

Thomas Irrenhauser

**Bewertung der Wirtschaftlichkeit von RFID
im Wertschöpfungsnetz**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 288

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2014

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2014

ISBN 978-3-8316-4404-9

Printed in Germany
Herbert Utz Verlag GmbH, München
089-277791-00 · www.utzverlag.de

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Lehrstuhl für
Betriebswissenschaften und Montagetechnik
am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*)

**Bewertung der Wirtschaftlichkeit
von RFID im Wertschöpfungsnetz**

Thomas Irrenhauser

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart
2. Univ.-Prof. Dr. Helmut Kremer

Die Dissertation wurde am 19.12.2013 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 08.07.2014 angenommen.

Geleitwort der Herausgeber

Die Produktionstechnik ist für die Weiterentwicklung unserer Industriegesellschaft von zentraler Bedeutung, denn die Leistungsfähigkeit eines Industriebetriebes hängt entscheidend von den eingesetzten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der eingeführten Produktionsorganisation ab. Erst das optimale Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technik erlaubt es, alle Potentiale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen.

Um in dem Spannungsfeld Komplexität, Kosten, Zeit und Qualität bestehen zu können, müssen Produktionsstrukturen ständig neu überdacht und weiterentwickelt werden. Dabei ist es notwendig, die Komplexität von Produkten, Produktionsabläufen und -systemen einerseits zu verringern und andererseits besser zu beherrschen.

Ziel der Forschungsarbeiten des *iwb* ist die ständige Verbesserung von Produktentwicklungs- und Planungssystemen, von Herstellverfahren sowie von Produktionsanlagen. Betriebsorganisation, Produktions- und Arbeitsstrukturen sowie Systeme zur Auftragsabwicklung werden unter besonderer Berücksichtigung mitarbeiterorientierter Anforderungen entwickelt. Die dabei notwendige Steigerung des Automatisierungsgrades darf jedoch nicht zu einer Verfestigung arbeitsteiliger Strukturen führen. Fragen der optimalen Einbindung des Menschen in den Produktentstehungsprozess spielen deshalb eine sehr wichtige Rolle.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des *iwb*. Diese reichen von der Entwicklung von Produktionssystemen über deren Planung bis hin zu den eingesetzten Technologien in den Bereichen Fertigung und Montage. Steuerung und Betrieb von Produktionssystemen, Qualitätssicherung, Verfügbarkeit und Autonomie sind Querschnittsthemen hierfür. In den *iwb* Forschungsberichten werden neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus der praxisnahen Forschung des *iwb* veröffentlicht. Diese Buchreihe soll dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen dem Hochschulbereich und dem Anwender in der Praxis zu verbessern.

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh, den Leitern dieses Instituts, gilt mein besonderer Dank für die wohlwollende Förderung und großzügige Unterstützung meiner Arbeit.

Bei Herrn Prof. Dr. Helmut Krcmar, dem Leiter des Lehrstuhls für Wirtschaftsinformatik der Technischen Universität München, möchte ich mich für die Übernahme des Korreferates und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit sehr herzlich bedanken.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts und insbesondere bei den Mitgliedern der Themengruppe Produktionsmanagement und Logistik für die gute Zusammenarbeit und die fachlichen Diskussionen. Dank gilt auch den Studenten Elias Christ, Katharina Fritsch, Marc Steiner, Jessica Homan, Benjamin Lemme, Klaus Priller, Daniel Rief, Florian Ertl und Felix Jenkel, die mich bei der Erstellung meiner Arbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt meinen Kolleginnen Frau Dr. Ing Dipl.-Wi.-Ing. Saskia Reinhardt und Frau Dipl.-Wi.-Ing. Kirsten Reisen, für die gemeinschaftliche Arbeit und die spannenden Diskussionen im Forschungsprojekt RAN – RFID-based Automotive Network.

Frau Dipl.-Wi.-Ing. Kirsten Reisen, Frau Dipl.-Wirt.-Geogr. Alexandra Wüster, Herrn Dipl.-Wi.-Ing. Jörg Pause, Herrn Dipl.-Ing. Daniel Hofmann sowie Herrn Dr. rer. pol. Christian Jäkel danke ich für die gründliche Durchsicht meiner Arbeit.

Nicht zuletzt und im besonderen Maße danke ich meinen Eltern sowie meiner Schwester mit Familie, die die Grundlage für die Entstehung dieser Dissertation bildeten. Sie haben mich in meinem Handeln stets unterstützt, mir meine Ausbildung ermöglicht und mir auf dieser Weise den Weg zur Promotion geebnet.

München, im August 2014

Thomas Irrenhauser

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungsverzeichnis.....	VI
1 Einleitung.....	1
1.1 Ausgangssituation und Motivation	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit.....	5
1.3 Betrachtungsbereich und Begriffsdefinitionen	6
1.4 Aufbau der Arbeit	9
2 Grundlagen	11
2.1 Allgemeines.....	11
2.2 RFID-Technik	11
2.2.1 Allgemeines.....	11
2.2.2 Aufbau und Funktionsweise	12
2.2.3 Erfassungs- und Objektklassen	14
2.2.4 Events	16
2.2.5 Einsatzmöglichkeiten	17
2.2.6 Herausforderungen	19
2.3 Charakterisierung der Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit von RFID.....	21
2.3.1 Allgemeines.....	21
2.3.2 Quantitative und qualitative Einflussfaktoren	22
2.3.3 Beziehungen zwischen den Einflussfaktoren	24
2.4 Risiko und Unsicherheit.....	25

2.5	Rechnungswesen und Investitionsrechnung	27
2.5.1	Allgemeines	27
2.5.2	Betriebswirtschaftliche Ziele des Rechnungswesens	27
2.5.3	Investitionsrechnung	28
2.6	Wirtschaftlichkeitsbewertung unter Unsicherheit	31
2.7	Multikriterielle Bewertungs- und Entscheidungsverfahren	34
2.8	Cost-Benefit-Sharing	38
2.9	Fazit	40
3	Anforderungen an eine Methode zur Wirtschaftlichkeitsbewertung von RFID im Wertschöpfungsnetz	42
3.1	Allgemeines	42
3.2	Spezielle Anforderungen an die Bewertungsmethode	42
3.3	Anwendungsorientierte Anforderungen für die praktische Anwendung	43
3.4	Fazit	44
4	Stand der Erkenntnisse	45
4.1	Allgemeines	45
4.2	Ein- und mehrdimensionale Bewertungsansätze	45
4.3	RFID-spezifische Bewertungsansätze	48
4.4	Bewertung der Ansätze und resultierender Handlungsbedarf	55
5	Methode zur Wirtschaftlichkeitsbewertung von RFID im Wertschöpfungsnetz	57
5.1	Allgemeines	57
5.2	Aufbau der Methode	57
5.3	Eingangsgrößen und Voraussetzungen	61

5.4	Informationsbeschaffung für die Bewertung	64
6	Detaillierte Beschreibung der Analysephase	67
6.1	Allgemeines.....	67
6.2	Spezifizierung des Bewertungsfalls.....	67
6.2.1	Allgemeines.....	67
6.2.2	Zieldefinition.....	67
6.2.3	Prozessmodellierung.....	69
6.3	Identifikation von Aufwänden.....	71
6.3.1	Allgemeines.....	71
6.3.2	Definition von Erfassungspunkten.....	72
6.3.3	Spezifizierung des RFID-Systems.....	73
6.3.4	Definition von Absicherungsstrategien.....	77
6.4	Identifikation von Nutzenpotentialen.....	86
6.4.1	Allgemeines.....	86
6.4.2	Bereiche der Entstehung von Nutzenpotentialen.....	86
6.4.3	Identifikation und Filterung von Nutzenpotentialen in den Prozessbausteinen.....	89
6.5	Fazit.....	100
7	Detaillierte Beschreibung der Bewertungsphase	101
7.1	Allgemeines.....	101
7.2	Quantifizierung der Einflussfaktoren.....	101
7.2.1	Allgemeines.....	101
7.2.2	Quantifizierung der Nutzenpotentiale.....	101

7.2.3	Quantifizierung der Aufwände.....	111
7.2.4	Quantifizierung des qualitativen Einflusses.....	114
7.3	Bewertung der Wirtschaftlichkeit.....	123
7.3.1	Allgemeines.....	123
7.3.2	Kalkulationsstruktur.....	124
7.3.3	Durchführung von Bewertung und Simulation.....	126
7.4	Analyse der Bewertung.....	127
7.4.1	Allgemeines.....	127
7.4.2	Systemanalyse.....	127
7.4.3	Ausgleichsanalyse.....	137
7.4.4	Expansionsanalyse.....	142
7.5	Fazit.....	147
8	Umsetzung der Methode.....	148
8.1	Allgemeines.....	148
8.2	Bewertungstool €CO ₂ Calc.....	148
8.3	Projektbeispiel.....	151
8.3.1	Beschreibung des Projektbeispiels.....	151
8.3.2	Anwendung der Methode im Projektbeispiel.....	152
8.4	Bewertung der entwickelten Methode.....	164
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	167
10	Literaturverzeichnis.....	170
11	Anhang.....	189
11.1	Beschreibung der Erfassungsklassen.....	189

11.2	Checkliste für die monetäre RFID-Bewertung	191
11.3	Anforderungsprofile der RFID-Komponenten	192
11.4	Beschreibung der Prozessbausteine	194
11.5	Beschreibung beispielhafter Events	195
11.6	Nutzenkataloge der Prozessbausteine	197
11.7	Bewertungsformeln für quantitative Nutzenpotentiale	203
11.8	Bewertungsformeln für quantitative Aufwände.....	209
11.9	Mögliche Wahrscheinlichkeitsverteilungen.....	212
11.10	Protokoll zur Durchführung der Ausgleichsanalyse	214
11.11	Genutzte Softwareprodukte und genannte Firmen	215
12	Studienarbeitsverzeichnis.....	216

Abkürzungsverzeichnis

AfA	Abschreibung für Abnutzung
allg.	allgemein
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CBS	Cost-Benefit-Sharing
d. h.	das heißt
DIN	Deutsche Industrienorm
EF	Einflussfaktor
et al.	et alii
EP	Erfassungspunkt
EPCIS	Electronic Product Code Information Services
EK	Erfassungsklasse
GPS	Global Positioning System
ggf.	gegebenenfalls
ID	Identifikation bzw. Identifikationsnummer
i. O.	in Ordnung
IT	Informationstechnologie
JIS	Just in Sequence
JIT	Just in Time
LKW	Lastkraftwagen
MAT	Mitarbeitertyp

MADM	Multi Attribute Decision Making
MCDM	Multi Criteria Decision Making
MODM	Multi Objective Decision Making
MTM	Methods-Time-Measurement
n. i. O	nicht in Ordnung
PBS	Prozessbaustein
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
RAN	RFID-based Automotive Network
REFA	REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V.
RFID	Radio Frequency Identification
RW	Regelwerk
s.	siehe
sog.	sogenannte
TCO	Total Cost of Ownership
u. a.	unter anderem
usw.	und so weiter
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
WLAN	Wireless Local Area Network
z. B.	zum Beispiel

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Die marktorientierte Produktion und eine zunehmende Produktindividualisierung bei gleichzeitiger Abnahme der Prognostizierbarkeit der Absatzentwicklung führen zu einer kontinuierlichen Reduktion der Fertigungstiefe (FUCHS 2012, BAIER 2007). Studien zeigen in diesem Rahmen auf, dass der Wertschöpfungsanteil eines Herstellers in der Automobilindustrie von 35% im Jahre 2000 auf 25% 2010 bzw. 15 bis 20% im Jahre 2015 zurückgehen wird (MEIBNER 2009, LEGNER ET AL. 2009). Dieser Rückgang wird durch die Verlagerung von Entwicklungs- und Produktionsaufgaben auf Lieferanten erreicht (ABELE & REINHART 2011, GEHR & HELLINGRATH 2007). Die Wertschöpfung der deutschen Automobilindustrie verteilt sich derzeit auf fünf Stufen. Neben ca. 40 Lieferanten erster Ordnung, 250 Lieferanten zweiter Ordnung und 1.400 Lieferanten dritter Ordnung (BARTHEL ET AL. 2010) unterstützen eine Vielzahl von Logistikunternehmen die Automobilhersteller bei der Fahrzeugherstellung. Letztere übernehmen dabei den weltweiten Materialtransport sowie zusätzliche wertschöpfende Tätigkeiten (VOB 2006). Für das BMW-Modell Z4 werden bspw. ca. 500 Module, Komponenten und Teile JIT-/JIS- bzw. verbrauchsgesteuert angeliefert (WIBBE & ROHDE 2009).

Die Koordination der einzelnen Unternehmen im Netzwerk fällt unter den Begriff des Supply Chain Managements. Generell wird hierunter die integrierte prozessorientierte Planung und Steuerung von Waren- und Informationsflüssen vom Rohstofflieferanten bis hin zum Kunden und zurück verstanden. Die Kundenorientierung stellt die Basis für eine bedarfsgerechte Produktion und einer Bestandsreduzierung im Netzwerk dar (GEHR & HELLINGRATH 2007). Neben der reinen Optimierung der Lieferbeziehungen spielt auch die Materialflussteuerung der verschiedenen Varianten durch unternehmensinterne Produktions-, Montage- und Logistikprozesse eine zentrale Rolle für einen effektiven Fertigungsprozess (REINHART ET AL. 2012). Durch die strikten Termin-, Kosten- und Qualitätsvereinbarungen zwischen den Unternehmen, ist es von zentraler Bedeutung den Materialstatus in Echtzeit zu verfolgen, um interne Abläufe optimal steuern und den Übergang von Verantwortlichkeiten eindeutig feststellen zu können (LEGNER ET AL. 2009, OSTGATHE 2012). Durch einen verzögerten Informationsaustausch können sich Produktionsausfälle bzw. -störungen entlang des Netzwerks auf-

schaukeln und enorme Kosten verursachen (SOMMERLATTE ET AL. 2004, GEHR & HELLINGRATH 2007). Zur Begegnung dieser Problematik ist ein hoher Koordinations- und Kommunikationsaufwand erforderlich, um alle Unternehmen rechtzeitig zu informieren und somit Transparenz im Netzwerk zu schaffen (SCHMID & GROSCHKE 2008, ZIEGENBEIN 2007). Für die Realisierung dieses Datentransfers setzen die Unternehmen auf verschiedene Methoden. 31% der in einer Studie befragten Unternehmen verwenden herkömmliche Verfahren wie E-Mail, Fax und Post. Diese manuellen Verfahren sind jedoch zeit- und kostenintensiv und unterliegen zusätzlich einer hohen Fehleranfälligkeit. Deshalb setzen Unternehmen verstärkt auf neue automatische Kommunikationstechnologien. (STAIB 2011, ABELE & REINHART 2011, LÖDDING 2008, DITTMANN 2006)

In diesem Zusammenhang findet vor allem die RFID-Technik (Radio Frequency Identification) steigenden Zuspruch. Die bereits im 2. Weltkrieg entwickelte Technik bietet die Möglichkeit, größere Datenmengen auf Datenträgern direkt an einem Objekt zu speichern und diese sichtkontaktlos auszulesen bzw. zu bearbeiten. Erfassungsgeräte an beliebigen Positionen im Materialfluss können die Objekte automatisch erfassen und den jeweiligen Prozessen im Wertschöpfungsnetzwerk zuordnen (FINKENZELLER 2006, HOCHSTÄTTER 2008). Des Weiteren bietet sich die Möglichkeit Datenträger am Objekt zu belassen und somit Abläufe im After-Market aktiv zu unterstützen. Mögliche Einsatzgebiete sind bspw. der Kundenservice, die Aufwandsreduzierung bei Rückrufaktionen oder auch der Echtheitsnachweis von Produkten (RHENSIUS 2008, JANSEN & HELMIGH 2007). Durch den Handel mit gefälschter Ware entstehen der Automobilindustrie u. a. jährlich ca. 12 Milliarden Euro Umsatzeinbußen. Neben den monetären Schäden ist zudem der Imageverlust des Unternehmens zu berücksichtigen, der jedoch in der Regel nur qualitativ erfassbar ist. (GOLOMB 2008, KOYUNCU 2009)

Mit dem Einsatz der RFID-Technik sind neben verschiedenen Prozessverbesserungen auch unterschiedliche Hürden verbunden. 68% der in einer Studie befragten Unternehmen geben in diesem Rahmen die Integration unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse als größte Herausforderung an (STRÜKER ET AL. 2008). Weitere Studien bezeichnen die mangelnde Wirtschaftlichkeit von RFID als zentralen Grund für das Scheitern von RFID-Projekten. Neben den Investitionen für die Implementierung führen vor allem die zusätzlichen Ausgaben im Betrieb, durch Lizenzgebühren für Softwaresysteme sowie die Kosten für Datenträger in offenen Systemen bis zum Endkunden, zu dieser Einschätzung. In engem Zusammenhang hierzu stehen die schwer identifizierbaren und monetär erfassbaren Einsparpotentiale (STRÜKER ET AL. 2008, SCHAFFRY 2007). Neben

den bislang erwähnten quantitativen Potentialen stellen primär die qualitativen Einflüsse, wie eine gesteigerte Transparenz oder erhöhte Mitarbeitermotivation, Herausforderungen bei der Quantifizierung dar. Des Weiteren verursachen technische Schwierigkeiten zusätzliche Aufwände, um einen reibungsfreien Ablauf des Materialflusses zu gewährleisten (SCHAFFRY 2007, GÜNTNER ET AL. 2010). Die Zusammenarbeit im Netzwerk wird primär durch die fehlende Standardisierung von Komponenten und Schnittstellen sowie aufwendige Maßnahmen zur Datensicherheit beeinflusst (WALDMANN ET AL. 2007, STRÜKER ET AL. 2008). Neben Problemen mit dem Datenschutz führt die ungleiche Verteilung von Kosten und Nutzen dazu, dass vor allem Unternehmen in frühen Stufen der Wertschöpfung sich gegen einen RFID-Einsatz entscheiden. Während diesen Unternehmen zusätzliche Aufwände, für bspw. das Anbringen der Datenträger, entstehen, können nachfolgende Stufen bereits ab dem Wareneingang alle Prozesse durch RFID unterstützen und damit Einsparungen erzielen (BENSEL ET AL. 2008, TAMM 2011). Im Rahmen der Planungsphase werden bzgl. dieser unternehmensinternen und -übergreifenden Einflüsse verschiedene Annahmen getroffen. Die realen Auswirkungen treten jedoch erst im Laufe der Realisierung in den Vordergrund. (IVANTYSYNOVA 2008)

Im Zuge einer Bewertung basieren die getroffenen Annahmen auf Erfahrungswerten bzw. den Einschätzungen von Prozessbeteiligten (STRASSNER 2005). Untersuchungen verweisen in diesem Rahmen darauf, dass Einsparungen oftmals zu positiv angenommen werden (GÜNTNER ET AL. 2010, MELSKI 2006). Die Studie von STRÜKER ET AL. (2008) zeigt bspw., dass anstelle einer 100%-igen Einsparung nur 70% der Produktionsstillstände vermieden, 55% der angestrebten Bestände reduziert und nur 43% der Diebstähle verhindert werden konnten. Neben zu hoch angesetzten Einsparungen können auch Kostenpositionen höher ausfallen als geplant. Es wird zwar mit einem signifikanten Rückgang der Kosten für RFID-Komponenten gerechnet, spezifische Umgebungseinflüsse machen jedoch häufig kostenintensive Einzellösungen erforderlich (LYHS 2005, SCHOLZ-REITER ET AL. 2007). Des Weiteren ist die Preisentwicklung stark abhängig von der weltweiten Nachfrage sowie der verwendeten Produktionsverfahren zur Herstellung von RFID-Systemen (LYHS 2005). Eine Veränderung in diesem Zusammenhang kann zu einem unerwarteten Anstieg der laufenden Kosten führen (ABRAMOVICI ET AL. 2009). Die Beispiele zeigen, dass Expertenschätzungen und Preisprognosen oftmals Schwankungen unterliegen und somit Unsicherheiten im Rahmen der Bewertung darstellen (SCHMIDT 2006). Da die Implementierung der RFID-Technik eine vollständige Umstellung des Datenmanagements bedeutet,

kann eine mangelhafte Berücksichtigung dieser Unsicherheiten ein erhöhtes Risiko für ein Unternehmen darstellen. Eine Fehleinschätzung kann zum Verlust der Wettbewerbsfähigkeit führen (RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009, IVANTYSYNOVA 2008). Eine Gegenüberstellung der genannten Hürden sowie verschiedener Gründe für den RFID-Einsatz befindet sich in Abbildung 1.

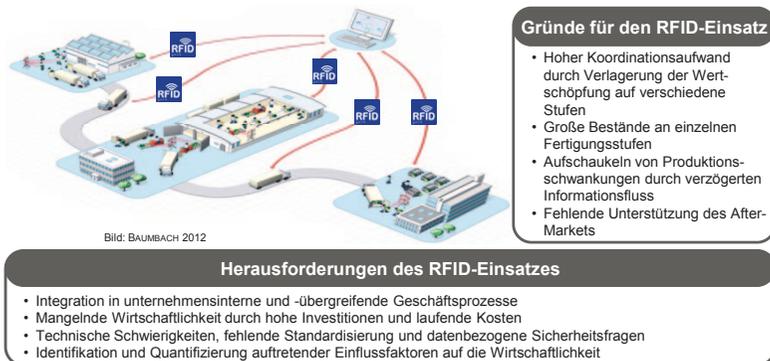


Abbildung 1: Gründe und Herausforderungen des RFID-Einsatzes

Um dieses Risiko zu umgehen, realisieren viele Unternehmen zunächst Testprojekte in abgegrenzten Bereichen (RHENSIUS 2008, MANNEL 2006). Da viele Herausforderungen jedoch erst bei der Ausbreitung des RFID-Einsatzes entstehen, sind die Ergebnisse der Testphase nicht aussagekräftig (MADLBERGER 2008, FLEISCH & MATTERN 2005). Wie bereits die Studie von STRÜKER ET AL. (2008) aufzeigt, entstehen die größten Hürden, wenn der Einsatz auf unternehmensübergreifende Prozesse ausgedehnt wird. Um die Investitionen in Testprojekte sowie in vollständige RFID-Implementierungen zu rechtfertigen, setzen viele Unternehmen auf verschiedene Bewertungsverfahren (STRASSNER 2005). Diese fokussieren jedoch lediglich die Gegenüberstellung von Aufwänden und Einsparungen. Da jedoch die größte Herausforderung bei der RFID-Bewertung in der Identifikation und Quantifizierung der quantitativen und qualitativen Aufwände und Potentiale besteht, reichen diese Verfahren nicht aus, um eine vollständige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu erhalten (ABRAMOVICI ET AL. 2009, GILBERG 2009, STEINHÜBEL 2004). Um eine valide Entscheidungsbasis für eine Investition in die RFID-Technik zu erhalten, ist eine ganzheitliche Bewertung erforderlich, die die Unternehmen ausgehend von der Zieldefinition über die Planung bis hin zur Realisierung unterstützt (VOJDANI & GÄRTNER 2007).

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Ausgangssituation wird deutlich, dass die zunehmende Variantenvielfalt sowie die Konzentration der Hersteller auf ihre Kernkompetenzen zur Abnahme der Fertigungstiefe und infolgedessen zu komplexeren Lieferantennetzwerken führen. Die Voraussetzung für die Beherrschung dieser Komplexität ist die Generierung höchster Transparenz im Materialfluss. Dies kann durch den Einsatz der RFID-Technik erfolgen. Dessen Erfolg ist jedoch von verschiedenen quantitativen und qualitativen Nutzenpotentialen und Aufwänden abhängig, wodurch die Investitionen derzeit noch einem hohen Risiko unterliegen. Die komplexe Identifikation der Potentiale sowie die Abhängigkeit von der Technik machen eine detaillierte Bewertung erforderlich.

Die übergeordnete Zielsetzung dieser Arbeit ist es daher eine Methode bereitzustellen, die bei der Auswahl von unternehmensinternen sowie -übergreifenden RFID-Projekten unterstützt. Hierfür ist es erforderlich verschiedene quantitative und qualitative Einflussfaktoren sowie deren Beziehungen untereinander zu berücksichtigen. Aufgrund der beschriebenen Schwierigkeiten bei der Quantifizierung der einzelnen Einflussfaktoren sind Unsicherheiten zu beachten, um so die mögliche Gefahr einer Fehlinvestition zu reduzieren.

Basierend auf den zuvor beschriebenen Herausforderungen lässt sich die Zielsetzung ableiten, eine Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von RFID im Wertschöpfungsnetz zu entwickeln. Um die bestehenden Defizite zu beseitigen, sind folgende Teilziele Bestandteil dieser Arbeit:

- Ganzheitliche Bewertung eines RFID-Systems unter Beachtung aller auftretenden Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit.
- Berücksichtigung der bewertungszeitpunktabhängigen Granularität der zur Verfügung stehenden Daten.
- Unterstützung bei der Identifikation und Quantifizierung der Einflussfaktoren.
- Beachtung der Beziehungen zwischen den Einflussfaktoren.
- Berücksichtigung von Unsicherheiten im Rahmen der Quantifizierung.
- Bereitstellung von Analyseverfahren zur Unterstützung der Entscheidung.
- Gewährleistung des Praxiseinsatzes durch eine Implementierung der erarbeiteten Methode in einem Bewertungstool.

