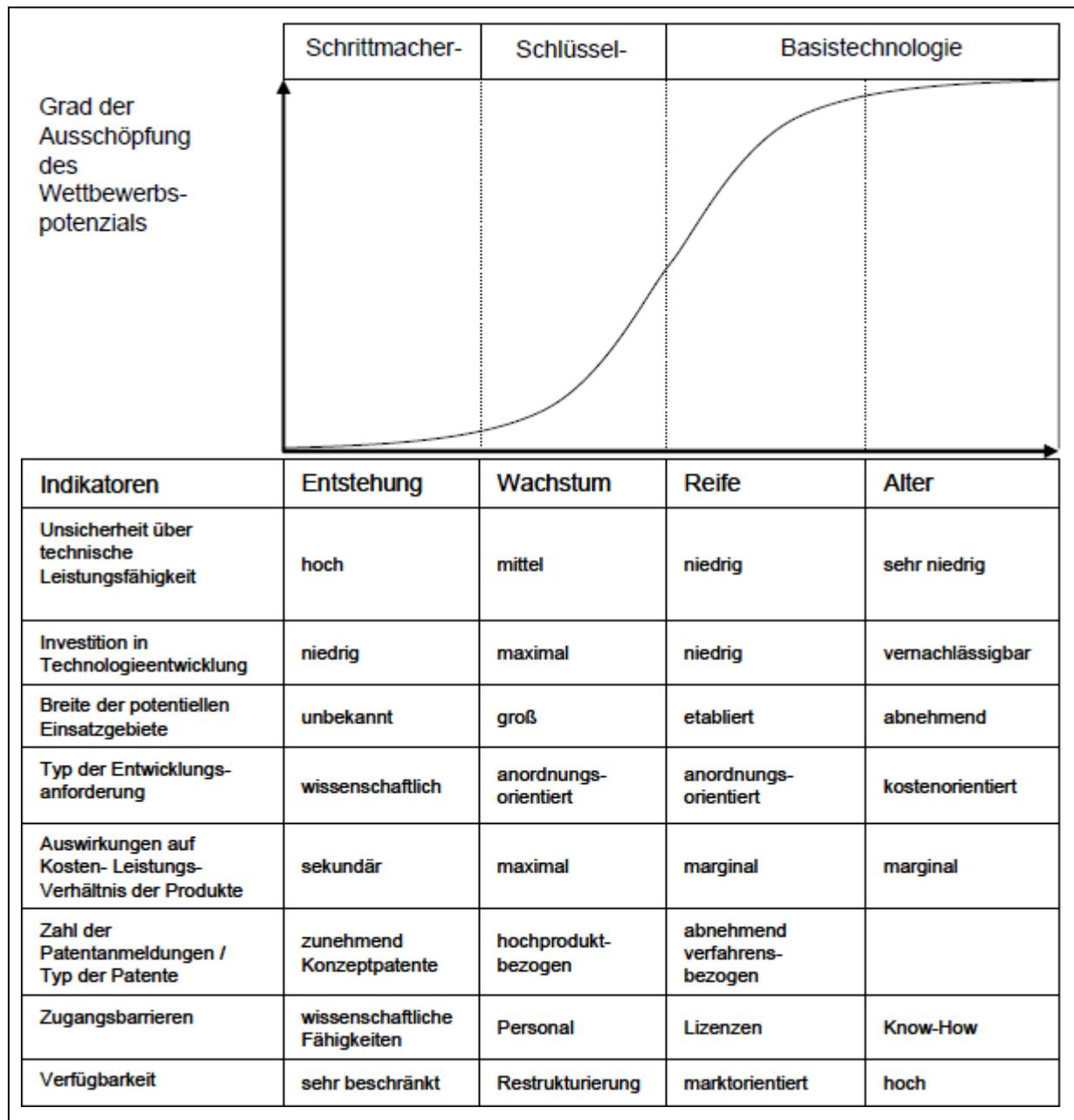


Abbildung 5.2 Indikatoren und deren Ausprägungen im Technologielebenszyklus¹²¹

Machtpromotoren nutzen ihre hierarchische Stellung im Unternehmen, um Innovationen zu ermöglichen und zu fördern. Sie nutzen ihre „Macht“ (z. B. die Möglichkeit Sanktionen zu verhängen). Diese Position kann somit nicht von jedem eingenommen werden, da sie ein gewisses Maß an Einfluss auf die Willensbildung anderer Personen voraussetzt. Je höher der Machtpromotor in der hierarchischen Struktur angesiedelt ist, umso mehr Personen können von ihm beeinflusst werden. Dieser Einfluss existiert aber nicht nur durch die Möglichkeit von Sanktionen oder Strafen, sondern schon alleine durch das vorhandene Potenzial aufgrund der hierarchischen Stellung.¹²²

Witte (1973) setzt voraus, dass sich ein Machtpromotor aktiv für die Fortführung der Innovation einsetzt. Er nutzt seinen Einfluss, um dem Vorhaben die nötigen Ressourcen zu verschaffen,

¹²¹ In Anlehnung an Michel, 1990, S. 67.

¹²² Vgl. Witte, 1973, S. 17.

Widerstände aus dem Weg zu räumen ... etc.¹²³ Im Sprachgebrauch stößt man auch oft auf die Aussage: "Das Management steht hinter dem Vorhaben", welches das Vorhandensein eines Machtpromotors anzeigt. Das hat zur Folge, dass gewisse Innovationen mit den nötigen Mitteln ausgestattet werden, wohingegen andere abgebrochen werden oder zumindest erheblichen Widerstand seitens des Managements erfahren.

Die zweite Art von Promotoren nach Witte (1973) ist der Fachpromotor. Diese Person stellt ihr Fachwissen zur Verfügung und fördert dadurch das Innovationsvorhaben. Bei diesen Promotoren ist die hierarchische Stellung im Unternehmen nicht mehr von Bedeutung. Ihr Einfluss auf das Vorhaben beschränkt sich jedoch auf das von ihnen gesammelte Wissen. Vereint eine Person sowohl das nötige fachspezifische Wissen und hat eine hierarchische Position inne, von der aus sie Einfluss auf andere ausüben kann, so spricht man von der Personalunion von Macht- und Fachpromotor.

Hauschildt (1993) identifiziert noch einen weiteren Promotor, den Prozesspromotor. Diese Person kennt sich mit den organisatorischen Abläufen im Unternehmen aus. Er nimmt koordinierende Aufgaben, sowohl zwischen Macht- und Fachpromotor, sowie auch mit dem Rest des Unternehmens ein. Diese Person hat weder hierarchischen Einfluss noch ein ausgebildetes Fachwissen. Sie ist aber aufgrund ihrer Fähigkeit, Abläufe zu planen und zu koordinieren, ein wichtiger Faktor für das Gelingen einer Innovation.¹²⁴

Für diese Arbeit und für das Erstellen von Risikoklassen ist vor allem das Konzept des Machtpromotors von großer Bedeutung. Stehen leitende Personen im Unternehmen hinter einem Entwicklungsprojekt, so ist die Wahrscheinlichkeit, dass es erfolgreich durchgeführt wird, erheblich höher. Dieser Einfluss bezieht sich vor allem auf das Erreichen der technischen oder inhaltlichen Ziele. Der Machtpromotor setzt sich also für die erfolgreiche Durchführung eines Projektes ein, auch wenn dafür mehr Ressourcen als geplant benötigt werden. Die Wahrscheinlichkeiten der Überschreitung der Projektkosten oder der Projektdauer sind daher nur mittelbar betroffen. Die hierarchische Position des Machtpromotors kann zwar dazu beitragen, dass Aufgaben vorgezogen oder mit höherer Priorität bearbeitet werden, ist aber keine Gewährleistung für die rechtzeitige und innerhalb der geplanten Kosten liegende Durchführung des Entwicklungsprojekts.

5.3 Bewertung der identifizierten Projektrisiken

Die Auswirkung der identifizierten Projektrisiken beeinflusst die Aussage des darauf basierenden Risikobewertungstools maßgeblich. Es ist wichtig, diesem Schritt große Aufmerksamkeit zu schenken, um eine adäquate und objektive Risikobewertung zu gewährleisten.¹²⁵ Dabei muss nicht nur auf die absoluten Werte der Eintrittswahrscheinlichkeit oder der Auswirkung, sondern auch auf eventuelle Interferenzen zwischen den einzelnen Risiken eingegangen werden.

¹²³ Vgl. Witte, 1973, S. 18.

¹²⁴ Vgl. Hauschildt, 1993, S. 122.

¹²⁵ Vgl. Chapman, 1998, S. 333.

5.3.1 Vorgehensweise bei der Entwicklung von Bewertungen für Projektrisiken

Die in Punkt 5.2.2 identifizierten Risiken sollen nun im Laufe einer Befragung nach ihrer Auswirkung auf das Projekt, nach der Möglichkeit der Früherkennung und nach möglichen Interferenzen unter den Risiken bewertet werden. Dafür sind zwei Befragungen unter der Verwendung der Delphi- und der Cross-Impact-Methode durchgeführt worden.

5.3.1.1 Die Delphi-Methode für Expertenbefragungen

In der Literatur findet man keine eindeutige Definition der Delphi-Methode für Befragungen. Delphi Befragungen werden einerseits als Werkzeug zur Steuerung der Kommunikation von Gruppen und andererseits als Werkzeug zur Erforschung eines bestimmten Sachverhalts angesehen. Vertreter der letzteren Definition sehen ihre Stärke vor allem in der Vorhersage von zukünftigen Ereignissen oder als geeignete Technik, um strukturierte Bewertungen bei Unsicherheit zu erhalten.¹²⁶

Auch für den Aufbau und den Ablauf von Delphi Befragungen gibt es keine eindeutigen Richtlinien.¹²⁷ Häder (2002) nennt folgende Kriterien als charakteristisch für eine klassische Delphi-Befragung.¹²⁸

- Verwendung eines formalisierten Fragebogens
- Befragung von Experten
- Anonymität der Einzelantworten
- Ermittlung einer statistischen Gruppenantwort
- Information der Teilnehmer über diese statistische Gruppenantwort (Feedback)
- (Mehrfache) Wiederholung der Befragung nach dem beschriebenen Vorgehen

Über die genaue Ausgestaltung hinsichtlich notwendiger Fragerunden, Art und Gestaltung des Feedbacks, Richtlinien zur Auswahl der Experten ... etc. gehen die Meinungen in der Literatur allerdings stark auseinander und es ist nicht möglich, einen einheitlichen Standard zu definieren. Einige Experten sehen in den fehlenden Standards aber auch eine Stärke der Delphi-Methode, da diese somit an die jeweilige Situation angepasst werden kann.¹²⁹ Häder (2002) versuchte, verschiedene Gestaltungsvarianten von Delphi-Befragungen zu kategorisieren. Er unterscheidet die in Tabelle 5.2 angeführten vier grundlegenden Typen von Delphi-Befragungen.

¹²⁶ Vgl. Häder, 2002, S. 19ff.

¹²⁷ Vgl. Häder, 2002, S. 22.

¹²⁸ Kriterien siehe Häder, 2002, S. 25.

¹²⁹ Vgl. Häder, 2002, S. 25ff.

Tabelle 5.2 Ideenaggregations-, Vorhersage- und Konsens-Delphi sowie Delphi zur Ermittlung von Expertenmeinungen im Vergleich¹³⁰

Ideenaggregation	Bestimmung eines Sachverhalts	Ermittlung von Expertenmeinungen	Konsens
Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
qualitativ angelegt	qualitatives und quantitatives Vorgehen	qualitatives und (vor allem) quantitatives Vorgehen	quantitatives Vorgehen
kaum Operationalisierung, teilweise nur Vorgabe des zu bearbeitenden Themenbereichs	der zu bearbeitende Sachverhalt ist möglichst exakt zu definieren		stark differenziertere Operationalisierung des zu bearbeitenden Themas
Nutzung offener Fragen	Offene und vor allem geschlossener [sic] Fragen kommen zum Einsatz		Ausschließlich standardisierte Bewertungen
Auswahl der Experten erfolgt aufgrund der Expertise	Hypothesen zur Auf- findung der Experten nötig, keine formalisierbaren Regeln	Totalerhebung oder bewusste Auswahl der Experten	Auswahl der Teilnehmer kann aufgrund eines bestimmbar Rahmens erfolgen
ausschließlich qualitative Runden	qualitative Runde kann zur Operationalisierung genutzt werden		Qualitative Runde kann entfallen, wird vom Monitoringteam übernommen
Ziel: Sammlung von Ideen zur Lösung eines Problems	Ziel: Verbesserung der Bestimmung eines Sachverhalts (Vorhersagen)	Ziel: Ermittlung und Qualifikation der Ansicht von Experten	Ziel: Hohes Maß an Übereinstimmung bei den Teilnehmern
Herausgehobene Rolle der Teilnehmer	Teilnehmer und Monitoring-Team haben in etwa gleich große Bedeutung		Herausgehobene Rolle des Monitoring-Teams

Die für die Bewertung der identifizierten Risiken eingesetzte Delphi-Befragung entspricht dem Typ 2, da sie versucht, einen unbekanntem Sachverhalt zu bestimmen. Mit ihr sollen Auswirkungen und Möglichkeiten zur Früherkennung der vorher identifizierten Risiken bestimmt werden. Eine qualitative Runde zur Operationalisierung entfällt, da dieser Schritt in Kapitel 5.2 mit der Risikoidentifikation durchgeführt wurde. Es wurde die gleiche Expertengruppe befragt, die auch bei der Identifikation der Risiken tätig war. Der eingesetzte Fragebogen kann im Anhang auf Seite eingesehen werden.

Es wurden zwei Befragungsreihen durchgeführt, um die Divergenz der gegebenen Antworten zu nivellieren und somit zu gemittelten Ergebnissen zu kommen. Nach der ersten Runde wurden jeweils die höchste und die niedrigste Bewertung gestrichen, um eine schnellere Konvergenz zu erreichen. Die Auswirkung dieser Maßnahme ist in Abbildung 5.3 dargestellt.

Um den Aufwand für die Befragung in einem vertretbaren Ausmaß zu halten, wurden bei der zweiten Runde lediglich jene Fragen erneut gestellt, welche in der ersten Runde eine Standardabweichung nach Streichung der Extremwerte von über $\sigma=1,5$ aufgewiesen haben. In

¹³⁰ Siehe Häder, 2002, S. 36.

der zweiten Befragungsrunde mussten von den in der Zusammenfassung angegebenen gemittelten Werten abweichende Antworten begründet werden, um die Gründe für die Abweichung besser verstehen zu können. Die Standardabweichung nach der zweiten Runde ist in Abbildung 5.4 dargestellt. Alle Fragen, welche nach der zweiten Befragungsrunde eine Standardabweichung größer $\sigma=1,5$ bei den Antworten aufwiesen, wurden in einem Meeting mit leitenden Angestellten diskutiert und bewertet. Die Ergebnisse der Delphi-Befragung können im Anhang auf Seite 110 eingesehen werden.

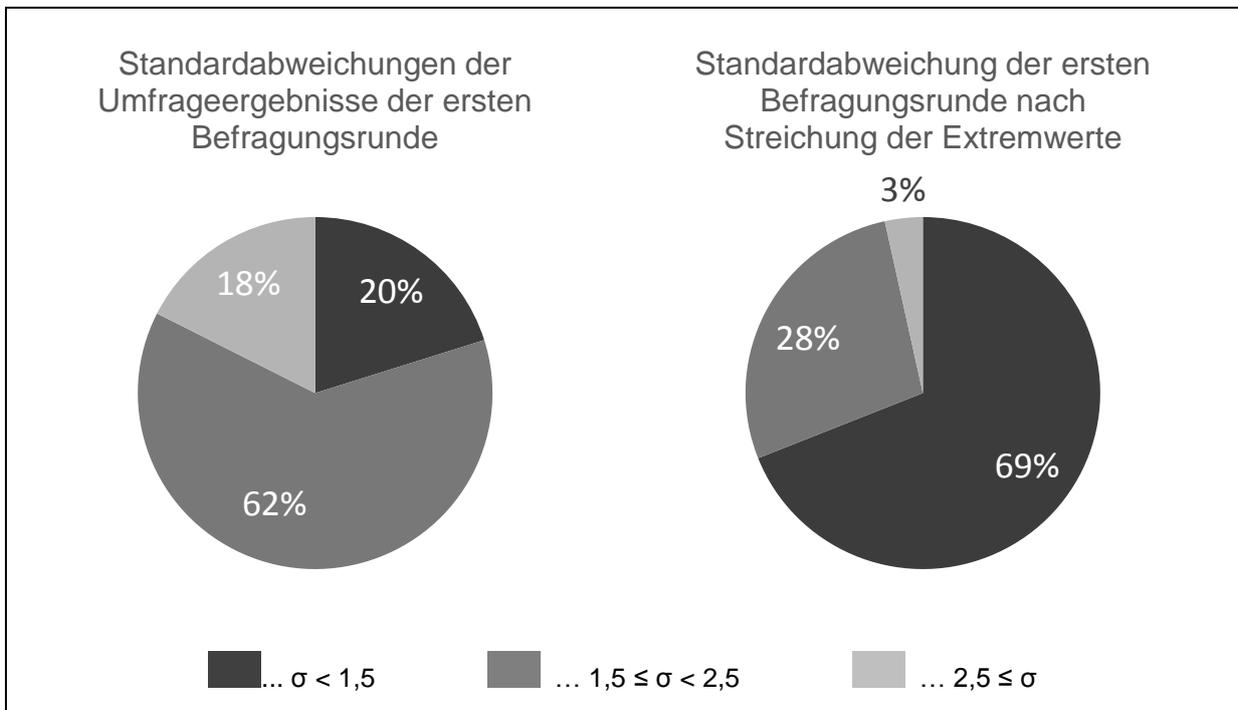


Abbildung 5.3 Auswirkung der Streichung der Extremwerte

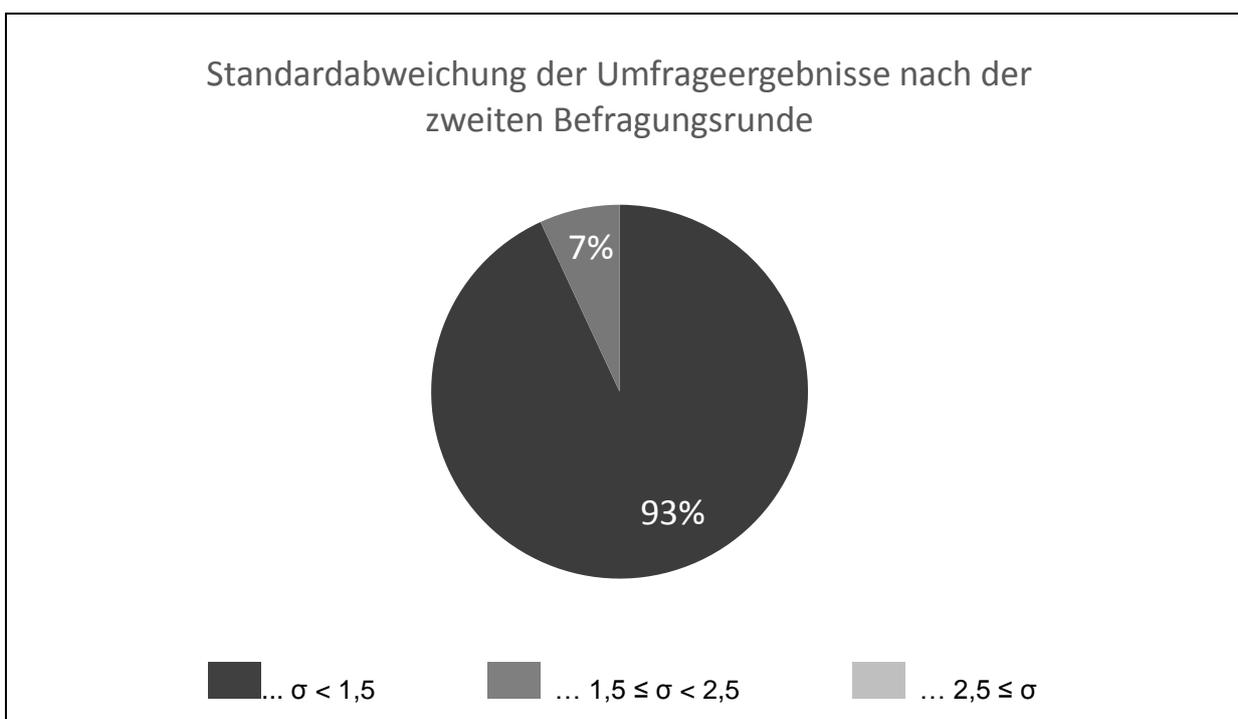


Abbildung 5.4 Standardabweichungen nach der zweiten Befragungsrunde

5.3.1.2 Die Cross-Impact-Analyse

Die zweite Befragung dient der Untersuchung von möglichen Interferenzen zwischen den einzelnen Risiken. Es soll geklärt werden, ob der Eintritt des Risikos A einen Einfluss auf die Eintrittswahrscheinlichkeit des noch nicht eingetretenen Risikos B hat. Dafür wurde eine Cross-Impact-Analyse durchgeführt. Dabei handelt es sich um eine, speziell für die Identifikation von Wechselwirkungen zwischen dem Eintritt und den Eintrittswahrscheinlichkeiten mehrerer Ereignisse entwickelte Methode. In einer Cross-Impact-Matrix, wird dabei die Auswirkung des Eintritts eines Ereignisses auf die Eintrittswahrscheinlichkeit eines anderen Ereignisses bewertet.¹³¹

Für die Analyse wird angenommen, dass das Risiko, welches in der Zeile angegeben ist, eingetreten ist. Anschließend wird bewertet, ob der Eintritt des Zeilenrisikos einen Einfluss auf die Eintrittswahrscheinlichkeit des Risikos in der Spalte hat. Dabei wird nicht nur die Höhe des Einflusses bewertet (0 ... kein signifikanter Einfluss, 1 ... leichter Einfluss, 2 ... mittlerer Einfluss, 3 ... starker Einfluss), sondern auch dessen Orientierung. Ein positives Vorzeichen heißt, dass die Wahrscheinlichkeit, dass das Risiko eintritt, zunimmt. Ein negatives Vorzeichen bedeutet, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit abnimmt. Damit ergibt sich die in Tabelle 5.4 angeführte Bewertungsskala für die Cross-Impact Analyse.

Tabelle 5.3 Auszug aus der Cross-Impact Matrix

	Tests verzögern sich	Managemententscheidung verzögert sich	Partnersuche verzögert sich	externe Kooperation verspätet sich	Personelle Änderungen (Kündigungen/Entlassungen intern und extern)	Zeitbedarf für Sonderwünsche unterschätzt	Verzögerungen in der Fertigung	Zu viele parallele Aufgaben für PL oder PM (Taskforce, andere Projekte...etc.)
Tests wurden verzögert		1	0	0	0	0	1	0
Managemententscheidung hat sich verzögert	3		2	1	0	0	1	0
Partnersuche hat sich verzögert	1	2		3	0	0	0	1
externe Kooperation hat sich verspätet	2	2	0		0	0	1	1
Personelle Änderungen wurden durchgeführt	3	2	0	0		0	2	3
Zeitbedarf für Sonderwünsche wurde unterschätzt	1	1	1	1	0		1	2
Verzögerungen in der Fertigung aufgetreten	3	3	2	1	0	0		1
Zu viele parallele Aufgaben für PL oder PM geplant	2	0	1	0	0	0	0	

¹³¹ Vgl. Alarcón, 1998, S. 145.

Tabelle 5.4 Bewertungsskala der Cross-Impact Analyse

+ 3	starke Erhöhung der Eintrittswahrscheinlichkeit
+ 2	mittlere Erhöhung der Eintrittswahrscheinlichkeit
+ 1	leichte Erhöhung der Eintrittswahrscheinlichkeit
0	kein signifikanter Einfluss auf die Eintrittswahrscheinlichkeit
- 1	leichte Senkung der Eintrittswahrscheinlichkeit
- 2	mittlere Senkung der Eintrittswahrscheinlichkeit
- 3	starke Senkung der Eintrittswahrscheinlichkeit

5.3.2 Ergebnisse der Bewertung der Projektrisiken

Mit Hilfe der in Kapitel 5.3.1 vorgestellten Verfahren wurden die in Kapitel 5.2.2 gefundenen Projektrisiken für F&E Projekte der Andritz Hydro GmbH analysiert und bewertet. In Tabelle 5.5 ist ein kleiner Teil der Ergebnisse der Entwicklung der Bewertungskriterien dargestellt, die mit Hilfe von Delphi-Befragungen gefunden wurden. Die vollständige Bewertung aller Risiken kann im Anhang auf Seite 110 eingesehen werden. Dabei wurde die Auswirkung der einzelnen Projektrisiken auf die jeweilige Risikodimension, die Möglichkeiten zur Früherkennung sowie die interne Beeinflussbarkeit des Eintritts bewertet.

Die Früherkennbarkeit und Beeinflussbarkeit wurden zu einer Kennzahl für die rechtzeitige Erkennung des Eintritts der jeweiligen Risikoposition verrechnet. Dabei würde die gefundene Bewertung der Früherkennbarkeit um einen halben Punkt verkleinert bzw. vergrößert, wenn das Eintreten des Risikos intern beeinflusst werden kann bzw. nicht beeinflusst werden kann. Ist die Beeinflussung unsicher, so wurde die Bewertung der Früherkennung nicht verändert. Die Bewertungen der Auswirkung und Erkennung werden direkt zur Risikobewertung in der RFMEA verwendet.

Nach der Bewertung der einzelnen Risiken wurden die Interferenzen unter den einzelnen Risikofaktoren analysiert. Dafür wurde die im vorherigen Abschnitt beschriebene Cross-Impact-Analyse durchgeführt. In mehreren Meetings wurde so eine 59 x 59 Matrix erstellt, in welcher der Einfluss des Eintretens eines Risikos auf die Eintrittswahrscheinlichkeit eines anderen Risikos bewertet wird. In Tabelle 5.3 ist ein Auszug aus der Cross-Impact-Matrix dargestellt. Die Bewertung der Interferenzen erfolgte mit der in Tabelle 5.4 dargestellten Skala. Die vollständige Matrix kann im Anhang auf Seite 113 eingesehen werden.

Tabelle 5.5 Auszug aus den Ergebnissen der Entwicklung der Bewertungskriterien

Risikobezeichnung	Risiko- dimension	Aus- wirkung	Früh- erkennung	int. beeinflussbar	Erkennung
Tests verzögern sich	Projektdauer	8	6	Unsicher	6
Management- scheidung verzögert sich	Projektdauer	8	5	Nein	5,5
Partnersuche verzögert sich	Projektdauer	4	4	Ja	3,5
externe Kooperation verspätet sich	Projektdauer	5	4	Nein	4,5
Personelle Änderungen (Kündigungen/Entlas- sungen intern und extern)	Projektdauer	5	10	Nein	10
Zeitbedarf für Sonderwünsche unterschätzt	Projektdauer	7	4	Ja	3,5
Verzögerungen in der Fertigung	Projektdauer	6	5	Unsicher	5
Zu viele parallele Aufgaben für PL oder PM (Taskforce, andere Projekte...etc.)	Projektdauer	9	6	Ja	5,5
Engpässe bei Prüfplätzen	Projektdauer	5	4	Unsicher	4
	Infrastruktur- kosten	3			
Benötigtes Material falsch abgeschätzt	Sach-/Material- kosten	6	4	Ja	3,5

5.4 Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Im letzten Abschnitt wurden die Bewertungen der Risiken bezüglich ihrer Auswirkungen und der Möglichkeit zur Früherkennung ihres Eintretens durchgeführt. Im letzten Schritt der Gestaltung des Risikobewertungstools muss nun eine Möglichkeit zur Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeiten der einzelnen Risiken gefunden werden. Dieser Schritt soll mit Hilfe von sieben geeigneten Fragenkomplexen umgesetzt werden, die sich wie folgt aufteilen:

- Fragen zum Projekt
- Fragen zu den geplanten Prüfungen/Versuchen
- Fragen zum Projektumfeld
- Fragen zum Projektleiter
- Fragen zum Projektteam
- Fragen zum Forschungsfeld
- Fragen zu externen Partnern

Bei der Erstellung dieser Komplexe wurden zuerst jeweils Fragen zu den einzelnen Risiken formuliert. Diese wurden mithilfe einer Umfrage eruiert und in einem anschließenden Meeting überarbeitet. Schon in der Umfrage wurde darauf hingewiesen, dass dieselbe Frage zur Bewertung verschiedener Risiken herangezogen werden kann. Im anschließenden Meeting wurden die Fragen zu den einzelnen Risiken evaluiert und nötigenfalls erweitert, umformuliert oder wieder gestrichen. Bei ähnlichen Fragestellungen wurde untersucht, ob diese in einer

einzigsten Frage zusammengefasst werden könnten, um den Umfang des Fragebogens zu reduzieren. Nachdem die Formulierung der Fragen abgeschlossen war, wurden die Fragen den geeigneten Fragenkomplexen zugeordnet. Die Fragenkomplexe können im Anhang auf Seite 114ff eingesehen werden.

In einem letzten Schritt wurden zugehörige Antwortmöglichkeiten entworfen und deren Auswirkung auf die Eintrittswahrscheinlichkeit der betroffenen Risiken festgelegt. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich diese Antwortmöglichkeiten einerseits gegenseitig ausschließen, um die Notwendigkeit von Mehrfachnennungen zu vermeiden und andererseits alle nötigen Antwortmöglichkeiten abdecken. Die Festlegung der Auswirkung, die Überführung dieser Auswirkungen in ein verrechenbares Format und die Verrechnung der einzelnen Werte werden im Zuge der Vorstellung des Risikobewertungstools erklärt.

6 Risikobewertung von Entwicklungsprojekten

Das Ziel dieser Arbeit ist es, ein funktionierendes Verfahren für die Bewertung des Projektrisikos von Entwicklungsprojekten der F&E-Abteilung der ANDRITZ HYDRO Weiz zu entwickeln. Die in den vorherigen Kapiteln dieser Arbeit vorgestellten Verfahren, Kennzahlen und Bewertungen sowie deren Integration in ein softwaregestütztes Risiko-Bewertungstool sollen in diesem Kapitel dargestellt werden.

6.1 Beschreibung des verwendeten Verfahrens

Im Kapitel 3 wurden Methoden und Verfahren zur Bewertung qualitativer Merkmale vorgestellt und deren Vor- und Nachteile erörtert. Dabei wurde die Projekt-Risiko FMEA (RFMEA) als das am besten geeignete Verfahren für die vorliegende Problemstellung identifiziert. Die RFMEA soll um die in Kapitel 4 beschriebenen Fuzzy Set Methoden erweitert werden, um einerseits quantitative Größen in diese Bewertung zu integrieren und andererseits die Verrechnung von quantitativen und qualitativen Merkmalen zu erlauben.

Als Grundlage für die zu bewertenden Merkmale eines F&E-Projekts sollen die in Kapitel 5 identifizierten Risiken herangezogen werden. Die Auswirkung und Früherkennbarkeit dieser Risiken sind bereits in Kapitel 5.3 bewertet worden. Diese Bewertungen können ohne weitere Veränderung in die RFMEA übernommen werden. Die Fragen zur Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit können im Anhang auf Seite 114 eingesehen werden. Diese Fragen haben nominal oder ordinal skalierte Antwortmöglichkeiten. Die Verrechnung dieser Antworten erfolgt mittels Wenn/Dann-Beziehungen.

In Tabelle 6.1 ist jeweils ein Beispiel für die Verrechnung bei nominalen und ordinalen Antwortskalen dargestellt. Dieser Vorgang wird in dem später vorgestellten VBA Makro mit dem Modul „val_calc“ durchgeführt. Nachdem alle Fragen verrechnet wurden, erhält man einen 96-zeiligen Vektor. Jede Zeile stellt dabei die bewertete Antwort auf die Fragen zur Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit dar. Um dem Verfahren der RFMEA zu entsprechen, können sich die Bewertungen der Antworten lediglich zwischen eins und zehn erstrecken. Dieser Vektor wird nun zur Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeiten in Modul „re_calc“ weiter verarbeitet.

Der erste Schritt zur Berechnung der Bewertungen der Eintrittswahrscheinlichkeit ist die Klassifizierung des Projekts mittels Fuzzy Logic. Dazu werden die geplanten Gesamtprojektkosten, die geplante Projektdauer und die Anzahl der Projektmitarbeiter eingelesen und auf der Basis eines linearen Bewertungssystems in Zahlenwerte umgewandelt. Dieses Vorgehen soll hier beispielhaft für die Projektkosten dargestellt werden. Eine grafische Darstellung ist in Abbildung 6.1 zu finden. Die Operationalisierung dieses Bewertungssystems in VBA ist in Abbildung 6.2 angeführt. Die erste Wenn/Dann-Beziehung stellt die linke Randbedingung dar. Dafür werden alle Projekte mit Projektkosten kleiner oder gleich € 10.000 mit eins bewertet. Die zweite Wenn/Dann-Beziehung berechnet eine Bewertung zwischen eins und zehn, wenn die Projektkosten zwischen € 10.000 und € 500.000

liegen. Die letzte Beziehung beschreibt die rechte Randbedingung, wonach Projekte mit Projektkosten von mehr als € 500.000 mit der Bewertung zehn versehen werden.

Tabelle 6.1 Verrechnung der Antworten mit Wenn/Dann-Beziehungen

<p>Nominale Antwortskala</p> <p>Frage: Ist das Projekt gefördert?</p> <p>Antwortmöglichkeiten: Ja/Nein</p>	<pre>'Umrechnung Frage 1 counter = 1 If rating(counter) = "Ja" Then values(counter) = 10 End If If rating(counter) = "Nein" Then values(counter) = 1 End If</pre>
<p>Ordinale Antwortskala</p> <p>Frage: Wie beurteilen Sie die Abschätzbarkeit der Versuchsdauern?</p> <p>Antwortmöglichkeiten: Sehr Gut / Gut / Mittel / Schlecht / Sehr Schlecht</p>	<pre>'Umrechnung Frage 18 counter = 18 If rating(counter) = "Sehr Gut" Then values(counter) = 1 End If If rating(counter) = "Gut" Then values(counter) = 3 End If If rating(counter) = "Mittel" Then values(counter) = 5 End If If rating(counter) = "Schlecht" Then values(counter) = 8 End If If rating(counter) = "Sehr Schlecht" Then values(counter) = 10 End If</pre>

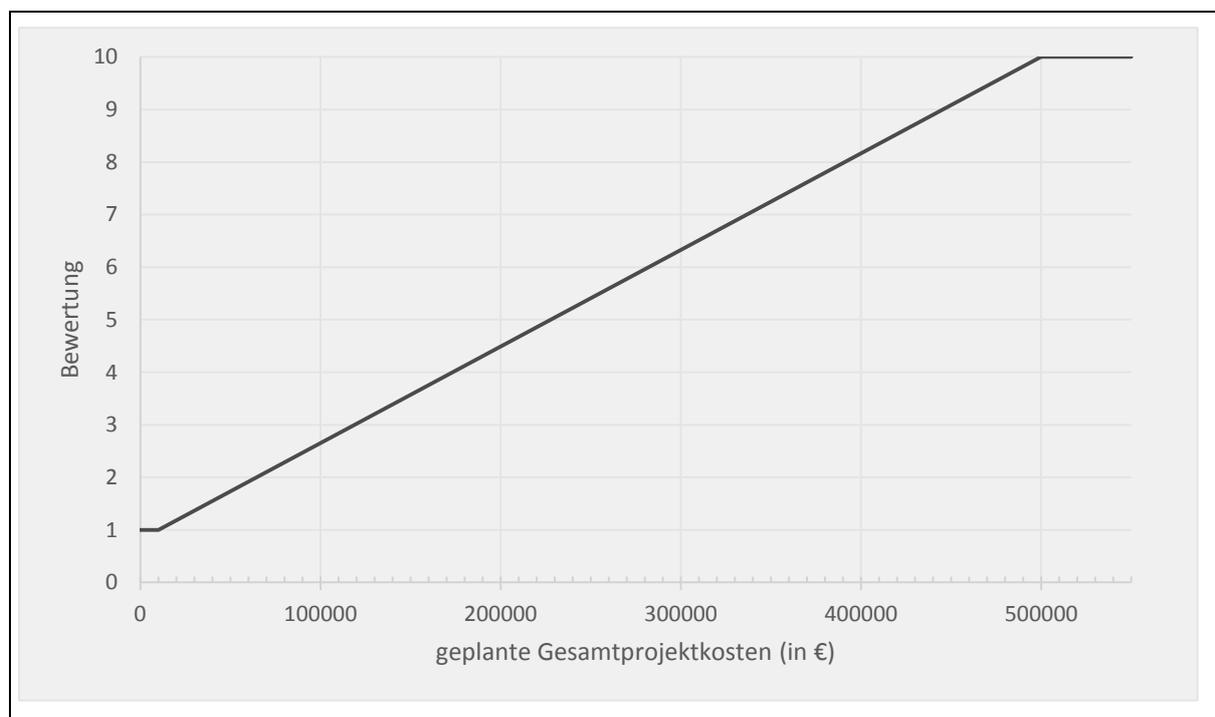


Abbildung 6.1 Lineares Bewertungssystem zur Bewertung der geplanten Gesamtprojektkosten

```
If pValues(1) <= 10000 Then
    pData(1) = 1
End If

If pValues(1) > 10000 And pValues(1) < 500000 Then
    pData(1) = 1 + (pValues(1) - 10000) / 54444
End If

If pValues(1) >= 500000 Then
    pData(1) = 10
End If
```

Abbildung 6.2 Operationalisierung eines linearen Bewertungssystems in VBA

Die Bewertung der Projektdauer und der Projektkosten wird anschließend, wie in Abschnitt 4.2.1 beschrieben, in zwei unabhängige unscharfe Mengen mit jeweils fünf Klassen verrechnet. Die Inferenz der so entstandenen Zugehörigkeitsfunktionen wird mit Gleichung 4.2 und der in Abbildung 4.9 dargestellten Max/Min-Methode durchgeführt. Für die weitere Verarbeitung erhält man nun einerseits die Zugehörigkeitsfunktionen für den Einsatz in weiteren Fuzzy Set Methoden und andererseits über die in Abschnitt 4.2.3 vorgestellte Schwerpunkt-Methode einen scharfen Wert zur direkten Verrechnung. Der genaue Ablauf sowie die Umsetzung in VBA wird in Kapitel 6.4 genauer beschrieben.