1.3 Betrachtungsbereich und Begriffsdefinitionen

Zur Schaffung eines einheitlichen Verständnisses für diese Arbeit wird im Folgenden der Betrachtungsbereich abgesteckt und, basierend auf der in Abschnitt 1.2 getroffenen Zielstellung, eine Methode zur Wirtschaftlichkeitsbewertung von RFID im Wertschöpfungsnetz zu entwickeln, wesentliche Begrifflichkeiten definiert. Die Wirtschaftlichkeitsbewertung, die einen zentralen Bestandteil dieser Arbeit darstellt, wird in der bestehenden Literatur durchgehend als das Verhältnis von Aufwand und Nutzen dargestellt. Da ein Teilziel dieser Arbeit die Identifikation der Einflussfaktoren ist, werden in Anlehnung an ZANGEMEISTER (2000) und THOMMEN & ACHLEITNER (2009) die bestehenden Definitionen um die Erfassung der Einflussfaktoren erweitert:

Die Wirtschaftlichkeitsbewertung beschreibt die Erfassung und vergleichende Gegenüberstellung von Aufwands- und Ertragsgrößen zur Kennzahlenermittlung.

Die Betrachtungen fokussieren sich auf das Wertschöpfungsnetz der Automobilindustrie. Abbildung 2 stellt in diesem Zusammenhang ein mehrstufiges Netzwerk dar, in dem die einzelnen Stufen unterschiedliche Aufgaben im Rahmen des Wertschöpfungsprozesses übernehmen. Die Wertschöpfung an sich beschreibt die Schaffung eines neuen und höheren Wertes durch die Verarbeitung von Ein- zu Ausgangsgrößen (THOMMEN & ACHLEITNER 2009, WESTKÄMPER 2006). Neben den rein wertschöpfenden Tätigkeiten können die beteiligten Unternehmen auch Dienstleistungen sowie Transportaufgaben übernehmen. Allgemein wird im Rahmen dieser Arbeit der Begriff des Wertschöpfungsnetzwerks, gleichbedeutend mit den Begrifflichkeiten Supply Chain und Netzwerk gesetzt. Eine Definition leitet sich aus den Ansätzen verschiedener Autoren ab. BECKER ET AL. (2008) setzt den Schwerpunkt seiner Beschreibung auf die rechtliche Form der kooperierenden Unternehmen, wohingegen WILDEMANN (2007) den Endkunden und die Logistik in den Fokus stellt. SUDHOFF (2007) dagegen zielt vor allem auf den Produktionscharakter ab. Basierend auf dem Ziel dieser Arbeit, werden die Schwerpunkte der Beschreibungen zu folgender Definition vereint:

Wertschöpfungsnetzwerke bestehen aus rechtlich unabhängigen Unternehmen, die in Kooperation von der Gewinnung des Rohmaterials über die Herstellung, Auslieferung zum Endkunden bis hin zur Entsorgung alle Tätigkeiten übernehmen, um Kunden und Märkte mit Produkten zu versorgen.

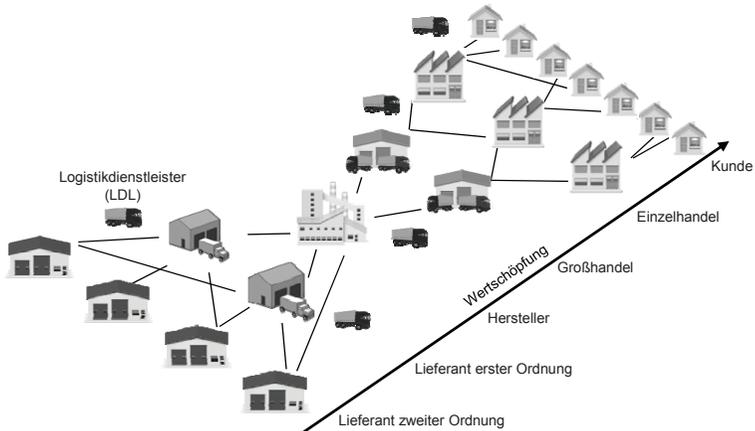


Abbildung 2: Aufbau eines Wertschöpfungsnetzwerks (in Anlehnung an GOEBEL 2008, HAAG ET AL. 2012)

In der Wertschöpfung werden zwischen den Unternehmen Materialien und Informationen ausgetauscht. Der Materialfluss läuft in den direkten Unternehmensbereichen ab. Der Informationsfluss hingegen findet in direkten und in indirekten Bereichen statt. SCHMELZER & SESSELMANN (2008) sowie REMER (2005) unterscheiden diese beiden Bereiche hinsichtlich der entstehenden Kostenarten. FEHR ET AL. (2012) hingegen fokussiert die verschiedenen Anteile an der Wertschöpfung. Da für die RFID-Bewertung die Veränderungen im Wertschöpfungsprozess und eine exakte Verrechnung der entstehenden Aufwände und Nutzen im Fokus stehen, ergeben sich folgende Definitionen:

Zu den direkten Bereichen gehören alle wertschöpfenden Abläufe sowie alle Tätigkeiten, die diese Wertschöpfung unmittelbar unterstützen.

Zu den indirekten Bereichen gehören alle unterstützenden Abläufe, die nicht im Wertschöpfungsprozess integriert sind, sondern Planungs- und Organisationstätigkeiten übernehmen.

Für eine Analyse der Wertschöpfung in den Bereichen, kann die Abfolge einzelner Tätigkeiten, die zur Abarbeitung einer speziellen Aufgabe dienen, in einem Prozess zusammengefasst werden (VILKOV 2007, LOOS 1998). BULLINGER ET AL. (2003) erweitert die Begrifflichkeit des Prozesses noch um einen definierten zeitlichen Rahmen. Da RFID zudem das Datenmanagement maßgeblich beeinflusst, werden die von REINHART ET AL. (2011D) erläuterten Informationsflüsse in die folgende Definition eines Prozesses integriert:

Prozesse beinhalten eine definierte Abfolge von Tätigkeiten zur Verarbeitung von Input- zu Output-Größen, wie Informationen und Ressourcen. Sie sind durch einen Beginn- und Endpunkt gekennzeichnet und können inhaltlich isoliert von anderen Prozessen betrachtet werden.

Speziell in der Kooperation zwischen Unternehmen kommt dem Informationsaustausch eine große Bedeutung zu, da dieser für einen gezielten und effizienten Materialfluss erforderlich ist. Um diese Herausforderungen zu bewältigen, hat sich basierend auf dem Logistikgedanken das Supply Chain Management entwickelt, welches als strategische und kundenorientierte Managementmethode im unternehmensübergreifenden Einsatz angesehen werden kann (KOYUNCU 2009, SCHÖNSLEBEN ET AL. 2007). In der wissenschaftlichen Literatur lassen sich verschiedene Definitionen, u. a. von MENTZER ET AL. (2001), SCHÖNSLEBEN (2007) und WILDEMANN (2007) für das Supply Chain Management finden. Da die Beschreibung von KUHN und HELLINGRATH (2002) jedoch die Effekte von RFID am besten widerspiegelt, dient diese Definition als Grundlage für diese Arbeit:

„Supply Chain Management ist die integrierte prozessorientierte Planung und Steuerung der Waren-, Informations- und Geldflüsse entlang der gesamten Wertschöpfungskette vom Kunden bis zum Rohstofflieferanten mit den Zielen

- *Verbesserung der Kundenorientierung,*
- *Synchronisation der Versorgung mit dem Bedarf,*
- *Flexibilisierung und bedarfsgerechte Produktion,*
- *Abbau der Bestände entlang der Wertschöpfungskette.“*

Der RFID-Einsatz verursacht Veränderungen in den direkten und indirekten Bereichen, den darunter liegenden Prozessen und im Supply Chain Management (KOYUNCU 2009, STRASSNER 2005). Wie aus der Ausgangssituation ersichtlich ist, können Einsparungen im Material- und Informationsfluss erzielt werden. Jedoch ist mit direkten und indirekten Aufwänden, durch die Investitionen und den Betrieb, zu rechnen (WHITAKER ET AL. 2007, RHENSIUS & DEINDL 2009, MELSKI & SCHUMANN 2007). Um eine Entscheidung unter Beachtung der endlichen Anzahl auftretender Einflussfaktoren zu ermöglichen, sind in der zu entwickelnden Methode alle Einflüsse, die direkt und indirekt die Wirtschaftlichkeit des RFID-Systems beeinflussen, in die Bewertung zu integrieren. Hierunter fallen auch Faktoren, die durch den unternehmensübergreifenden Einsatz entstehen.

1.4 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in neun Kapitel (s. Abbildung 3). Die vorangegangenen Abschnitte erläuterten die Ausgangssituation und die Motivation. Zudem wurden die Zielstellung und der Betrachtungsbereich definiert.



Abbildung 3: Aufbau der Arbeit

In Kapitel 2 werden zuerst die Grundlagen der RFID-Technik erläutert. Da der Einsatz dieser Technik verschiedene Einflussfaktoren bedingt, deren Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit nicht sicher vorhersehbar sind, erfolgt anschließend eine Kategorisierung dieser Faktoren sowie eine Definition der beiden Be-

griffe Risiko und Unsicherheit. Um die Rentabilität beurteilen zu können, werden abschließend geeignete Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsbewertung vorgestellt.

Die aus den Grundlagen und der Ausgangssituation abgeleitete Problemstellung dient in Kapitel 3 zur Definition spezieller und anwendungsorientierter Anforderungen an eine Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von RFID.

In Kapitel 4 findet eine Gegenüberstellung der definierten Anforderungen mit bestehenden Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsbewertung statt. Hierbei werden zunächst ein- und mehrdimensionale Bewertungsansätze analysiert, bevor im Anschluss RFID-spezifische Verfahren beurteilt werden. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wird abschließend der konkrete Handlungsbedarf abgeleitet.

Basierend auf dem identifizierten Handlungsbedarf wird in Kapitel 5 die Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von RFID im Wertschöpfungsnetz vorgestellt. Hierbei werden die Inhalte und Ziele der Analyse- und Bewertungsphase erläutert. Zudem werden die Eingangsgrößen und Voraussetzungen des Methodeneinsatzes abgesteckt. Da für den Einsatz der Methode eine Vielzahl an Daten nötig ist, werden abschließend Verfahren zur Informationssammlung dargelegt.

In Kapitel 6 werden die Teilschritte der Analysephase erläutert. Ausgehend von der Definition des Bewertungsziels werden die, durch das RFID-System, beeinflussten Prozesse ermittelt. Anschließend findet eine Analyse dieser Prozesse hinsichtlich entstehender Aufwände des RFID-Einsatzes statt. Zudem wird das Vorgehen zur Identifikation der Nutzenpotentiale dargestellt.

Kapitel 7 umfasst die Beschreibung der Bewertungsphase. Zunächst findet die Quantifizierung der identifizierten Aufwände und Nutzenpotentiale, unter Beachtung eines qualitativen Einflusses und bestehender Unsicherheiten, statt. Die quantifizierten Einflussfaktoren werden anschließend in der Kalkulationsstruktur zu den definierten Zielgrößen verrechnet. Abschließend werden verschiedene Verfahren zur weiteren Analyse der Bewertung erläutert.

Kapitel 8 beschreibt die praktische Anwendung der Methode. Im Rahmen eines unternehmensübergreifenden RFID-Systems werden die einzelnen Schritte des Vorgehens durchlaufen. Die Bewertung wird dabei durch das entwickelte Bewertungstool €CO₂Calc unterstützt. Abschließend wird die entwickelte Methode anhand der in Kapitel 3 definierten Anforderungen kritisch diskutiert.

Kapitel 9 schließt diese Arbeit mit einer Zusammenfassung der Erkenntnisse ab. Zudem wird ein Ausblick über zukünftige Handlungsfelder gegeben.

2 Grundlagen

2.1 Allgemeines

Das automobiler Wertschöpfungsnetz setzt verstärkt auf die RFID-Technik, um der steigenden Komplexität in der Produktionsplanung und -steuerung sowie in den logistischen Abläufen entgegenzuwirken, indem eine höhere Transparenz in den Prozessen generiert wird. Um die monetären Effekte des RFID-Einsatzes besser bewerten zu können, werden zunächst in Abschnitt 2.2 die Grundlagen dieser Technik beschrieben, bevor in Abschnitt 2.3 eine Klassifizierung der verschiedenen Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit erfolgt. Da viele der Faktoren einer Unsicherheit unterliegen und somit ein gewisses Risiko für die Investition bedeuten, findet eine Definition und Abgrenzung der beiden Begriffe Unsicherheit und Risiko in Abschnitt 2.4 statt. Die Verrechnung der Einflussfaktoren im Rahmen der Investitionsbewertung basiert auf der Bestimmung monetärer Kenngrößen aus dem Rechnungswesen (s. Abschnitt 2.5). Da nicht alle Einflüsse für die Bewertung eindeutig quantifizierbar sind, erfolgt in den Abschnitten 2.6 und 2.7 eine Darstellung von Verfahren zur Bewertung unter Unsicherheit bzw. von Verfahren zur multikriteriellen Bewertung und Entscheidung. Abschließend wird in Abschnitt 2.8 das Cost-Benefit-Sharing erläutert, das in unternehmensübergreifenden Projekten eine gerechte Kosten-Nutzen-Verteilung ermöglicht.

2.2 RFID-Technik

2.2.1 Allgemeines

Die kundenindividuelle unternehmensübergreifende Fertigung erfordert einen stetigen Datenaustausch für eine effektive Materialflusssteuerung in und zwischen den Unternehmen im Netzwerk. Um den damit verbundenen manuellen Aufwand sowie die Fehleranfälligkeit zu reduzieren, werden automatische Identifikationssysteme (Auto-ID-Systeme) eingesetzt (MELSKI 2006). Auto-ID-Systeme, zu denen auch RFID gehört, dienen als Schnittstelle zwischen IT-Systemen und den realen unternehmensinternen und -übergreifenden Prozessen (STRASSNER 2005). Ihre Aufgabe besteht in der automatischen Erfassung von Objekten, wobei oft eine Identifikationsnummer (ID-Nummer) als Verknüpfung

zu den zugehörigen Daten im IT-System besteht (ÖSTERLE & WINTER 2003). Eine Einteilung der Auto-ID-Systeme ist in Abbildung 4 aufgezeigt.

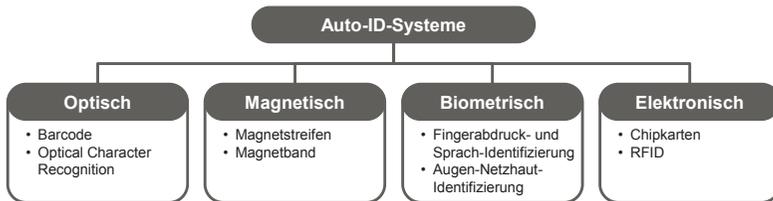


Abbildung 4: Einteilung von Auto-ID-Systemen (in Anlehnung an KOYUNCU 2009)

Das bekannteste System ist der Barcode, bei dem über eine optische Laserabtastung Binär-Codes ausgelesen werden (FINKENZELLER 2006). Die Grenzen des Barcodes und weiterer Auto-ID-Systeme liegen in der geringen Speicherkapazität sowie in der kontaktbehafteten Datenübertragung, die häufig Störungen unterliegt (Verschmutzung, Manipulation) (STRASSNER 2005, KOYUNCU 2009). Dagegen stellt RFID ein sichtkontaktloses Identifikations- und Datenerfassungssystem dar, bei dem mobile Datenspeicher über Funk ausgelesen bzw. beschrieben werden (FINKENZELLER 2006). Bei jeder Erfassung werden automatisiert Daten erzeugt, die den Materialfluss in Echtzeit im IT-System abbilden (KUHLMANN & AMENDE 2009). Das simultane Erfassen mehrerer Objekte, auch über größere Entfernungen hinweg, stellt neben der höheren Datenqualität ein weiteres Potential von RFID dar (BENSEL ET AL. 2009). Aufgrund der zahlreichen Vorteile bildet RFID die Basis für diese Arbeit, um die nötigen Daten zur effizienten Steuerung der Prozesse im Wertschöpfungsnetz zu generieren. In den nächsten Abschnitten findet daher eine Beschreibung des Aufbaus und der Funktionsweise (2.2.2), verschiedener Ausstattungsvarianten (2.2.3), möglicher Events (2.2.4) und Einsatzfelder (2.2.5) sowie Herausforderungen des Einsatzes (2.2.6) statt.

2.2.2 Aufbau und Funktionsweise

RFID gilt dank seiner Fähigkeit zur Integration physischer Objekte in IT-Systeme als Basis des *Ubiquitous Computing*. Hierbei unterstützt der allgegenwärtige Computer den Menschen unsichtbar, indem Objekte, mit Datenträgern und Sensoren ausgestattet, ihre Position und Umgebung in verschiedenen Prozessen wahrnehmen und über Plattformen kommunizieren. Dabei bestehen her-

kömmliche RFID-Systeme aus drei Komponenten (s. Abbildung 5) (FLEISCH & MATTERN 2005, FINKENZELLER 2006, KOYUNCU 2009):

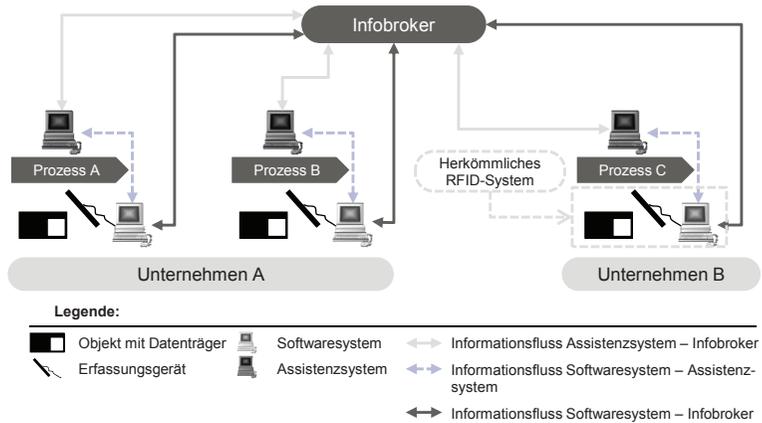


Abbildung 5: Aufbau und Funktionsweise von RFID (in Anlehnung an FINKENZELLER 2006, KOYUNCU 2009, REINHART ET AL. 2011A)

- **Datenträger:** Fixiert am zu erfassendem Objekt kennzeichnet er dieses mittels einer ID-Nummer. Ein Koppellement, bestehend aus einer Antenne bzw. einer Spule sowie einem Mikrochip, realisiert den Datentransfer.
- **Erfassungsgerät:** Dieses greift lesend und schreibend auf die Datenträger zu und besteht aus einem Hochfrequenzmodul (Sender und Empfänger), einer Kontrolleinheit sowie einem Koppellement zum Datenträger.
- **Softwaresystem:** Bildet die Schnittstelle zum bestehenden IT-System und dient zur Datenverarbeitung. Dadurch können bestehende Daten aus dem System auf die Datenträger geschrieben oder neu generierte Daten, durch den Erfassungsvorgang, im System abgelegt werden.

Neuartige RFID-Systeme umfassen zudem einen Infobroker und Assistenzsysteme. Der Infobroker dient dem Datenaustausch bei unternehmensübergreifenden Implementierungen. Die Assistenzsysteme bieten zusätzliche Funktionen in der Datenverarbeitung. Neben der Automatisierung von Bestellvorgängen kann auch sichernd bzw. steuernd in Abläufe eingegriffen werden (REINHART ET AL. 2011A)

Der drahtlose Datentransfer zwischen Erfassungsgerät und Datenträger erfolgt durch Funkverbindung. Zusätzlich beziehen sog. passive Datenträger (ohne eige-

ne Batterie), im Gegensatz zu aktiven, ihre benötigte Energie aus dem (elektro-)magnetischen Feld des Erfassungsgeräts. Dies bedingt jedoch eine geringere Übertragungsreichweite (RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009). Beim Schreiben werden die vom Softwaresystem generierten Daten im Erfassungsgerät codiert, vom Modulator auf eine Trägerfrequenz moduliert und schließlich als elektromagnetische Wellen von der Antenne abgestrahlt. Diese werden vom Datenträger in digitale Signale rücktransformiert, als Schreibbefehl erkannt und verarbeitet. Analog erfolgt das Auslesen der Daten vom Datenträger. Die Speicherung der Daten kann zentral am Datenträger (Data-on-Tag) bzw. dezentral (Data-on-Network) in Datenbanken erfolgen, wobei die Verknüpfung mittels ID-Nummer auf dem Datenträger erfolgt. (KOYUNCU 2009, MELSKI & SCHUMANN 2007)

Die Komponenten verfügen über verschiedene Varianten, wodurch sich eine Konfigurationsvielfalt mit spezifischen Eigenschaften ergibt. Eine Unterscheidung erfolgt bzgl. Bauform, Datenübertragung, Energieversorgung, Übertragungsfrequenz, Reichweite, Kopplung, Speicherstruktur, Beschreibbarkeit, eingesetzter Vielfachzugriffsverfahren sowie der Datenverschlüsselung (KOYUNCU 2009). Trotz dieser Bandbreite sind alle Lösungen durch drei grundlegende Eigenschaften charakterisiert (ÖRTEL ET AL. 2004, FINKENZELLER 2006):

- **Elektronische Identifikation:** Objekte werden anhand elektronisch gespeicherter Daten eindeutig identifiziert.
- **Kontaktloser Datentransfer:** Daten werden durch Funk übertragen und benötigen somit weder Berührungs- noch Sichtkontakt.
- **Senden auf Abruf:** Ein Datentransfer erfolgt nur im Ansprechbereich eines Erfassungsgeräts, durch dessen Initiierung.

Basierend auf den verschiedenen technischen Möglichkeiten und Funktionalitäten der RFID-Komponenten haben sich unterschiedliche Erfassungs- und Objektklassen entwickelt. Diese werden im nächsten Abschnitt dargestellt.

2.2.3 Erfassungs- und Objektklassen

Die verschiedenen Funktionalitäten der RFID-Komponenten ermöglichen unterschiedliche Anwendungen. Um die Funktionen und die damit verbundenen Kosten gezielt in die Bewertung zu integrieren, werden im Folgenden Klassifizierungen für die Erfassungsgeräte (RAMIREZ 2012) und die Objekte definiert.

Die Klassifizierung der Erfassungsgeräte basiert auf Kriterien, die die Funktionalitäten beschreiben (WERTHMANN 2013). Das zentrale Kriterium ist die Anzahl gleichzeitig erfassbarer Objekte. Neben dem Single-Reading kann in spezifischen Anwendungen auch das gleichzeitige Erfassen mehrerer Objekte, durch das Bulk-Reading, erforderlich sein. Ist neben der reinen Erfassung auch die Abbildung der Reihenfolge der Objekte gewünscht, ist auf die Fähigkeit der Sequenzbildung zu achten. Oft werden mehrere Objekte in einem Ladungsträger angeliefert. Soll dem Mitarbeiter aufgezeigt werden, welche Objekte als erstes zu verarbeiten sind, ist eine genaue Lokalisierung der Objekte erforderlich. Neben der relativen Positionsbestimmung kann es nötig sein, einem Objekt absolute Koordinaten zuzuweisen, um bspw. Suchvorgänge zu reduzieren. Da neben der Erfassung auch ein schreibender Zugriff auf die Datenträger erforderlich sein kann, werden die Erfassungsgeräte hinsichtlich ihrer Schreib- und Lesefunktionalität unterschieden. Basierend auf diesen Kriterien ergeben sich neun Erfassungsklassen (EK). Beispielhaft werden folgend die gebräuchlichsten EK, das RFID-Gate und der Single Readpoint, erläutert. Die weiteren EK sind im Anhang 11.1 beschrieben. Für eine detaillierte Darlegung der Kriterien und technischen Hintergründe sei auf die weiterführende Literatur verwiesen (FINKENZELLER 2006).

Das RFID-Gate besteht aus zwei sich gegenüberliegenden Antennenpaaren sowie dem zugehörigen RFID-Reader Modul. Das Gate kann ortsfest, bspw. an Hallentoren, oder mobil gestaltet sein und vorbeifahrende Objekte erkennen. In Abhängigkeit des zu erfassenden Objekts sind die Dimensionen des Gates variabel zu gestalten, um die Durchfahrt verschieden großer Objekte (Stapler, LKW) zu ermöglichen. Das RFID-Gate kann nur lesend einzelne sowie mehrere Objekte gleichzeitig erfassen. Eine Sequenzierung und Lokalisierung ist nicht möglich.

Der Single Readpoint besteht aus mindestens einer Antenne und einem RFID-Reader. Dieser ortsfeste Erfassungspunkt (EP) ermöglicht es einzelne Objekte auszulesen bzw. zu beschreiben. Voraussetzung ist das Vorbeiführen der Objekte in einem definierten Abstand. Befinden sich mehrere Objekte im Erfassungsbereich ist ein Datenfilter erforderlich, um das gewünschte Objekt zu erfassen. Eine Sequenzierung und Lokalisierung ist nicht möglich.

Bei der Auswahl der EK sind neben den Funktionalitäten auch erforderliche Hilfskomponenten, wie Lichtschranken, zu beachten, da diese zusätzliche Kosten verursachen und damit eine Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit haben. Die genaue Zusammenstellung der Komponenten ist fallspezifisch zu treffen. Eine Gegenüberstellung der Funktionalitäten und EK befindet sich in Tabelle 1.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Erfassungsklassen und Funktionalitäten (REINHART ET AL. 2013)

		Erfassungsklassen (EK)								
		EK 1	EK 2	EK 3	EK 4	EK 5	EK 6	EK 7	EK 8	EK 9
		RFID-Gate	Single Readpoint	Gabelstapler	JIS RFID-Gate	Mobile Ortung	Permanente Ortung	RFID-Drucker	Handerfassungsgesamt	Kanban-Regal
Funktionalitäten	Single-Reading	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Bulk-Reading	Ja	Nein	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein
	Sequenzierung	Nein	Nein	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
	Lokalisierung	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja
	Schreiben	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein
	Lesen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja

Die Granularität der Abbildung des Materialflusses im IT-System ist abhängig von der Anzahl der EP und der zu beobachteten Objekte. In Anlehnung an die VDA 5002 lassen sich drei Ebenen, die sog. Objektklassen, unterscheiden, die unterschiedlich tief in den Materialfluss involviert sind (VDA 5002, STRASSNER 2005). Auf höchster Ebene befindet sich das Transportmittel (Stapler, LKW), das in logistischen Prozessen beobachtet wird, um bspw. eine bessere Routenführung zu ermöglichen. Eine Ebene tiefer befinden sich die Ladungsträger. Auf dieser Ebene findet eine Unterstützung der Materialbereitstellung statt, indem Schüttgut oder zusammengefasste Objekte bedarfsgerecht zugeführt werden (STRASSNER 2005). Zudem kann der Rücktransport von Leergut überwacht werden (SCHMIDBAUER & ZEHNPFENNIG 2012). Auf unterster Beobachtungsebene befindet sich das Produkt. Auf Einzelteilebene können logistische und produktionstechnische Abläufe überwacht und unterstützt werden. (SCHÄFER 2011)

Die Beispiele machen ersichtlich, dass in Abhängigkeit der Erfassungs- und Objektklassen unterschiedliche Prozessverbesserungen und Einsparungen erzielt werden können.

2.2.4 Events

Die Ausführungen der letzten Abschnitte zeigen, dass der RFID-Einsatz den realen Materialfluss in Echtzeit in IT-Systemen abbildet. Hierzu wird die räumliche und zeitliche Präsenz der Objekte durch Erfassungsgeräte ermittelt. Die Erfas-

sungsvorgänge generieren Daten, die generell unter dem Begriff Event zusammengefasst sind. Dieser beschreibt eine Ansammlung von Informationen, die mit dem Identifikationsereignis in Verbindung stehen (GILLERT & HANSEN 2007). Um die generierten Informationen zwischen Datenbanken und Unternehmen austauschen zu können, haben sich Standards für ein einheitliches Datenformat entwickelt. Dieses Format berücksichtigt zudem, dass die Objekte eine eindeutige Kennzeichnung aufweisen. Die Institutionen GS1, Dun & Bradstreet und Odette haben sich bei der Entwicklung hervorgetan (KUHLMANN & AMENDE 2009, WINKLER 2011). Der von GS1 definierte EPCIS (Electronic Product Code Information Services) bildet bspw. für verschiedene Erfassungsvorgänge unterschiedliche Event-Klassen ab. Neben Objekt- können u. a. Aggregations-Events unterschieden werden. Erstere werden bei der Erfassung einzelner Objekte erzeugt. Hingegen geben Aggregations-Events Auskunft über den Erfassungsvorgang mehrerer physisch aggregierter Objekte. Dies ist der Fall wenn sich einzelne Ladungsträger auf einer Palette befinden und als eine Einheit betrachtet werden. Allgemein lassen sich die generierten Informationen in vier Schlüsseldimensionen einteilen, die Auskunft geben was, wann, wo und warum erfasst wurde. Sind weitere Informationen für das eigene Unternehmen sowie für Partner von Interesse, besteht die Möglichkeit den Datenpaketen prozessrelevante Informationen hinzuzufügen. (KUHLMANN & AMENDE 2009, TAMM & TRIBOWSKI 2010)

2.2.5 Einsatzmöglichkeiten

Aufgrund der hohen Kosten und der mangelnden Standardisierung fand RFID zunächst vor allem in unternehmensinternen Einsätzen Verwendung. Die erkannten Potentiale des kooperativen Einsatzes führten jedoch in der jüngeren Zeit vermehrt zum übergreifenden Einsatz (s. Abbildung 6) (MELSKI 2006). Eine Kategorisierung dieser Einsatzfelder erfolgt basierend auf den beteiligten Partnern. Die eigenständige unternehmensinterne Umsetzung wird als Closed-loop (lokal) bezeichnet. Findet eine Zirkulation der Datenträger im Netzwerk statt, liegt eine Closed-loop (kollaborativ) Anwendung vor. Wird der Endverbraucher integriert, ist eine Zirkulation der Datenträger nicht garantiert und es handelt sich um ein Open-loop System. (STRÜKER ET AL. 2008, KOYUNCU 2009, STRASSNER 2005)



Abbildung 6: Unternehmensinterne und -übergreifende Einsatzmöglichkeiten

Unternehmensintern wird RFID bspw. in der Instandhaltung sowie in der Produktionsdokumentation verwendet. Die Ausstattung von Werkzeugen reduziert Suchvorgänge (STRASSNER 2005, MELSKI 2006) sowie den Verschleiß durch Überwachung von Wartungsintervallen (REICHEL ET AL. 2009). Die automatische und stetige Dokumentation führt zur Fehler- und Aufwandsreduzierung bei manuellen Vorgängen und steigert die Auslastung von Produktionskapazitäten durch die Überwachung der Anlagenbelegung (SCHOLZ-REITER ET AL. 2007).

Generell ist erkennbar, dass der Nutzen einer Kooperation oftmals größer ist als die Summe der Einzelnutzen (RIHA & HIRTHAMMER 2005). JÄKEL (2008) verweist in diesem Zusammenhang auf die Durchführung eines Brainstormings. Wird diese Form der Ideengenerierung in einer Gruppe durchgeführt, ist die Anzahl der Vorschläge die eingebracht wird, auf den einzelnen Mitarbeiter heruntergebrochen, größer als die Anzahl der Ideen die ein einzelner Mitarbeiter beim Brainstorming finden würde. Dieser Sachverhalt lässt sich auf das Wertschöpfungsnetz übertragen. Eine zentrale Rolle spielt hierbei die Koordinationstheorie, die sich auf die Auswirkungen des Technologieeinsatzes in koordinationsintensiven Prozessen im Netzwerk konzentriert (MALONE 1988, FLEISCH ET AL. 2004). Im Rahmen des RFID-Einsatzes ergeben sich drei Effekte (STRASSNER 2005):

Substitution: Durch den Entfall bisheriger manueller Tätigkeiten und Koordinationsmechanismen wird eine Prozesseffizienz- und -qualitätssteigerung erreicht. Wareneingangs- und Zollkontrollen können beschleunigt und Fehlerkosten durch eine verbesserte Produkt- und Servicequalität reduziert werden. Primäres Potential besteht jedoch in bisher wenig geregelten Tätigkeiten, wie dem Behältermanagement und der überbetrieblichen Kommunikation. Die hierbei zu erzielenden positiven Effekte sind vom bereits realisierten Automatisierungsgrad abhängig. (FLEISCH ET AL. 2004; WILDEMANN 2001, VDI 4472)

Netzwerkanwendungen durch Diffusion: Durch die Verwendung einheitlicher RFID-Komponenten können Kosteneinsparungen realisiert und Medienbrüche

vermieden werden (WHANG 2010). Das Metcalfe-Gesetz besagt in diesem Zusammenhang, dass bei einer steigenden Teilnehmerzahl immer größere Potentiale auszuschöpfen sind. Hierbei sind drei Diffusionsrichtungen zu beachten, die den RFID-Einsatz im Netzwerk charakterisieren. Die Tiefe des Einsatzes kann durch die Art der Transportschicht (Ladungsträger, Produkte) (VDA 5002) sowie durch die Anzahl der integrierten Prozesse definiert werden. Des Weiteren spielt die Kritizität (A-, B-, C-Teile), also die Einteilung der Objekte hinsichtlich ihres Mengen-Werte-Verhältnisses, eine entscheidende Rolle. Je mehr Objekte und Prozesse erfasst werden, desto genauer ist die Abbildung des Materialflusses im IT-System. Die Betrachtung der Kritizität ermöglicht zudem die Reihenfolgebildung der RFID-Einführung, da die zu erwartenden Nutzen mit sinkender Kritizität abnehmen. Darüber hinaus trägt die Einzelteilverfolgung in Open-loop Anwendungen entscheidend zur Senkung monetärer und reputativer Schäden von Rückrufaktionen bei. Dies hätte zu wesentlichen Kosteneinsparungen bei den 186 Rückrufaktionen 2011 in Deutschland geführt. (IMMEN 2011, LAMPE & STRASSNER 2005, MELSKI 2006)

Neue Prozesse und Geschäftsmodelle: Große Potentiale bieten sich primär in der Reorganisation von Prozessen und in der Gestaltung neuer Dienstleistungen. Die Implementierung eines RFID-Kanban-Systems ermöglicht bspw. in der Materialflusssteuerung Nachfrageschwankungen und damit den Bullwhip-Effekt zu reduzieren (MÜLLER 2011, STRASSNER 2005). Neue Dienstleistungen in Open-loop Anwendungen sind u. a. die Bereitstellung individueller Daten bei Wartungsarbeiten oder die Produktauthentifizierung (CÄSAR & LEGNER 2003). Durch die Speicherung von Seriennummern direkt am Produkt können die Echtheit jederzeit nachgeprüft und Umsatzeinbußen durch den Handel mit gefälschter Ware reduziert werden (JANSEN & HELMIGH 2007, GÜNTNER & MEIBNER 2006).

2.2.6 Herausforderungen

Den vielseitigen Einsatzmöglichkeiten und den damit verbundenen Potentialen stehen jedoch verschiedene Herausforderungen gegenüber. Auffällig ist, dass sich Letztere weder rein technisch noch betriebswirtschaftlich begründen lassen. Sozio-psychologische Ursachen, sog. weiche Faktoren, sind ausschlaggebend für die häufig pessimistische Einstellung gegenüber RFID (s. Abbildung 7). (KOYUNCU 2009, MELSKI 2006, GÜNTNER ET AL. 2010, MANGAN ET AL. 2012)



Abbildung 7: Herausforderungen des RFID-Einsatzes

Spezielle Prozessanforderungen, wie thermische Beanspruchung und metallische Umgebungen, führen zu unternehmensindividuellen kostenintensiven Lösungen. Dies bedingt Probleme beim Datenaustausch in Kooperationen. Nur mittels standardisierter Komponenten können Partnerunternehmen diese richtig erfassen (GÜNTNER ET AL. 2010, FINKENZELLER 2006, BÄCKE-HEGER 2008). Die vielseitigen Einzellösungen und komplexen Schnittstellen erfordern zudem spezifische Kenntnisse der Mitarbeiter (SCHOLZ-REITER ET AL. 2007).

Die beschriebenen Punkte wirken sich somit zusätzlich auf die Investitionen für die Infrastruktur (Hard- und Software-Komponenten) und die Integrationskosten aus. Laufende Aufwände hängen u. a. von den Datenträgerkosten ab, die durch die Art des realisierten RFID-Systems (s. Abbildung 6) beeinflusst werden (TELLKAMP 2003). Die Kostenkalkulation wird zudem von unsicheren Prognosen hinsichtlich der Preisentwicklung der Datenträger erschwert (TAMM & TRIBOWSKI 2010). Um daher die Ausgaben niedrig zu halten, setzen Unternehmen oftmals auf günstigere passive Datenträger, die jedoch aufgrund der geringeren Reichweite vermindertes Potential bieten. Da die zu erreichenden Einsparungen und auftretenden Kosten mit der verwendeten RFID-Technik variieren, gestaltet sich die Identifikation und Quantifizierung der einzelnen Faktoren für die Bewertung schwierig. Vor allem nicht direkt greifbare Potentiale, wie eine höhere Transparenz, durch die Abbildung des Materialflusses im IT-System, sind nur bedingt monetär bewertbar. (VILKOV & WEIß 2008, ABRAMOVICI ET AL. 2009, STRASSNER 2005)

Die Abbildung des Materialflusses führt darüber hinaus auch zur Generierung von Bewegungsprofilen der Mitarbeiter, die sich unter Umständen dadurch beobachtet fühlen. Dieser Eingriff in die Privatsphäre bzw. in den persönlichen Datenschutz hat vor allem bei Open-loop Systemen negative Auswirkungen (ÖRTEL ET AL. 2004, GÜNTNER ET AL. 2010). Um der Problematik, des sog. gläsernen Kunden, beizukommen, gab die Europäische Union eine Empfehlung heraus, dass Datenträger nur noch mit Zustimmung des Kunden funktionsfähig am Pro-

dukt verbleiben dürfen (REDING 2009). Neben dem privaten Sektor besteht durch die erhöhte Transparenz die Gefahr, dass unternehmensspezifische Daten wie Lieferbeziehungen und Bestände in die Hände Dritter gelangen. Dies erfordert Vorkehrungen für eine erhöhte Datensicherheit, die jedoch zusätzliche Kosten verursachen (MELSKI 2006). Der Aufbau RFID-gestützter Lieferbeziehungen wird primär durch fokale Unternehmen initiiert, die basierend auf ihrer hierarchischen Stellung die Übernahme eigener Anforderungen beim Lieferanten durchsetzen und diese somit mit zusätzlichen Kosten konfrontieren (BENSEL ET AL. 2008B). Da im Materialfluss nachgelagerte Stellen bereits auf angebrachte Datenträger zugreifen (RIHA 2008), entsteht eine Diskrepanz zwischen den Orten der Kosten- und Nutzengenerierung (BENSEL ET AL. 2008A). Diese Problematik kann die RFID-Einführung verhindern, da diese aus Sicht der benachteiligten Partner nicht rentabel erscheint, obwohl die erzielbaren Einsparungen im Netzwerk die Kosten übersteigen (FLEISCH & MATTERN 2005). Zum Ausgleich dieser Interessensasymmetrien ist daher eine gerechte Kosten-Nutzen-Verteilung erforderlich (TAMM & TRIBOWSKI 2010). Unter gerecht wird in diesem Zusammenhang ein Kompromiss verstanden, den alle beteiligten Unternehmen unterstützen.

2.3 Charakterisierung der Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit von RFID

2.3.1 Allgemeines

Der RFID-Einsatz wirkt sich auf unterschiedliche Bereiche und Abläufe im Unternehmen sowie im Wertschöpfungsnetz aus. Neben den Herausforderungen bei der Implementierung und beim Betrieb sind vor allem zahlreiche Prozessverbesserungen zu bewerten. Besonders bei der Bewertung solcher IT-Systeme gilt es, aufgrund dieser verschiedenen Effekte, alle Faktoren in der Bewertung zu erfassen, um eine mögliche Fehleinschätzung bzw. Fehlinvestition zu verhindern. (NISSEN 2008, HIRNLE & HESS 2004)

Einflussfaktoren werden daher in dieser Arbeit wie folgt definiert:

Einflussfaktoren sind alle Faktoren, die individuell und in ihrer Gesamtheit die Wirtschaftlichkeit von RFID im Unternehmen sowie im Wertschöpfungsnetz beeinflussen.

Generell gibt es in der Wissenschaft verschiedene Ansätze zur Klassifizierung von Einflussfaktoren. Im Rahmen der Fabrikplanung und der damit verbundenen Gestaltung von Logistikabläufen im Netzwerk werden globale und regionale Einflüsse (GRUNDIG 2009) sowie Produktions-, Markt- und Performancefaktoren unterschieden (KINKEL 2009). Bei der Investitionsbewertung spielen jedoch vor allem finanzielle Effekte eine Rolle. LANGE ET AL. (2008) unterscheiden leicht zu erfassenden direkten sowie schwer zu erfassenden indirekten Faktoren. Eine ähnliche Definition treffen WILDEMANN (2006) und KREBS (2011), die zusätzlich die Messbarkeit, also die zahlenmäßige Erfassbarkeit, der Einflussfaktoren mit integrieren. Neben der reinen Messbarkeit ist zudem zu beachten, ob Einflussfaktoren einen positiven oder negativen Einfluss auf die Rentabilität ausüben (LANGE ET AL. 2008, ZIEGENBEIN 2007). Der Einfluss der Faktoren kann sich zudem durch Beziehungen, die zwischen den Faktoren wirken, verändern (DILLERUP ET AL. 1999). Unter Berücksichtigung der komplexen Identifikation und Quantifizierung von Einflussfaktoren auf RFID-Projekte wird in Abschnitt 2.3.2 zunächst eine Klassifizierung erarbeitet, bevor in Abschnitt 2.3.3 eine Beschreibung möglicher Beziehungen erfolgt.

2.3.2 Quantitative und qualitative Einflussfaktoren

Im Rahmen einer Investitionsbewertung findet eine Gegenüberstellung verschiedener Faktoren statt, die einen positiven bzw. negativen Beitrag zur Wirtschaftlichkeit des Investitionsobjekts leisten (THOMMEN & ACHLEITNER 2009). Von entscheidender Bedeutung ist es dabei die monetäre Ausprägung der einzelnen Faktoren exakt zu erfassen. Hierbei spielt vor allem die Messbarkeit des Effekts eine zentrale Rolle, also der quantitative zahlenmäßige Vergleich einer Messgröße mit einer definierten Einheit, wie bspw. Stunden oder Kilometer (VDI 1319). Quantitative Einflussfaktoren sind in diesem Zusammenhang in ihrer Ausprägung zwar zahlenmäßig messbar, jedoch lassen sich nur direkte Einflüsse in einem monetären Wert ausdrücken. Die Freisetzung von Mitarbeitern lässt sich bspw. direkt anhand der reduzierten Personalkosten belegen (STRASSNER 2005). Indirekte Effekte lassen sich zwar metrisch skaliert darstellen, müssen jedoch über einen Wertemaßstab in einen monetären Wert transformiert werden. Ein Beispiel hierfür wäre eine Bearbeitungszeitreduktion, die zwar zahlenmäßig erfassbar ist, jedoch erst durch die Verrechnung mit einem Stundensatz [€/h] einen monetären Wert darstellt (MEYER 2006, PIETSCH 2003). Qualitative Faktoren lassen sich im Gegensatz nur verbal über Eigenschaften beschreiben. Anhand von Nominal- bzw. Ordinalskalen lassen sich bspw. Expertenschätzungen durch

Klassifizierungen wie hoch, mittel und niedrig darstellen (MEYER 2006, QUAAS 2005). Auftreten können qualitative Faktoren auf operativer sowie auf strategischer Ebene. Eine transparentere Informationsbereitstellung würde auf operativer Seite zu einer Leistungssteigerung in der Prozessbearbeitung führen. Die strategische Wirkung ergibt sich aus den Organisations- und Wettbewerbsstrategien der Unternehmen, wie der langfristigen Existenzsicherung durch ein verbessertes Firmenimage. Da beide Ebenen zahlenmäßig nicht erfassbar sind, ist eine präzise Aussage und Bewertung des Einflusses nicht möglich. (GÖBEL 2008, MELSKI 2006, GILBERG 2009)

Die Beispiele und die dargestellten Herausforderungen in Abschnitt 2.2.6 zeigen, dass der RFID-Einsatz Einsparungen erzielt, jedoch auch zusätzliche Kosten verursacht. Im Rahmen dieser Arbeit lassen sich daher die folgenden Definitionen zur Klassifizierung dieser Einflussfaktoren ableiten:

Als quantitative Nutzenpotentiale werden alle messbaren Faktoren verstanden, die eine Kostenreduktion bzw. eine Umsatzsteigerung bewirken und deren Effekt anhand eines Zahlenwertes angegeben werden kann.

Als quantitative Aufwände werden alle messbaren Faktoren verstanden, die eine Kostensteigerung bzw. eine Umsatzreduktion bewirken und deren Effekt anhand eines Zahlenwertes angegeben werden kann.

Als qualitatives Nutzenpotential werden alle Faktoren verstanden, die eine Kostenreduktion bzw. eine Umsatzsteigerung bewirken und deren Effekt nur mittels Eigenschaften beschreibbar ist und nicht als Zahlenwert angegeben werden kann.

Als qualitative Aufwände werden alle Faktoren verstanden, die eine Kostensteigerung bzw. eine Umsatzreduktion bewirken und deren Effekt nur mittels Eigenschaften beschreibbar ist und nicht als Zahlenwert angegeben werden kann.

Der verwendete Begriff Nutzen findet im allgemeinen Sprachgebrauch sowie in technischen Anwendungen auf unterschiedliche Weise Verwendung. Im Rahmen dieser Arbeit beschreibt er die Fähigkeit eines Gutes das Erreichen eines Ziels positiv zu unterstützen. (DUDEN 2013)

2.3.3 Beziehungen zwischen den Einflussfaktoren

Auf die Wirtschaftlichkeit von RFID im Wertschöpfungsnetz wirken sich quantitative sowie qualitative Einflussfaktoren aus. Diese stehen in verschiedenen Beziehungen zueinander. Neben monetären bestehen auch kausale Zusammenhänge zwischen den einzelnen Faktoren.

Aus der monetären Sichtweise werden durch den RFID-Einsatz Aufwände verursacht und Einsparungen erzielt. Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbewertung ist es das Ziel die einzelnen Faktoren zu aussagekräftigen Zielgrößen über die Rentabilität der Investition zusammenzufassen. Da quantitative Faktoren durch Zahlenwerte bzw. Euro-Beträge angegeben werden können, ist es möglich diese direkt über mathematische bzw. deterministische Regeln miteinander zu verrechnen. Die Beziehung zwischen den quantitativen Einflüssen wird daher allgemein als scharf bezeichnet (ROSENKRANZ & MIBLER-BEHR 2005). Zeiteinsparungen im Wareneingang durch den Entfall von Vereinzeltungsvorgängen und durch die Automatisierung von Erfassungsvorgängen können so unmittelbar miteinander addiert werden. Qualitative Einflüsse lassen sich jedoch nur verbal über die Ausbildung bestimmter Merkmale beschreiben. Da somit keine Größen vorliegen, die in einen mathematischen Zusammenhang gebracht werden können, ist eine Integration in die Bewertung nur mittels Wirkbeziehungen möglich. Liegt also eine qualitative Beeinflussung vor, ist zur Integration dieser in die Bewertung die Beziehung zu den quantitativen Faktoren entsprechend zu modellieren. Generell wird dieser Zusammenhang als unscharfe Beziehung bezeichnet (KREBS 2011). Beispielhaft lässt sich die Relation zwischen der mangelnden Akzeptanz der neuen Technik durch die Mitarbeiter und den anfallenden Schulungskosten anführen. Zur Schärfung des Verständnisses der Mitarbeiter bzgl. der Notwendigkeit des RFID-Einsatzes ist der Schulungsumfang, um zusätzliche Sensibilisierungsmaßnahmen, zu erweitern (RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009).