Bevor mit der Berechnung der Bewertungen angefangen werden kann, ist noch die Position der Technologie im TLZ zu bestimmen. Das geschieht im Modul „TLZ_calc“ mithilfe eines gewichteten Durchschnitts. Dabei werden den einzelnen Fragen Gewichtungen in Hinsicht auf deren Bedeutung zur Bestimmung der Position im TLZ zugeordnet. Die Fragen und Gewichtungen zur Bestimmung der Position im TLZ sind in Tabelle 6.2 angeführt. Auf Basis der Gleichung 6.1 wird der gewichtete Durchschnitt dieser Bewertung berechnet. Dieser Wert wird nun in eine unscharfe Menge mit drei Klassen verrechnet. Diese Klassen entsprechen den Einteilungen im TLZ (Schrittmacher-, Schlüssel- und Basis-Technologie). Auch hier erhält man für die weitere Verarbeitung sowohl Zugehörigkeitsgrade zu den einzelnen Klassen als auch einen scharfen Wert, der mithilfe der Schwerpunktmethod berechnet wird.

$$TLZ_{Wert} = \frac{\sum \text{Bewertung} * \text{Gewichtung}}{\sum \text{Gewichtung}} \quad 6.1$$

Die Berechnung der Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit erfolgt nun entweder über die Berechnung von Durchschnittswerten der zugehörigen Bewertungen oder über die Verrechnung mit FSM. Der daraus gewonnene Vektor mit den endgültigen Bewertungen der Eintrittswahrscheinlichkeit wird in die RFMEA übernommen und mit den anderen Kennzahlen weiter verarbeitet. Das Formblatt für die hier verwendete RFMEA ist im Anhang auf Seite 117 dargestellt.

Tabelle 6.2 Fragen und Gewichtungen zur Bestimmung der Position im TLZ

Frage	Gewichtung
Wie lange werden im Unternehmen schon Untersuchungen im betrachteten Forschungsfeld durchgeführt?	0,8
Sind Studien zu dieser Technologie in Konkurrenzunternehmen bekannt?	0,8
Sind Studien zu dieser Technologie in anderen Branchen bekannt?	0,5
Wie hoch ist der Vorteil, der aus dieser Technologie gezogen werden kann?	1,0
Wie würden Sie die technische Komplexität des Projekts bewerten?	0,5
Wie würden Sie die Unsicherheit über die Leistungsfähigkeit dieser Technologie beurteilen?	0,6
Wie würden Sie die Breite der potenziellen Einsatzgebiete beschreiben?	0,4
Wie beurteilen Sie den Typus der Entwicklungsanforderung?	1,0
Wie innovativ (vom bisherigen Stand abweichend) ist das Projektziel?	1,0
Wie beurteilen Sie die Höhe der bislang in diesem Forschungsbereich getätigten Investitionen insgesamt?	0,5
Wie viele und welche Patentanmeldungen (PA) gibt es derzeit in diesem Forschungsbereich?	0,7

Im Zuge der RFMEA wird die Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit für die zwei bewertenden Parteien gesondert vorgenommen. Diese Vorgehensweise dient der Validierung der Ergebnisse (siehe Abschnitt 6.2). Die so erhaltenen Werte werden zu einer kalkulierten Eintrittswahrscheinlichkeit zusammengerechnet. Dies geschieht über das Bilden des Durchschnitts der Bewertungen der drei Parteien. Der generierte Wert wird nun mit der Bewertung der Auswirkung zur sog. Risikohöhe verrechnet. Die Risikohöhe wird anschließend mit der Bewertung der Früherkennbarkeit zur finalen Risikoprioritätszahl verarbeitet. Die RPZs der einzelnen Risikodimensionen stellen nun ein Maß für die Risikohöhe in diesen Dimensionen dar. Dabei gilt: je höher die RPZ der Risikodimension, desto höher ist das Risiko in der gleichen.

6.2 Vorschlag zum Ablauf des Risikobewertungsprozesses

Neben der erstellten Methode ist auch der Ablauf der Risikobewertung sehr wichtig, um verlässliche Ergebnisse zu erhalten. Also Grenzwerte für die Risikohöhe wurden der Wert 40 und für die RPZ der Wert 180 gewählt. Risiken, welche diese Werte überschreiten, müssen einer gesonderten Betrachtung unterzogen werden.

Die Risikobewertung profitiert auch durch das Einfließen mehrerer Sichtweisen. Aus diesem Grund wird empfohlen, die Risikobewertung für ein Projekt von mehreren Personen

durchführen zu lassen. Dadurch wird auch vermieden, dass die Ergebnisse dieser Bewertung von jemandem „zu dessen Gunsten“ beeinflusst werden. Bei der Auswahl der Personen sollte auch darauf geachtet werden, dass diese eine differenzierte Gruppe, auch hinsichtlich ihrer hierarchischen Stellung im Unternehmen, darstellen. Somit kann die Risikobewertung von den unterschiedlichen Sichtweisen der bewertenden Parteien profitieren. Im entwickelten Bewertungstool sind zwei Tabellen zur Bewertung des Risikos vorhanden. Im ersten Tabellenblatt (Rating PL) soll das Risiko vom zuständigen Projektleiter bewertet werden. Im Blatt (Rating MGT) soll die Bewertung von einem Vorgesetzten durchgeführt werden, welcher eine Kontrollfunktion bei diesem Projekt innehat.

Um die Qualität der Risikobewertung zu evaluieren, wird, ein Spinnennetzdiagramm mit den Bewertungen der Risikodimensionen der einzelnen Parteien angefertigt. Ein solches Diagramm ist im nächsten Abschnitt in Abbildung 6.5 abgebildet. Weichen die Linien zu stark voneinander ab, so ist die Risikobewertung mit einer großen Unsicherheit behaftet. In diesem Fall sollten die Unsicherheiten in einem dafür einberufenen Meeting geklärt werden, und anschließend ist die Risikobewertung erneut zu überarbeiten.

Die Häufigkeit der Risikobewertung sollte an das betrachtete Projekt angepasst werden. Auf alle Fälle sollte eine Risikobewertung im Zuge einer „Vorprojektphase“ o. Ä. durchgeführt werden. Bei großen Projekten, vor allem wenn diese ein hohes Risiko aufweisen, kann die Risikobewertung auch öfter während des Projekts durchgeführt werden. Als Zeitpunkte eignen sich Gates bei Verwendung einer Stage-Gate Projektorganisation oder das Erreichen wichtiger Meilensteine bei Einsatz eines Meilensteinplans.

6.3 Vorstellung des Software-Tools zur Risikobewertung

Das entwickelte Software-Tool für die Risikobewertung ist eine Microsoft Excel Datentabelle, welche mithilfe eines im VBA programmierten Makros erweitert wurde. Die Benutzeroberfläche besteht aus sieben Tabellenblättern, welche sich in drei Funktionsbereiche, wie folgt, aufteilen lassen:

1. Datenerfassung: Die ersten zwei Tabellen (Rating PL und Rating MGT) sind für die Datenerfassung während der Risikobewertung zuständig. Darin sind die in Kapitel 5.4 aufgelisteten Fragen und die zugehörigen Antwortmöglichkeiten als Dropdown Listen enthalten. Jedes Datenblatt soll dabei im Zuge der Risikobewertung von den ausgewählten Personen (siehe Kapitel 6.2) vollständig ausgefüllt werden. Diese Daten werden anschließend im zugehörigen Makro zu den Werten der Eintrittswahrscheinlichkeiten weiterverrechnet.
2. Auswertung: Das vierte Tabellenblatt (Assessment) dient der Auswertung der Risikobewertung. Darin werden in den in Abbildung 6.3 dargestellten Auswertungsfenstern die Risikohöhen und die RPZs der einzelnen Risikodimensionen sowie die Klassifikation und die Risikoklasse des Projekts angeführt. Darunter befindet sich das in Abbildung 6.4 gezeigte Streudiagramm der einzelnen Risikopositionen. Dieses Diagramm beruht auf der in Kapitel 3.2.4 vorgestellten Methode zur Auswertung einer RFMEA. Das letzte Diagramm in diesem Tabellenblatt ist ein Spinnennetz-Diagramm, in dem die Bewertungen der drei Parteien, sowie deren Durchschnitt

dargestellt sind. Weichen diese Werte sehr stark voneinander ab, so ist die Risikobewertung als nicht verlässlich einzustufen und erneut durchzuführen, bzw. zu überarbeiten.

3. Berechnung: Die letzten drei Blätter dienen dem zugehörigen Makro zur Berechnung der Risikobewertung. Im Tabellenblatt RFMEA ist das Formblatt für die verwendete RFMEA, welches im Anhang auf Seite 117 eingesehen werden kann, dargestellt. Im Zuge der Berechnung wird dieses Formblatt vom Makro ausgefüllt und die nötigen Werte werden berechnet. Die zwei letzten Tabellenblätter sind zur Speicherung der in Kapitel 5 erstellten Bewertungen vorgesehen. Im Blatt Rating sind die Werte für Auswirkung und Früherkennbarkeit und im Blatt CI-Matrix ist die im Anhang auf Seite 113 abgebildete Cross-Impact-Matrix enthalten.

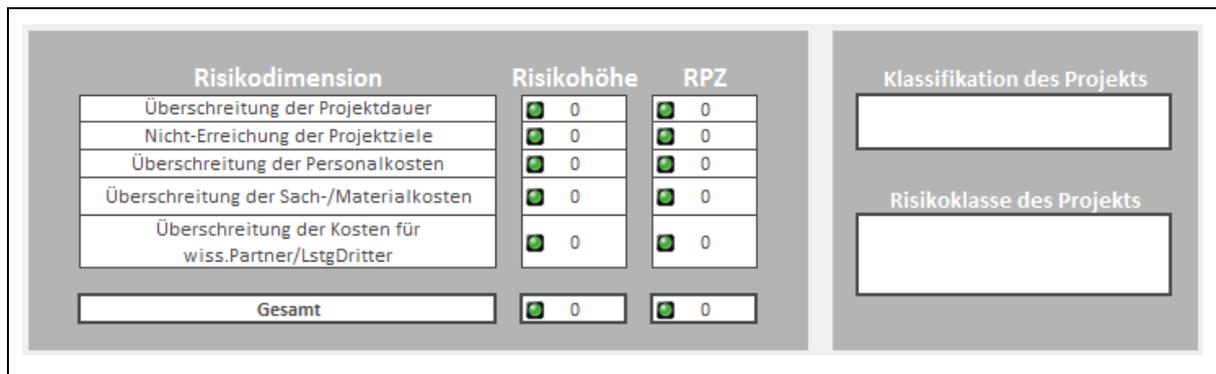


Abbildung 6.3 Auswertungsfenster der Risikobewertung



Abbildung 6.4 RPZ über Risikohöhe Streudiagramm

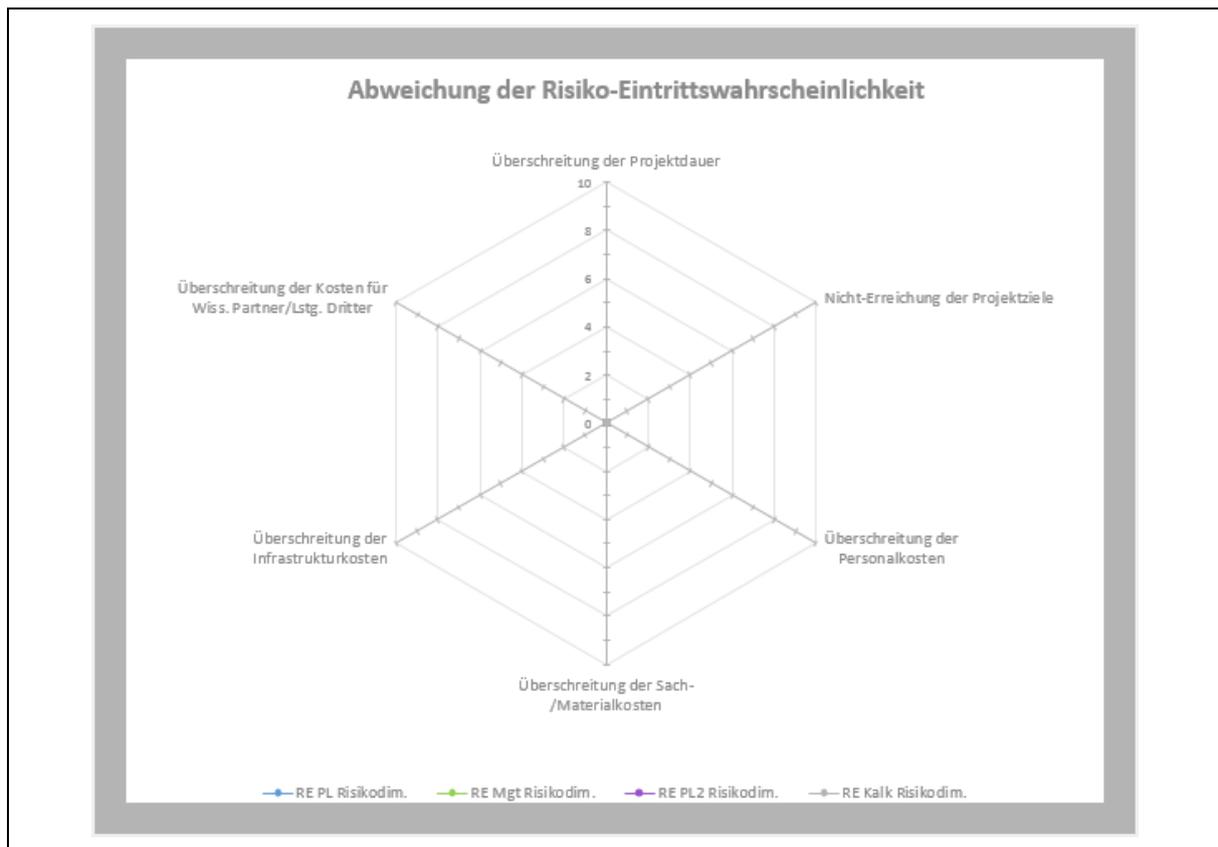


Abbildung 6.5 Spinnennetzdiagramm zur Bewertung der Verlässlichkeit der Bewertung

Die Verarbeitung und Berechnung aller Werte findet im bereits erwähnten VBA-Makro statt. Dazu ist das Makro in acht Module aufgeteilt. Jedes der Module dient dabei einem klar abgegrenzten Funktionsbereich. Die Aufgaben der Module sollen nun kurz erklärt werden:

- **execute:** Dieses Modul ist die übergeordnete Logik des Programms und wickelt die nötigen Aufgaben in einer vorher festgelegten Reihenfolge ab. Es weist dafür andere Module und Funktionen an, übergibt die nötigen Daten und übernimmt die geforderten Ergebnisse.
- **val_calc:** Dieses Modul ist für das Konvertieren der Antworten aus den Tabellenblättern für die Datenerfassung in Zahlenwerte zuständig. Die dafür verwendeten Wenn/Dann Beziehungen sind in Tabelle 6.1 dargestellt.
- **re_calc:** In diesem Modul werden die vorher konvertierten Antworten zu den gesuchten Werten der Risikoeintrittswahrscheinlichkeit verrechnet. Diese werden anschließend in einen geeigneten Vektor übertragen und an das übergeordnete Modul übergeben.
- **detect_calc:** Dieses Modul führt die in Kapitel 5.3.2 beschriebenen Verfahren zur Berechnung der endgültigen Werte der Früherkennung mit Hilfe der internen Beeinflussbarkeit durch. Dazu werden die verbal beurteilten internen Beeinflussbarkeiten eingelesen, in Zahlenwerte konvertiert und anschließend mit den Bewertungen der Früherkennung verrechnet.
- **TLZ_calc:** In diesem Modul werden alle Rechenoperationen durchgeführt, welche mit der Position des Projektes im TLZ zu tun haben. Für diese Berechnungen wird eine FSM mit drei Klassen verwendet. Die Ergebnisse werden als Zugehörigkeitsgrade und

Schwerpunkt zur weiteren Verrechnung übergeben und als verbaler Wert in die Tabelle Assessment übertragen.

- **CI_calc:** Dieses Modul führt die notwendigen Operationen für das Cross-Impact-Verfahren durch. Dazu wird die Cross-Impact-Matrix aus der Tabelle CI-Matrix eingelesen und unter Berücksichtigung der Eintrittswahrscheinlichkeiten werden die notwendigen Korrekturwerte sowie die neuen Wahrscheinlichkeitswerte berechnet.
- **fuzzy_calc:** Dieses Modul dient der Durchführung aller Rechenoperationen mit unscharfen Mengen. Hierfür wurden die Formen der einzelnen Klassen, notwendige Berechnungsvorschriften sowie benötigte Inferenz- und Defuzzifizierungsmethoden implementiert.
- **operate:** Bei diesem Modul handelt es sich um ein Unterstützungsmodul für die oben beschriebenen Module. Es beinhaltet Funktionen zum Einlesen oder Ausgeben von Daten in die Tabellen sowie die Berechnungsvorschrift zur Berechnung der Risikohöhe des Projekts.

Die Module des VBA-Makros führen mithilfe der Tabellen des Excel-Sheets die nötigen Aufgaben durch, um das Formblatt in der Tabelle RFMEA vollständig ausfüllen zu können. Die Ergebnisse werden anschließend im Blatt Assessment visuell aufbereitet und dargestellt, sodass die Risikohöhe des untersuchten Projekts und die Zuverlässigkeit der Risikobewertung mit nur wenigen Blicken analysiert werden können.

6.4 Anwendung von FSM im Bewertungstool

Im Kapitel 4 wurden die Grundlagen unscharfer Logik erklärt. Diese Methoden finden, wie im Abschnitt 6.1 erwähnt, im Bewertungstool Anwendung, um qualitative Werte zu verarbeiten. In diesem Kapitel sollen die Vorgänge beim Verarbeiten von Fuzzy Sets im VBA-Programm erläutert werden. Dies soll anhand des im Programm implementierten Beispiels der Bewertung der Projektgröße gezeigt werden. In den Abbildungen werden teilweise Berechnungsvorschriften, welche im Programm in einer Zeile ausgeführt sind, aus Gründen der Übersichtlichkeit auf mehrere Zeilen aufgeteilt.