Neben den monetären Aspekten bestehen auch kausale Beziehungen, die Auskunft über das Eintreten der einzelnen Einflüsse geben (VILKOV 2007). Hierbei werden drei verschiedene Arten unterschieden. Die schwächste Form stellt die begünstigende Beziehung dar. Das Eintreten eines Einflussfaktors kann ebenso das Eintreten eines weiteren begünstigen, jedoch nicht zwangsläufig bedingen. Die automatische Zuweisung von Produktinformationen im Rahmen des Erfassungsvorgangs kann bspw. auch dazu führen, dass Prüfanweisungen dem Mitarbeiter für das jeweilige Objekt direkt zur Verfügung gestellt werden. Dies würde eine zusätzliche Einsparung bedeuten, steht jedoch in keinem festen Zusammen-

hang mit der Zuweisung von Produktinformationen. Eine stärkere Bindung besteht im Rahmen von Und- bzw. Oder-Beziehungen. Liegt eine Und-Beziehung zwischen zwei Faktoren vor, sind immer beide Faktoren in der Bewertung zu berücksichtigen. Das Anbringen eines neuen Datenträgers an einem Objekt führt immer dazu, dass erforderliche Informationen auf diesen geschrieben werden müssen. Im Gegensatz dazu schließt das Eintreten eines Faktors im Rahmen der Oder-Beziehung die Generierung eines weiteren Einflusses aus. Die Substitution interner Auftragspapiere durch die Speicherung relevanter Daten auf dem Datenträger direkt am Objekt, würde bspw. den Entfall des Nutzenpotentials einer automatischen Erstellung der Auftragspapiere bedeuten. Es ist also nur einer der beiden Faktoren in der Bewertung zu berücksichtigen. Eine Zusammenstellung der verschiedenen monetären und kausalen Beziehungen zwischen den Faktoren ist in Abbildung 8 dargestellt. (STRASSNER 2005, VILKOV 2007)



Abbildung 8: Arten der Beziehungen zwischen den Einflussfaktoren

2.4 Risiko und Unsicherheit

Eine zentrale Herausforderung bei der Wirtschaftlichkeitsbewertung des RFID-Einsatzes ist die Quantifizierung der verschiedenen Einflussfaktoren. Die monetäre Bewertung erfolgt häufig durch Schätzungen und Annahmen, die jedoch Unsicherheiten unterliegen (SCHMIDT 2006) und somit ein gewisses Risiko für die Investition bedeuten. Eine allgemeingültige Definition für den Begriff des Risikos ist in der Literatur aufgrund verschiedener wissenschaftlicher Zusammenhänge nicht vorhanden (ZSCHORN 2007, MEIERBECK 2010). Es haben sich jedoch die Begrifflichkeiten des wirkungsorientierten sowie des informations- und ursachenorientierten Risikobegriffs etabliert (OCKER 2010, KREBS 2011, MEIERBECK 2010, ARENS 2009, RIMPAU 2010).

Der wirkungsorientierte Risikobegriff ist charakterisiert durch eine mögliche Abweichung von gesetzten Zielen, d. h. das Risiko wird vor allem durch seine Wirkung beschrieben. Es wird also als Möglichkeit für einen Schaden sowie eine Fehlentscheidung betrachtet, die als Folge eine materielle Konsequenz darstellt (MEIERBECK 2010). Eine Abweichung von den Zielen muss jedoch nicht ausschließlich negativ belegt sein, sondern kann in Form positiver Abweichungen als Chance interpretiert werden (MEIERBECK 2010, KREBS 2011).

Der informations- bzw. ursachenorientierte Risikobegriff beschreibt ein Risiko, das auf einem Informationsdefizit für verschiedene Entscheidungssituationen beruht (MEIERBECK 2010). Kann die zukünftige Entwicklung eindeutig vorausgesagt werden, wird von einer Entscheidung unter Sicherheit gesprochen. Ist dies nicht möglich, handelt es sich um eine Entscheidung unter Unsicherheit. Können Aussagen über Eintrittswahrscheinlichkeiten der Handlungsalternativen getroffen werden, wird von Risiko gesprochen. Können keine Wahrscheinlichkeiten angegeben werden, liegt eine Ungewissheitssituation vor. (SCHNEEWEIß 1991)

In der Praxis finden sich oft Mischformen dieser Betrachtungen (KREBS 2011, ARENS 2009). Bezogen auf die Effekte von RFID ergibt sich, basierend auf den Ansätzen von MÖLLER (2008) und SUDHOFF (2007), die folgende Definition:

Unter einem Risiko wird die aus der Unvorhersehbarkeit der Zukunft resultierende Möglichkeit der Abweichung von einem Erwartungswert verstanden, deren Ausprägung jedoch mit Wahrscheinlichkeiten hinterlegt werden kann.

Gemäß GÖTZE (2008) besteht zwischen Risiko und Unsicherheit eine Ursache-Wirkungs-Beziehung. Die Unsicherheit führt über die zukünftige Entwicklung einer Alternative zu einem Risiko für die getätigten Investitionen. In der Literatur wird in diesem Zusammenhang zwischen zwei Arten bzw. Ursachen der Unsicherheit unterschieden. Die stochastische Unsicherheit ist auf einen Mangel an Informationen für eine Entscheidungssituation zurückzuführen. Diese steht in einem engen Kontext zu dem informations- und ursachenorientierten Risikobegriff. Fehlende Informationen führen bspw. dazu, dass eine zukünftige Entwicklung nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden kann. Des Weiteren besteht der Begriff der linguistischen Unsicherheit, die auf dem Mangel an begrifflicher Schärfe basiert. Die Unschärfe entsteht, wenn Faktoren bzw. Ausprägungen nicht eindeutig abgegrenzt oder in Zahlenwerte transformiert werden können.

Zur Konkretisierung des Begriffs der Unsicherheit wird die Definition von KREBS (2011) herangezogen, jedoch um RFID-spezifische Punkte erweitert:

Eine Unsicherheit führt zu einem Risiko bzgl. korrekter Aussagen über die Wirtschaftlichkeit von RFID im Wertschöpfungsnetz. Diese resultiert dabei aus der Unvorhersehbarkeit der Ausprägung der Einflussfaktoren aufgrund eines Mangels an Informationen (quantitative Einflussfaktoren) sowie aus einem Mangel an begrifflicher Schärfe (qualitative Einflussfaktoren).

Eine detaillierte Beschreibung der Begriffe Risiko und Unsicherheit ist in BRIEKE 2008, KRUSCHWITZ 2009 und MEIERBECK 2010 zu finden.

2.5 Rechnungswesen und Investitionsrechnung

2.5.1 Allgemeines

Unternehmen handeln nach dem ökonomischen Prinzip. In der Produktion wird u. a. eine Reduktion der Fertigungskosten bei gleichem Ausstoß qualitativ hochwertiger Produkte angestrebt. Hierzu ist eine stetige Verbesserung der internen und übergreifenden Prozesse in Kunden-Lieferanten-Beziehungen erforderlich. Zur Erreichung dieser Verbesserung können in verschiedenen Bereichen Investitionen getätigt werden, um Rationalisierungseffekte zu heben. Da bei jeder Investition verschiedene Gruppen, wie Banken und Projektpartner, Interesse bekunden, sind spezifische Dokumentations- und Planungstätigkeiten durchzuführen (THOMMEN & ACHLEITNER 2009, SCHIERENBECK & WÖHLE 2012, COENENBERG 1992). Da die genannten Tätigkeiten Bestandteile des Rechnungswesens sind, wird dieses zunächst in Abschnitt 2.5.2 erläutert, bevor detaillierter auf die Investitionsrechnung (s. Abschnitt 2.5.3) eingegangen wird.

2.5.2 Betriebswirtschaftliche Ziele des Rechnungswesens

Die durch den RFID-Einsatz bedingten Einsparungen und Aufwände unterliegen Unsicherheiten, die ein Risiko für den wirtschaftlichen Erfolg der Investition bedeuten. Um das Risiko monetär zu bewerten, wird auf Methoden des Rechnungswesens zurückgegriffen. Das Rechnungswesen dient zur Betrachtung der finanziellen Gesichtspunkte, wie der Wirtschaftlichkeit und der Liquidität, eines Unternehmens und gliedert sich in verschiedene Teilbereiche (EISELE & KNOBLOCH 2011). Die Finanzbuchhaltung bspw. gibt Auskunft über die finanzielle Situation des Unternehmens. Dies spielt bei der Beschaffung finanzieller Mittel für die Implementierung eines RFID-Systems eine zentrale Rolle. Die ge-

tätigten Investitionen verfolgen unterschiedliche Ziele, die durch das Rechnungswesen und durch weitere Interessensträger, wie Banken und Gewerkschaften, überwacht werden. Hierbei werden, wie in Abbildung 9 dargestellt, Formal- und Sachziele gebildet, die auf den betrieblichen Tätigkeiten basieren. Die Formalziele spiegeln das Resultat des güter- und finanzwirtschaftlichen Umsatzprozesses wider und repräsentieren den Erfolg unternehmerischen Handelns. Daneben beziehen sich die Sachziele direkt auf das konkrete Handeln in den betrieblichen Tätigkeiten. Auf Produktionsseite werden bspw. das Qualitätsniveau und der Ressourceneinsatz überwacht. Zudem spielen das Unternehmensimage und die Mitarbeiterzufriedenheit zentrale Rollen. (THOMMEN & ACHLEITNER 2009)

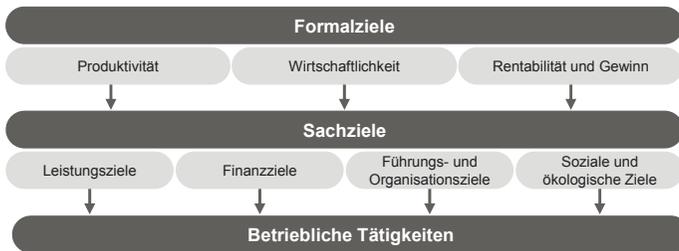


Abbildung 9: Arten von Unternehmenszielen (in Anlehnung an THOMMEN & ACHLEITNER 2009)

Um die Produktionsfaktoren entsprechend der Ziele einzusetzen, handeln die Unternehmen nach dem ökonomischen Prinzip (SCHIERENBECK & WÖHLE 2012, THOMMEN & ACHLEITNER 2009). Zur Überwachung der Ziele und des ökonomischen Prinzips dienen verschiedene Kennzahlen, wie die Produktivität, die Rentabilität und die Wirtschaftlichkeit (DÄUMLER & GRABE 2007, THOMMEN & ACHLEITNER 2009, WESTKÄMPER 2006). Um diese Kennzahlen zu ermitteln, ist eine vollständige Aufstellung aller Ein- und Auszahlungen, die mit den Investitionen zusammenhängen, nötig. Zur Analyse dieser Zahlungen dienen Verfahren der Investitionsrechnung, die im Folgenden erläutert werden. Eine detaillierte Beschreibung der internen und externen Aufgaben des Rechnungswesens ist in THOMMEN & ACHLEITNER (2009) und EISELE & KNOBLOCH (2011) zu finden.

2.5.3 Investitionsrechnung

Zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit von Investitionen in die RFID-Technik können verschiedene Investitionsrechnungsverfahren eingesetzt werden, um in der Planungsphase die Investitionsentscheidung zu unterstützen sowie diese Ent-

scheidung in der Betriebsphase zu kontrollieren. Da sich verschiedene Arten von Investitionszwecken unterscheiden lassen, kann sich der Einsatz alternativer Verfahren fallspezifisch empfehlen. Bei Investitionen in ein RFID-System handelt es sich um Rationalisierungsinvestitionen. Diese haben das Ziel, durch den Ersatz funktionstüchtiger Anlagen, Kosten zu senken und ein höheres Qualitätsniveau zu erreichen. Die Gegenüberstellung der auftretenden Aufwände und Einsparungen kann, wie in Abbildung 10 dargestellt, durch statische und dynamische Verfahren erfolgen. (THOMMEN & ACHLEITNER 2009, DÄUMLER & GRABE 2007)



Abbildung 10: Statische und dynamische Verfahren der Investitionsrechnung (in Anlehnung an DÄUMLER & GRABE 2007)

Die statischen Ansätze fokussieren die reinen Zahlungsströme, berücksichtigen jedoch den zeitlichen Verlauf der getätigten Investitionen und der erzielten Einsparungen nicht. Somit werden in die Berechnung der monetären Zielgrößen nur die Finanzströme einer Periode integriert. Bestenfalls wird in diesem Zusammenhang ein repräsentativer Mittelwert über alle Ein- und Auszahlungen der einzelnen Bewertungsperioden gebildet (DÄUMLER & GRABE 2007, GÖTZE 2006, OLFERT & REICHEL 2006). Zudem werden nur deterministische Kosten- und Nutzengrößen berücksichtigt, ohne vorhandene Unsicherheiten zu integrieren (KOYUNCU 2009). Daher eignen sich diese Ansätze nicht zur Bewertung der komplexen Effekte von Investitionen in die RFID-Technik. Zur weiteren Erläuterung der statischen Verfahren sei auf die einschlägige Literatur verwiesen (THOMMEN & ACHLEITNER 2009, DÄUMLER & GRABE 2007, GÖTZE 2006).

Dynamische Ansätze integrieren bei der Bewertung den Faktor Zeit, wodurch ein heute verfügbarer Geldbetrag mehr wert ist als ein Geldbetrag gleicher Höhe in einigen Jahren (DÄUMLER & GRABE 2007). Die Beachtung dieses zeitlichen Bezugs der Ein- und Auszahlungen findet durch Auf- bzw. Abzinsung, der sog. Diskontierung, auf einen Bezugszeitpunkt statt. Der Vorteil der dynamischen Ansätze besteht darin, dass der zugrunde liegende interne Zinsfuß flexibel über die Laufzeit adaptiert werden kann und somit die Realität genauer abbildet (KRUSCHWITZ 2009). In der industriellen Anwendung haben sich die Kapital-

wertmethode und die dynamische Amortisationsrechnung durchgesetzt, die auch in dieser Arbeit Verwendung finden. Eine Beschreibung weiterer dynamischer Ansätze ist in THOMMEN & ACHLEITNER (2009) und GÖTZE (2008) zu finden.

Die Kapitalwertmethode ist das am häufigsten verwendete Verfahren zur Investitionsbewertung. Durch die zeitlich differenzierte Berücksichtigung aller mit einer Investition verbundenen Zahlungen wird die absolute Vorteilhaftigkeit dieser, anhand des Kapitalwerts, ermittelt (DILLERUP & ALBRECHT 2005). Der Kapitalwert gibt den Barwert einer Investition zu einem Bezugszeitpunkt an. Er stellt somit den auf diesen Zeitpunkt abgezinsten Gewinn eines untersuchten Zeitraums dar. Als Kalkulationszinssatz dient u. a. der Zinssatz für die Aufnahme eines Kredits oder die erwartete Verzinsung eines Alternativprojekts (DÄUMLER & GRABE 2007). Da Steuern und Abschreibungen in der realen Marktwirtschaft Auswirkungen auf die Zahlungsströme haben, sind diese in der Kapitalwertberechnung zu beachten (PERRIDON ET AL. 2009). Unter Berücksichtigung aller Einflüsse lässt sich der Kapitalwert folgendermaßen ermitteln (s. Formel 1):

$$KW = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{E_t - A_t - s \cdot (E_t - A_t - AfA_t)}{[1+i \cdot (1-s)]^t} \quad (1)$$

KW	Kapitalwert
I_0	Investitionssumme
E_t, A_t	Ein- und Auszahlungen in Periode t
AfA_t	Steuerliche Abschreibung in Periode t
T	Betrachtungszeitraum
t	Laufvariable für die Anzahl der Perioden
i	Kalkulationszinssfuß
s	Steuersatz

Mit steigendem Kapitalwert nimmt die Vorteilhaftigkeit der Investition zu. Je länger jedoch die Nutzungsdauer angesetzt wird, desto höher wird in der Regel der Kapitalwert (GÖTZE 2006). Sollten alternative RFID-Systeme verglichen werden, ist daher auf eine einheitliche Nutzungsdauer zu achten. Um die Vergleichbarkeit zu unterstützen, bietet es sich an zusätzlich die dynamische Amortisationszeit zu ermitteln. Diese gibt Auskunft darüber, zu welchem Zeitpunkt die getätigten Investitionen refinanziert sind. Im Gegensatz zur statischen Berechnung wird der Kalkulationszinssatz berücksichtigt. Dies führt zu einer Verlängerung der Rückflusszeit, da Zinserträge bei Anlage der Investitionssumme mit erwirtschaftet werden müssen (GÖTZE 2006, DÄUMLER & GRABE 2007). Die

Amortisationszeit lässt sich bestimmen, indem für jede Periode schrittweise, ausgehend von der ersten Periode, der kumulierte Barwert der Nettozahlungen berechnet wird, der dem Kapitalwert in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer entspricht. Wird dieser Wert erstmals positiv oder gleich Null, ist die Amortisationszeit erreicht. Der exakte Zeitpunkt wird anschließend durch Interpolieren bestimmt (s. Formel 2). Je niedriger die Amortisationszeit ist, desto vorteilhafter ist die Investition. (GÖTZE 2006, PERRIDON ET AL. 2009)

$$T_A = t_{A-1} + \frac{-KW_{A-1} \cdot (t_A - t_{A-1})}{KW_A - KW_{A-1}} \quad (2)$$

T_A	Amortisationszeit
t_A	Periode, innerhalb derer gilt: $KW \geq 0$
t_{A-1}	Periode vor t_A , wobei $KW < 0$
KW_A	Kumulierter Kapitalwert der Periode t_A
KW_{A-1}	Kumulierter Kapitalwert der Periode t_{A-1}

Da die dynamischen Verfahren, analog zu den statischen Ansätzen, nur quantitative Faktoren beachten und weder Unsicherheiten noch qualitative Einflüsse integrieren, werden folgend erweiterte Ansätze zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von RFID vorgestellt (RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009).

2.6 Wirtschaftlichkeitsbewertung unter Unsicherheit

Im Rahmen der Quantifizierung der Einflussfaktoren können aufgrund eines Informationsmangels und eines Mangels an begrifflicher Schärfe Unsicherheiten auftreten, die ein Risiko für die Investitionen darstellen. Um dieses Risiko zu bewerten, sind Investitionsbewertungsverfahren heranzuziehen. Da die erläuterten klassischen Ansätze die Unsicherheiten nicht aufgreifen, werden im Folgenden Ansätze zur Bewertung unter Unsicherheit vorgestellt.

Das Korrekturverfahren bildet Unsicherheiten ab, indem unsichere Parameter mit pessimistischen Werten belegt werden. Hierzu werden die Erwartungswerte mit Risiko- bzw. -abschlägen angepasst. Dadurch wird sichergestellt, dass der ermittelte Zielwert in der praktischen Anwendung mit großer Wahrscheinlichkeit erreicht wird. Diese jedoch sehr einseitige Betrachtungsweise führt dazu, dass lediglich Gefahren Beachtung finden und mögliche Chancen außer Acht gelassen werden (SCHULTE 1996). Zudem unterliegen die Korrekturwerte oftmals einer

subjektiven Wahrnehmung und verfälschen somit das Ergebnis (GÖTZE 2008). Daher ist das Korrekturverfahren zur Unsicherheitsbewertung ungeeignet.

Die Sensitivitätsanalyse dient der Ermittlung des Einflusses unsicherer Faktoren auf den Zielwert. Hierzu wird die Ausprägung einer oder mehrerer Faktoren variiert und die restlichen Einflüsse mit konstanten Werten angenommen. Somit kann gezielt gefiltert werden, welche Faktoren das Bewertungsergebnis am stärksten beeinflussen (GÖTZE 2008, KRUSCHWITZ 2009). Zum einen lässt sich dadurch ermitteln, wie sich die Zielgröße bei einer Variation der Einflussfaktoren verhält. Zum anderen kann bei einer vordefinierten Zielgröße untersucht werden, welche Werte die Faktoren im Grenzfall annehmen dürfen. Die Sensitivitätsanalyse dient nur zur Analyse der Wirkung von Faktoren auf die Zielgrößen und nicht zur eigentlichen Bewertung der Wirtschaftlichkeit, unter Berücksichtigung unsicherer Faktoren. (BLOHM ET AL. 2006, GÖTZE 2008, KRUSCHWITZ 2009)

Die Risikoanalyse integriert stochastische Unsicherheiten, durch eine Modellierung dieser mittels verschiedener Wahrscheinlichkeitsverteilungen, in die Bewertung. Je nach Ausprägung des Faktors ist auf diskrete, wie z. B. die Binomialverteilung, oder kontinuierliche Verteilungen zurückzugreifen (GÖTZE 2008, RIMPAU 2010). Eine Verrechnung der modellierten Faktoren erfolgt numerisch mittels der Monte-Carlo-Simulation. Dabei werden in einer frei wählbaren Anzahl von Simulationsschritten, aus den definierten Verteilungen für jeden Faktor, zufällige Werte ausgewählt und in der betrachteten Kalkulationsstruktur zur Zielgröße verrechnet. Durch die Ziehung und Kombination unterschiedlicher Werte für die einzelnen Faktoren, kann in jedem Simulationsschritt ein anderer Ergebniswert eintreten. Nach Durchführung einer repräsentativen Anzahl von Simulationen wird für die Zielgröße ein sog. Histogramm erstellt, das eine grafische Abbildung der Häufigkeitsverteilung der ermittelten Ergebnisse ist. Je mehr Simulationsschritte durchgeführt werden, desto genauer nähert sich die Verteilung der Zielgröße einer Wahrscheinlichkeitsverteilung an (GLEIBNER 2004, CECH ET AL. 2007, KALOS & WHITLOCK 1986, SOBOL 1974). Diese ist durch den Erwartungswert charakterisiert. Positive und negative Abweichungen von diesem Wert geben Auskunft darüber, welche Chancen und Risiken mit der Investition verbunden sind (s. Abschnitt 2.4) (SCHNEEWEIß 1967). Die flexible Gestaltung des Modells ermöglicht eine einfache Anpassbarkeit an verschiedene Bewertungssituationen und die Integration von Beziehungen zwischen den Faktoren (GLEIBNER & ROMEIKE 2005, GÖTZE 2008, KREBS 2011). Die Risikoanalyse eignet sich somit zur Bewertung stochastischer Unsicherheiten.

Das Entscheidungsbaumverfahren integriert Unsicherheiten durch gerichtete Graphen, die eine endliche Anzahl von Zuständen und deren Eintrittswahrscheinlichkeiten symbolisieren. Basierend auf einem Entscheidungsknoten findet eine Aufgliederung des Baums, durch Entscheidungs- und Zufallereignisknoten, statt. Die individuellen Entwicklungen münden in einem Ergebnisknoten. Die einzelnen Knoten werden über Kanten verbunden, die die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Zufallereignisses angeben (WÖHE & DÖRING 2002, OLFERT & REICHEL 2006). Die Bewertung erfolgt über das Roll-Back-Verfahren. Dabei wird über einzelne Perioden die Entwicklung einer Zielgröße am Entscheidungsknoten betrachtet und über die einzelnen Pfade bis zum Ergebnisknoten verrechnet (KREBS 2011, GÖTZE 2006). Das Entscheidungsbaumverfahren stellt den Bewertungsfall strukturiert dar, ein praktischer Ansatz ist jedoch nur bei wenigen Unsicherheiten sinnvoll. Zudem sind die betrachteten Faktoren bei der RFID-Bewertung keine alternativen Entwicklungen, sondern parallele Einflüsse, die gleichzeitig wirken und sich in ihrer Ausprägung verändern können. Die damit verbundenen Gefahren und Chancen werden nicht berücksichtigt, da nur mit den Erwartungswerten kalkuliert wird. Daher ist der Einsatz für die RFID-Bewertung nicht geeignet. (GÖTZE 2006, WÖHE & DÖRING 2002, HEITSCH 2000)

Durch die Analyse zukünftiger Entwicklungen im Rahmen der Szenariotechnik, können unsichere Einflussfaktoren in die Bewertung integriert werden. Hierzu können Extremszenarien, wie bspw. Best- und Worst-Case-Szenarien, oder besonders relevante bzw. typische Szenarien (Trendszenarien) betrachtet werden. Bei der Bildung dieser Szenarien werden relevante Einflussfaktoren herangezogen und mit spezifischen Prognosen abgebildet. Da den Faktoren eine hohe Bedeutung zukommt, wird häufig die Güte der Integration von Unsicherheiten kritisiert. Dies ist darin begründet, dass die Annahmen fehlerhaft sowie subjektiv geprägt sein können. Die Szenariotechnik ist eine transparente Möglichkeit die Entwicklung einer Investition, unter dem Einfluss prägnanter Faktoren, abzubilden. Jedoch wird die Bewertung einer großen Anzahl gleichzeitig und unabhängig voneinander wirkender Faktoren nicht unterstützt. Daher eignet sich dieses Verfahren zur strategischen Entscheidung über den RFID-Einsatz und nicht zur detaillierten Bewertung der Implementierung. (RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009, REIBNITZ 2003, KÖNIG 2008)

Weitere Ansätze zur Bewertung unter Unsicherheit sowie eine detailliertere Erläuterung der beschriebenen Ansätze findet sich in GÖTZE (2008) und GLEIBNER & ROMEIKE (2005).

Das größte Potential der beschriebenen Ansätze bietet die Risikoanalyse. Durch die Verrechnung der individuellen Ausprägung der Einflussfaktoren, liefert sie das aussagekräftigste Ergebnis. Die Sensitivitätsanalyse und die Szenariotechnik eignen sich primär zur Identifikation kritischer Stellhebel und deren Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit und dienen zur Analyse von Bewertungsergebnissen. Das Entscheidungsbaumverfahren dient zur Bewertung sich über einen Zeitraum entwickelnder Alternativen. Da die Bewertung eines RFID-Systems über die gesamte Nutzungsdauer den gleichen Einflüssen unterliegt, ist die Methode nur unter hohem Aufwand einsetzbar. Dies widerspricht jedoch der geforderten Praxis-tauglichkeit (s. Abschnitt 1.2). Am ungeeignetsten ist das Korrekturverfahren, da dieses lediglich Gefahren abbildet und somit einen einseitigen Blickwinkel aufweist. Die Analyse der Verfahren zeigt, dass primär stochastische Unsicherheiten durch die Risikoanalyse abgebildet werden. Da die Wirtschaftlichkeit des RFID-Einsatzes auch entscheidend von linguistischen Unsicherheiten beeinflusst wird, werden nun Verfahren zur Integration dieser Unsicherheiten erläutert.