6.4.1 Fuzzifikation und Inferenz am Beispiel der Bewertung der Projektgröße

Der Aufruf der Bewertung mit unscharfer Logik im Programm wird mit den in Abbildung 6.6 angeführten Codezeilen durchgeführt. Die mittels linearer Bewertung (siehe Abschnitt 6.1) erhaltenen Werte für die Projektkosten und die Projektdauer werden im Array pData() von der vorhergehenden Subroutine zur Verfügung gestellt. Der Wert für die Projektkosten kann über pData(1), der für die Projektdauer über pData(2) aufgerufen werden. Diese Werte werden der Subroutine fuzzy5Class übergeben, welche sie in eine unscharfe Menge mit fünf Klassen einteilt.

```

Call fuzzy5Class(pData(1), yCosts(), cogCosts, areaCosts)
Call fuzzy5Class(pData(2), yDur(), cogDur, areaDur)

For index = 0 To 4
yArray(index, 0) = yCosts(index + 1)
yArray(index, 1) = yDur(index + 1)
Next

Call InfMinMaxEq(yArray(), pSize())

```

Abbildung 6.6 Anwendung von FSM zur Bewertung der Projektgröße

Die oben angesprochene Subroutine fuzzy5Class teilt scharfe Werte in fünf unscharfe Klassen ein und gibt einen Vektor mit den Zugehörigkeitsgraden zu den einzelnen Klassen sowie die Fläche und den Schwerpunkt der unscharfen Menge an die übergeordnete Routine zurück. Dieser Vorgang läuft anhand der in Abbildung 6.7 angeführten Codezeilen. Dafür nimmt das Programm den zu verrechnenden scharfen Wert (value) und prüft seine Zugehörigkeit zu den einzelnen unscharfen Klassen. Diese Prüfung wird in weiteren Subroutinen durchgeführt.

```

Sub fuzzy5Class(value As Double, yArray() As Double, cog As Double, area As Double)
'Routine zur Fuzzifizierung von Werten in die 5 unscharfen Klassen veryLow, Low, Mid, High und veryHigh

Dim yVeryLow As Double 'Zugehörigkeitsgrad zur Klasse veryLow
Dim yLow As Double 'Zugehörigkeitsgrad zur Klasse Low
Dim yMid As Double 'Zugehörigkeitsgrad zur Klasse Middle
Dim yHigh As Double 'Zugehörigkeitsgrad zur Klasse High
Dim yVeryHigh As Double 'Zugehörigkeitsgrad zur Klasse veryHigh
Dim areaVeryLow As Double 'resultierende Fläche der Klasse veryLow
Dim areaLow As Double 'resultierende Fläche der Klasse Low
Dim areaMid As Double 'resultierende Fläche der Klasse Mid
Dim areaHigh As Double 'resultierende Fläche der Klasse High
Dim areaVeryHigh As Double 'resultierende Fläche der Klasse veryHigh
Dim cogVeryLow As Double 'resultierender Schwerpunkt der Fläche veryLow
Dim cogLow As Double 'resultierender Schwerpunkt der Fläche Low
Dim cogMid As Double 'resultierender Schwerpunkt der Fläche Middle
Dim cogHigh As Double 'resultierender Schwerpunkt der Fläche High
Dim cogVeryHigh As Double 'resultierender Schwerpunkt der Fläche veryHigh
Dim index As Double

ReDim yArray(1 To 5) As Double

'Berechnung der Zugehörigkeitsgraden zu den einzelnen Klassen, sowie deren Flächen und Schwerpunkte
Call fuzzyLeftClassDef(1, 3, value, areaVeryLow, cogVeryLow, yVeryLow)
Call fuzzyMidClassDef(1, 3, 5, value, areaLow, cogLow, yLow)
Call fuzzyMidClassDef(3, 5, 7, value, areaMid, cogMid, yMid)
Call fuzzyMidClassDef(5, 7, 9, value, areaHigh, cogHigh, yHigh)
Call fuzzyRightClassDef(7, 9, 10, value, areaVeryHigh, cogVeryHigh, yVeryHigh)

'Berechnung der resultierenden Gesamtfläche
area = areaVeryLow + areaLow + areaMid + areaHigh + areaVeryHigh
'Berechnung des Schwerpunktes der resultierenden Gesamtfläche
If value > 1 And value < 10 Then
cog = (cogVeryLow * areaVeryLow + cogLow * areaLow + cogMid * areaMid + cogHigh * areaHigh + cogVeryHigh * areaVeryHigh) / area
Else
If value = 1 Then
cog = 1
yVeryLow = 1
area = 1
End If
If value = 10 Then
cog = 10
yVeryHigh = 1
area = 2
End If
End If

'Ausgabe der berechneten Zugehörigkeitsgrade in eine Zeile der Matrix yArray()
yArray(1) = yVeryLow
yArray(2) = yLow
yArray(3) = yMid
yArray(4) = yHigh
yArray(5) = yVeryHigh

End Sub

```

Abbildung 6.7 Subroutine zur Fuzzifizierung scharfer Werte in 5 unscharfe Klassen

Diese Subroutinen unterscheiden sich in der Form ihrer Klassen nach Randklassen und Mittelklassen. Bei den zwei Randklassen werden, je nach Position (links oder rechts), andere Formen benötigt. Bei der linken Randklasse wurde ein einfacher linearer Verlauf gewählt, bei der rechten Randklasse wurde ein linearer Verlauf mit konstantem Endteil für besser geeignet befunden. Bei den Mittelklassen werden dreieckförmige Verläufe verwendet. Für diese Klassen kann die gleiche Subroutine zur Berechnung verwendet werden, lediglich deren

Grenzen müssen für jede Klasse angepasst werden. Eine grafische Darstellung dieses Sachverhalts finden Sie in Abbildung 6.8. Dort sind alle fünf Klassen sowie deren Form und Grenzen dargestellt.

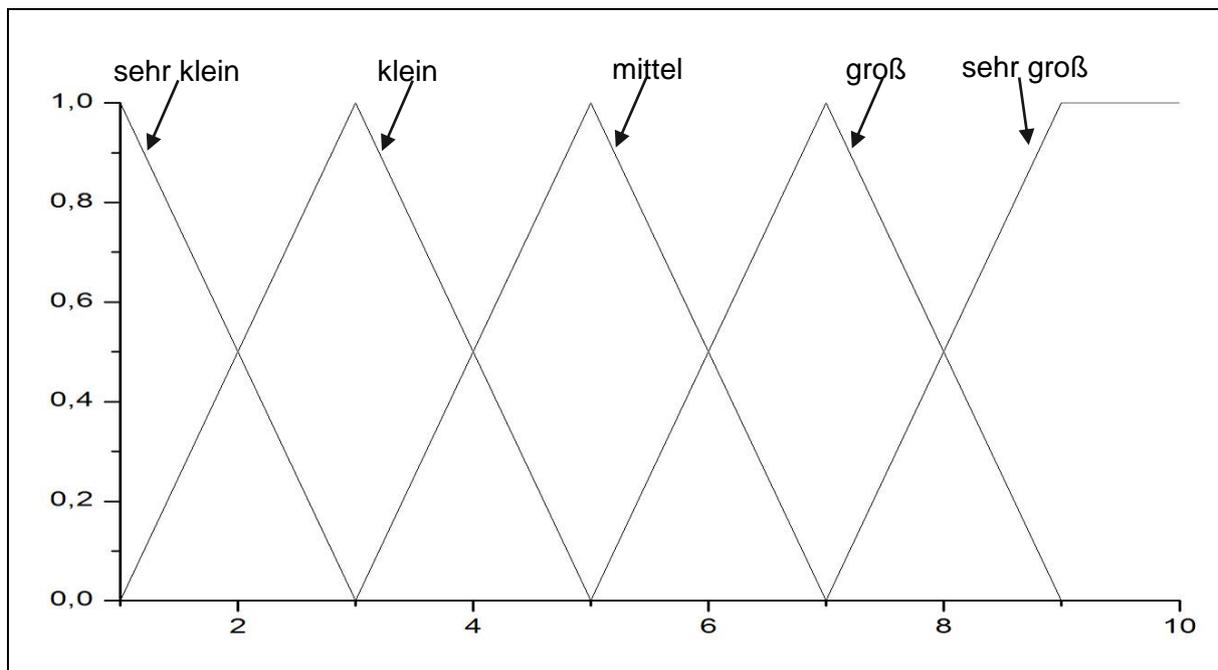


Abbildung 6.8 Grafische Darstellung der Klassenformen von fuzzy5Class

Die Operationalisierung einer Mittelklasse ist in Abbildung 6.9 dargestellt. Dabei wird zuerst geprüft, ob der betrachtete Wert in dieser Klasse liegt. Liegt der Wert nicht in dieser Klasse, so wird für Zugehörigkeitsgrad, Fläche und Schwerpunkt der Wert null an die übergeordnete Logik übergeben. Falls der Wert in dieser Klasse liegt, so wird ein bereinigter x-Wert in dieser Klasse berechnet. Dieser bereinigte Wert kann Werte von null bis zur maximalen Klassenbreite annehmen und beschreibt die genaue Position des betrachteten Wertes in der Klasse. Dies ist für die Berechnung des Zugehörigkeitsgrades nötig, da die gewählten Dreiecksklassen symmetrisch um einen Mittelwert gebildet werden.

Nachdem der Zugehörigkeitsgrad berechnet wurde, wird die Fläche (area) der Zugehörigkeitsklasse bestimmt. Dabei wird zwischen Zugehörigkeitsgraden kleiner 0,5 und solchen größer oder gleich 0,5 unterschieden. Dieses Vorgehen ist für eine spätere Berechnung der gesamten Fläche notwendig, da, wie in Abbildung 6.10 dargestellt, bei Zugehörigkeitsgraden größer 0,5 die gesamte Fläche unter der Zugehörigkeitslinie, bei Zugehörigkeitsgraden kleiner 0,5 allerdings nur der Teil der Gesamtfläche abzüglich der Fläche der nächsten Klasse verwendet wird. Durch dieses Vorgehen wird vermieden, dass Flächen doppelt berücksichtigt werden.

Zur Berechnung des Schwerpunkts (cog) der oben gefundenen Fläche wird wieder zwischen Zugehörigkeitsgraden größer oder kleiner 0,5 unterschieden. Bei den größeren wird der Mittelwert der Klasse als Schwerpunkt verwendet, da diese symmetrisch sind. Bei Zugehörigkeitsgraden kleiner 0,5 wird der Schwerpunkt der gefundenen Teilfläche mithilfe geeigneter Formeln berechnet. Damit sind alle gesuchten Werte dieser Klasse berechnet und das Programm übergibt diese übergeordneten Routinen.

```

Sub fuzzyMidClassDef(lowerBound As Double, midValue As Double, upperBound As Double, value As Double, cog As Double, yValue As Double)
'Definition der mittleren Klasse der fuzzy Mengen
Dim xValue As Double 'Um die Grenzen bereinigter X-Wert der Klasse
xValue = 0
yValue = 0
area = 0
cog = 0
If lowerBound < value And value < upperBound Then 'Überprüfung ob der betrachtete Wert zwischen den Klassengrenzen liegt, ansonsten alle Werte = 0
    xValue = value - lowerBound 'Berechnung des bereinigten X-Wertes
    'Berechnung des Zugehörigkeitsgrades zur Klasse
    If xValue < (midValue - lowerBound) Then
        yValue = 1 / (midValue - lowerBound) * xValue 'Berechnung des Zugehörigkeitsgrades für xValue < midValue
    Else
        yValue = ((midValue - lowerBound) - 1 / (midValue - lowerBound) * xValue) 'Berechnung des Zugehörigkeitsgrades für xValue >= midValue
    End If
    'Berechnung der resultierenden Fläche
    If yValue < 0.5 Then
        'Berechnung der resultierenden Fläche für yValue < 0.5
        area = 2 * (yValue * yValue * (midValue - lowerBound)) / 2 + ((midValue - lowerBound) - yValue * (midValue - lowerBound)) * yValue
    Else
        'Berechnung der resultierenden Fläche für yValue >= 0.5
        area = 2 * (yValue * yValue * (midValue - lowerBound)) / 2 + ((upperBound - lowerBound) - 2 * yValue * (midValue - lowerBound)) * yValue
    End If
    'Berechnung des Schwerpunkts der resultierenden Fläche
    If yValue < 0.5 Then
        If xValue < (midValue - lowerBound) Then
            cog = midValue + ((midValue - lowerBound - yValue * (midValue - lowerBound)) / 2 * ((midValue - lowerBound) -
            yValue * (midValue - lowerBound)) * yValue + (midValue - lowerBound -
            2 * yValue * (midValue - lowerBound) / 3) * (yValue * yValue * (midValue - lowerBound)) / 2 -
            (midValue - lowerBound - yValue * (midValue - lowerBound)) / 3 * (yValue * yValue * (midValue - lowerBound)) / 2) / area
        Else
            cog = midValue + (0 - (midValue - lowerBound - (upperBound - lowerBound -
            yValue * (midValue - lowerBound)) / 2 * ((midValue - lowerBound) -
            (upperBound - lowerBound - yValue * (midValue - lowerBound))) * yValue -
            (midValue - lowerBound - 2 * (upperBound - lowerBound - yValue * (midValue - lowerBound)) / 3) * (yValue * yValue * (midValue - lowerBound)) / 2 +
            (midValue - lowerBound - (upperBound - lowerBound - yValue * (midValue - lowerBound))) / 3 * (yValue * yValue * (midValue - lowerBound)) / 2) / area
        End If
    Else
        cog = midValue
    End If
    'Berechnung der resultierenden Fläche
    If yValue < 0.5 Then
        cog = midValue + ((midValue - lowerBound - yValue * (midValue - lowerBound)) / 2 * ((midValue - lowerBound) -
        yValue * (midValue - lowerBound)) * yValue + (midValue - lowerBound -
        2 * yValue * (midValue - lowerBound) / 3) * (yValue * yValue * (midValue - lowerBound)) / 2 -
        (midValue - lowerBound - yValue * (midValue - lowerBound)) / 3 * (yValue * yValue * (midValue - lowerBound)) / 2) / area
    Else
        cog = midValue + (0 - (midValue - lowerBound - (upperBound - lowerBound -
        yValue * (midValue - lowerBound)) / 2 * ((midValue - lowerBound) -
        (upperBound - lowerBound - yValue * (midValue - lowerBound))) * yValue -
        (midValue - lowerBound - 2 * (upperBound - lowerBound - yValue * (midValue - lowerBound)) / 3) * (yValue * yValue * (midValue - lowerBound)) / 2 +
        (midValue - lowerBound - (upperBound - lowerBound - yValue * (midValue - lowerBound))) / 3 * (yValue * yValue * (midValue - lowerBound)) / 2) / area
    End If
End Sub

```

Abbildung 6.9 Subroutine zur Fuzzifikation scharfer Werte in einer mittleren unscharfen Klasse

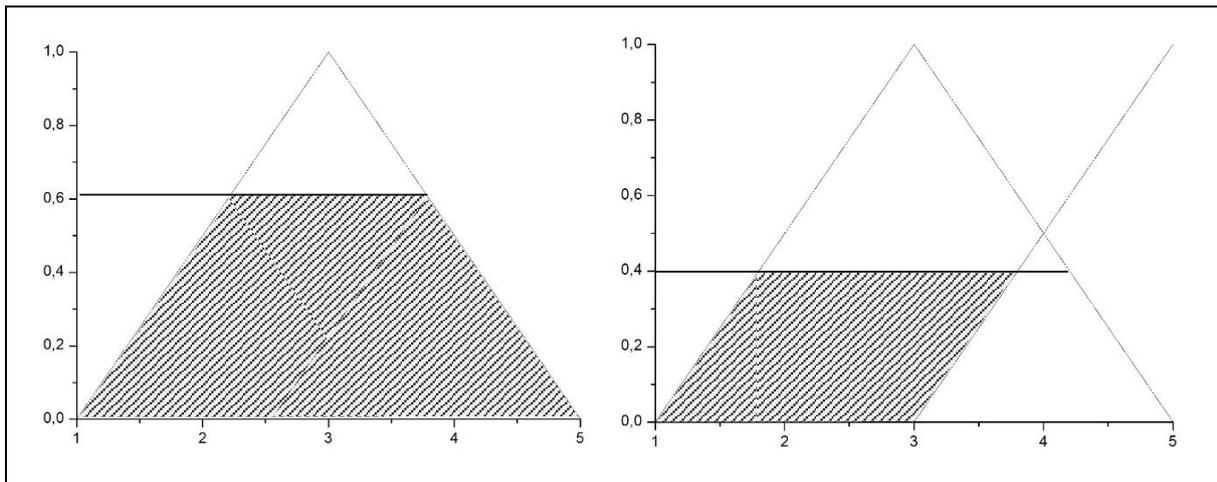


Abbildung 6.10 Flächenberechnung für Zugehörigkeitsgrade kleiner und größer 0,5

Nachdem nun die betrachteten Werte fuzzifiziert wurden, kann mit der Berechnung der gesuchten Werte, wie in Abbildung 6.6 dargestellt, fortgefahren werden. Dafür werden die erhaltenen Vektoren mit den berechneten Zugehörigkeitsgraden der Projektkosten und der Projektdauer zu einer 5x2-Matrix verbunden. Anschließend wird diese Matrix der Subroutine InfMinMaxEq übergeben. Diese Subroutine wendet einen MIN-Operator, basierend auf Gleichung 4.2, auf die zu untersuchende Matrix an. Anschließend wird die so erhaltene Inferenzmatrix über den in Kapitel 4.2.2 vorgestellten MAX-Operator zu einem Ergebnisvektor verrechnet. Die hier implementierte Logik verhält sich dabei wie die in Tabelle 4.3 dargestellte symmetrische Entscheidungsmatrix. Die Maximalwerte der Zugehörigkeitsgrade werden als Endergebnis an die übergeordnete Routine übergeben. Der hier erhaltene Vektor wird als Größe zur weiteren Verrechnung im Risikobewertungstool verwendet.

```

Sub InfMinMaxEq(yArray() As Double, infArray() As Double)
'Routine für Inferenz mittel MIN Operator basierend auf Gleichung 4.2 und Max/Min Prinzip. Einfluss beider Merkmale gleich.

Dim indexRow As Double
Dim indexCol As Double

Dim infMat(5, 5) As Double

For indexCol = 0 To (UBound(yArray()))
  For indexRow = 0 To (UBound(yArray()))
    infMat(indexRow, indexCol) = yArray(indexCol, 0) * yArray(indexRow, 1)
  Next
Next

ReDim infArray(1 To 5) As Double

infArray(1) = Application.WorksheetFunction.Max(infMat(0, 0), infMat(0, 1), infMat(1, 0))
infArray(2) = Application.WorksheetFunction.Max(infMat(2, 0), infMat(1, 1), infMat(0, 2))
infArray(3) = Application.WorksheetFunction.Max(infMat(3, 0), infMat(3, 1), infMat(2, 1), infMat(2, 2), infMat(1, 2), infMat(1, 3), infMat(0, 3))
infArray(4) = Application.WorksheetFunction.Max(infMat(4, 0), infMat(4, 1), infMat(3, 2), infMat(3, 3), infMat(2, 3), infMat(1, 4), infMat(0, 4))
infArray(5) = Application.WorksheetFunction.Max(infMat(4, 2), infMat(4, 3), infMat(4, 4), infMat(3, 4), infMat(2, 4))

End Sub
    
```

Abbildung 6.11 Subroutine zur Inferenz unscharfer Werte

6.4.2 Defuzzifikation am Beispiel der Bewertung des Risikos der Verzögerung einer Managemententscheidung

Bei der Bewertung des Risikos der Verzögerung einer Managemententscheidung werden, wie in Abbildung 6.12 ersichtlich, die oben beschriebenen Schritte der Fuzzifikation und Inferenz genutzt. Ein Vektor für die Inferenz wird aus den Antworten auf die Fragen, welche dieses Risiko betreffen, generiert, der andere Vektor ist der oben erstellte Zugehörigkeitsvektor der Projektgröße. Beide werden zu einer Inferenzmatrix vereint und über die oben beschriebene

Inferenzmethode zu einem Ergebnisvektor verrechnet. Da aber für die Verwendung dieses Wertes in der RFMEA ein scharfer Wert benötigt wird, muss der aus der Inferenz erhaltene Zugehörigkeitsvektor noch einer Defuzzifikation unterzogen werden. Dieser Schritt geschieht mit der in Abbildung 6.13 dargestellten Subroutine fuzzy5InfClass.

```
'Berechnung Risikokriterium 2
counter = 2
tempRe = (values(37) + values(39)) / 2
Call fuzzy5Class(tempRe, tempY(), tempCog, tempArea)
For index = 0 To 4
tempYArray(index, 0) = tempY(index + 1)
tempYArray(index, 1) = pSize(index + 1)
Next
Call InfMinMaxEq(tempYArray(), tempInf())
Call fuzzy5InfClass(tempInf(), tempCog, tempArea)
reValues(counter) = tempCog
```

Abbildung 6.12 Berechnungsablauf des Risikos der Verzögerung einer Managemententscheidung