2.7 Multikriterielle Bewertungs- und Entscheidungsverfahren

Eine vollständige Bewertung der Wirtschaftlichkeit des RFID-Einsatzes erfordert die Berücksichtigung quantitativer und qualitativer Einflussfaktoren. Verfahren die dies ermöglichen werden als multikriterielle Bewertungs- und Entscheidungsverfahren (engl. Multi Criteria Decision Making, MCDM) bezeichnet. Generell werden diese hinsichtlich des integrierbaren Lösungsraums unterschieden. Ist nur die Berücksichtigung eines endlichen bzw. diskreten Raums möglich, handelt es sich um Verfahren der Kategorie Multi Attribute Decision Making (MADM). Ansätze der Kategorie Multi Objective Decision Making (MODM) hingegen ermöglichen die Betrachtung eines kontinuierlichen Raums. Da bei der RFID-Bewertung lediglich eine begrenzte Anzahl an Faktoren zu beachten ist (s. Abschnitt 1.3), werden folgend nur relevante MADM-Verfahren, aus der Praxis und Literatur, erläutert. (BRIEKE 2008, HEITSCH 2000)

Die Nutzwertanalyse findet Verwendung, wenn eine exakte Beurteilung der Einflüsse nur bedingt oder mit großem Aufwand möglich ist (SCHOLZ-REITER ET AL. 2007). Hierzu wird ein Zielsystem aufgebaut, das unternehmensspezifische Kriterien, wie die Lesegeschwindigkeit, beinhaltet. Um die Wichtigkeit der Kriterien hervorzuheben, erfolgt eine Gewichtung. Anschließend werden die zur

Bewertung vorliegenden Alternativen den Kriterien gegenübergestellt und der Erfüllungsgrad mit Punkten bewertet. Die beste Alternative wird durch Multiplikation der Punkte mit der Gewichtung des Kriteriums und einer anschließenden Summenbildung bestimmt (ZANGEMEISTER 2000). Eine Weiterentwicklung der Nutzwertanalyse ist der Analytische Hierarchie-Prozess. Dieser ermöglicht die Bewertung verschiedener Alternativen anhand mehrerer Zielgrößen, die zur Bewertung in Teilziele gegliedert werden. Für jedes Teilziel werden analog gewichtete Kriterien zur Analyse definiert (GÖTZE 2006, BRIEKE 2008, HEITSCH 2000). Die Verfahren verfügen über einen transparenten Aufbau und eine einfache Anwendbarkeit. Sie dienen jedoch primär zum Vergleich von Alternativen. Eine detaillierte Bewertung einzelner Alternativen ist nicht möglich. Die nicht monetären Bewertungen führen zu einer getrennten Betrachtung der quantitativen und qualitativen Faktoren. Zudem wird eine Unabhängigkeit zwischen den Faktoren gefordert. Da die Einflussfaktoren jedoch verschiedene Beziehungen aufweisen (s. Abschnitt 2.3.3), ist diese Bedingung nicht erfüllt. (MANNEL 2006, RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009, KOYUNCU 2009, KREBS 2011)

Künstliche Neuronale Netze wurden in Anlehnung an das menschliche Gehirn entwickelt und dienen zur strukturierten Darstellung von Informationen. Dabei wird die im Gehirn stattfindende Informationssammlung und -verarbeitung auf drei Ebenen nachgestellt. Die erste Ebene ist der Inputvektor, der zur Aufnahme und Weiterleitung der Informationen dient. Auf der zweiten Ebene wird die Informationsverarbeitung abgebildet, in der eingehende Informationen über mathematische Funktionen verarbeitet werden. Die Abbildung der Zusammenhänge zwischen den Informationen erfolgt über gewichtete Beziehungen. Die verarbeiteten Informationen werden in der letzten Ebene durch den Outputvektor an die Umgebung abgegeben (BRAUSE 1995, PRIVENAU 2012). Den größten Vorteil der neuronalen Netze stellt die Lernfähigkeit dar. Durch das Einbringen von Datensätzen und der Vorgabe eines gewünschten Ergebnisses bestimmt das Netz alle Parameter und Funktionen des Systems. Bei einer RFID-Bewertung können basierend auf den Bewertungsergebnissen vorhergehender Projekte Aussagen über die Wirtschaftlichkeit des geplanten Systems getroffen werden. Da jedoch jede Implementierung andere Einflussfaktoren erzeugt, ist dies nur bedingt möglich. Die Bewertung basierend auf vorhandener Datensätze erschwert zudem die Integration bewertungsfallspezifischer Annahmen (KREBS 2011). Die genannten Gründe zeigen auf, dass Künstlich Neuronale Netze sich nur zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von RFID eignen, wenn eine umfangreiche Datenbasis bereits

bewerteter Anwendungsfälle vorliegt. Da dies nicht vorausgesetzt werden kann, eignen sich Künstlich Neuronale Netze nicht zur Bewertung.

Die Fuzzy-Logik beschäftigt sich mit der Lehre unscharfer Mengen und ermöglicht die Verrechnung qualitativer und quantitativer Faktoren. Hierzu werden die linguistischen Beschreibungen der qualitativen Faktoren durch linguistische Terme, die durch Abstufungen, wie gering, mittel und hoch, die möglichen Ausprägungen des Faktors darstellen, abgebildet. Empfehlenswert ist es eine ungerade Anzahl zwischen drei und sieben Abstufungen zu wählen, um einen Mittelwert sowie entgegengesetzte Ausprägungsrichtungen zu realisieren. Zudem führen zu viele Abstufungen zu Problemen bei der Einstufung (ALTROCK 1995, GHEORGHE ET AL. 1996, KLEIN 2011). Die Ermittlung der jeweiligen Zugehörigkeitswerte kann durch Befragung eines oder mehrerer Experten erfolgen. Die Fuzzy-Logik trifft keine scharfe Abgrenzung zwischen den Mengen mit Ja und Nein, sondern ermöglicht durch den Zugehörigkeitswert μ die Zuweisung zu mehreren Mengen. Der Zugehörigkeitswert kann zwischen 0, also keiner Zugehörigkeit, und dem Wert 1 liegen, der einer reinen Zugehörigkeit zu einer Menge entspricht (BRIEKE 2008, ERBEN 2000, GHEORGHE ET AL. 1996). Zur Verrechnung des qualitativen Einflusses auf die quantitativen Faktoren ist es nötig, den vorliegenden scharfen Wert in Vektorform darzustellen. Die Transformation erfolgt mittels der Fuzzyfizierung durch Zugehörigkeitsfunktionen (KLEIN 2011). Die Zugehörigkeitsfunktionen stellen die Kombination des Zugehörigkeitswerts und der Terme dar. Zur Beschreibung der Ausprägung haben sich für die Funktionen verschiedene Formen entwickelt, die in Abbildung 11 dargestellt sind.

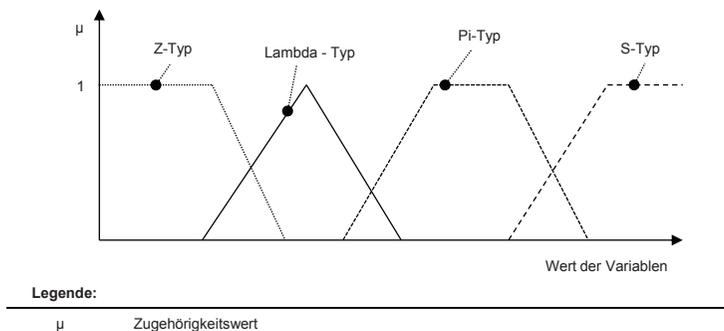


Abbildung 11: Formen von Zugehörigkeitsfunktionen (KREBS 2011)

Die Formen werden durch die Form selbst, die Grenzen und die Verteilung charakterisiert (BIETHAHN ET AL. 1997). Die Grenzen geben Auskunft über den Wer-

tebereich, der durch die Formen abgebildet wird. Die Verteilung gibt Auskunft darüber in wie viele Bereiche dieser Wertebereich aufgeteilt wird. Nach ALTROCK (1995) und KREBS (2011) empfiehlt sich der Einsatz der Dreiecksform (Lambda-Typ), da diese bei geringem Modellierungsaufwand eine ausreichende Genauigkeit liefert. Zudem sollten die Funktionen symmetrisch und gleichverteilt sein. Um die Summe der Zugehörigkeitswerte des Weiteren konstant zu halten, sollte der Wert 0 einer Funktion unter dem Maximum der Nachbarfunktionen liegen. Die Berücksichtigung von Beziehungen erfolgt in der Fuzzy-Logik durch Rechenoperatoren, die sich aus der booleschen Logik ableiten. Hierbei kommen vor allem die WENN-DANN Beziehungen zum Tragen (ERBEN 2000). Die Gesamtheit der Beziehungen wird in einem Regelwerk abgebildet. Wird ein Faktor gleichzeitig durch mehrere Faktoren beeinflusst, ist die Stärke des jeweiligen Einflusses anhand einer Gewichtung zu beachten (KLEIN 2011, KREBS 2011). Unter Beachtung der Regeln und Gewichtungen können die Vektoren miteinander verrechnet werden. Um anschließend einen monetären scharfen Wert für die Bewertung zu erhalten, ist die Defuzzyfizierung durchzuführen (BIETHAHN ET AL. 1997). Die Transformation kann durch die Flächenschwerpunkts-Methode erfolgen (TRÄGER 1994, KLEIN 2011, ALTROCK 1995). Da die ermittelten Zugehörigkeitswerte auf einen einzelnen quantitativen Term gebündelt werden, gehen vorliegende Schwankungen in der Berechnung verloren. Um dieser Ungenauigkeit zu begegnen, ist die Bandbreite der Zugehörigkeitsfunktionen in eine Wahrscheinlichkeitsverteilung zu überführen. Dies erfolgt mittels der Punkttechnik. (KLEIN 2011, KLEIN & SCHOLL 2011, EISENFÜHR ET AL. 2010)

Weitere Ansätze zur multikriteriellen Bewertung und Entscheidung sowie eine detaillierte Beschreibung der genannten Verfahren ist in KREBS (2011), KLEIN (2011) und BLOHM ET AL. (2006) zu finden.

Die Fuzzy-Logik ist eine einfache Methode qualitative und quantitative Faktoren in eine Bewertung zu integrieren und vorliegende Beziehungen zu beachten. Aufgrund der genannten Eigenschaften empfiehlt sich der Einsatz der Fuzzy-Logik zur Quantifizierung der qualitativen Einflussfaktoren bei der RFID-Bewertung. Die Bildung der Zugehörigkeitsfunktionen kann jedoch zu subjektiven Einflüssen führen, die im praktischen Einsatz auszugleichen sind (ROMMELFANGER 1994, KREBS 2011). Die Nutzwertanalyse und der Analytische Hierarchie-Prozess eignen sich nicht zur Bewertung, da keine monetäre Bewertung erfolgt. Künstliche Neuronale Netze sind ungeeignet, da zum einen in der Regel keine ausreichende Basis an durchgeführten Bewertungen vorliegt und zum anderen spezifische Einflussfaktoren nicht integriert werden können.

2.8 Cost-Benefit-Sharing

Die letzten Abschnitte fokussierten die Bewertung einzelner Faktoren. Da positive und negative Effekte sich jedoch ungleichmäßig auf die Partner verteilen, wird im Folgenden das Cost-Benefit-Sharing (CBS) vorgestellt, dessen Ziel die Schaffung einer wirtschaftlich fairen Verteilung für nachhaltige Netzwerke ist (TRIBOWSKI 2009). Als wirtschaftswissenschaftliche Grundlage dient die Wohlfahrtsökonomik, die sich mit der Verteilung volkswirtschaftlich knapper Mittel zur bestmöglichen Versorgung aller Gesellschaftsmitglieder beschäftigt (OLAH ET AL. 2011, VITO 1948). Ebenfalls aus der Volkswirtschaft abgeleitet ist der Begriff der Allokation, welcher die Zuweisung zur Verfügung stehender Mittel beschreibt (THOMMEN & ACHLEITNER 2009). Die Vorgehensweise bei der Bewertung und Verteilung von Kosten und Nutzen in einem unternehmensübergreifenden Projekt wird in Abbildung 12 dargestellt.

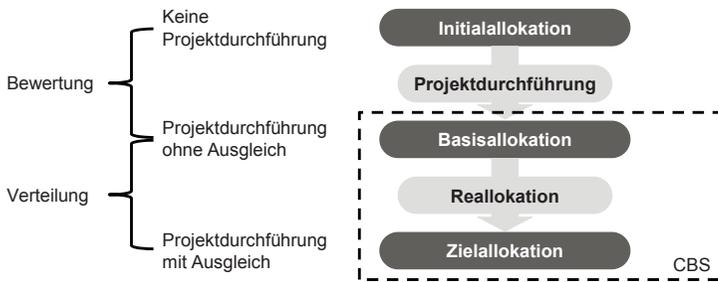


Abbildung 12: Vorgehen des Cost-Benefit-Sharing (in Anlehnung an RIHA 2008)

Die Grundlage des Ausgleichs stellt die Initialallokation dar, welche die wirtschaftliche Lage der Unternehmen vor dem Projekt widerspiegelt. Die Realisierung des Projekts bedingt eine Änderung der bestehenden Situation, wodurch sich die Basisallokation ergibt. Die Basisallokation stellt also die wirtschaftliche Situation der Unternehmen nach der Implementierung des RFID-Systems dar, ohne dass ein Ausgleich erfolgt ist. Im Falle einer Umverteilung der Kosten und Nutzen erfolgt ein Ausgleich der benachteiligten Unternehmen durch die Reallokation. Unter Berücksichtigung der Ausgleichsleistungen ergibt sich abschließend die Zielallokation für alle Unternehmen. Diese stellt eine Verteilung der Kosten und Nutzen zwischen den Partnern dar, die von allen Beteiligten akzeptiert wird. (RIHA 2008, HOMBERGS & RIHA 2008)

Entscheidend bei einer Reallokation ist die ausschließliche Umverteilung und nicht die Vermehrung von Aufwänden und Einsparungen. Die Umverteilung der Kosten und Nutzen kann basierend auf verschiedenen Reallokationsstrategien erfolgen. Hierbei stehen leistungsunabhängige und -abhängige Verfahren zur Verfügung. Erstere berücksichtigen bei der Ermittlung der Ausgleichshöhe nicht den Wertschöpfungsanteil eines Unternehmens am Produkt. Demzufolge wird der Netzwerkeffekt gleichmäßig über alle Partner verteilt. Beispielhafte Ansätze werden im Folgenden erläutert (RIHA 2008, JAP 2000, HELMIG ET AL. 2010):

Gleiche Zielallokation: Nach Umverteilung der individuellen Effekte aus der Basisallokation erzielen alle Partner den gleichen Gewinn. Bei einem positiven Netzwerkeffekt wird somit eine Win-Win-Situation generiert.

Paritätische Gewinnallokation: Der Netzwerkgewinn wird durch die Anzahl der beteiligten Partner geteilt und jedes Unternehmen erhält die gleiche Summe aus den gemeinsam erzielten Überschüssen. Übersteigt der unternehmenseigene Verlust die Ausgleichssumme, bedeutet dies einen Verlust für das jeweilige Unternehmen und es entsteht eine Win-Lose-Situation.

Verluste ausgleichen: Benachteiligte Unternehmen erhalten aus dem Reallokationspool exakt die Summe ihrer Verluste, damit am Projektende kein Unternehmen schlechter als in der Initialallokation gestellt ist.

Leistungsabhängige Verfahren, wie sie nachfolgend dargestellt sind, ermitteln die Ausgleichshöhe unter Beachtung des individuellen Wertschöpfungsanteils.

Gewinnallokation nach Wertschöpfungsanteil: Der Netzwerkeffekt wird basierend auf dem Wertschöpfungsanteil am Produkt auf die Beteiligten verteilt. Da Logistikdienstleister in der Regel keinen Wertschöpfungsanteil am Produkt besitzen, ist dieser individuell zu definieren.

Gleiche Rendite: Der Netzwerkeffekt wird so aufgeteilt, dass jeder Partner die gleiche Rendite erzielt, also das gleiche Verhältnis von Gewinn zu Aufwand. Diese Rendite entspricht der Gesamrendite der RFID-Implementierung.

Da die Reallokationsstrategien verschiedene Informationen über die Leistungen der Partner erfordern, ist je nach Phase des Projekts die geeignete Strategie auszuwählen, um den Aufwand für die Bewertung gering zu halten und die Datenhoheit der Unternehmen zu wahren. Nach Ermittlung der Reallokationshöhe ist die Form des Ausgleichs zu definieren. Hier sind verschiedene Kompensations-

mechanismen zu unterscheiden, deren Eignung von der Projektphase abhängig ist (BENSEL ET AL. 2008A, JAP 2000, GÜNTNER ET AL. 2010, KUHN ET AL. 2006):

Monetäre implizite Kompensation: Es findet ein monetärer Ausgleich über einen längeren Zeitraum statt. Durch Preiserhöhungen können benachteiligte Partner die entstandenen Aufwände decken.

Monetäre explizite Kompensation: Entstandene Aufwände im Rahmen des gemeinsamen Projekts werden unmittelbar durch monetäre Leistungen gedeckt. Dies kann in Form von Ausgleichszahlungen erfolgen.

Materielle Kompensation: Neben den monetären Leistungen können auch materielle Kompensationen erfolgen. Unternehmen können bspw. kleineren Partnern die erforderlichen Hard- und Software-Komponenten zur Verfügung stellen und damit die auftretenden Aufwände bei den Partnern decken.

Immaterielle Kompensation: Neben monetären und materiellen Formen besteht die Möglichkeit, Ausgleichsleistungen durch immaterielle Leistungen zu realisieren. Viele Partner verfügen nicht über die nötigen Kompetenzen ein RFID-System zu implementieren. Vor allem in frühen Phasen des Projekts kommt dem Know-How-Transfer eine hohe Bedeutung zu. Im Rahmen der Reallokation ist abschließend den erbrachten Leistungen der entsprechende monetäre Wert zuzuweisen.

Die gemeinschaftliche RFID-Implementierung erfordert die Beteiligung aller Partner. Hierfür erforderliche Ausgleichsleistungen können jedoch die unternehmensindividuelle Wirtschaftlichkeit beeinflussen und sind daher im Rahmen einer ganzheitlichen Bewertung zu beachten.

2.9 Fazit

In den vorhergehenden Abschnitten wurden die technischen und wirtschaftlichen Grundlagen dieser Arbeit erläutert und die bestehenden Probleme bei der Wirtschaftlichkeitsbewertung von RFID dargelegt.

Zunächst erfolgte eine Beschreibung des Aufbaus und der Funktionsweise von RFID. Hierbei wurde aufgezeigt, dass in verschiedenen Bereichen auf unterschiedliche Komponenten zurückgegriffen werden kann, die eine große Variation an Funktionen bieten. Diese Komponentenvielfalt bedingt variierende Einflussfaktoren, die sich auf den wirtschaftlichen Betrieb auswirken. In der Regel ist ein mehr an Funktionen auch mit einer Zunahme an Aufwänden verbunden. Demgegenüber stehen größere Potentiale, die jedoch von der Ist-Situation vor der RFID-

Implementierung abhängen. Je mehr Prozesse bereits automatisiert sind, desto geringer fallen die Einsparungen aus. Da RFID ein IT-gestütztes Kommunikationssystem ist (FINKENZELLER 2006), entstehen indirekte Effekte, die in ihrer Ausprägung schwer zu erfassen sind und erst zeitlich versetzt eintreten.

In Abschnitt 2.3 fand eine Charakterisierung der Einflussfaktoren statt. Unterschieden wurden quantitative und qualitative Aufwände und Nutzenpotentiale. Zudem wurden die bewertungsrelevanten Beziehungen zwischen den Faktoren erläutert. Da die Ausprägungen der Faktoren oftmals nicht eindeutig zu bestimmen sind, unterliegt die Bewertung Unsicherheiten, die ein Risiko für den wirtschaftlichen Erfolg der Investition bedeuten. In Abhängigkeit des Faktors kann die Unsicherheit stochastischer bzw. linguistischer Natur sein.

Investitionen sind vor verschiedenen Interessensgruppen zu vertreten. Daher ist auf das Rechnungswesen zurückzugreifen. Dieses stellt für interne und externe Bereiche monetäre Dokumentations- und Planungsgrößen bereit und beinhaltet verschiedene Investitionsrechnungsverfahren. Hierunter fallen die Kapitalwertmethode und die dynamische Amortisationsrechnung, die einen monetären und zeitlichen Blick auf die Investition und eine Vergleichbarkeit von Alternativen ermöglichen. Da die klassischen Ansätze der Investitionsrechnung keine Unsicherheiten integrieren, wurden anschließend Verfahren zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit unter Unsicherheit beschrieben. Diese Verfahren, wie die Risikoanalyse, dienen nur zur Bewertung stochastischer Unsicherheiten, also der quantitativen Einflussfaktoren. Um zudem die qualitativen Einflüsse zu bewerten, ist auf multikriterielle Bewertungssysteme zurückzugreifen. Hier bietet die Fuzzy-Logik eine gute Möglichkeit qualitative und quantitative Faktoren zu verrechnen.

Wie in Abschnitt 2.2.5 beschrieben, hängen die Potentiale nicht nur von der RFID-Technik und dem Ist-Zustand ab, sondern werden auch durch den unternehmensübergreifenden Einsatz generiert. Da eine ungleiche Kosten-Nutzen-Verteilung zwischen den Partnern auftreten kann, sind Methoden des CBS einzusetzen. Ein monetärer Ausgleich beeinflusst die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens. Entsprechende Werkzeuge sind daher erforderlich, um die monetären Auswirkungen auf die unternehmensindividuelle Bewertung zu analysieren.

Die genannten Herausforderungen bei einer Wirtschaftlichkeitsbewertung von RFID erfordern den Einsatz unterschiedlicher Verfahren. Um eine strukturierte und ganzheitliche Bewertung zu erhalten, müssen die Verfahren verschiedene Anforderungen erfüllen, die in Kapitel 3 erläutert werden.

3 Anforderungen an eine Methode zur Wirtschaftlichkeitsbewertung von RFID im Wertschöpfungsnetz

3.1 Allgemeines

Unter Beachtung der in den letzten Abschnitten beschriebenen Grundlagen ist eine Konkretisierung der eingangs formulierten Zielstellung (s. Abschnitt 1.2) möglich. Ziel dieser Arbeit ist es eine Bewertungsmethode zu entwickeln, die eine Identifikation und Quantifizierung aller Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit von RFID und eine Verrechnung dieser Faktoren zu monetären Kennzahlen ermöglicht. Zudem sind Verfahren bereitzustellen, um das Ergebnis u. a. hinsichtlich erforderlicher Ausgleichsleistungen zu analysieren. Hierauf basierend lassen sich Anforderungen an die zu entwickelnde Methode ableiten. Zunächst werden spezielle Anforderungen an die Methode definiert (s. Abschnitt 3.2), bevor anwendungsorientierte Anforderungen erläutert werden (s. Abschnitt 3.3), deren Erfüllung die praktische Anwendung der Methode sicherstellt. Eine Zusammenfassung der Anforderungen ist in Abschnitt 3.4 gegeben

3.2 Spezielle Anforderungen an die Bewertungsmethode

Spezielle Anforderungen fokussieren sich auf die RFID-spezifischen Gegebenheiten bei der Wirtschaftlichkeitsbewertung. Aus den beschriebenen Grundlagen und der vorliegenden Zielstellung lassen sich die folgenden speziellen Anforderungen an die Bewertungsmethode ableiten:

Monetäre Bewertung: Für eine Vergleichbarkeit verschiedener Kooperationsmöglichkeiten und Implementierungsalternativen sind aussagekräftige und in den Unternehmen anerkannte monetäre Zielgrößen zu bestimmen. Darüber hinaus dienen die Zielgrößen zur Belegung der Rentabilität der Investitionen gegenüber internen und externen Interessensgemeinschaften (s. Abschnitt 2.5).

Berücksichtigung multidimensionaler Einflussfaktoren: Um die Aussagekraft der Zielgrößen zu erhöhen, ist eine Integration aller Einflussfaktoren erforderlich. Vor allem Informations- und Kommunikationssysteme weisen neben den quantitativen Aufwänden und den daraus resultierenden Einsparungen auch häufig qua-

litative Effekte auf (s. Abschnitt 2.3), die eine monetäre Ausprägung der quantitativen Faktoren beeinflussen. Diese treten intern in den Prozessen sowie durch die Kooperationen auch in der Außenwirkung auf.

Unterstützung der Einflussfaktorenidentifikation: Aus der Ausgangssituation und den Abschnitten 2.2 und 2.3 geht hervor, dass die RFID-Implementierung in unterschiedlichen Bereichen Prozessveränderungen bewirkt. Vielfältige Einsparungen können erzielt werden, jedoch ist auch mit erwarteten und unerwarteten Aufwänden zu rechnen. Um die einzelnen Faktoren für die Bewertung zu erfassen, ist eine Unterstützung bei der Identifikation erforderlich. Bestehende Beziehungen zwischen den Faktoren sind zu berücksichtigen.