Die Berechnungslogik der Defuzzifikation unterscheidet sich von der Fuzzifikation aufgrund der benötigten Eingangs- und der berechneten Ausgangsgrößen. Während bei der Fuzzifikation aus einem scharfen Wert ein Zugehörigkeitsvektor mit den einzelnen Zugehörigkeitsgraden zu den unscharfen Klassen gebildet werden soll, so wird bei der Defuzzifikation ein scharfer Wert aus einem gegebenen Zugehörigkeitsvektor gebildet. Auch hier wird, wie in Abbildung 6.13 ersichtlich, die Zugehörigkeit zu den einzelnen Klassen über geeignete Subroutinen geprüft. Der sogenannte „indicator“ gibt dabei für die Mittelklassen an, wo sich die höchste Klasse befindet. Hat der indicator den Wert 1 so befindet sich eine höhere Klasse links, hat er den Wert zwei so befindet sich die höhere Klasse rechts von der betrachteten Klasse. Dieser Zusammenhang wird zur korrekten Berechnung des Schwerpunktes der mittleren Klassen benötigt (siehe Abbildung 6.14).

```
Sub fuzzy5InfClass(yArray() As Double, cog As Double, area As Double)
'Routine zur Fuzzifizierung von Werten in die 5 unscharfen Klassen veryLow, Low, Mid, High und veryHigh

Dim areaVeryLow As Double 'resultierende Fläche der Klasse veryLow
Dim areaLow As Double 'resultierende Fläche der Klasse Low
Dim areaMid As Double 'resultierende Fläche der Klasse Mid
Dim areaHigh As Double 'resultierende Fläche der Klasse High
Dim areaVeryHigh As Double 'resultierende Fläche der Klasse veryHigh
Dim cogVeryLow As Double 'resultierender Schwerpunkt der Fläche veryLow
Dim cogLow As Double 'resultierender Schwerpunkt der Fläche Low
Dim cogMid As Double 'resultierender Schwerpunkt der Fläche Middle
Dim cogHigh As Double 'resultierender Schwerpunkt der Fläche High
Dim cogVeryHigh As Double 'resultierender Schwerpunkt der Fläche veryHigh
Dim index As Double
Dim indicator(2 To 4) As Double

For index = 2 To 4
If yArray(index - 1) > yArray(index) Then
indicator(index) = 1
End If
If yArray(index + 1) > yArray(index) Then
indicator(index) = 2
End If
Next

'Berechnung der Zugehörigkeitsgraden zu den einzelnen Klassen, sowie deren Flächen und Schwerpunkte
Call fuzzyInfLeftClassDef(1, 3, areaVeryLow, cogVeryLow, yArray(1))
Call fuzzyInfMidClassDef(1, 3, 5, areaLow, cogLow, yArray(2), indicator(2))
Call fuzzyInfMidClassDef(3, 5, 7, areaMid, cogMid, yArray(3), indicator(3))
Call fuzzyInfMidClassDef(5, 7, 9, areaHigh, cogHigh, yArray(4), indicator(4))
Call fuzzyInfRightClassDef(7, 9, 10, areaVeryHigh, cogVeryHigh, yArray(5))

'Berechnung der resultierenden Gesamtfläche
area = areaVeryLow + areaLow + areaMid + areaHigh + areaVeryHigh
'Berechnung des Schwerpunktes der resultierenden Gesamtfläche
cog = (cogVeryLow * areaVeryLow + cogLow * areaLow + cogMid * areaMid + cogHigh * areaHigh + cogVeryHigh * areaVeryHigh) / area

End Sub
```

Abbildung 6.13 Subroutine zur Defuzzifikation unscharfer Werte

Die Operationalisierung einer Mittelklasse für die Defuzzifikation ist in Abbildung 6.14 dargestellt. Dabei wird zuerst geprüft, ob der betrachtete Vektor einen Zugehörigkeitsgrad in dieser Klasse aufweist. Liegt der Wert nicht in dieser Klasse, so wird für Fläche und Schwerpunkt der Wert Null an die übergeordnete Logik übergeben. Falls der Wert in dieser Klasse liegt, wird anhand des Zugehörigkeitsgrads über geeignete Formeln die Fläche (area) der Zugehörigkeitsklasse bestimmt. Dabei wird, wie auch bei den Klassen zur Fuzzifikation, zwischen Zugehörigkeitsgraden kleiner 0,5 und solchen größer oder gleich 0,5 unterschieden.

Zur Berechnung des Schwerpunkts (cog) der oben gefundenen Fläche wird, analog zu den Fuzzifikationklassen, wieder zwischen Zugehörigkeitsgraden größer oder kleiner 0,5 sowie zwischen dem Wert des Indikators unterschieden. Bei Zugehörigkeitsgraden größer 0,5 wird der Mittelwert der Klasse als Schwerpunkt verwendet, da diese symmetrisch sind. Bei Zugehörigkeitsgraden kleiner 0,5 wird der Schwerpunkt der gefundenen Teilfläche mithilfe geeigneter Formeln in Abhängigkeit des indicator-Wertes berechnet. Ist der indicator Wert gleich 1, so liegt der Schwerpunkt rechts des Mittelwertes, da die Klasse links von der betrachteten einen größeren Zugehörigkeitsgrad aufweist. Ist der Wert gleich 2, so liegt der Schwerpunkt links des Mittelwertes. Der berechnete Schwerpunkt wird anschließend als scharfer Wert an die übergeordnete Routine übergeben.

```

Sub fuzzyInMidClassDef(lowerBound As Double, midValue As Double, upperBound As Double, area As Double, cog As Double, yValue As Double, indicator As Double)
'Definition der mittleren Klasse für die Defuzzifikation unscharfer Mengen
area = 0
cog = 0

If yValue <> 0 Then 'Überprüfung ob der betrachtete Wert zwischen den Klassengrenzen liegt, ansonsten alle Werte = 0

'Berechnung der resultierenden Fläche
If yValue < 0.5 Then
'Berechnung der resultierenden Fläche für yValue < 0.5
area = 2 * (yValue * yValue * (midValue - lowerBound)) / 2 +
((midValue - lowerBound) - yValue * (midValue - lowerBound)) * yValue
Else
'Berechnung der resultierenden Fläche für yValue >= 0.5
area = 2 * (yValue * yValue * (midValue - lowerBound)) / 2 +
((upperBound - lowerBound) - 2 * yValue * (midValue - lowerBound)) * yValue
End If

'Berechnung des Schwerpunkts der resultierenden Fläche
If yValue < 0.5 Then
If indicator = 1 Then
cog = midValue + ((midValue - lowerBound - yValue) / 2 * ((midValue - lowerBound) -
yValue * (midValue - lowerBound)) * yValue +
(midValue - lowerBound - 2 * yValue * (midValue - lowerBound)) / 3) * (yValue * yValue * (midValue - lowerBound)) / 2 -
(midValue - lowerBound - yValue * (midValue - lowerBound)) / 3 * (yValue * yValue * (midValue - lowerBound)) / 2) / area
Else
If indicator = 2 Then
cog = midValue + (0 - (midValue - lowerBound - yValue * (midValue - lowerBound)) / 2 * ((midValue - lowerBound) -
yValue * (midValue - lowerBound)) * yValue - (midValue - lowerBound -
2 * yValue * (midValue - lowerBound)) / 3) * (yValue * yValue * (midValue - lowerBound)) / 2 +
(midValue - lowerBound - yValue * (midValue - lowerBound)) / 3 * (yValue * yValue * (midValue - lowerBound)) / 2) / area
End If
End If
Else
cog = midValue
area = yValue * yValue + yValue * (midValue - yValue) * 2
End If
Else
yValue = 0
area = 0
cog = 0
End If
End Sub

```

Abbildung 6.14 Subroutine zur Defuzzifikation unscharfer Werte in einer mittleren Klasse

6.5 Fallbeispiel: Risikobewertung von ausgewählten Projekten

Um diese Aussage des Risikobewertungstools zu überprüfen, wurde es auf zwei beispielhafte Projekte angewendet. Dabei wurden zwei unterschiedliche Projekte erdacht und die Ergebnisse des Risikobewertungstools mit den Erwartungen des Managements hinsichtlich Risikoklasse und Klassifikation des Projekts im TLZ verglichen. Die gewählten Projekte wurden aber nicht frei erfunden, sondern an bereits in Planung befindliche Projekte angelehnt.

Bei dem ersten Projekt handelt es sich um ein langfristiges strategisches Projekt, welches einerseits der Weiterentwicklung bereits vorhandener Technologien und andererseits der Implementierung neuer Technologien in bestehende Prozesse dient. Das Ergebnis der Risikobewertung dieses Projekts mit dem Risikobewertungstool ist in Abbildung 6.15 dargestellt. Diese Bewertung deckt sich sehr gut mit den Erwartungen seitens des Managements. Vor allem die Klassifikation als Basis-Technologie wurde dabei explizit gefordert und vom Programm geliefert.

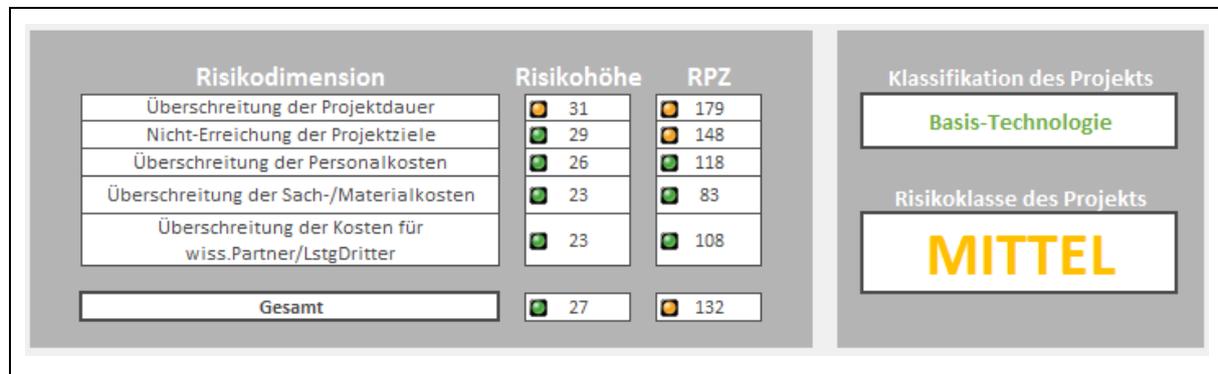


Abbildung 6.15 Auswertung Beispielprojekt 1

Als zweites Projekt wurde ein hoch innovatives Projekt betrachtet. Dieses Projekt beschäftigt sich mit einem sehr jungen Forschungsfeld, in dem intern sowie extern wenig Erfahrung vorhanden ist. Auch das interne Projektumfeld wurde dabei als problematisch bewertet. In Abbildung 6.16 ist das Ergebnis des Risikobewertungstools dargestellt. Dieses deckt sich hinsichtlich der Position im TLZ wieder gut mit den Erwartungen des Managements. Die Risikoklassifikation wurde allerdings mit „Hoch“ erwartet. Mit einer gesamten RPZ von 176 handelt es sich aber laut Risikobewertungstool um ein Projekt mittleren Risikos. Man sieht allerdings, dass die Risikodimensionen „Überschreitung der Projektdauer“ und „Nicht-Erreichung der Projektziele“ mit einer RPZ von jeweils 217 als sehr hoch einzustufen sind.

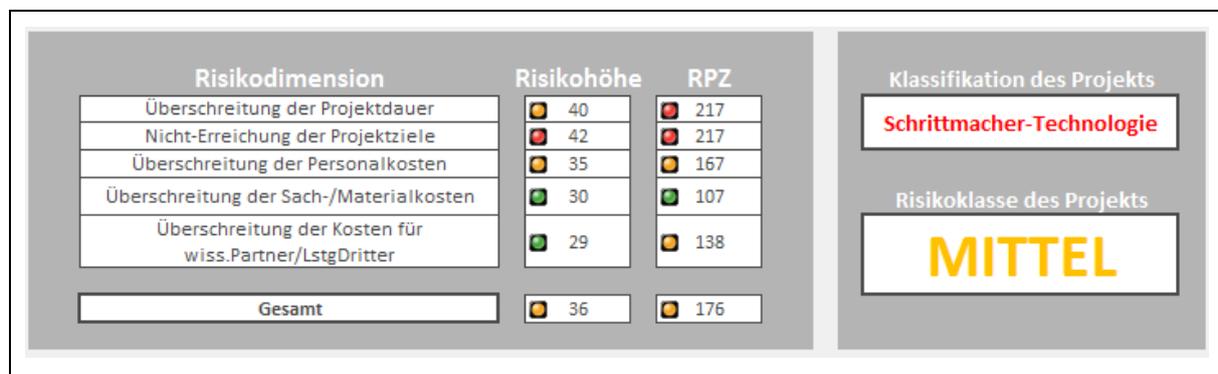


Abbildung 6.16 Auswertung Beispielprojekt 2

Durch Anpassen der Gewichtung der einzelnen RPZs kann man das Ergebnis der Risikobewertung verändern. Die Anpassungen könnten wie in Tabelle 6.3 durchgeführt werden. Damit erhält man die in Abbildung 6.17 und Abbildung 6.18 dargestellten Ergebnisse, welche sich hinsichtlich der Risikoklassifikation des Projekts besser mit den Erwartungen des Managements decken.

Tabelle 6.3 Unterschiedliche Gewichtungen der Risikodimensionen zur Berechnung der Gesamt-RPZ

Risikodimension	Gewichtung alt	Gewichtung neu
Überschreitung der Projektdauer	1,0	1,0
Nicht-Erreichung der Projektziele	1,0	1,0
Überschreitung der Personalkosten	0,9	0,9
Überschreitung der Sach-/Materialkosten	0,7	0,6
Überschreitung der Kosten wiss. Partner/Lstg. Dritter	0,7	0,4

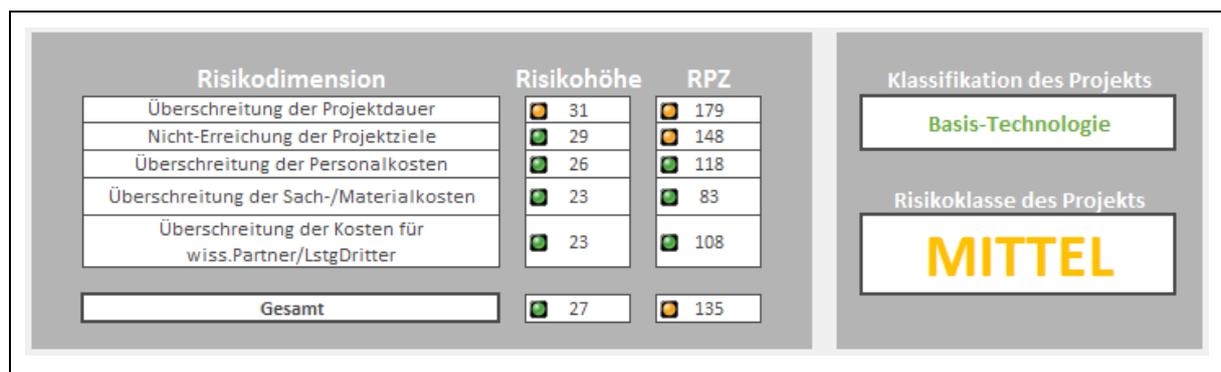


Abbildung 6.17 Angepasste Bewertung Beispielprojekt 1

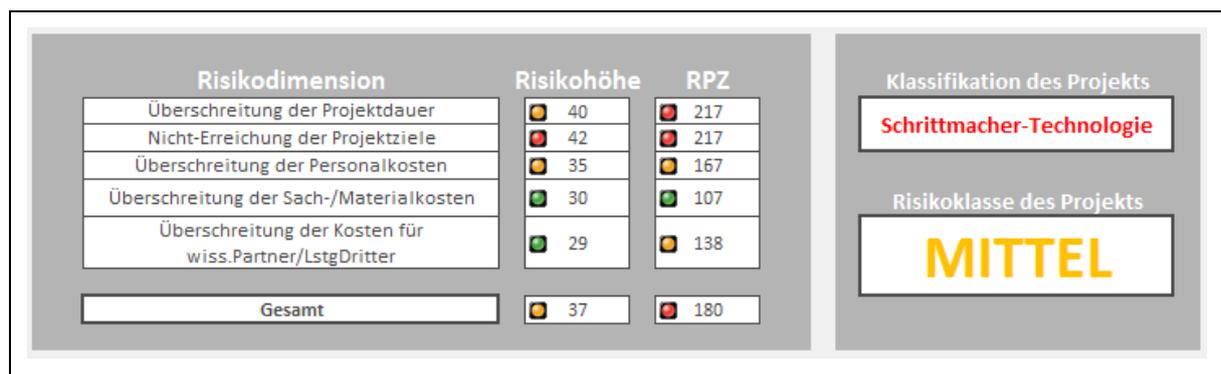


Abbildung 6.18 Angepasste Bewertung Beispielprojekt 2

Wie zu erwarten war, liefert die Risikobewertung anfangs keine vollkommen zufriedenstellenden Resultate. Dennoch haben die erzielten Ergebnisse die Erwartungen bezüglich der Verwendbarkeit der Aussage aus dem Risikobewertungstool übertroffen. Jedoch müssen die Bewertungen über einen gewissen Zeitraum evaluiert und das Risikobewertungstool ständig angepasst werden, um befriedigende Bewertungen zu erhalten.

6.6 Eignung des Verfahrens zum Treffen von Durchführungsentscheidungen

Das im Zuge dieser Arbeit entwickelte Verfahren bewertet speziell das Projektrisiko der betrachteten Forschungs- und Entwicklungsprojekte. Damit ist eine Aussage über das Risiko, dass ein Projekt seinen geplanten Umfang hinsichtlich Kosten und Dauer überschreitet oder die technischen Projektziele quantitativ oder qualitativ nicht erreicht, möglich. Um eine qualifizierte Entscheidung über die Durchführung oder den Abbruch eines Projekts treffen zu können, muss man vor allem in dem hoch komplexen und volatilen Bereich der F&E noch weitere Untersuchungen anstellen.

Einer der treibenden Gründe für die Durchführung eines Entwicklungsprojektes ist der bei erfolgreicher Durchführung erwartete technologische Vorsprung gegenüber der Konkurrenz. Gelingt es, diese gewonnene technische Überlegenheit im Zuge einer Innovation am Markt zu etablieren, kann der daraus generierte Marktvorteil eine dauerhafte Stärkung der Marktposition des Unternehmens bewirken. Ein Unternehmen wird eher gewillt sein, ein hohes Risiko einzugehen, wenn der potenzielle Marktvorteil aufgrund des Projekts ebenfalls ein hoher ist. Daher ist neben einer Risikobewertung auch eine Analyse des erwarteten Wettbewerbsvorteils durch das Projekt sinnvoll.

In der F&E gibt es manchmal auch Projekte, welche sich mit Technologien beschäftigen, die sich noch in einem sehr frühen Forschungsstadium befinden. Bei diesen Projekten kommt neben einem hohen potenziellen Marktvorteil auch ein Aspekt aus dem Marketing zum Tragen. Um sich nach außen als fortschrittliches und innovationsorientiertes Unternehmen darzustellen, werden oft hoch riskante Entwicklungsprojekte begonnen. Bei diesen Projekten ist zu Beginn teilweise nicht klar, ob die untersuchte Technologie auch in ferner Zukunft in irgendeiner Weise wirtschaftlich sinnvoll nutzbar sein wird. Sollten diese Forschungsvorhaben allerdings erfolgreich abgewickelt werden, kann daraus ein mächtiger Wettbewerbsvorteil entstehen. Diese Projekte sind vom risikotechnischen Standpunkt aus sehr schwer zu behandeln, da absichtlich ein sehr hohes Risiko in Kauf genommen wird.

Die hier behandelten Punkte sind nur einige Kriterien, deren Betrachtung für eine qualifizierte Entscheidung zur Durchführung nötig wären. Daher kann man an dieser Stelle nur zu dem Schluss kommen, dass sich das entwickelte Risikobewertungstool alleine nicht als Entscheidungsgrundlage eignet. Es wäre allerdings denkbar, die Bewertung des Projektrisikos in eine umfassendere Betrachtung mit einzubeziehen und somit eine Hilfestellung beim Treffen einer Durchführungsentscheidung zu geben.

7 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel werden die wesentlichen Ergebnisse, die im Zuge dieser Arbeit erzielt wurden, noch einmal kurz zusammengefasst. Anschließend sollen in einem weiteren Schritt an dieser Stelle auch Vorschläge für mögliche Erweiterungen des entwickelten Risikobewertungssystems vorgestellt werden.

7.1 Zusammenfassung der empirischen Untersuchung

Aus den Experteninterviews über Risikobewertung bei Entwicklungsprojekten konnten sehr interessante Informationen gewonnen werden. Vor allem, dass alle Unternehmen Risikobewertungen auch bei F&E-Projekten durchführen, zeigt wie weit das Thema Risikomanagement bereits in die Praxis vorgedrungen ist. In der F&E handelt es sich dabei aber um einen sehr jungen Teilbereich, weshalb sich die eingesetzten Abläufe und Methoden zwischen den Unternehmen sehr stark unterscheiden.

Für die Risikobewertung und das Risikomanagement gibt es in der Industrie derzeit noch keine Standards. Vielmehr trifft man auf eine Vielzahl an individuell auf das Unternehmen angepasste Verfahren. Die meisten wurden von den Unternehmen selbst entworfen und über Jahre weiterentwickelt. Das Erstellen eines Risikobewertungssystems ist ein Prozess, dessen Output ständig kritisch hinterfragt werden muss. Heutzutage haben einige Firmen stark standardisierte und zuverlässige Anwendungen um das Risiko ihrer Projekte zu bewerten. Trotzdem sollte man sich bei der Risikobewertung nicht nur auf diese Tools verlassen.

Neben standardisierten Verfahren wie der FMEA sind im Zuge der Risikobewertung vor allem Expertenbewertungen und Projektgruppenmeetings von großer Bedeutung. Egal, welche Verfahren angewendet werden, ist es wichtig, die gewonnenen Erkenntnisse festzuhalten und für spätere Bewertungen zugänglich zu machen. Dabei zeigt sich ein Vorteil der standardisierten, softwarebasierten Werkzeuge, da das Wissen über die Risikobewertung auch beim Austritt von Experten im Unternehmen vorhanden bleibt.

Die Abläufe im Risikomanagement sind von Unternehmen zu Unternehmen verschieden und speziell auf die jeweiligen Anforderungen angepasst. Ein Risikopriorisierungssystem erweist sich als sehr vorteilhaft für die Effizienz des Risikomanagements, da die zumeist knappen Ressourcen optimal zur Risikovermeidung eingesetzt werden können. Dabei ist es allerdings sehr wichtig, dass die Einteilung der Risiken in überschaubare und klar abgegrenzte Klassen erfolgt.

Wenn auch alle Unternehmen Systeme zur Risikobewertung und für das Risikomanagement im Bereich der F&E implementiert haben, ist erkennbar, dass man in diesem Bereich erst am Beginn eines interessanten und vor allem in wirtschaftlich stark volatilen Zeiten für den dauerhaften Erfolg der Unternehmen sehr wichtigen Themenbereich steht.

7.2 Zusammenfassung der Risikobewertung von Entwicklungsprojekten

Wie schon im vorherigen Abschnitt beschrieben, handelt es sich bei der Risikobewertung von Entwicklungsprojekten um ein noch junges Teilgebiet der Risikobewertung. Diesem Umstand ist es zuzuschreiben, dass es keinerlei Literatur über Risikobewertungen bei Entwicklungsprojekten gibt. Vielmehr gibt es auch wenig Literatur über die Verwendung qualitativer Ansätze und Verfahren in der Risikobewertung, vor allem im Bereich Projektmanagement. Die einschlägige Literatur im Bereich der Risikobewertung beschäftigt sich zumeist mit quantitativen Methoden zur Bewertung des Risikos bei finanztechnischen Vorgängen oder bei investitions- und produktstrategischen Entscheidungen. Daher wurde im ersten Teil dieser Arbeit nach Verfahren gesucht, mit denen eine auf qualitativen Merkmalen basierende Risikobewertung für Entwicklungsprojekte durchgeführt werden kann.

Mit dem Verfahren der RFMEA wurde ein Ablauf gewählt, welcher in seiner Grundform der FMEA, im ingenieurwissenschaftlichen Bereich in der Qualitätssicherung weit verbreitet ist. Diese Methode eignet sich besonders gut zur Bewertung qualitativer und quantitativer Merkmale in einem Verfahren. Die RFMEA bietet dabei eine Vielzahl an Möglichkeiten um sie an die betrachtete Problemstellung anzupassen und die Ergebnisse einfach und übersichtlich darzustellen. Ein weiterer Vorteil der RFMEA liegt in der Bekanntheit des Verfahrens. Dadurch können etwaige anfängliche psychologische Hürden hinsichtlich der Verwendung des Risikobewertungstools vermindert werden. Mit dem Einsatz der Fuzzy Set Methoden wurde das Anwendungsgebiet der RFMEA durch die Integration linguistischer Aussagen in der Bewertung noch weiter ausgebaut. Durch die Verwendung dieser Aussagen konnte das Bewertungstool besser an das menschliche Kommunikationsverhalten angepasst werden. Auch die Implementation von menschlichem Entscheidungsverhalten über Entscheidungsmatrizen ist dabei von großem Nutzen, da dadurch die Programmierung komplexerer Entscheidungslogiken ermöglicht wurde.

Während der Risikoidentifikation und Risikobewertung wurde bewusst darauf geachtet, sowohl Projektleiter als auch Personen aus dem Management teilhaben zu lassen. Dieses Vorgehen ermöglichte das Einfließen differenzierter Betrachtungsweisen in die Risikobewertung und steigert die anfängliche Akzeptanz gegenüber der Risikobewertung auf beiden Seiten. Im Zuge dieser Bewertung wurden mehrere Iterationsschritte durchgeführt und verschiedene Verfahren der Bewertung angewandt. Daraus wurde ein umfangreicher Datensatz generiert, welcher eine Momentaufnahme der Projektrisiken im Bereich der F&E widerspiegelt und auf dem subjektiven Empfinden der befragten Personen basiert. Wie auch schon in der Zusammenfassung der Interviews erwähnt, handelt es sich bei den meisten Verfahren zur Risikobewertung um über Jahre weiterentwickelte Methoden, die auf ständig überarbeiteten empirischen Daten basieren. Auch der hier generierte Datensatz sollte keinesfalls als statisch betrachtet, sondern in einem dynamischen Prozess ständig weiterentwickelt werden.

Das entwickelte Verfahren zur Risikobewertung von Entwicklungsprojekten und das darauf aufbauende Softwaretool ermöglichen eine schnelle und einfache Bewertung des Risikos von Entwicklungsprojekten. Die Ergebnisse, welche man von diesem Programm nach der Bewertung erhält, haben die Erwartungen an die Zuverlässigkeit der Aussagen des Tools übertroffen. Es wurde im Zuge der durchgeführten Testläufe festgestellt, dass dieses Tool oft

das erwartete Ergebnis seitens des Managements widerspiegelt. Trotzdem muss an dieser Stelle erneut darauf hingewiesen werden, dass die Ergebnisse des Risikobewertungstools über längere Zeit evaluiert und die zugrunde gelegten Bewertungen angepasst werden müssen, um verlässliche Aussagen aus diesem standardisierten Tool erhalten zu können.

7.3 Erweiterungsvorschläge zum gefundenen System

Während der Arbeit wurde die Eignung dieses Verfahrens als Entscheidungsgrundlage für Durchführungsentscheidungen untersucht. Dabei musste festgestellt werden, dass die Bewertung des Projektrisikos alleine für diese Aufgabe nicht ausreicht. Vielmehr müssten dafür auch wirtschaftliche und unternehmenspolitische Betrachtungen in diese Bewertung einfließen. Eine Ausdehnung des Betrachtungsfeldes über die F&E Abteilung hinaus würde sich an dieser Stelle als wertvolle Erweiterung darstellen.

Mögliche Erweiterungen wären:

- Markt- und Wettbewerbsanalysen
- Absatzanalysen
- Bewertungen des erwarteten Wettbewerbsvorteils
- Bewertung des Nutzens für die Erreichung strategischer Unternehmensziele

Mit den vorgeschlagenen Erweiterungen würde das Verfahren bei Entscheidungen über die Durchführungswürdigkeit eines Projekts eine Hilfestellung für qualifizierte Entscheidungen bieten.

Literaturverzeichnis

- Adam, D., 1996. *Planung und Entscheidung: Modelle, Ziele, Methoden*. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Alarcón, L. & Ashley, D. B., 1998. Project management decision making using cross-impact analysis. *International Journal of Project Management*, 16(3), pp. 145-152.
- Bea, F. X., Scheurer, S. & Hesselmann, S., 2011. *Projektmanagement*. Konstanz, München: UVK Verlagsgesellschaft mbH.
- Böhme, G., 1993. *Fuzzy-Logik*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.
- Carbone, T. A. & Tippett, D., 2003. *The Projekt Risk FMEA: extending a quality tool to project risk analysis*. St. Louis, American Society for Engineering Management.
- Chapman, R. J., 1998. The effectiveness of working group risk identification and assessment techniques. *International Journal of Project Management*, 16(6), pp. 333-343.
- Delbecq, A. L., Van de Ven, A. H. & Gustafson, D. H., 1975. Group Techniques for Programme Planning, zit. nach Chapman, R. J., 1998. The effectiveness of working group risk identification and assessment techniques. *International Journal of Project Management*, 16(6), pp. 333-343.
- Diederichs, M., 2012. *Risikomanagement und Risikocontrolling*. München: Verlag Franz Vahlen.
- Dikmen, I., Birgonul, M. T. & Han, S., 2007. Using fuzzy risk assessment to rate cost overrun risk in international construction projects. *International Journal of Project Management*, Issue 25, pp. 494-550.
- Gimpel, B., Stolten, D., Dohle, H. & Mergel, J., 2002. Fehlerfahndung - Risikomanagement mit kreativem FMEA-Verfahren. *Qualität und Zuverlässigkeit*, 47(6), pp. 646-649.
- Gleißner, W. R. F., 2005. *Risikomanagement*. München: Rudolf Haufe Verlag.
- Häder, M., 2002. *Delphi-Befragungen - Ein Arbeitsbuch*. Wiesbaden: Westdeutscher Verlag GmbH.
- Hauschildt, J., 1993. *Innovationsmanagement*. München: Franz Vahlen GmbH.
- Hauschildt, J. & Gemünden, H. G., 2011. Dimensionen der Innovation. In: *Handbuch Technologie- und Innovationsmanagement*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Kahlert, J. & Frank, H., 1993. *Fuzzy-Logik und Fuzzy-Control*. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg Verlag.
- Keitsch, D., 2000. *Risikomanagement*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.
- Kluge, F., 1975. *Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache*. Berlin, New York: Walter de Gruyter & Co..
- Knight, F. H., 1971. *Risk, Uncertainty and Profit*. Chicago, London: The University of Chicago Press.
- Little, A. D., 1986. *Management im Zeitalter der strategischen Führung*. Wiesbaden: Gabler GmbH.

- Meixner, O. & Haas, R., 2012. *Wissensmanagement und Entscheidungstheorie*. Wien: Facultas Verlags- und Buchhandels AG.
- Michel, K., 1990. *Technologie im strategischen Management*. Berlin: Schmidt.
- OECD, 2002. *Proposed Standard Practice for Surveys on Research and Experimental Development: Frascati Manual*. Paris: OECD.
- Oehler, A. & Unser, M., 2002. *Finanzwirtschaftliches Risikomanagement*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.
- Philipp, F., 1967. *Risiko und Risikopolitik*. Stuttgart: C. E. Poeschel Verlag.
- Prion, W., 1935. *Die Lehre vom Wirtschaftsbetrieb. Der Wirtschaftsbetrieb als Wirtschaft (Unternehmung)*. Berlin: Verlag von Julius Springer.
- Schuppisser, H. R., 1978. *Gestaltung der Investitionsentscheidung unter Berücksichtigung des Risikos*. Zürich: Universität Zürich.
- Sunzi, 2001. *Die Kunst des Krieges*. München: Droemersch Verlagsanstalt Th. Knaur Nachf..
- Tietjen, T. & Müller, D. H., 2003. *FMEA-Praxis - das Komplettpaket für Training und Anwendung*. München, Wien: Carl Hanser Verlag.
- Traeger, D. H., 1993. *Einführung in die Fuzzy-Logik*. Stuttgart: B. G. Teubner Verlag.
- Wirnsperger, J., 1996. Die Projekt-FMEA. *Qualität und Zuverlässigkeit*, 41(11), pp. 1292-1294.
- Witte, E., 1973. *Organisation für Innovationsentscheidungen*. Göttingen: Otto Schwartz & Co..
- Zangemeister, C., 1976. *Nutzwertanalyse in der Systemtechnik*. München: Wittemansche Buchhandlung.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1 Beispielhafte Meilensteinanalyse im F&E-Projektmanagement.....	1
Abbildung 2.1 Dichotome Begriffsdefinition des Risikos	5
Abbildung 2.2 Risiko als Informationszustand	6
Abbildung 2.3 Magisches Dreieck der Projektsteuerung.....	10
Abbildung 3.1 Schematische Darstellung Kauf eines PKW.....	13
Abbildung 3.2 Beispielskalen für die Bewertung	14
Abbildung 3.3 Portfolio-Darstellung der FMEA-Arten.....	19
Abbildung 3.4 Beispielhafter Ablauf eines RFMEA-Prozesses.....	27
Abbildung 3.5 Paretoverteilungen für RPZ und Risikohöhe des vorliegenden Beispiels	29
Abbildung 3.6 RPZ über Risikohöhe Streudiagramm des gewählten Beispiels	30
Abbildung 4.1 Beispiel Buch exakte Gewichtsklasse "sehr schwer".....	33
Abbildung 4.2 Beispiel Buch Fuzzy-Gewichtsklassen.....	34
Abbildung 4.3 Zugehörigkeitsfunktionen mit linearen Grenzen	34
Abbildung 4.4 Zugehörigkeitsfunktionen mit nicht-linearen Grenzen.....	35
Abbildung 4.5 Ablauf der Fuzzifizierung	36
Abbildung 4.6 Fuzzifikation der Mitarbeiteranzahl.....	37
Abbildung 4.7 Fuzzifikation der geplanten Projektkosten.....	37
Abbildung 4.8 Ablauf der Inferenz	38
Abbildung 4.9 Ergebnisfläche bei Verwendung der MAX/MIN-Methode	42
Abbildung 4.10 Ergebnisfläche bei Verwendung der MAX/PROD-Methode.....	42
Abbildung 4.11 Ablauf der Defuzzifizierung	43
Abbildung 4.12 Darstellung des Schwerpunktes.....	44
Abbildung 5.1 Risiko-Landkarte für Entwicklungsprojekte der ANDRITZ HYDRO Weiz.....	54
Abbildung 5.2 Indikatoren und deren Ausprägungen im Technologielebenszyklus.....	56
Abbildung 5.3 Auswirkung der Streichung der Extremwerte	60
Abbildung 5.4 Standardabweichungen nach der zweiten Befragungsrunde.....	60
Abbildung 6.1 Lineares Bewertungssystem zur Bewertung der geplanten Gesamtprojektkosten.....	66
Abbildung 6.2 Operationalisierung eines linearen Bewertungssystems in VBA	67
Abbildung 6.3 Auswertungsfenster der Risikobewertung	70
Abbildung 6.4 RPZ über Risikohöhe Streudiagramm.....	70

Abbildung 6.5 Spinnennetzdiagramm zur Bewertung der Verlässlichkeit der Bewertung.....	71
Abbildung 6.6 Anwendung von FSM zur Bewertung der Projektgröße.....	73
Abbildung 6.7 Subroutine zur Fuzzifizierung scharfer Werte in 5 unscharfe Klassen.....	73
Abbildung 6.8 Grafische Darstellung der Klassenformen von fuzzy5Class	74
Abbildung 6.9 Subroutine zur Fuzzifikation scharfer Werte in einer mittleren unscharfen Klasse	75
Abbildung 6.10 Flächenberechnung für Zugehörigkeitsgrade kleiner und größer 0,5	76
Abbildung 6.11 Subroutine zur Inferenz unscharfer Werte.....	76
Abbildung 6.12 Berechnungsablauf des Risikos der Verzögerung einer Managemententscheidung	77
Abbildung 6.13 Subroutine zur Defuzzifikation unscharfer Werte	77
Abbildung 6.14 Subroutine zur Defuzzifikation unscharfer Werte in einer mittleren Klasse...	78
Abbildung 6.15 Auswertung Beispielprojekt 1	79
Abbildung 6.16 Auswertung Beispielprojekt 2.....	79
Abbildung 6.17 Angepasste Bewertung Beispielprojekt 1	80
Abbildung 6.18 Angepasste Bewertung Beispielprojekt 2.....	80

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1 Übersicht der Risikokategorien in Unternehmen	7
Tabelle 2.2 Abgrenzung der einzelnen Phasen der Forschung und Entwicklung nach OECD 8	
Tabelle 3.1 Dominanzmatrix für vollständigen Paarvergleich.....	13
Tabelle 3.2 Modellvarianten für PKW Kauf	14
Tabelle 3.3 Nutzwertanalyse PKW Kauf	15
Tabelle 3.4 Methodischer Zusammenhang zwischen den FMEA Arten	18
Tabelle 3.5 Zusammenhang von FMEA-Arten am Beispiel eines Anlagers.....	20
Tabelle 3.6 Bewertungsschema für die Auftrittswahrscheinlichkeit (System-/Konstruktions-FMEA).....	21
Tabelle 3.7 Bewertungsschema für die Bedeutung des Fehlers	21
Tabelle 3.8 Bewertungsschema für die Entdeckungswahrscheinlichkeit.....	22
Tabelle 3.9 Formblatt nach VDA '86	23
Tabelle 3.10 Bewertungsschema für die Risiko-Eintrittswahrscheinlichkeit (RE)	24
Tabelle 3.11 Bewertungsschema für die Risiko-Auswirkung (RA)	25
Tabelle 3.12 Bewertungsschema für die Risiko-Früherkennungswahrscheinlichkeit (RF) und die Wirksamkeit der Gegenmaßnahmen	26
Tabelle 3.13 Beispielhafter formaler Aufbau einer RFMEA.....	27
Tabelle 3.14 RFMEA Beispiel.....	28
Tabelle 4.1 Daten des Beispielprojekts.....	36
Tabelle 4.2 ermittelte Zugehörigkeitsgrade.....	38
Tabelle 4.3 Entscheidungsmatrix für die Größenklassen des gewählten Projekts.....	39
Tabelle 4.4 Verarbeitung der Zugehörigkeitsgrade mit dem MIN-Operator	40
Tabelle 4.5 Verarbeitung der Zugehörigkeitsgrade mit dem MAX –Operator	41
Tabelle 4.6 Anwendung der unterschiedlichen Verfahren auf den MIN-Operator.....	41
Tabelle 4.7 Anwendung der unterschiedlichen Verfahren auf den MAX-Operator	41
Tabelle 5.1 Auszug der Auswertungstabelle für die Experteninterviews	47
Tabelle 5.2 Ideenaggregations-, Vorhersage- und Konsens-Delphi sowie Delphi zur Ermittlung von Expertenmeinungen im Vergleich	59
Tabelle 5.3 Ausszug aus der Cross-Impact Matrix.....	61
Tabelle 5.4 Bewertungsskala der Cross-Impact Analyse	62
Tabelle 5.5 Auszug aus den Ergebnissen der Entwicklung der Bewertungskriterien	63
Tabelle 6.1 Verrechnung der Antworten mit Wenn/Dann-Beziehungen	66

Tabelle 6.2 Fragen und Gewichtungen zur Bestimmung der Position im TLZ.....	68
Tabelle 6.3 Unterschiedliche Gewichtungen der Risikodimensionen zur Berechnung der Gesamt-RPZ	80