Unterstützung der Einflussfaktorenquantifizierung unter Berücksichtigung von Unsicherheiten: Für aussagekräftige Zielgrößen sind alle Einflussfaktoren zu quantifizieren. Da diese sich jedoch in jedem Anwendungsfall unterschiedlich ausbilden, ist ein flexibler Bewertungsansatz notwendig, der die quantitativen und qualitativen Einflüsse integriert (s. Abschnitte 2.2 und 2.7). Bei der Quantifizierung können, wie in den Abschnitten 2.4 und 2.6 beschrieben, stochastische und linguistische Unsicherheiten auftreten, die das Bewertungsergebnis verfälschen. Das entstehende Risiko gilt es in der Bewertung zu berücksichtigen.

Dynamische Bewertung: Da RFID eine Umstellung des Datenmanagements bedingt und somit den Eingriff in eine Vielzahl von Prozessen erfordert, werden vor allem unternehmensübergreifende Projekte stufenweise realisiert. Daher ist es erforderlich, dass die Bewertungsmethode in verschiedenen Projektphasen und begleitend eingesetzt werden kann (s. Abschnitte 1.1 und 2.2.6). Der Zeitpunkt des Eintretens der Einflussfaktoren ist zudem in der Bewertung zu berücksichtigen, um eine realitätsgetreue Abbildung des Investitionsobjekts zu erreichen.

3.3 Anwendungsorientierte Anforderungen für die praktische Anwendung

Neben den speziellen Anforderungen muss die Methode weitere anwendungsorientierte Anforderungen für eine industrielle Anwendung erfüllen:

Praxistauglichkeit: Zur Gewährleistung der Praxistauglichkeit, muss die Methode einen klaren Lösungsweg und eine einfache Zielformulierung aufweisen. Ein wirtschaftliches Verhältnis von Aufwand und Nutzen des Methodeneinsatzes ist durch geeignete Werkzeuge, wie einem Bewertungstool, sicherzustellen.

3 Anforderungen an eine Methode zur Wirtschaftlichkeitsbewertung von RFID im Wertschöpfungsnetz

Flexibilität: Für die unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten von RFID ist eine flexible Adaptierbarkeit an die jeweilige Bewertungssituation und die Art der damit verbundenen Prozesse und Einflussfaktoren erforderlich.

Transparenz: Zur Generierung einer hohen Transparenz und Nachvollziehbarkeit, ist ein strukturierter Aufbau der Methode sicherzustellen.

Skalierbarkeit: Eine Adaptierbarkeit an die Anzahl der Prozesse und Einflussfaktoren ist erforderlich. Für den unternehmensübergreifenden Einsatz der Methode ist sicherzustellen, dass das Vorgehen sowohl auf das eigene Unternehmen sowie auf mehrere Partnerunternehmen anwendbar ist.

3.4 Fazit

Eine Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von RFID im Wertschöpfungsnetz unterliegt spezieller und anwendungsorientierter Anforderungen. Eine Auflistung der Anforderungen beinhaltet Tabelle 2.

Tabelle 2: Anforderungen an eine Bewertungsmethode von RFID

Anforderungen
Spezielle Anforderungen an die Bewertungsmethode
Monetäre Bewertung
.....
Berücksichtigung multidimensionaler Einflussfaktoren
.....
Unterstützung der Einflussfaktorenidentifikation
.....
Unterstützung der Einflussfaktorenquantifizierung unter Berücksichtigung von Unsicherheiten
.....
Dynamische Bewertung
Anwendungsorientierte Anforderungen an die Bewertungsmethode
Praxistauglichkeit
.....
Flexibilität
.....
Transparenz
.....
Skalierbarkeit

4 Stand der Erkenntnisse

4.1 Allgemeines

Für eine vollständige monetäre Bewertung des RFID-Einsatzes sind die zuvor definierten Anforderungen zu erfüllen. Inwiefern diesen Anforderungen die bereits bestehenden Verfahren genügen, wird in den folgenden Abschnitten ermitelt. Die Betrachtungen konzentrieren sich zunächst auf ein- und mehrdimensionale Bewertungsansätze (s. Abschnitt 4.2), bevor RFID-spezifische Bewertungsverfahren erläutert werden (s. Abschnitt 4.3). Eine Zusammenfassung der Analyseergebnisse und eine Ableitung des Handlungsbedarfs erfolgen in Abschnitt 4.4.

4.2 Ein- und mehrdimensionale Bewertungsansätze

Basierend auf den erläuterten Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsbewertung im Grundlagenteil haben sich erweiterte Ansätze entwickelt, die neben der reinen Ermittlung von Zielgrößen auch eine Hilfestellung bei der Identifikation und Bewertung der Einflussfaktoren bieten. Eine Einteilung dieser Ansätze kann bzgl. der zu ermittelnden Zielgrößen erfolgen. Eindimensionale Ansätze integrieren die Faktoren in einer Kennzahl. Mehrdimensionale Ansätze hingegen versuchen, durch die Bestimmung vielfältiger Zielgrößen, das Bewertungsergebnis in verschiedenen Sichtweisen darzustellen. Die in den folgenden Abschnitten genannten Verfahren sind die wichtigsten Vertreter in der wissenschaftlichen Literatur und der praktischen Anwendung. (BRIEKE 2008, PIETSCH 2003, GILLE 2010, THOMMEN & ACHLEITNER 2009, RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009)

Die eindimensionale Total Cost of Ownership-Methode (TCO) wurde von der Gartner Group zur Bewertung von IT-Infrastrukturen entwickelt (KOYUNCU 2009). Durch eine detaillierte Kostenanalyse wird eine transparente und realitätsnahe Abbildung der Kostenstruktur des IT-Systems generiert (RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009). Einmalige und laufende Aufwände werden in direkte und indirekte Kosten unterteilt. Direkte Kosten sind durch Belege im Rechnungswesen hinterlegt. Indirekte Kosten sind durch Expertenbefragungen zu ermittelten (PIETSCH 2003, GILLE 2010). Die TCO-Methode eignet sich für die Analyse der komplexen Aufwandsstruktur von RFID und unterstützt eine kostenoptimierte Auslegung. Die eingeschränkte Sichtweise beachtet aber keine

Potentiale. Daher eignet sich der Ansatz nur als Teil der Methode zur Kostenerfassung und -analyse (RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009, GILLE 2010).

Die eindimensionale Prozesskostenrechnung fokussiert die Erfassung der Gemeinkosten über die Prozesse im Unternehmen und die verursachungsgerechte Verteilung über einzelne Produkte und Abläufe (EISELE & KNOBLOCH 2011, PIETSCH 2003). Hierzu werden die Kosten der Kostenstellen auf Teilprozesse heruntergebrochen und anschließend kostenstellenübergreifend zu Hauptprozessen zusammengefasst. Zur Ermittlung der Kosten einer Prozessdurchführung werden die kalkulierten Kosten durch die Anzahl der Prozessdurchläufe dividiert (GILLE 2010). Hierdurch wird eine transparente Kostenstruktur erzeugt, die zur Identifikation von Einsparungen dient (PIETSCH 2003). Da die Analyse zeitaufwendig ist, kann sich der vereinfachten Form, der zeitbasierten Prozesskostenrechnung, bedient werden, bei der die Kostenermittlung auf Expertenschätzungen beruht. Diese ermöglicht es zudem Zeiteinsparungen in die Kalkulation zu integrieren (GILLE 2010). Generell findet die Prozesskostenrechnung zur Analyse quantitativer Kosten Verwendung. Da keine weiteren Potentiale und qualitativen Einflüsse Beachtung finden, eignet sich der Ansatz nicht zur alleinigen Bewertung. (RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009, PIETSCH 2003, KOYUNCU 2009)

Eine weitere Form der prozessorientierten Kosten- und Nutzenanalyse stellt das Hedonic Wage Model dar. Durch die Erfassung von wertschöpfenden und nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten sollen IT-Systeme gezielt eingesetzt werden, um den Wertschöpfungsanteil zu erhöhen. Da sich dieses Verfahren ausschließlich auf den Personaleinsatz fokussiert und andere Effekte nicht betrachtet, eignet es sich nicht zur vollständigen Bewertung der RFID-Technik. Es könnte nur zur Analyse der Auswirkungen im Bereich der Bearbeitungszeiten eingesetzt werden. (RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009, PIETSCH 2003)

Eine Gegenüberstellung quantifizierbarer Kosten und Nutzen mit nicht quantifizierbarem Nutzen in einer Kennzahl ermöglicht die Excess Tangible Cost-Methode. Hierbei werden über die Zeit die Aufwände zusammengefasst und anschließend mit den Nutzen verrechnet. Die entstehende Differenz wird anschließend nicht quantifizierbaren Potentialen gegenübergestellt. Diese werden dabei in Kategorien, wie die Qualitätsverbesserung, eingeteilt und monetär bewertet. Die Annahme, dass qualitative Aufwände keinen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des RFID-Systems haben, macht dieses Verfahren ungeeignet für die ganzheitliche Bewertung. (RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009)

Die Differenzkostenrechnung fokussiert die Ermittlung zusätzlich entstehender Kosten durch eine Investition (KILGER ET AL. 2012). Das eindimensionale Verfahren ermittelt zukunftsorientiert die entstehenden Differenzen basierend auf Bezugsgrößen, indem fixe und leistungsmengenabhängige Kosten unterschieden werden. Für ausschließlich Letztere werden zunächst Annahmen für die Soll-Kostenentwicklung getroffen und mit den anfallenden Ist-Kosten verglichen (PLAUT ET AL. 2006, EWERT & WAGENHOFER 2008). Im Rahmen von Verkaufserlösen für Produkte steht die Differenzkostenrechnung in engem Zusammenhang mit der Deckungsbeitragsrechnung. Dieses Verfahren ermittelt inwiefern der Verkaufserlös zur Deckung der Fixkosten beiträgt. Potentiale werden somit bei der Differenzbetrachtung in Form zusätzlicher Erlöse berücksichtigt. Ansonsten fokussiert die Differenzkostenrechnung ausschließlich die Kostenseite. Des Weiteren eignet sich der Einsatz primär für kurzfristige Planungen. Die begrenzte Sichtweise auf variable Kostenpositionen könnte jedoch bei der RFID-Bewertung zur Aufwandsreduzierung führen. (KILGER ET AL. 2012)

Die mehrdimensionale Total Economic Impact-Methode basiert auf dem TCO-Verfahren, wird jedoch um die Bereiche Nutzen, Flexibilität und Risiko erweitert (KOYUNCU 2009). Die Identifikation der Nutzenpotentiale erfolgt durch die Befragung von Prozessbeteiligten. Werden Folgeinvestitionen getätigt, die auf der bereits bewerteten RFID-Implementierung basieren, wird der auftretende Nutzen im Rahmen der Flexibilität erfasst. Zur Bewertung der Unsicherheiten wird die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Dreiecks-Verteilung herangezogen. Dies bedeutet, dass als Ergebnis drei Werte ermittelt werden, die eine Abbildung der Spannbreite der Wirtschaftlichkeit ermöglichen. Da die Identifikation und Bewertung der Faktoren lediglich auf der Befragung von Beteiligten beruht, ist eine vollständige Bewertung zu hinterfragen. Des Weiteren verursacht die Befragung einen enormen Zeitaufwand, der die Praxistauglichkeit des Ansatzes schmälert. (RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009, BELLORD 2012)

Zur Bewertung von Investitionen im Kontext der Unternehmensstrategie eignet sich die mehrdimensionale Balanced Scorecard. Eine Bewertung erfolgt in den Finanz-, Kunden-, Prozess- und Potentialperspektiven, mittels vergangenheits- und gegenwartsbezogenen Werten. Die Finanzperspektive stellt die höchste Ebene dar und gibt Auskunft darüber, ob die Strategie und die Investitionen den gewünschten Erlös liefern (KAPLAN & NORTON 1993, SCHULTE 1996, PIETSCH 2003). Dieser wird durch die Produktverkäufe erzeugt. Daher werden aus der Kundenperspektive die Faktoren Kundenbindung und -zufriedenheit erfasst (KOYUNCU 2009). Zur Erreichung der Ziele werden in der Prozessperspek-

tive relevante Prozesse hinsichtlich Verbesserungspotentialen analysiert. Hierzu ist eine optimale Abstimmung von Personal, Prozessen und Systemen in der Potentialperspektive erforderlich (PIETSCH 2003). Die verschiedenen Perspektiven ermöglichen es qualitative und quantitative Einflüsse zu berücksichtigen. Durch die Ebenen entsteht jedoch eine intransparente Entscheidungssituation. Die Integration vergangenheitsbezogener Werte schmälert zudem die Einsatzfähigkeit der Methode zu verschiedenen Bewertungszeitpunkten. (GILLE 2010)

Abbildung 13 zeigt eine Gegenüberstellung der beschriebenen Ansätze mit den in Kapitel 3 definierten Anforderungen an die Bewertung.

Legende:	Spezielle Anforderungen					Anwendungsorientierte Anforderungen			
	Monetäre Bewertung	Berücksichtigung multidimensionaler Einflussfaktoren	Unterstützung der Einflussfaktoren-identifikation	Unterstützung der Einflussfaktorenquant. unter Berücksichtigung von Unsicherheiten	Dynamische Bewertung	Praxistauglichkeit	Flexibilität	Transparenz	Skalierbarkeit
Das Verfahren erfüllt die Anforderungen...									
○ nahezu gar nicht									
◐ wenig									
◑ teilweise									
◒ relativ gut									
◓ nahezu vollständig									
Total Cost of Ownership-Methode	◓	◑	◑	◑	○	◑	◓	◓	◓
Prozesskostenrechnung	◓	◑	◑	◑	◑	◑	◓	◓	◓
Hedonic Wage Model	◓	◑	◑	◑	◑	◑	◓	◓	◓
Excess Tangible Cost-Methode	◓	◑	◑	◑	◑	◑	◓	◓	◓
Differenz- bzw. Grenzplankostenrechnung	◓	◑	◑	◑	◑	◑	◓	◓	◓
Total Economic Impact-Methode	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◓	◓	◓
Balanced Scorecard	○	◓	◑	◑	◑	◑	◓	◓	◓

Abbildung 13: Spiegelung der Ansätze an den Anforderungen

Da die beschriebenen Verfahren primär bei den speziellen Anforderungen Lücken aufweisen, werden im Folgenden RFID-spezifische Ansätze vorgestellt.

4.3 RFID-spezifische Bewertungsansätze

RFID spezifische Ansätze lassen sich in Abhängigkeit des Bewertungsziels in Identifikationsframeworks, prognose- sowie bewertungsorientierte Ansätze und Ex-Post-Messungen unterteilen. Erstere fokussieren die Kategorisierung der Ein-

flüsse. Prognoseorientierte Verfahren treffen darauf aufbauend Vorhersagen über bspw. Mengenänderungen des Ressourceneinsatzes. Eine Quantifizierung findet erst bei den bewertungsorientierten Ansätzen statt. Hierbei wird zwischen Bewertungskonzepten und Kalkulatoren unterschieden. Konzepte basieren auf Vorgehensmodellen, die nach einem Soll-Ist-Vergleich eine Bewertung durchführen. Als Kalkulatoren werden Ansätze bezeichnet die zur praktischen Anwendung in einem Bewertungstool implementiert sind. Vielen dieser Kalkulatoren liegen Bewertungskonzepte zugrunde. Ex-Post-Messungen dienen zur Analyse bereits realisierter Systeme (VILKOV 2007, GILLE 2010). Da die Anforderungen an eine Wirtschaftlichkeitsbewertung von RFID eine monetäre Bewertung über verschiedene Zeitpunkte erfordern, werden nachfolgend ausschließlich Bewertungskonzepte und Kalkulatoren erläutert. Hierbei werden Ansätze dargelegt die sich in der Wissenschaft und in der industriellen Anwendung bewährt haben. Für eine Auflistung weiterer Ansätze sei an dieser Stelle auf GILLE (2010) verwiesen.

Der von LANGE ET AL. (2008) entwickelte Ansatz *Costs and Benefits of RFID-Applications* dient der RFID-Bewertung in der internen Logistik. In einem mehrstufigen Verfahren werden direkte und indirekte Effekte in den Prozessen ermittelt und den Investitionen in einer Kapitalwertberechnung gegenübergestellt. Unter Beachtung externer Faktoren, wie Kundenwünsche, wird der ideale Implementierungszeitpunkt bestimmt. Die Ermittlung der quantitativen Effekte erfolgt durch einen Soll-Ist-Vergleich. In vordefinierten Kategorien findet die Bewertung der qualitativen Einflüsse statt. Aufwände werden u. a. hinsichtlich des Technologiefortschritts analysiert und Nutzen bzgl. möglicher Qualitätssteigerungen begutachtet. Die Quantifizierung erfolgt in einer Kombination aus Prozesskostenrechnung und Risikobewertung. Unsicherheiten werden durch die Monte-Carlo-Simulation bewertet (LANGE ET AL. 2008). Der Ansatz weist durch die Implementierung in einem Tool und dem stufenweisen Aufbau eine hohe Praxistauglichkeit auf. Dagegen steht die Einschränkung auf logistische Prozesse und die begrenzte Integration qualitativer Einflüsse. Unternehmensübergreifende Effekte werden nur bedingt in einer Optionsbewertung beachtet.

Mobile and Ubiquitous Computing in der Instandhaltung ist ein von HANHART ET AL. (2005B) entwickelter Ansatz zur Bewertung der Nutzen von RFID in der Instandhaltung. Auf den drei Ebenen Strategie, Prozess und Informationssysteme wird die Vorteilhaftigkeit der Investition überprüft. Auf jeder Ebene sind Nutzendimensionen definiert, die zur Potentialidentifikation dienen. Ein vorliegender Anwendungsfall, wie eine Materialdisposition, wird bspw. auf der Prozessebene hinsichtlich der Auswirkungen auf die Prozessqualität und -kosten untersucht. Es

erfolgt keine monetäre Betrachtung, sondern eine rein binäre Kennzeichnung möglicher Veränderungen. Vorhandene Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen den Ebenen und Kriterien werden bei den Betrachtungen abgebildet. Der Ansatz ist aufgrund der getrennten Betrachtungen auf den Ebenen leicht anwendbar und ermöglicht eine erste Abschätzung möglicher Potentiale. Durch die Fokussierung auf die Instandhaltung und die fehlende monetäre Bewertung eignet sich der Ansatz aber nicht als alleinige Bewertungsmethode. (HANHART ET AL. 2005B, HANHART ET AL. 2005A, RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009)

Der von TELLKAMP (2003) entwickelte Auto-ID-Kalkulator ist ein Online-Bewertungstool, das sich zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von RFID in der Handelslogistik eignet, indem ein Netzwerk bestehend aus den Partnern Hersteller, Groß- und Einzelhändler untersucht wird. Bei der 20-minütigen getrennten Bewertung der Unternehmen sind vordefinierte Nutzenkategorien, wie eine Bestandsreduktion, auszuwählen (GILBERG 2009, TELLKAMP 2003, TAMM & TRIBOWSKI 2010). Für die Bewertung sind Variablen, wie der Bestandswert und Zinssätze, zu hinterlegen (TELLKAMP 2003, RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009). Die Bewertung erfolgt auf den drei Ebenen Item-, Case- und Pallet-Level. Durch den geringen Datenbedarf ist eine schnelle Abschätzung des Kapitalwerts und der Amortisationszeit möglich (TELLKAMP 2003). Da die Verrechnungsstruktur nicht sichtbar ist, leidet die Transparenz des Ansatzes. Vor allem begrenzt die Einschränkung auf die Handelslogistik und die vordefinierten Partner den Einsatzbereich. Durch die Betrachtung der Objektlevel sind jedoch leicht alternative Systeme vergleichbar. (RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009, GILBERG 2009)

Einen detaillierteren Ansatz stellt MANNEL (2006) dar, der die Effekte von RFID in der überbetrieblichen Logistik der Textilindustrie, in einem sechsstufigen Vorgehen, analysiert. Zunächst wird das Ziel des RFID-Systems definiert, bevor der Materialfluss zur Potentialsuche in Prozesse untergliedert wird. Der dritte Schritt dient der Aufwandserfassung. Analog zu TELLKAMP (2003) werden verschiedene Objektenebenen unterschieden. Die folgende Auswirkungsanalyse dient der (nicht-) monetären Prozessbewertung. Zur Feststellung des Realitätsgrads der Ergebnisse erfolgt eine Plausibilitätsanalyse. Die Verrechnung der Teilergebnisse zu monetären Kenngrößen, wie dem Kapitalwert, resultiert in der Investitionsbewertung. Der letzte Schritt ist die Ergebnisanalyse, in der durch Zuschläge auf Kosten eine Risikobetrachtung stattfindet (MANNEL 2006). Die Implementierung des Ansatzes im Tool RFID-Cab und die prozessbasierte Vorgehensweise begrenzen den Bewertungsaufwand. Die unbekannte Verrechnungsstruktur schmä-

lert jedoch die Transparenz. Zudem betrachtet die Risikobetrachtung nur Gefahren und keine Chancen. (RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009, GILBERG 2009)

Der von RHENSIUS und DÜNNEBACKE (2009) entwickelte RFID-Business Case Calculator ist ein dreistufiges Verfahren zur Auslegung und Bewertung eines innerbetrieblichen RFID-Systems. Der erste Schritt beinhaltet eine Ist-Analyse, in der das zu beobachtende Objekt definiert und die relevanten Prozesse bestimmt werden. In der folgenden Entwicklung eines Soll-Zustands werden Schwachstellen im Ist-Prozess herausgefiltert und das Einsatzgebiet des RFID-Systems fixiert. Zur Unterstützung der Komponentenauswahl dient die Datenbank ID-Star, die neben Best-Practice-Beispielen eine Reihe von Komponenten mit technischen Eigenschaften und möglichen Einsatzfeldern auflistet. Im letzten Schritt werden die quantitativen Faktoren durch vorgegebene Formeln zum Kapitalwert verrechnet. Qualitative Einflüsse werden in einer Argumentenbilanz aufgeführt (RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009). Der Ansatz eignet sich durch das stufenweise Vorgehen, die definierten Formeln und die Tool-Implementierung für die praktische Anwendung. Die getrennte Bewertung qualitativer und quantitativer Faktoren liefert keine eindeutige Entscheidungsgrundlage. Unsicherheiten werden zudem nur in einer Szenarioanalyse betrachtet, die keine Aussagen über die Ergebniswahrscheinlichkeit und mögliche Chancen der Investition liefert.

KOYUNCU (2009) gliedert sein Konzept zur unternehmensübergreifenden Bewertung RFID-gestützter Prozesse in fünf Schritte. Nach der Definition des Bewertungsziels findet eine Modellierung der Ist- und Soll-Prozesse statt. Die Modellierung bildet die Basis, um in einer Differenzbetrachtung eine quantitative Wirtschaftlichkeitsbewertung durchzuführen. Hierzu dient ein Kriterienkatalog der Aufwände und in begrenzter Form Potentiale zur Auswahl bereitstellt. Diese allgemeinen Faktoren sind in der Bewertung auf den Anwendungsfall anzupassen. Das Vorgehen zur Anpassung wird jedoch nicht spezifiziert. Der vierte Schritt ist die Bewertung der qualitativen Einflüsse durch eine Nutzwertanalyse. Der Nutzwert und der Kapitalwert werden abschließend in einem Diagramm gegenübergestellt, um eine Aussage über die Vorteilhaftigkeit der Investition zu erhalten. Unsicherheiten werden nicht betrachtet (KOYUNCU 2009). Bei diesem Ansatz bieten der Kriterienkatalog und die Prozessanalyse eine hilfreiche Unterstützung. Die fehlende Beschreibung der Adaption schmälert jedoch die Praxistauglichkeit.

GILBERG (2009) beschreibt ein Verfahren zur Bewertung des überbetrieblichen RFID-Einsatzes und implementiert dieses in das Tool SCOPES. Zur Bewertung der Faktoren dienen die Kapitalwertmethode und die Balanced Scorecard. Die

Integration der quantitativen Faktoren in den Kapitalwert erfolgt durch Abschätzungen und die Aufnahme messbarer Größen. Qualitative Einflüsse werden mittels eines finanziellen Äquivalents geschätzt. Die Integration von Unsicherheiten erfolgt durch Alternativszenarien mit den jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeiten. Zur besseren Berücksichtigung der qualitativen Faktoren werden für jeden Partner Scorecards erstellt. Die Ausprägung der Einflüsse und deren Abhängigkeiten können in Kategorien, wie Finanzen und Prozesseffizienz, begutachtet werden (GILBERG 2009). Da sich der Scorecard-Ansatz für ex-post Betrachtungen eignet (s. Abschnitt 4.2), ist eine ex-ante und projektbegleitende Bewertung nur bedingt möglich. Zudem werden nur übergeordnete Verfahren bereitgestellt. Eine Erläuterung der Bestimmung von Kenngrößen und Faktoren erfolgt nicht.