Abkürzungsverzeichnis

A	Auftrittswahrscheinlichkeit	RFMEA	Projektrisiko-FMEA
AHP	Analytical Hierarchical Process	RH	Risikohöhe
B	Bedeutung des Fehlers	RPZ	Risikoprioritätszahl
bzw.	beziehungsweise	S.	Seite
cog	Center of Gravity	sog.	sogenannte/-er/-es
d.h.	das heißt	SWOT	Strength/Weaknesses/ Opportunities/Threats
E	Entdeckungswahrscheinlichkeit	u.Ä.	und Ähnliche/-er/-es
EDV	Elektronische Datenverarbeitung	VBA	Visual Basics Applications
etc.	et cetera	VDA	Verband der Automobilindustrie
F&E	Forschung & Entwicklung	Vgl.	Vergleiche
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis	Z. B.	Zum Beispiel
FC	Fuzzy Control	μ	Zugehörigkeitsgrad
FS	Fuzzy Sets		
FSM	Fuzzy Set Methods		
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung		
MGT	Management		
NGT	Nominal Group Technique		
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung		
o. Ä.	oder Ähnliche/Ähnliches		
PA	Patent Anmeldungen		
PL	Projektleiter		
R&D	Research & Development		
RA	Risiko-Auswirkung		
RE	Risiko- Eintrittswahrscheinlichkeit		
RF	Risiko-Früherkennungs- wahrscheinlichkeit		

Anhang

Anhang 1: Leitfaden für die Experteninterviews.....	94
Anhang 2: Klassifikation der befragten Unternehmen.....	109
Anhang 3: Riskmap für Entwicklungsprojekte der ANDRITZ HYDRO Weiz.....	110
Anhang 4: Ergebnisse der Delphi-Befragungen	111
Anhang 5: Ergebnisse der Cross-Impact Analyse (CI-Matrix).....	114
Anhang 6: Fragestellungen zur Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit	115
Anhang 7: RFMEA für Risikobewertung von Entwicklungsprojekten	118

Anhang 1: Leitfaden für die Experteninterviews

Risikobewertung von Entwicklungsprojekten

Leitfaden für Experteninterviews

Unternehmen	
Interviewpartner	
Position im Unternehmen	
Tätigkeit im Unternehmen	
Gesprächsbeginn	
Gesprächsende	
Datum	

1 Fragen über das Unternehmen

Anzahl der Beschäftigten	
Branche	
Art der Produkte	
Nationales oder internationales Unternehmen	

2 Fragen zur Forschung & Entwicklung im Unternehmen

2.1	Wie hoch ist der Anteil des F&E Budgets am Gesamtbudget des Unternehmens?	
Anteil F&E Budget [%]		

2.2	Wie viele Beschäftigte arbeiten in der F&E?	
Beschäftigte in der F&E		

2.3	Welche Art von F&E-Projekten führen Sie in welchen Anteilen aus?	
Grundlagenforschung [%]		
Anwendungsorientierte Forschung [%]		
Entwicklung [%]		
KVP- bzw. CIP-Projekte [%]		

2.4	Gibt es in Ihrem Unternehmen eine eigene F&E Abteilung	
<input type="checkbox"/>	Ja	<input type="checkbox"/> Nein weiter mit Frage 3.1

2.5	Wie ist Ihre F&E Abteilung in die Organisation Ihrer Unternehmung eingebettet?	
<input type="checkbox"/>	Zentral	<input type="checkbox"/> Dezentral
<input type="checkbox"/>	Andere Einbettung (Welche?)	

3 Fragen zum Projektmanagement im F&E Bereich

3.1	Wie viele F&E Projekte werden pro Jahr durchgeführt, über welchen Bereich erstreckt sich dessen Dauer und in welchen Bereich liegen ihre Kosten?	
	Anzahl der F&E Projekte	
	Dauer der F&E Projekte	
	Kosten der F&E Projekte	

3.2	Wie sieht die Organisation Ihrer F&E Projekte aus?	
	<input type="checkbox"/> Reine Projektorganisation	<input type="checkbox"/> Einflussprojektorganisation
	<input type="checkbox"/> Matrixprojektorganisation	<input type="checkbox"/> Projektorientierte Teilorganisation
	<input type="checkbox"/> Linienprojektorganisation	
	<input type="checkbox"/> Andere Organisationsform (Welche?)	

3.3	Gibt es ein Projektmanagement – Tool für F&E Projekte?	
	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein weiter mit Frage 3.5

3.4	Welches Projektmanagement – Tool verwenden Sie?	

3.5	Wickeln Sie F&E Projekte im Rahmen von Kundenprojekten ab?	
	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein weiter mit Frage 3.6

3.6	Wie viele Projekte wickeln Sie im Rahmen von Kundenaufträgen ab und wie viele als Eigeninitiative?	
	Kundenauftrag [%]	
	Eigeninitiative [%]	

3.7	Wickeln Sie auch geförderte F&E Projekte ab?		
<input type="checkbox"/>	Ja	<input type="checkbox"/>	Nein
			weiter mit Frage 3.9

3.8	Welcher Prozentsatz des F&E Budgets ist in geförderten Projekten?		
F&E Budget in geförderten Projekten [%]			

3.9	Welche Förderschienen nutzen Sie (FFG, EFRE, SFG, EU-Projekte, CD-Labors, Kompetenzzentren... etc.)?		

3.10	Wer erarbeitet bzw. definiert die Projektziele?		
<input type="checkbox"/>	Projektverantwortlicher/-leiter	<input type="checkbox"/>	Vorgesetzte
<input type="checkbox"/>	Projektteam	<input type="checkbox"/>	Auftraggeber
<input type="checkbox"/>	Andere (Welche?)		

3.11	Wie viele Projekte überschreiten den geplanten Umfang bezüglich Projektdauer und Projektkosten, verfehlen das Projektziel oder werden komplett abgebrochen?		
Überschreitung der Projektdauer [%]			
Überschreitung der Projektkosten [%]			
Verfehlen des Projektziels [%]			
Abbruch des Projekts [%]			

3.12	Der Erfolg von F&E Projekten macht sich unmittelbar im Produktabsatz bemerkbar.			
	Trifft zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4 Fragen zur Risikobewertung von Projekten

4.1	Bewerten Sie das Risiko von Projekten im F&E Bereich?
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein weiter mit Frage 5.1

Ablauf (Prozess) der Risikobewertung

4.2	Wie sieht die Risikobewertung von Projekten im F&E Bereich aus?

4.3	Teilen Sie die Projekte in verschiedene Risikoklassen ein?
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein weiter mit Frage 4.5

4.4	Welche Risikoklassen sind das und wie unterscheiden sich diese?

4.5	Wer ist für die Risikobewertung verantwortlich?
<input type="checkbox"/> Projektverantwortlicher/-leiter	<input type="checkbox"/> Vorgesetzte
<input type="checkbox"/> Projektteam	<input type="checkbox"/> zusammengesetztes Expertenteam
<input type="checkbox"/> Andere (Welche?)	

4.6	Verwenden Sie Ihr Risikobewertungssystem auch als Entscheidungsbasis für „Go oder No-Go“ Entscheidungen am Projektanfang?
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein

4.7	Wann wird die Risikobewertung eines F&E Projekts bei Ihnen durchgeführt?
<input type="checkbox"/> Nur während der Planungsphase	<input type="checkbox"/> laufend während des Projekts
<input type="checkbox"/> Andere Bewertungszeitpunkte (Welche?)	

4.8	Haben Sie einen Risikobewertungsprozess im Projektmanagement implementiert?
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein weiter mit Frage 4.9

4.9	Wie sieht dieser Risikobewertungsprozess aus?

Implementiertes Risikomanagement-System

4.10	Haben Sie ein System zur Risiko Priorisierung?
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein weiter mit Frage 4.12

4.11	Wie sieht das System zur Risiko Priorisierung aus und nach welchen Merkmalen wird die Einteilung in die unterschiedlichen Prioritätsstufen unternommen?

4.12	Haben Sie ein Risikomanagement für F&E Projekte?
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein weiter mit Frage 4.15

4.13	Sieht das Risikomanagement unterschiedliche Maßnahmen für die Risiken in den einzelnen Prioritätsklassen vor?
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein

4.14	Welche unterschiedlichen Maßnahmen sind das?

Qualitative und quantitative Kriterien für die Risikobewertung

4.15	Beziehen Sie quantitative Kennzahlen in die Risikobewertung mit ein?
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein weiter mit Frage 4.18

4.16	Welche quantitativen Kennzahlen sind das?

4.17	Welche dieser Kennzahlen kommen auch in Ihrem Projektmanagement-Tool vor?

4.18	Beziehen sie auch qualitative Kriterien in die Risikobewertung mit ein?	
<input type="checkbox"/>	Ja	<input type="checkbox"/> Nein weiter mit Frage 4.21

4.19	Welche qualitativen Kriterien sind das?

Eingesetztes Verfahren in der Risikobewertung

4.20	Welches Verfahren verwenden Sie, um qualitative Kriterien zu bewerten?	
<input type="checkbox"/>	Nutzwertanalyse	<input type="checkbox"/> FMEA
<input type="checkbox"/>	Expertenbewertungen	<input type="checkbox"/> Bewertungsmeetings
<input type="checkbox"/>	Delphi-Technik	<input type="checkbox"/> Fehlerbaumanalyse
<input type="checkbox"/>	Balanced Score Card (Balanced Risk)	<input type="checkbox"/> Szenario-Technik
<input type="checkbox"/>	Andere Bewertungsverfahren (Welche?)	

4.21	Bewerten Sie das Risiko, dass ein Projekt die geplante Projektdauer überschreitet?	
<input type="checkbox"/>	Ja	<input type="checkbox"/> Nein weiter mit Frage 4.23

4.22	Welche Kriterien verwenden Sie zur Risikobewertung der Projektdauerüberschreitung und wie sieht die Bewertungsmethode aus?

4.23	Bewerten Sie das Risiko, dass ein Projekt die geplanten Projektkosten überschreitet?
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein weiter mit Frage 4.25

4.24	Welche Kriterien verwenden Sie zur Risikobewertung der Projektkostenüberschreitung und wie sieht die Bewertungsmethode aus?

4.25	Bewerten Sie das Risiko, dass ein Projekt die Projektziele nicht erreicht?
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein weiter mit Frage 4.27

4.26	Welche Kriterien verwenden Sie zur Risikobewertung der Projektzielerreichung und wie sieht die Bewertungsmethode aus?

Reaktion auf identifizierte Risiken

4.27	Welche Konsequenzen ziehen Sie bei Nicht-Erreichung der Projektziele?

4.28	Differenzieren Sie bei den Konsequenzen zwischen den einzelnen Risikoklassen?
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein weiter mit Frage 4.30

4.29	Wie differenzieren Sie zwischen den einzelnen Risikoklassen bzw. Wie unterscheiden sich die Konsequenzen in den einzelnen Risikoklassen?

Eingesetztes Risikobewertungstool

4.30	Haben Sie ein softwarebasiertes Tool für die Risikobewertung?
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein weiter mit Frage 6.1

4.31	Auf welcher Software baut dieses Risikobewertungs-Tool auf?

Weiter mit Frage 6.1

5 Fragen zur Erfolgsbewertung von Projekten

5.1	Benutzen Sie ein Projektmanagementtool zur Überwachung und Erfolgsbewertung von Projekten im F&E Bereich?
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein weiter mit Frage 5.3

5.2	Welche Kriterien werden mit diesem Tool betrachtet?

5.3	Wer ist für die Erfolgsbewertung verantwortlich?
<input type="checkbox"/> Projektverantwortlicher/-leiter	<input type="checkbox"/> Vorgesetzte
<input type="checkbox"/> Projektteam	<input type="checkbox"/> zusammengesetztes Expertenteam
<input type="checkbox"/> Andere (Welche?)	

5.4	Teilen Sie Ihre Projekte im F&E Bereich in verschiedene Klassen, je nach Umfang und Komplexität ein?
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein weiter mit Frage 5.7

5.5	Welche Klasse verwenden Sie für diese Einteilung und wie unterscheiden sie sich?

5.6	Werden die Projekte in den unterschiedlichen Projektklasse unterschiedlich behandelt? (Hinsichtlich Verwaltung, Organisation, Controlling... etc.)
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein

5.7	Inwiefern unterscheidet sich die Behandlung?

5.8	Verwenden Sie quantitative Kennzahlen in der Bewertung?	
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein	weiter mit Frage 5.10

5.9	Welche quantitativen Kennzahlen sind das?

5.10	Beziehen sie auch qualitative Kriterien in die Bewertung mit ein?	
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein	weiter mit Frage 5.12

5.11	Welche qualitativen Kriterien sind das?

5.12	Könnten Sie sich vorstellen, dass einigen dieser Kennzahlen auch für die Risikobewertung von Projekten geeignet wären?
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein weiter mit Frage 5.18

5.13	Welche Kennzahlen sind dies und wie könnten sie eingesetzt werden?

5.14	Welche Kennzahlen wären zur Bewertung des Risikos, dass ein Projekt die geplante Projektdauer überschreitet, geeignet?

5.15	Welche Kennzahlen wären zur Bewertung des Risikos, dass ein Projekt die geplanten Projektkosten überschreitet, geeignet?

5.16	Welche Kennzahlen wären zur Bewertung des Risikos, dass ein Projekt die geplante Projektziele bzw. den geplanten Projektumfang nicht erreicht, geeignet?

5.17	Welche Konsequenzen ziehen Sie bei Nicht-Erreichung der Projektziele?

5.18	Differenzieren Sie bei den Konsequenzen zwischen den einzelnen Projektklassen?
<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein weiter mit Frage 6.1

5.19	Wie differenzieren Sie zwischen den einzelnen Projektklassen bzw. Wie unterscheiden sich die Konsequenzen in den einzelnen Risikoklassen?

6 Abschließende Fragen

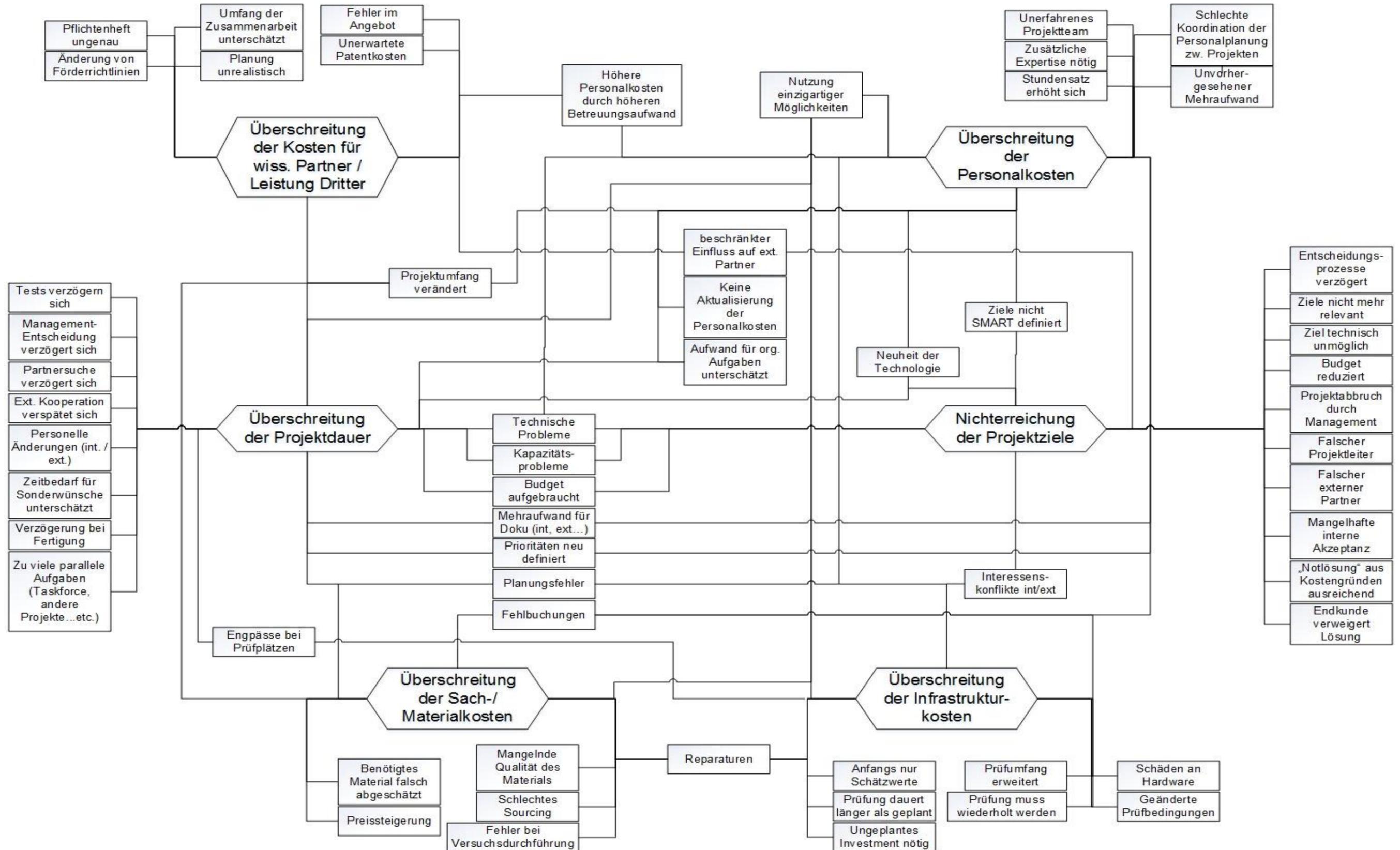
6.1	Traten Probleme mit der Risikobewertung von F&E Projekte auf?

6.2	Gibt es weitere Punkte welche für Sie, für die Risikobewertung von Bedeutung sind?

Anhang 2: Klassifikation der befragten Unternehmen

	Unter- nehmen A	Unter- nehmen B	Unter- nehmen C	Unter- nehmen D	Unter- nehmen E	Unter- nehmen F
Branche	Elektro- technik	Automobili- Zuliefer- industrie	Halbleiter	Logistik/ Automation	Halbleiter	Automobil- Zuliefer- industrie
	international	international	international	international	international	international
Mitarbeiter	ca. 1900	ca. 20	ca. 3100	ca. 2400		ca. 6800
davon in F&E	ca. 180	ca. 6	ca. 1100	ca. 300	ca. 400 in Ö	ca. 680
Einbettung der F&E Abteilung	zentral	dezentral	dezentral	zentral	zentral für Produkt- gruppen	dezentral
Anzahl F&E- Projekte	50-100	ca. 5	ca. 200	100-150	30 Groß- projekte	ca. 200
Organi- sation der Projekte	Matrix- projekt- organisation	Matrix- projekt- organisation	Matrix- projekt- organisation	Einfluss- projekt- organisation	50% in Matrix- und 50% in Linien- projekt- organisation	reine Projekt- organisation
Erfolg der F&E-Projekt in Produkt- absatz sichtbar?	Trifft zu	Trifft eher zu	Trifft zu	Trifft zu	Trifft zu	Trifft zu

Anhang 3: Riskmap für Entwicklungsprojekte der ANDRITZ HYDRO Weiz



Anhang 4: Ergebnisse der Delphi-Befragungen

Risikobezeichnung	Risikodimension	Auswirkung	Früherkennung	int. beeinflussbar
Tests verzögern sich	Projektdauer	8	6	Unsicher
Managemententscheidung verzögert sich	Projektdauer	8	5	Nein
Partnersuche verzögert sich	Projektdauer	4	4	Ja
externe Kooperation verspätet sich	Projektdauer	5	4	Nein
Personelle Änderungen (Kündigungen/Entlassungen intern und extern)	Projektdauer	5	10	Nein
Zeitbedarf für Sonderwünsche unterschätzt	Projektdauer	7	4	Ja
Verzögerungen in der Fertigung	Projektdauer	6	5	Unsicher
Zu viele parallele Aufgaben für PL oder PM (Taskforce, andere Projekte...etc.)	Projektdauer	9	6	Ja
Engpässe bei Prüfplätzen	Projektdauer	5	4	Unsicher
	Infrastrukturkosten	3		
Benötigtes Material falsch abgeschätzt	Sach-/Materialkosten	6	4	Ja
Preissteigerungen	Sach-/Materialkosten	4	4	Unsicher
Mangelnde Qualität des Materials	Sach-/Materialkosten	5	6	Unsicher
Schlechtes Sourcing	Sach-/Materialkosten	3	5	Ja
Fehler bei Versuchsdurchführung	Sach-/Materialkosten	6	7	Ja
Reparaturen	Sach-/Materialkosten	3	6	Unsicher
	Infrastrukturkosten	4		
Anfangs nur Schätzwerte für Infrastrukturkosten	Infrastrukturkosten	6	5	Nein
Prüfung dauert länger als geplant	Infrastrukturkosten	8	7	Nein
Ungeplantes Investment nötig	Infrastrukturkosten	7	7	Ja
Prüfung muss wiederholt werden	Infrastrukturkosten	6	9	Unsicher
Prüfumfang erweitert	Infrastrukturkosten	7	6	Ja
Geänderte Prüfbedingungen	Infrastrukturkosten	6	6	Unsicher

Schäden an Hardware	Infrastrukturkosten		5	Nein
Endkunde verweigert Lösung	Projektziele	5	4	Unsicher
Notlösung aus Kostengründen ausreichend	Projektziele	6	6	Ja
Mangelhafte interne Akzeptanz (z.B. im Management)	Projektziele	8	6	Unsicher
Falscher externer Partner	Projektziele	5	5	Unsicher
Falscher Projektleiter	Projektziele	6	4	Ja
Projektabbruch durch Management	Projektziele	5	9	Unsicher
Budget reduziert	Projektziele	5	5	Ja
Ziel technisch unmöglich	Projektziele	8	8	Unsicher
Ziel nicht mehr relevant	Projektziele	7	7	Ja
Entscheidungsprozesse verzögern sich	Projektziele	6	6	Ja
Unvorhergesehener Mehraufwand	Personalkosten	8	8	Nein
Schlechte Koordination der Personalplanung zwischen Projekten	Personalkosten	7	4	Ja
Stundensatz erhöht sich	Personalkosten	3	3	Unsicher
zusätzliche Expertise nötig	Personalkosten	5	4	Unsicher
unerfahrenes Projektteam	Personalkosten	6	4	Ja
Nutzung einzigartiger Möglichkeiten	Projektdauer		4	Ja
	Personalkosten			
	Sach-/Materialkosten	5		
	Infrastrukturkosten			
höhere Personalkosten durch höheren Betreuungsaufwand	Personalkosten	7	6	Unsicher
	wiss.Partner / Lstg Dritter	6		
Fehler im Angebot des externen Partners	wiss.Partner / Lstg Dritter	3	4	Unsicher
unerwartete Patentkosten	wiss.Partner / Lstg Dritter	3	4	Unsicher
Umfang der Zusammenarbeit unterschätzt	wiss.Partner / Lstg Dritter	7	4	Ja
Planung der Zusammenarbeit mit externen Partner unrealistisch	wiss.Partner / Lstg Dritter	6	5	Unsicher
Pflichtenheft ungenau	wiss.Partner / Lstg Dritter		5	Ja

Änderungen von Förderrichtlinien	wiss.Partner / Lstg Dritter	6	5	Nein
Projektumfang verändert	Projektdauer	6	5	Ja
	Personalkosten	8		
	Sach- /Materialkosten	8		
	Infrastrukturkosten	8		
	wiss.Partner / Lstg Dritter	6		
technische Probleme	Projektdauer	6	8	Nein
	Projektziele	7		
	Personalkosten	6		
Kapazitätsprobleme	Projektdauer	6	4	Ja
	Projektziele	7		
Budget aufgebraucht	Projektdauer	4	4	Ja
	Projektziele	7		
Mehraufwand für Dokumentation (für intern und extern)	Projektdauer	5	4	Unsicher
	Personalkosten	5		
Prioritäten neu definiert	Projektdauer	8	7	Ja
	Personalkosten	6		
Planungsfehler	Projektdauer	5	5	Ja
	Personalkosten	6		
	Sach- /Materialkosten	7		
Fehlbuchungen	Personalkosten	3	2	Ja
	Sach- /Materialkosten	3		
Interessenskonflikte (intern und extern)	Projektziele	5	6	Unsicher
	Infrastrukturkosten	5		
	wiss.Partner / Lstg Dritter	4		
Ziele nicht SMART definiert	Projektdauer	5	3	Ja
	Projektziele			
	Personalkosten			
Neuheit der Technologie	Projektdauer	9	5	Nein
	Projektziele	7		
	Personalkosten	7		
Aufwand für organisatorische Aufgaben unterschätzt	Projektdauer	4	5	Ja
Keine Aktualisierung der Personalkosten	Projektdauer	2	3	Ja
	Personalkosten	4		
beschränkter Einfluss auf externen Partner	Projektziele	6	4	Unsicher
	wiss.Partner / Lstg Dritter	5		

Anhang 6: Fragestellungen zur Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Fragen zum Projekt
Ist das Projekt gefördert?
Wenn Ja, müssen für den Fördergeber spezielle Berichte erstellt werden?
Wurden die Projektinhalte vom Projekt-Auftraggeber klar formuliert?
Wurden die technischen Spezifikationen mit dem Projekt-Auftraggeber abgestimmt?
Sind die Ziele eindeutig und präzise definiert?
Sind für die Zielerreichung Messkriterien definiert?
Ist das Projektziel mit den Technologiezielen des Unternehmens abgestimmt?
Stammt das Ziel aus einem Schadensfall aus einem Kundenprojekt?
Gibt es klare terminliche Vorgaben bis wann die Ziele erreicht werden müssen?
Ist die Erreichung der Ziele, in der vorgegebenen Zeit realistisch?
Ist die Erreichung der Ziele, mit dem vorgegebenen Budget realistisch?
Bekommen Sie regelmäßig die Projektkosten zur Überprüfung?
Wurde die Art und der Umfang der Dokumentation vorab mit dem Kunden/Auftraggeber vereinbart?
Sind dem Projekt genügend Mitarbeiter zugeordnet?

Fragen zu den geplanten Prüfungen/Versuchen
Sind aufwendige und/oder komplizierte Prüfaufbauten notwendig?
Sind Messungen an einer montierten Anlage geplant?
Benötigen Sie für die Messungen die Zustimmung von Kunden?
Wie beurteilen Sie die Abschätzbarkeit der Versuchsdauern?
Sind in dem Projekt auch Dauerlaufversuche vorgesehen?
Wurde die Möglichkeit von Iterationen berücksichtigt?
Wurden im Unternehmen bereits ähnliche Prüfungen durchgeführt?
Sind genügend Ressourcen für die nötigen Prüfungen zugeteilt?
Gibt es öfters Engpässe, bei den im Projekt benötigten Prüfplätzen?
Sind Prüfungen auf Prüfplätzen mit bekannten Engpässen mit zeitlichem Abstand nötig?
Gibt es im Projekt Prüfungen, bei denen weitere Merkmale untersucht werden könnten?
Ist das Personal, welches die Prüfungen durchführt, mit den Prüfeinrichtungen vertraut?
Benötigen Sie die Fertigung in Ihrem Projekt?
Wenn Ja, haben Sie einen konkreten Ansprechpartner für Ihr Projekt in der Fertigung?
Hatten Sie schon öfter Projekte in denen die Fertigung involviert war?
Benötigen Sie Kupfer, oder andere Rohstoffe mit stark schwankenden Marktpreisen in diesem Projekt?
Kennen Sie die Material-Ressourcen bzw. Anbieter, welche Sie in diesem Projekt benötigen?
Benötigen Sie viele Geräte/Apparate in diesem Projekt, die anfällig für Reparaturen sind?
Gibt es die benötigten Einrichtungen schon länger im Unternehmen, oder wurden diese neu angeschafft?

Fragen zum Projektumfeld
Gibt es interne Interessenskonflikte im Bezug auf dieses Projekt?
Gibt es externe Interessenskonflikte im Bezug auf dieses Projekt?

Wer hatte die Idee für dieses Projekt?
Wie würden Sie die Unterstützung des Managements für dieses Projekt beurteilen?
Wie würden Sie die Priorität dieses Projekts für das Unternehmen bewerten? (Bezüglich rascher Abwicklung)
Wie beurteilen Sie die Anzahl der voraussichtlich nötigen Managemententscheidungen?
Sind in diese Entscheidungen mehrere Parteien eingebunden?
Wie hoch schätzen Sie das Interesse der Projektauftraggebers und des Kunden am Projekt ein?
Wie hoch ist die Mitsprachemöglichkeit des Kunden, während des Projekts?
Ist der Projektplan Ihrer Meinung nach vollständig oder aus Kostengründen reduziert?

Fragen über Projektleiter

Wie lange sind Sie schon im Unternehmen tätig
Wie viele Forschungsprojekte, vergleichbarer Art, haben Sie schon abgewickelt?
Wie viele Jahre sind Sie schon in diesem Forschungsbereich tätig?
Wie viele Projekte bearbeiten Sie zur Zeit parallel?
Ist eine realistische Aufteilung Ihrer Arbeitszeit zwischen den Projekten erstellt worden?
Sind Sie öfter einer (oder mehreren) Task-Force zugeordnet?
Haben Sie schon ähnliche Prüfungen durchgeführt?
Glauben Sie der bestmögliche Projektleiter, für dieses Projekt zu sein?

Fragen zum Projektteam

Gibt es ein Projektteam oder bearbeiten Sie das Projekt alleine?
Wie würden Sie die durchschnittliche Erfahrung des Projektteams, in diesem Forschungsbereich bewerten?
Wie würden Sie die durchschnittliche Erfahrung der Projektteams, mit der Abwicklung von Projekten, vergleichbarer Art, beurteilen?
Wie viele Projektmitarbeiter sind auch in anderen Projekten engagiert?
Ist eine realistische Aufteilung der Arbeitszeiten der Projektmitarbeiter, zwischen den Projekten erstellt worden?
Wie viele Projektmitarbeiter sind öfter in einer (oder mehreren) Task-Force engagiert?
Kennen alle Mitglieder im Projektteam die Projektumgebung (PU), oder wurden sie nur über ihre konkreten Aufgaben informiert?

Fragen zum Forschungsfeld

Wie lange werden im Unternehmen schon Untersuchungen im betrachteten Forschungsfeld durchgeführt?
Gibt es bereits Studien im Unternehmen zur untersuchten Technologie?
Welchen Fachbereich ist das Forschungsthema zuzuordnen?
Wurde die Machbarkeit im Vorfeld ausreichend untersucht?
Sind Studien zu dieser Technologie in Konkurrenzunternehmen bekannt?
Sind Studien zu dieser Technologie in anderen Branchen bekannt?
Wie hoch ist der Vorteil, der aus dieser Technologie gezogen werden kann?
Wäre eine Erweiterung des Prüfumfangs für das Forschungsfeld interessant?
Wie würden Sie die technische Komplexität des Projekts bewerten?
Wie würden Sie die Unsicherheit über die Leistungsfähigkeit dieser Technologie beurteilen?

Wie würden Sie die Breite der potentiellen Einsatzgebiete beschreiben?
Wie beurteilen Sie die Wahrscheinlichkeit, dass die Projektergebnisse in den nächsten Jahren umgesetzt werden können?
Wie beurteilen Sie den Typus der Entwicklungsanforderung?
Wie innovativ (vom bisherigen Stand abweichend) ist das Projektziel?
Wie beurteilen Sie die Höhe der bislang in diesem Forschungsbereich getätigt Investitionen insgesamt?
Wurden Patentdatenbanken auf Patente im betrachteten Forschungsbereich durchsucht?
Wie viele und welche Patentanmeldungen (PA) gibt es derzeit in diesem Forschungsbereich?

Fragen zu externen Partnern
Ist eine Zusammenarbeit mit externen Partnern geplant?
Wie hoch ist die Anzahl der geplanten Partner?
Wurden mit diesen Partnern schon andere Projekte abgewickelt?
Wie würden Sie die Zuverlässigkeit der externen Partner beurteilen?
Hat es bei einem der externen Partnern bereits Probleme mit der Angebotslegung gegeben?
Haben Sie die Angebote der externen Partner genau geprüft?
Um welche externen Partner handelt es sich?
Wie beurteilen Sie die Erfahrung des externen Partners in diesem Forschungsbereich?
Sind Sie der Meinung, dass der richtige externe Partner gewählt wurde?
Sollen im Zuge dieses Projekts auch Forschungsarbeiten veröffentlicht werden?
Hat ein externer Partner laut Kooperationsvertrag anrecht auf IP-Rechte?
Wie würden Sie die Einflussnahme auf den externen Partner beurteilen?
Wie würden Sie die Personalpolitik des externen Partners beurteilen?
Wurden die Pflichtenhefte in Kooperation mit den externen Partnerngemeinsam erstellt?
Wurden die Pflichtenhefte in mehreren Zyklen abgestimmt und besprochen?
Sind die Ziele im Pflichtenheft eindeutig und präzise definiert?
Sind für die Zielerreichung im Pflichtenheft Messkriterien definiert?
Ist die Erreichung der Ziele im Pflichtenheft, in der vorgegebenen Zeit realistisch?
Ist die Erreichung der Ziele im Pflichtenheft, mit dem Angebotspreis realistisch?
Gibt es klare terminliche Vorgaben bis wann die Ziele erreicht werden müssen?
Kennen alle externen Partner die Projektumgebung, oder wurden sie nur über ihre konkreten Aufgaben informiert?

Anhang 7: RFMEA für Risikobewertung von Entwicklungsprojekten

Projektrisiko FMEA

Risiko- dimension	Risiko- bezeichnung	RE PL Risikodim.	RE Mgt Risikodim.	RE PL2	RE PL2 Risikodim.	RE Kalk	RE Kalk Risikodim.	Risiko- Auswirkung	Risiko- höhe	RH Risikodim.	Risiko-Früh- erkennung	RPZ	RPZ Risikodim.
Überschreitung der Projektdauer	Tests verzögern sich							8	0		6	0	
	Management Entscheidung verzögert sich							8	0		5,5	0	
	Partnersuche verzögert sich							4	0		3,5	0	
	externer Kooperationspartner verspätet sich							5	0		4,5	0	
	Personelle Änderungen (Kündigungen inter oder extern)							5	0		10	0	
	Zeitbedarf für Sonderwünsche wird unterschätzt							7	0		3,5	0	
	Verzögerung in der Fertigung							6	0		5	0	
	Zu viele parallele Aufgaben für PL oder Projektmitarbeiter (Taskforce, andere Projekte...etc.)							9	0		5,5	0	
	Engpässe bei Prüfplätzen	0	0					5	0	0	4	0	0
	Planungsfehler (Projektdauer, Personal...etc.)							8	0		4	0	
	Prioritäten neu definiert							5	0		6	0	
	Mehraufwand für Dokumentation (für intern und extern)							4	0		5,5	0	
	Budget aufgebraucht							2	0		7,5	0	
	Kapazitätsprobleme							6	0		6,5	0	
	technische Probleme							4,5	0		9	0	
Aufwand für organisatorische Aufgaben unterschätzt							5	0		5,5	0		
Keine Aktualisierung der Personalkosten							9	0		6	0		
Projekttumfang verändert							2	0		7,5	0		
Nutzung einzigartiger Möglichkeiten							6	0		6,5	0		
Ziele nicht SMART definiert							4,5	0		9	0		
Neuheitsgrad der Technologie							5	0		5,5	0		
Entscheidungsprozesse verzögern sich							9	0		6	0		
Ziele nicht mehr relevant							6	0		5,5	0		
Ziel technisch nicht möglich							7	0		4	0		
Budget reduziert							8	0		5,5	0		
Projektabbruch durch Management							5	0		6	0		
Falscher Projektleiter							5	0		5	0		
Falscher externer Partner							6	0		3,5	0		
Mangelhafte interne Akzeptanz (z.B. im Management)							5	0		9	0		
Notlösung aus Kostengründen		0	0				8	0	0	4,5	0	0	
Endkunde verweigert Lösung							6	0		9	0	0	
Interessenskonflikte intern und extern							5	0		6,5	0		
Ziele nicht SMART definiert							5	0		5,5	0		
Neuheit der Technologie							8	0		8,5	0		
Budget aufgebraucht							7	0		3,5	0		
Kapazitätsprobleme							7	0		3	0		
technische Probleme							7	0		4	0		
beschränkter Einfluss auf externen Partner							7	0		3,5	0		
Unerfahrenes Projektteam							6	0		3,5	0		
Zusätzliche Expertise nötig							6	0		6	0		
Stundensatz erhöht sich							5	0		4	0		
Schlechte Koordination der Personalplanung zwischen Projekten							3	0		4	0		
Unvorhergesehener Mehraufwand							7	0		3,5	0		
Nutzung einzigartiger Möglichkeiten							8	0		5	0		
Keine Aktualisierung der Personalkosten							4	0		4,5	0		
Projekttumfang verändert							4	0		5,5	0		
Höhere Personalkosten durch höheren Betreuungsaufwand		0	0				8	0	0	4,5	0	0	
Ziele nicht SMART definiert							7	0		8,5	0		
Neuheit der Technologie							10	0		3,5	0		
Mehraufwand für Dokumentation (für intern und extern)							7	0		3,5	0		
Prioritäten neu definiert							5	0		4	0		
Planungsfehler							6	0		6,5	0		
Fehlbuchungen							6	0		4,5	0		
technische Probleme							3	0		1,5	0		
Benötigtes Material falsch abgeschätzt							6	0		6	0		
Preissteigerungen							6	0		2,5	0		
Mangelnde Qualität des Materials							4	0		1,5	0		
Schlechtes Sourcing							5	0		4,5	0		
Fehler bei Versuchsdurchführung							3	0		2,5	0		
Reparaturen							6	0	0	4	0	0	
Fehlbuchungen		0	0				3	0	0	6	0	0	
Planungsfehler							3	0		2	0		
Nutzung einzigartiger Möglichkeiten							7	0		5	0		
Projekttumfang verändert							5	0		4	0		
Schäden an Hardware							8	0		5	0		
Geänderte Prüfbedingungen							3	0		5	0		
Prüfumfang erweitert							6	0		6	0		
Prüfung muss wiederholt werden							7	0		6	0		
Anfangs nur Schätzwerte für Infrastrukturkosten							6	0		9	0		
Prüfung dauert länger als geplant							6	0		5	0		
Ungelantes Investment nötig		0	0				8	0	0	7	0	0	
Reparaturen							7	0		7	0		
Nutzung einzigartiger Möglichkeiten							4	0		6	0		
Interessenskonflikte (intern und extern)							3	0		4	0		
Engpässe bei Prüfplätzen							5	0		6	0		
Projekttumfang verändert							3	0		4	0		
Pflichtenheft ungenau							8	0		5	0		
Änderung von Förderrichtlinien							6	0		5	0		
Umfang der Zusammenarbeit unterschätzt							7	0		4	0		
Planung unrealistisch							6	0		5	0		
Fehler im Angebot							3	0		4	0		
Unwartete Patentkosten							3	0		4	0		
Höhere Personalkosten durch höheren Betreuungsaufwand		0	0				6	0	0	6	0	0	
Projekttumfang verändert							6	0		5	0		
beschränkter Einfluss auf externen Partner							5	0		4	0		
Interessenskonflikte (intern und extern)							4	0		6	0		