Einen weiteren unternehmensübergreifenden Ansatz bietet VILKOV (2007). In einem dreistufigen Vorgehen werden den Partnern Rollen, wie Zulieferer und Händler, zugewiesen und jeweils relevante Kernprozesse definiert, die eine Unterstützung durch RFID erfahren. Zur Bestimmung der RFID-Wirkung findet eine Analyse der Ist- und Soll-Abläufe statt. Die Bewertung des quantitativen Nutzens erfolgt in einer Differenzbetrachtung, indem sich verändernde Größen auf Prozessebene gegenübergestellt werden. Eine Betrachtung der Kosten erfolgt durch den TCO-Ansatz (s. Abschnitt 4.2). Qualitative Wirkungen werden in einer Nutzwertbetrachtung analysiert. Der Ansatz fokussiert die Analyse logistischer Prozesse an den Unternehmensschnittstellen (VILKOV 2007). Hinsichtlich der Bewertung wird angeführt, dass Steuern und Unsicherheiten das Bewertungsergebnis beeinflussen. Wie diese zu integrieren sind, wird jedoch nicht erläutert. Auch die ungerechte Verteilung der Kosten und Nutzen wird adressiert. Eine genaue Beschreibung der Behandlung dieser Problematik erfolgt nicht.

Der Ansatz von ABRAMOVICI ET AL. (2009) basiert auf den Leistungsmerkmalen von RFID, wie der kontaktlosen Datenübertragung. Ausgehend von diesen Eigenschaften werden die Ziele des RFID-Einsatzes abgeleitet. Anschließend findet eine Optimierung der Supply Chain-Prozesse statt. Nach Anpassung der Prozesse werden quantitative Kenngrößen aufgenommen und in einem Soll-Ist-Vergleich gegenübergestellt, um die unternehmensinterne Wirtschaftlichkeit zu bestimmen. Bei der Rentabilitätsbetrachtung für die Supply Chain gilt es die Nutzenentfaltung mittels Studien und Praxiserfahrungen über den Produktlebenszyklus abzuschätzen. Mögliche ungleiche Verteilungen sind über Maßnahmen des CBS auszugleichen. Qualitative Einflüsse werden in einer Betrachtung der strategischen Ziele bewertet. Dies erfolgt durch Ursache-Wirkungsketten (ABRAMOVICI ET AL. 2009). Durch die potentialorientierte Optimierung konzentriert sich die Be-

wertung nur auf ein begrenztes Spektrum an Nutzen und der damit verbundenen Aufwände. Weitere Potentiale finden keine Beachtung. Eine Bewertungsunterstützung und eine Integration von Unsicherheiten erfolgt nicht.

Der Ansatz von SEITER ET AL. (2007) zur Bewertung von Investitionen stellt die Auswirkungen des RFID-Einsatzes in den Vordergrund. Die implementierten Komponenten werden als Inputfaktoren bezeichnet, die qualitative und quantitative Outputpotentiale erzeugen. Um die Einflüsse monetär zu bewerten, werden Ursache-Wirkungsbeziehungen auf verschiedenen Ebenen ausgehend vom Informationssystem über die Prozesse bis hin zum Markt erzeugt. Den Ebenen liegt die Betrachtungsweise einer Balanced Scorecard zugrunde, um die individuellen Effekte zu erfassen. Zur Bewertung der monetären Ausprägung werden die Wirkungen der qualitativen Einflüsse auf einen quantitativen Faktor verrechnet. Die Veränderungen können in Prozentwerten angegeben werden. Unsicherheiten werden anhand von Wahrscheinlichkeitsverteilungen modelliert (SEITER ET AL. 2007). Da dieser Ansatz zur Bewertung verschiedener Investitionen entwickelt wurde, werden RFID-spezifische Gesichtspunkte nur bedingt berücksichtigt. Des Weiteren werden keine unternehmensübergreifenden Effekte beachtet.

Neben den Forschungsansätzen stellen auch kommerzielle Anbieter Verfahren zur Verfügung. IBM und GS1 sind hier mit dem RFID-Kalkulator zu nennen. Dieser Kalkulator fokussiert logistische Abläufe in Handelsketten, die zur Bewertung unternehmensspezifisch modelliert werden. Die Durchführung einer Bewertung bedingt die Eingabe zahlreicher Parameter. Diese Parameter sind abhängig vom definierten Einsatzzweck, der bspw. eine Reduktion der Schwundquote sein kann, einzugeben. Die Parameter werden in der Bewertung zu einer Vielzahl an Kenngrößen verrechnet. Qualitative Einflüsse, Unsicherheiten und Beziehungen zwischen den Faktoren finden nur bedingt bis keine Beachtung. Aufgrund der kommerziellen Ausrichtung ist die Verrechnungsstruktur nicht transparent. Hingegen bieten die Unternehmen in Kombination mit dem Erwerb des Kalkulators Beratungsprojekte an. Die Beratung unterstützt bei der Identifikation und Quantifizierung der Parameter. Eine eigenständige Anwendung ist, wegen des fehlenden Bewertungskonzepts, nur erfahrenen Anwendern zu empfehlen. (GILBERG 2009, GS1 2005, RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009)

Einen weiteren kommerziellen Ansatz stellt die RFID-Potenzialanalyse der ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH dar. Im Gegensatz zum Ansatz von ABRAMOVICI ET AL. (2009) stehen die Schwachstellen in den Prozessen im Vordergrund der Betrachtungen und nicht die Potentiale von RFID. Basierend auf

einer Prozessanalyse werden relevante Bereiche in der Supply Chain hinsichtlich vorhandener Schwachstellen und möglicher Abhilfen durch den RFID-Einsatz analysiert. Sind relevante Prozesse bestimmt, wird eine Reorganisation dieser durchgeführt. Hierbei werden die benötigten RFID-Komponenten ermittelt. Im letzten Schritt findet die Evaluierung der Technologiepotentiale statt. Dies erfolgt durch eine Gegenüberstellung der Prozessverbesserungen und der kalkulierten Aufwände. Dabei werden quantitative und qualitative Einflüsse integriert (SULZMAIER 2009). Wie dies zu erfolgen hat, wird nicht erläutert, sondern in Beratungsprojekten als Dienstleistung angeboten. Aufgrund des unbekanntenen Kalkulationsvorgehens ist dieser Ansatz zur eigenständigen Bewertung ungeeignet.

Eine Gegenüberstellung der RFID-spezifischen Ansätze und der in Kapitel 3 definierten Anforderungen ist in Abbildung 14 dargestellt.

Legende:

Das Verfahren erfüllt die Anforderungen...

- nahezu gar nicht
- wenig
- teilweise
- relativ gut
- nahezu vollständig

	Spezielle Anforderungen					Anwendungsorientierte Anforderungen			
	Monetäre Bewertung	Berücksichtigung multidimensionaler Einflussfaktoren	Unterstützung der Einflussfaktoren-identifikation	Unterstützung der Einflussfaktorenquant. unter Berücksichtigung von Unsicherheiten	Dynamische Bewertung	Praxistauglichkeit	Flexibilität	Transparenz	Skalierbarkeit
LANGE ET AL. 2008									
HANHART ET AL. 2005B									
TELLKAMP 2003									
MANNEL 2006									
RHENSIOUS & DÜNNEBACKE 2009									
KOYUNCU 2009									
GILBERG 2009									
VILKOV 2007									
ABRAMOVICI ET AL. 2009									
SEITER ET AL. 2007									
GS1 2005									
SULZMAIER 2009									

Abbildung 14: Spiegelung RFID-spezifischer Verfahren an den Anforderungen

4.4 Bewertung der Ansätze und resultierender Handlungsbedarf

In den beiden vorangegangenen Abschnitten wurden Ansätze erläutert, die zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von RFID im Wertschöpfungsnetz eingesetzt werden. Zunächst wurden eindimensionale Bewertungsansätze, wie die Prozesskostenrechnung, analysiert. Diese Ansätze liefern eine detaillierte Kostenanalyse, integrieren aber nur quantitative Faktoren in die Betrachtungen. Mehrdimensionale Verfahren hingegen, wie die Balanced Scorecard, ermöglichen eine vollständige Bewertung aller Einflüsse. Nachteilig bei diesen Verfahren ist jedoch die Tatsache, dass entweder eine getrennte Bewertung der quantitativen und qualitativen Einflüsse stattfindet oder vollständig auf eine monetäre Betrachtung verzichtet wird. Dies mindert die Aussagekraft des Bewertungsergebnisses. Die Analyse der RFID-spezifischen Ansätze hat gezeigt, dass sich durch die strukturierte Zuweisung der Einflüsse die Prozesskostenrechnung als Bewertungsmethode eignet. Um den Bewertungsaufwand zu reduzieren, wurde mehrfach ein kombinierter Einsatz der Prozess- und der Differenzkostenrechnung verwendet.

Generell ermöglichen die meisten spezifischen Ansätze eine Bewertung unter Berücksichtigung quantitativer und qualitativer Faktoren. Die Anzahl der berücksichtigten Faktoren ist in vielen Ansätzen jedoch begrenzt, indem dem Anwender eine bestehende Kalkulationsstruktur zur Verfügung gestellt wird, in welcher nur noch die entsprechenden Zahlenwerte einzutragen sind. Des Weiteren wird vielfach auf eine monetäre Betrachtung der qualitativen Einflüsse verzichtet und eine Nutzwertbetrachtung durchgeführt. Um die Praxistauglichkeit der Verfahren zu erhöhen, findet die Bewertung in der Regel über ein stufenweises Vorgehen statt, das zur Aufwandsreduzierung in einem Bewertungstool implementiert ist. Nachteilig ist häufig die mangelnde Transparenz zu erwähnen. Oftmals wird eine Vielzahl von Parametern abgefragt, ohne die zugrundeliegende Verrechnungsstruktur bei der Ergebnisbewertung darzustellen. Dies ist vor allem bei den kommerziellen Kalkulatoren von IBM und ESG der Fall. Die größte Schwachstelle der bestehenden Ansätze bildet aber die fehlende Unterstützung bei der Identifikation und Quantifizierung der Einflussfaktoren. Bislang wird in den Ansätzen lediglich ein Bewertungsschema zur Verfügung gestellt und ein Hinweis gegeben, in welchen Prozessen Potentiale auftreten können. Wie diese Potentiale zu identifizieren und welche relevanten Kennzahlen zur Bewertung dieser Faktoren erforderlich sind, wird dagegen nicht genauer erläutert. Die größte Unterstützung bietet bislang der Ansatz von KOYUNCU (2009), der einen Kriterienkatalog

verschiedener Einflussfaktoren bereitstellt. Da dieser allerdings nur eine begrenzte Anzahl an allgemeinen Einflussfaktoren beinhaltet und keine unternehmensspezifischen Einflüsse berücksichtigt, eignet er sich nur bedingt für die spezifische Anwendung. Neben der fehlenden Bewertungsunterstützung findet in den meisten Ansätzen der unternehmensübergreifende Charakter nur wenig Beachtung. ABRAMOVICI ET AL. (2009) und VILKOV (2007) erwähnen die ungerechte Verteilung von Kosten und Nutzen. Wie diese Einflüsse jedoch zu bewerten sind, wird nicht genauer erläutert. Zudem finden Potentiale des übergreifenden Einsatzes keine Beachtung.

Die Analyse der ein- und mehrdimensionalen sowie RFID-spezifischen Bewertungsansätze hat aufgezeigt, dass die Anforderungen nur teilweise erfüllt werden. Dabei sind die mangelnde Unterstützung bei der Identifikation und Quantifizierung der Einflussfaktoren und die unzureichende Berücksichtigung unternehmensübergreifender Effekte die größten Schwachstellen. Basierend auf diesen Erkenntnissen wird in den folgenden Abschnitten die Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von RFID im Wertschöpfungsnetz erläutert.

5 Methode zur Wirtschaftlichkeitsbewertung von RFID im Wertschöpfungsnetz

5.1 Allgemeines

Die größte Hemmschwelle für den RFID-Einsatz besteht im Rentabilitätsnachweis. 50% der in einer Studie befragten Unternehmen verweisen in diesem Zusammenhang auf Schwierigkeiten bei der Prognose bzw. Messung des Nutzens (STRÜKER ET AL. 2008). Neben der Problematik der Nutzenidentifikation tragen primär technische Herausforderungen und Einzellösungen sowie fehlende Standards dazu bei, dass in der praktischen Anwendung zusätzliche Aufwände entstehen, die entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit nehmen (OSTGATHE 2012, STRASSNER 2005). Um diesem Sachverhalt zu begegnen, werden im Folgenden die Schritte der Methode zur Wirtschaftlichkeitsbewertung von RFID im Wertschöpfungsnetz erläutert (s. Abschnitt 5.2). Darauf aufbauend werden in Abschnitt 5.3 die Eingangsgrößen und die Voraussetzungen des Methodeneinsatzes abgesteckt. Da eine detaillierte Analyse des RFID-Einsatzes eine breite Informationsbasis erfordert, schließt das Kapitel 5 mit einer Darlegung verschiedener Verfahren zur Informationsbeschaffung (s. Abschnitt 5.4).

5.2 Aufbau der Methode

Die sechsstufige Methode zur Wirtschaftlichkeitsbewertung von RFID im Wertschöpfungsnetz gliedert sich in eine Analyse- und in eine Bewertungsphase (s. Abbildung 15). Erstere analysiert zunächst detailliert den Wertschöpfungsprozess im Netzwerk hinsichtlich beeinflusster Prozesse sowie auftretender Nutzenpotentiale und Aufwände. Des Weiteren wird die Zielstellung der Bewertung definiert. Die Bewertungsphase fokussiert die Quantifizierung der in der Analysephase identifizierten Einflussfaktoren und die Ermittlung der Zielgrößen. Zudem wird das Bewertungsergebnis in verschiedenen Analyseverfahren kritisch untersucht.

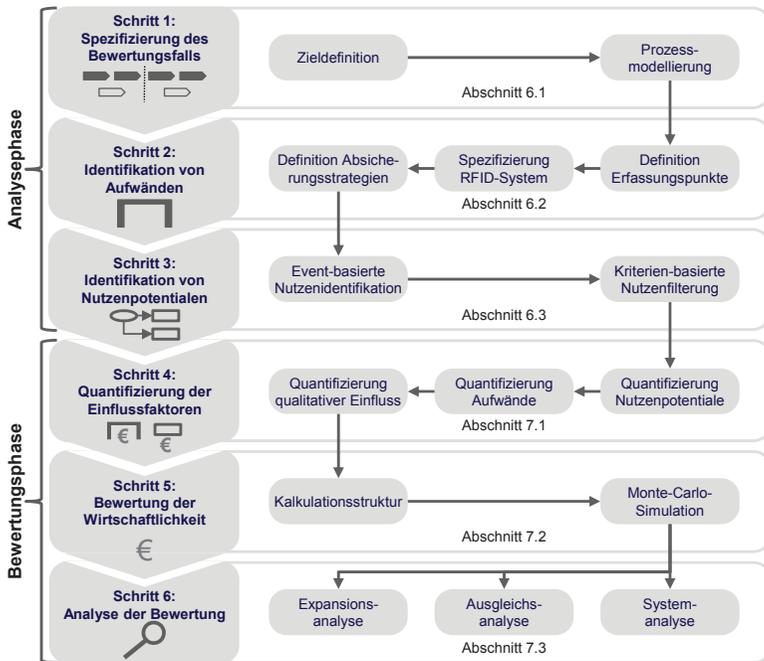


Abbildung 15: Aufbau der Bewertungsmethode

Beide Phasen umfassen jeweils drei Arbeitsschritte, die im Folgenden näher erläutert werden.

Der erste Schritt der Methode umfasst die Spezifizierung des Bewertungsfalls und ist der Analysephase zugeordnet. Ziel dieses Schritts ist die Fixierung des Bewertungsziels sowie eine exakte Modellierung aller Prozesse, die durch den RFID-Einsatz beeinflusst werden. Im Rahmen der Spezifizierung ist zunächst das Bewertungsziel zu definieren. Hierzu bietet die Methode die Möglichkeit den Kapitalwert und die Amortisationszeit zu ermitteln. Zudem ist festzulegen, welche Einflussfaktoren in der Bewertung berücksichtigt werden sollen. In Abhängigkeit von der Zielgruppe der Bewertung kann bspw. eine Prämisse dazu führen, dass nur quantitative Einflüsse bewertet werden. Neben der Zieldefinition ist der Wertschöpfungsprozess unternehmensintern wie -übergreifend zu modellieren. Hierzu kann auf einen vordefinierten Prozessbaukasten zurückgegriffen werden, um die direkten und indirekten Abläufe eines jeden beteiligten Partners in standardisierter Weise abzubilden. Die Prozessmodellierung bildet die Grundlage für

eine verursachungsgerechte Zuweisung der, durch den RFID-Einsatz entstehenden, Nutzenpotentiale und Aufwände in der Kalkulation. Eine detaillierte Beschreibung des Methodenschritts befindet sich in Abschnitt 6.2.

Der zweite Schritt fokussiert die Identifikation aller Aufwände, die mit der Implementierung des RFID-Systems verbunden sind. Hierbei ist zunächst festzulegen an welchen Stellen im Materialfluss die Datenträger bzw. Objekte erfasst und welche Informationen bzw. Events generiert werden sollen. Um die Auswahl für den Anwender zu erleichtern, umfasst diese Arbeit ein breites Portfolio möglicher Events, die in den einzelnen Prozessen generiert werden können. Eine Beschreibung der Events befindet sich im Anhang 11.5. Nach der Fixierung der Erfassungsstelle gilt es die erforderlichen Komponenten zu definieren, die zur Durchführung des jeweiligen Erfassungsvorgangs erforderlich sind. Hierzu kann auf die in Abschnitt 2.2.3 erläuterten EK zugegriffen werden. Im Rahmen der Aufwandsidentifikation ist es von entscheidender Bedeutung die einmaligen und laufenden Aufwände der EK zu erfassen und für die Kalkulation zu dokumentieren. Um den Anwender der Methode zu unterstützen, befinden sich Ordnungsschemas im Abschnitt 6.3.3, die eine strukturierte Sammlung aller Aufwände ermöglichen. Nachdem der Anwender den einzelnen Erfassungsstellen die entsprechenden Komponenten zugewiesen und die auftretenden Aufwände dokumentiert hat, sind Ausgleichsstrategien zu definieren, falls Fehler beim Erfassungsvorgang auftreten. Hierzu sind Maßnahmen zu fixieren, um Fehler zu verhindern bzw. zu erkennen. Zur Maßnahmengenerierung und -sammlung stehen in Abschnitt 6.3.4 wieder Ordnungsschemas zu Verfügung. Ist ein Fehler aufgetreten gilt es diesen zu beheben. Da hierzu in der Regel unterschiedliche Tätigkeiten erforderlich sind, die jeweils Aufwände verursachen, kann der Anwender auf eine Modellierungsvorschrift sowie eine Sammlung von Schlüsselfragen zurückgreifen. Diese dienen zur detaillierten Erfassung aller Aufwände, in dem die nötigen Tätigkeiten zur Fehlerbehebung in den jeweiligen Prozessen strukturiert in Aufwandsketten abgebildet werden (s. Abschnitt 6.3.4). Eine ausführliche Beschreibung des zweiten Methodenschritts erfolgt in Abschnitt 6.3.

Nach der Spezifizierung des RFID-Systems fokussiert der dritte Schritt der Analysephase die Identifikation der Nutzenpotentiale des RFID-Einsatzes. Zur vollständigen Erfassung aller Faktoren dienen eine strukturierte Sammlung von Schlüsselfragen und eine detaillierte Modellierungsvorschrift, die ein gezieltes Hinterfragen der unternehmensinternen und -übergreifenden Prozesse unterstützen. Durch die Abarbeitung der Schlüsselfragen ergeben sich durch die Modellierungsvorschrift Nutzenketten, die eine logische Abfolge der Prozessverbesserun-

gen durch den RFID-Einsatz, ausgehend von der Eventgenerierung, darstellen. Sind alternative EK oder RFID-Systeme gegenüberzustellen, dienen diese Ketten des Weiteren dazu, einen schnellen Vergleich der Nutzenpotentiale zu ermöglichen. Um die Generierung dieser Ketten zu unterstützen, verfügt die Methode über eine Auflistung potentieller Nutzen für die unterschiedlichen Prozesse in Form eines Nutzenkatalogs. Da die Nutzenpotentiale von der Art des implementierten RFID-Systems abhängen, findet basierend auf den modellierten Ketten eine Nutzenfilterung statt. Hierzu stehen dem Anwender vordefinierte Kriterien zur Verfügung. Diese Kriterien dienen zur Gegenüberstellung des vorhandenen Systems mit den in der Modellierungsvorschrift dokumentierten Voraussetzungen für das Eintreten der Nutzenpotentiale. Die Filterung unterstützt aus der zunächst freien Sammlung von Potentialen den für das implementierte RFID-System relevanten Nutzen herauszufiltern. Eine detaillierte Beschreibung der Schlüsselfragen, der Modellierungsvorschrift und der Vorgehensweise bei der Identifikation von Potentialen befindet sich in Abschnitt 6.4.

Basierend auf den identifizierten Prozessen und Einflussfaktoren findet in der Bewertungsphase die monetäre Bewertung der Wirtschaftlichkeit des RFID-Einsatzes statt.

Im vierten Schritt der Methode erfolgt zunächst die Quantifizierung der identifizierten Faktoren. Ziel dieses Methodenschritts ist die Zuweisung eines monetären Werts zu jedem identifizierten Einflussfaktor. Für die quantitativen Nutzenpotentiale und Aufwände stehen alternative Bewertungsbasen zur Verfügung. Hinter jeder Basis stehen spezifische Formeln die definieren, welche Informationen für die Quantifizierung erforderlich und wie diese zu verrechnen sind. Die Basen zeigen alternative Bewertungswege auf, um unter Beachtung der vorhandenen Daten die Einflussfaktoren zu bewerten. Für einen Einflussfaktor liefern die unterschiedlichen Basen das gleiche Ergebnis. Im Rahmen der Bewertung ist zudem darauf zu achten, dass die quantitativen Faktoren einer qualitativen Beeinflussung unterliegen können. Dieser Einfluss wird mittels der Fuzzy-Logik quantifiziert, indem Prozessbeteiligte die qualitativen Einflüsse anhand verschiedener Merkmale bewerten, um die Ausprägung zu charakterisieren. Eine genaue Beschreibung der Basen und der Fuzzy-Logik befindet sich im Abschnitt 7.2.

Durch eine prozessspezifische Differenzkostenrechnung werden im fünften Methodenschritt die Zielgrößen der Bewertung, der Kapitalwert und die Amortisationszeit, ermittelt. Hierzu werden unternehmensintern die quantifizierten Nutzen und Aufwände in einer Kalkulationsstruktur verrechnet. Hierbei erfolgt eine Zu-

weisung der Einsparungen und Kosten direkt zu den entsprechenden Prozessen. Diese Zuweisung kann aus den Nutzen- bzw. Aufwandsketten sowie den Ordnungsschemas aus der Analysephase übernommen werden. Da die einzelnen Faktoren Unsicherheiten unterliegen können, werden diese mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen modelliert und mittels der Monte-Carlo-Simulation in die Bewertung eingebunden. Neben der unternehmensinternen Bewertung besteht die Möglichkeit für den Anwender den Erfolg des Netzwerks zu erfassen. Dies erfolgt im Rahmen der Ausgleichsanalyse (s. Abschnitt 7.4.3). Der konkrete Aufbau der Kalkulationsstruktur und eine detaillierte Vorgehensbeschreibung bei der Bewertung und Simulation der Unsicherheiten sind in Abschnitt 7.3 dargelegt.

Den abschließenden Schritt der Methode stellt die Analyse der Bewertung dar. Hierbei stehen drei verschiedene Verfahren zur Analyse des Bewertungsergebnisses zur Verfügung. Die Systemanalyse bietet die Möglichkeit die Kalkulation hinsichtlich weiterer Einsparungen und möglicher Kostenreduzierungen zu untersuchen. Dieses Analyseverfahren könnte bspw. eine bessere Konfiguration der Erfassungsstellen ergeben, indem die Auslastung der einzelnen EP bewertet wird. Die Ausgleichsanalyse zielt auf eine gerechte Verteilung der Kosten und Nutzen des RFID-Einsatzes zwischen den Unternehmen ab. Die Expansionsanalyse untersucht die Übertragbarkeit vorliegender Bewertungsergebnisse auf weitere Einsatzfelder der RFID-Technik. Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Analyseverfahren befindet sich in Abschnitt 7.4.

5.3 Eingangsgrößen und Voraussetzungen

Vor der Methodenanwendung sind die folgenden Eingangsgrößen und Voraussetzungen zu definieren.

Zielsetzung des RFID-Systems: Zunächst ist das Ziel des RFID-Einsatzes zu fixieren. Beispielfhaft sind die Bestandsreduzierung an Ladungsträgern oder der gezielte Informationsfluss zur effizienteren Materialbereitstellung zu nennen. Das gesetzte Ziel bestimmt die benötigten Komponenten (s. Abschnitt 6.3). Für Steuerungsaufgaben sind entsprechende Assistenzsysteme einzuplanen.

Ermittlung der Partnerunternehmen: In engem Kontext mit der Zielsetzung stehen die beteiligten Unternehmen. Die Implementierung kann sowohl eigenständig als auch in Kooperation mit Partnern erfolgen. Des Weiteren ist eine Integration des Endkunden möglich. Wichtig ist zu definieren, ob nur logistische

Schnittstellen oder auch interne Produktions- und Logistikprozesse mit RFID ausgestattet werden. Dies hat einen Effekt auf die Investitionen sowie auf die Einsparungen, die mit der Integration weiterer Prozesse und Partner ansteigen (s. Abschnitt 2.2.5). Zu beachten ist, ob alle Prozesse den Beteiligten zugewiesen werden können oder ob einzelne Tätigkeiten durch Dienstleister erfolgen. Speditionen könnten Materialtransporte übernehmen und dadurch ggf. die Objektverfolgung unterbrechen. Dies führt zur Reduktion von Einsparungen bzw. zu zusätzlichen Kosten. Da des Weiteren eine ungleiche Kosten-Nutzen-Verteilung zwischen den Partnern entstehen kann, ist dies bereits vor der Implementierung in der Projektplanung zu beachten. Hierzu ist sich der in Abschnitt 7.4.3 beschriebenen Ausgleichsanalyse zu bedienen. Eine gemeinsame Fixierung des Ziels des RFID-Einsatzes bildet eine Basis für die Kooperation.

Fixierung der Objektklasse: Unabhängig von der Gestaltung des Netzwerks ist das zu verfolgende Objekt zu definieren. In Anlehnung an die VDA 5002 stehen im Rahmen der Bewertung die drei Objektklassen Transportmittel, Ladungsträger und Produkt (s. Abschnitt 2.2.3) zur Auswahl (VDA 5002). Diese Einteilung ermöglicht die Erfassung aller Potentiale der verschiedenen RFID-Implementierungen (s. Abschnitt 2.2.5). Die Objekte können dabei in den Prozessen zirkulieren oder zum Endkunden gelangen. Wird der Kunde eingebunden, erfolgt eine Unterstützung des After-Sales. Da die Rückführung des Datenträgers jedoch nicht gewährleistet ist, bedingt dies einen Anstieg der laufenden Kosten.

Definition des Bewertungszeitpunkts: Die Bewertungsqualität hängt des Weiteren vom Zeitpunkt ab. Je weiter die Projektrealisierung fortgeschritten ist, desto exaktere Ergebnisse sind zu erzielen. In frühen Phasen werden primär Schätzungen getroffen, wohingegen im Zuge der Realisierung messbare Veränderungen vorliegen. Grundsätzlich werden folgende Phasen unterschieden:

- **Grobplanung:** Zur Freigabe von Mitteln zur Finanzierung werden erste Konzepte grob analysiert und bestehende Einflüsse abgeschätzt.
- **Feinplanung:** Im Zuge einer detaillierteren Planung sowie im Rahmen von Pilotprojekten werden erste Erkenntnisse in die Bewertung integriert und Implikationen für einen erweiterten Einsatz abgeleitet.
- **Betriebsphase:** Nach Inbetriebnahme kann basierend auf vorliegenden Zahlen der Erfolg überprüft und weiteres Potential abgeleitet werden.

Der Bewertungsaufwand steigt mit zunehmendem Projektfortschritt an, da eine umfangreiche Datenermittlung mit zusätzlichen Aufwänden einhergeht. Dies bewirkt jedoch auch eine höhere Bewertungsqualität.

Integration aller beteiligten Gruppen: Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit findet zunächst auf Unternehmensebene statt, bevor die Rentabilität im Netzwerk ermittelt wird. Zuerst gilt es in Abhängigkeit des Zeitpunkts alle Beteiligten am internen Bewertungsprozess zu erfassen (s. Abbildung 16). Im ersten Schritt ist ein Verantwortlicher zu bestimmen, der gemeinsam mit dem Management das Bewertungsziel, den zeitlichen Rahmen und das Budget festlegt. Aufgrund der inhaltlichen Anforderungen eignen sich hierfür Mitarbeiter aus der Produktions- und Logistikplanung. In Abhängigkeit von der Zielgruppe der Bewertung sind formale und inhaltliche Anforderungen zu beachten. Dies können zu ermittelnde Kennzahlen sowie definierte Kostensätze sein. Zudem kann die Integration der Nutzen reglementiert sein. Häufig sind in diesem Zusammenhang nur vollständig freigesetzte Mitarbeiter anzusetzen (THOMMEN & ACHLEITNER 2009, GILBERG 2009). Daher ist die frühzeitige Einbindung des Controllings ratsam. Eine Bewertungsunterstützung kann der Verantwortliche zudem von Lieferanten und Prozessmitarbeitern erhalten. Erstere können bspw. bei der Spezifizierung des RFID-Systems Hilfestellung leisten. Bei der Potentialerfassung sollten speziell die Kenntnisse der Prozessmitarbeiter über den IST-Prozess aufgegriffen werden, um begründete Aussagen bzgl. Einsparungen im Soll-Prozess zu treffen.

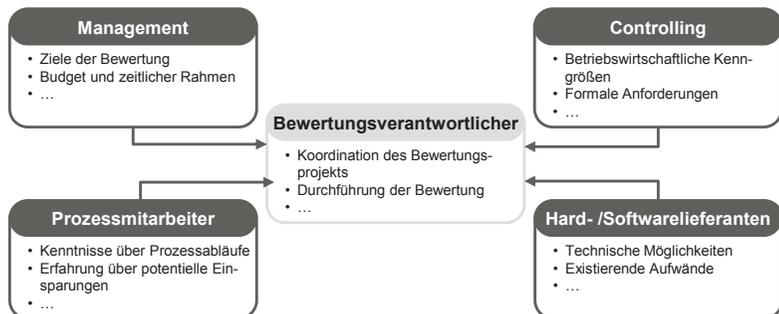


Abbildung 16: Beteiligte am unternehmensinternen Bewertungsprozess (in Anlehnung an REINHART ET AL. 2013)

Zur vollständigen Erfassung aller Eingangsgrößen und Voraussetzungen dient eine Checkliste, die eine strukturierte Dokumentation aller Bereiche ermöglicht (s. Anhang 11.2).

Für eine unternehmensübergreifende Bewertung sind Vertreter aus jedem Unternehmen zu bestimmen, die, im sog. Netzwerkleitungskreis, neben der Erfassung der Rentabilität von RFID im Netzwerk auch über eine gerechte Kosten-Nutzen-Verteilung beraten. Für eine erfolgreiche Realisierung sind die Rahmenbedingungen bereits vor Projektstart zu definieren. Eine Beschreibung des Bewertungsvorgehens und der Bedingungen ist in Abschnitt 7.4.3 enthalten.

5.4 Informationsbeschaffung für die Bewertung

Angesichts der Anforderung an ein wirtschaftliches Verhältnis von Bewertungsaufwand und Nutzen (BRIEKE 2008), stellt die erforderliche Bewertungszeit für ein aussagekräftiges Ergebnis ein wichtiges Kriterium für die Methodenanwendung dar. Primär sind hier die Informationsbeschaffung und -aufbereitung zu beachten (PIETSCH 2003). Die für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit benötigten Informationen sind neben den Einflussfaktoren vor allem die Daten zur Quantifizierung. Die Identifikation der quantitativen Nutzen und Aufwände wird durch die Schlüsselfragen in Kombination mit der Modellierungsvorschrift und den Kriterien soweit unterstützt, dass die Prozesskenntnisse der Beteiligten am Bewertungsprozess gezielt in die Bewertung einfließen können. Hingegen sind zur Erfassung der qualitativen Beeinflussung und zur Ermittlung der notwendigen Daten zur Quantifizierung Hilfsmittel nötig. Insbesondere ist bei der Quantifizierung zwischen eher leicht zu beschaffenden Daten, wie Mitarbeiterzahlen, Ressourcenpreise sowie Auftragszahlen, und schwer zu erfassenden Daten zu unterscheiden. Die Soll-Größen Bestimmung erfordert u. a. einen erheblichen Mehraufwand (KREBS 2011). Zur Deckung dieses Informationsbedarfs kann auf die Verfahren der Primär- und Sekundärforschung aus dem Bereich der Marktforschung zurückgegriffen werden. Während es sich bei der Primärforschung um eine empirische Methode handelt, die die Gewinnung neuer Daten fokussiert, konzentriert sich die Sekundärforschung auf die Beschaffung, Verarbeitung und Interpretation bereits vorhandener Daten (SCHMITZ ET AL. 2009). Beide Disziplinen umfassen verschiedene Verfahren, deren wichtigste Vertreter im Folgenden vorgestellt werden. Bei der Primärforschung werden vier wesentliche Informationsquellen unterschieden (TROST 2008):

Erkenntnisse können aus dem „**Umfeld des zu untersuchenden Problems**“ gewonnen werden. Prozessbeteiligte sowie Prozess- und RFID-Experten sind gezielt und strukturiert zu befragen, um das breite Erfahrungswissen aufzugreifen.

Hierbei ist darauf zu achten, keine Antwortmöglichkeiten einzuschränken. Zudem sind subjektive Einflüsse herauszufiltern, indem bspw. mehrere Personen unabhängig voneinander befragt werden. Dies dient vor allem zur Gewinnung von Daten bzgl. einer qualitativen Beeinflussung sowie der Prozessgestaltung im Soll-Zustand. (TROST 2008)

Eine zweite Informationsquelle stellt **„gesichertes Wissen aus praktisch bestätigten Theorien und verlässlichen Erfahrungen ähnlicher Systeme“** dar. Aus bestehenden Systemen sowie Datenbanken lassen sich Erkenntnisse gewinnen, wie sich das neu zu implementierende System verhalten könnte. Entscheidend ist vorab die Übertragbarkeit der Informationen zu prüfen (HITZIGER 2007). Die Erkenntnisse unterstützen primär die Planungsphase, indem analysiert wird in welchen Prozessen sich der RFID-Einsatz speziell empfiehlt. Ein detailliertes Vorgehen hierzu ist im Rahmen der Expansionsanalyse in Abschnitt 7.4.4 erläutert. Ergänzend zur Planungsphase können für die Bewertung Abschätzungen bzgl. der Veränderung der Prozesse und des qualitativen Einflusses durch den RFID-Einsatz getroffen werden.

Des Weiteren kann **„gesichertes Wissen aus physikalischer Vorhersage“** gewonnen werden. Ist- und Soll-Prozess lassen sich in Modellen und Simulationen nachbilden, um Aussagen bzgl. der Entwicklung der Soll-Prozesse zu treffen. Daten zur Quantifizierung sind zudem mittels Verfahren zur Zeitanalyse, wie bspw. REFA oder MTM, zu gewinnen. Diese ermöglichen es für bestimmte Tätigkeiten Planzeiten zu definieren. Da diese zur Bestimmung von Vorgabezeiten für manuelle Tätigkeiten Verwendung finden (SYSKA 2006), eignen sich die Verfahren zur Abbildung des Ist-Zustands vor der RFID-Einführung sowie zur Beschreibung manueller Abläufe im Soll-Zustand. Hierdurch wird eine Datenbasis für die Differenzbetrachtung erzeugt.

Als vierte Informationsquelle eignen sich **„empirisch bzw. experimentell ermittelte Ergebnisse aus Tests“**. Aus RFID-Pilotanwendungen lassen sich erste Erkenntnisse über die Effekte ableiten. Dies ermöglicht primär die Gewinnung von Parametern für die Quantifizierung der Nutzenpotentiale und zusätzlicher Aufwände, die im Laufe des Betriebs entstehen. Nachteilig ist jedoch, dass die Daten erst nach der Implementierung eines Pilot-Systems vorliegen und somit bereits erste Investitionen getätigt wurden.

Eine Kombination der Primär- und Sekundärforschung bietet die Möglichkeit, ein breites und aktuelles Spektrum an Informationen zu generieren und somit

einen umfangreichen Datenbestand für die Bewertung zu erzeugen (TROST 2008). Positiv an der Primärforschung sind vor allem die authentischen Daten, die einen direkten Bezug zum vorliegenden System aufweisen. Jedoch ist diese Art der Datenermittlung mit einem hohen Zeitaufwand und somit mit entsprechenden Kosten verbunden. (HÜTTNER 1999)

Eine schnellere und kostengünstigere Art der Informationsbeschaffung stellt die Sekundärforschung dar. Diese generiert durch die Sammlung und Analyse bestehender Daten relevante Informationen für die Bewertung. Grundlage sind unternehmensinterne Quellen, wie bspw. Bilanzen, Kundenstrukturen, Reklamationen, und -externe Quellen. Bei Letzteren handelt es sich um Statistiken, Erfahrungsberichte anderer Unternehmen sowie Studien und Forschungsberichte (SCHMITZ ET AL. 2009). Der Einsatz dieser sekundären Quellen eignet sich zur Ermittlung der festen, nicht unsicherheitsbehafteten Parameter, wie Schichtmodelle und Stundenlöhne, für die Quantifizierung sowie einer ersten Abschätzung möglicher Bereiche qualitativer Beeinflussung. Die gesammelten Daten sind vor Verwendung hinsichtlich verschiedener Qualitätskriterien zu überprüfen. Die Aktualität und Rückverfolgbarkeit der Daten sowie der zugrundeliegende Kontext sind u. a. zu untersuchen. (REINHART ET AL. 2011B)

Im Rahmen der Bewertung empfiehlt es sich, im ersten Schritt eine Sekundärforschung durchzuführen, um zunächst die festen Werte zu sammeln und eine Basis bzgl. der unsicheren Werte und qualitativen Einflüsse zu generieren. Durch die Bewertungsbasen und die Modellierungsvorschrift werden die noch einzuholenden Daten für die Quantifizierung aufgezeigt. Da nicht berücksichtigte bzw. unzureichend integrierte Unsicherheiten und Faktoren das Bewertungsergebnis verfälschen (GLEIBNER 2006, ROMEIKE 2006, KREBS 2011), ist es anschließend erforderlich eine Primärforschung durchzuführen. Diese dient der Beschaffung entsprechender Daten aus den relevanten Stellen.

6 Detaillierte Beschreibung der Analysephase

6.1 Allgemeines

In den folgenden Abschnitten erfolgt eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Schritte der Analysephase. Ziel dieser Phase ist die vollständige Erfassung aller durch den RFID-Einsatz beeinflussten Prozesse sowie eine komplette Darlegung der zu berücksichtigenden Aufwände und Nutzenpotentiale. Zudem umfasst die Analysephase eine detaillierte Definition des Bewertungsziels. In Abschnitt 6.2 werden daher zunächst die Zielstellung formuliert und die relevanten Prozesse modelliert, bevor in Abschnitt 6.3 die Aufwände und in Abschnitt 6.4 die Nutzenpotentiale identifiziert werden.

6.2 Spezifizierung des Bewertungsfalls

6.2.1 Allgemeines

Im ersten Schritt der Methode sind die konkrete Zielstellung der Bewertung zu formulieren und alle durch den RFID-Einsatz beeinflussten Prozesse zu erfassen. Die Spezifizierung des Bewertungsziels umfasst u. a. die Festlegung der Zielgrößen und die Bestimmung der Adressaten der Bewertung (s. Abschnitt 6.2.2). Für die anschließende Erfassung und Modellierung der beeinflussten Prozesse stehen standardisierte Prozessbausteine, zur einheitlichen Abbildung der individuellen Abläufe der einzelnen Unternehmen, zur Verfügung (s. Abschnitt 6.2.3).

6.2.2 Zieldefinition

Bevor eine Bewertung erfolgt ist deren Ziel zu definieren. Die übergeordnete Zielstellung der in dieser Arbeit entwickelten Methode ist die Bewertung der Wirtschaftlichkeit des RFID-Einsatzes im Wertschöpfungsnetz. Zur Zielerreichung ist es nötig die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Partner zu ermitteln und die Ergebnisse anschließend zusammenführen. Basis der erarbeiteten Methode bildet daher die unternehmensspezifische Bewertung. Die Zusammenführung der Ergebnisse wird in der Ausgleichsanalyse in Abschnitt 7.4.3 fokussiert. Bei einer unternehmensinternen Implementierung reicht es den individuellen Unterneh-

menserfolg zu ermitteln. Zur genauen Spezifizierung des Bewertungsziels im jeweiligen Anwendungsfall sind vorab die folgenden Bereiche zu definieren:

Zielgrößen: Zur Erzielung eines aussagekräftigen Bewertungsergebnisses sind eindeutige Zielgrößen zu ermitteln, die alle Einflussfaktoren umfassen. Vor allem in unternehmensübergreifenden RFID-Projekten ist es erforderlich, eine vergleichbare Kennzahl zu ermitteln. Hierzu werden in der Kalkulationsstruktur in der Bewertungsphase in Abschnitt 7.3.2 die anerkannten Kenngrößen des Kapitalwerts und der dynamischen Amortisationszeit berechnet. (GILBERG 2009, DÄUMLER & GRABE 2007)

Bewertungsebene: Basierend auf den definierten Zielgrößen ist es erforderlich festzulegen, ob nur die unternehmensspezifische Wirtschaftlichkeit oder auch die Rentabilität im Netzwerk kalkuliert werden soll. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit des Wertschöpfungsnetzes bedingt weitere Anforderungen, u. a. an den Austausch relevanter Daten für die Bewertung. Eine genaue Auflistung dieser Anforderungen findet sich in der Ausgleichsanalyse in Abschnitt 7.4.3.

Zielgruppe: Jede Bewertung hat einen bestimmten Adressaten. Neben der verantwortlichen Projektgruppe könnten das Management des Unternehmens sowie interne und externe Geldgeber Interesse an den Bewertungsergebnissen haben. In Abhängigkeit der Zielgruppe sind die Bewertungsergebnisse entsprechend aufzubereiten, bestimmte Eingangsparameter, wie Bewertungszeiträume, zu beachten und ggf. gewisse Einflussfaktoren aus der Bewertung auszuschließen (s. Einschränkungen bei zu integrierenden Einflussfaktoren).

Einschränkungen bei zu integrierenden Einflussfaktoren: In Abhängigkeit von der Zielgruppe sind abschließend die zu integrierenden Einflussfaktoren in die Bewertung zu bestimmen. Neben den in Abschnitt 5.3 erwähnten Personaleinsparungen stehen primär die qualitativen Faktoren im Fokus. Bestimmte Zielgruppen erwarten die reine Berücksichtigung quantitativer Faktoren und lediglich eine optionale Ergänzung qualitativer Aspekte.

Zur Dokumentation der getroffenen Zieldefinition ist auf die Checkliste für die monetäre RFID-Bewertung im Anhang 11.2 zurückzugreifen. Als Ergebnis liefert dieser Teilschritt eine genaue Kenntnis über die zu ermittelnden Zielgrößen, die Adressaten der Bewertung und eine Auflistung zu beachtender Einschränkungen bei der Bewertung.

6.2.3 Prozessmodellierung

Das Ziel der Prozessmodellierung ist die Erfassung und Abbildung aller Prozesse im Materialfluss und in den Verwaltungsbereichen, die durch den RFID-Einsatz beeinflusst werden. Dies dient dazu, um im Rahmen der Bewertung einen Soll-Ist-Vergleich durchführen zu können (s. Abschnitt 7.3.2) und eine verursachungsgerechte Zuweisung von Aufwänden und Nutzen zu den Prozessen zu ermöglichen. Zur Fixierung und Modellierung der Prozesse stehen standardisierte Prozessbausteine (PBS) zur Verfügung, die in Anlehnung an die allg. Definition eines Prozesses in Abschnitt 1.3 für diese Arbeit folgendermaßen definiert sind:

Ein PBS ist eine Abfolge physischer und datentechnischer Abläufe, die in abgegrenzten Bereichen Eingangsobjekte und -daten zu entsprechenden Ausgangsobjekten und -daten verarbeiten.

Die definierten PBS lassen sich in die folgenden vier übergeordneten Bereiche einteilen, denen jeweils verschiedene PBS zugeordnet sind:

- **Innerbetriebliche Logistikprozesse:** Diese Gruppe an PBS umfasst alle logistischen Vorgänge die zur Vor- und Nachbereitung von Fertigungsvorgängen erforderlich sind und innerhalb eines Unternehmens durchgeführt werden. Z. B. der PBS *Entpacken*: Dieser PBS beschreibt die Entnahme und die Erfassung einzelner oder aller Objekte aus einer zusammengesetzten Ladungseinheit.
- **Außerbetriebliche Logistikprozesse:** Hierunter fällt lediglich der PBS *außerbetrieblicher Transport*. Dieser Transport beschreibt den Weg eines Objekts von A nach B außerhalb der Unternehmensgrenzen auf öffentlichen Transportwegen.
- **Produktions- und Qualitätsprozesse:** Bei diesen PBS stehen wertschöpfende und prüfenden Tätigkeiten im Fokus. Z. B. der PBS *Montage*: Dieser PBS beinhaltet alle Verfahren der DIN 8580, bei denen mindestens zwei Objekte in einen wertschöpfenden Prozess eintreten und genau ein Objekt diesen wieder verlässt (DIN 8580).
- **Verwaltungsprozesse:** Den Verwaltungsprozessen ist nur der PBS *indirekte Bereiche* untergeordnet. Dieser PBS kann für alle Bereiche im Unternehmen, die nicht direkt in den Leistungserstellungsprozess eingebunden sind, sondern Planungs- und Organisationstätigkeiten übernehmen, verwendet werden.

Eine Beschreibung der einzelnen PBS befindet sich im Anhang 11.4.

Die PBS dienen dazu den Materialfluss nach der RFID-Implementierung und alle relevanten Verwaltungsprozesse abzubilden. Hierzu ist eine detaillierte Kenntnis der bisherigen Abläufe erforderlich, um Änderungen durch den RFID-Einsatz zu erkennen. Die Prozessbausteinbeschreibungen sind so formuliert, dass unternehmensspezifische Abläufe mit diesen allgemeinen Prozessen abgebildet werden können. Generell ist es bei der Modellierung zur Wahrung der Transparenz über den Materialfluss möglich, den Soll-Zustand vollständig mit allen beteiligten Verwaltungsbereichen abzubilden. Für die Bewertung sind jedoch nur spezifische PBS relevant (REINHART ET AL. 2011C):

- **Wegfallende PBS:** Durch den Einsatz von RFID werden bisher durchgeführte Prozesse hinfällig (z. B. der PBS *Lagern*). Der bisherige Personal- und Ressourceneinsatz kann als Einsparung verbucht werden.
- **Neu hinzukommende PBS:** Der RFID-Einsatz bedingt zusätzliche Prozesse (z. B. der PBS *Montage* der Datenträger). Der erforderliche Personal- und Ressourceneinsatz ist vollständig als Aufwand zu verbuchen.
- **Veränderte PBS:** Durch die Erfassung der Datenträger entstehen Veränderungen in den Abläufen (z. B. automatisierte anstelle manueller Erfassung). Mögliche Nutzenpotentiale und Aufwände sind zu erfassen und zu bewerten.

Nach einem Abgleich der Ist- und Soll-Prozesse sind der Materialfluss und die Verwaltungsbereiche mit den definierten PBS abzubilden. Alle PBS können dabei in beliebiger Anzahl verwendet und frei bezeichnet werden. Es ist jedoch darauf zu achten eine eindeutige Bezeichnung der PBS zu wählen, um die Aufwände und Nutzen den richtigen Prozessen zu zuweisen. Zur Reduzierung des Bewertungsaufwands besteht die Möglichkeit ähnliche Abläufe in einem PBS zusammenzufassen. Mehrere Pufferplätze können bspw. durch einen PBS *Lagern* abgebildet werden. Durch die Modellierung des Materialflusses und der Verwaltungsbereiche mit den PBS ergibt sich eine Prozesskette. Der Begriff der Prozesskette ist in dieser Arbeit wie folgt definiert:

Eine Prozesskette ist die Abfolge einzelner PBS, die zur Abbildung des Materialflusses und der Verwaltungsbereiche in chronologischer Reihenfolge aneinandergereiht sind.

Eine beispielhafte Prozesskette ist in Abbildung 17 dargestellt. Diese Kette zeigt die erforderlichen PBS zur Verarbeitung ankommender Objekte vom *Vereinahmen* bis zum *Lagern* bzw. zum *Fertigen*. Die PBS *Lagern* und *Fertigen* sind parallel angeordnet, da es sich um simultan ablaufende Prozesse handelt. Die Ware kann entweder eingelagert oder direkt in die Fertigung gebracht werden.



Abbildung 17: Beispielhafte Modellierung einer Prozesskette

Ergebnis dieses Teilschritts ist die Modellierung aller bewertungsrelevanten PBS. Zudem liegt eine detaillierte Kenntnis der Ist- und Soll-Prozesse vor.

6.3 Identifikation von Aufwänden

6.3.1 Allgemeines

Zentrales Element des RFID-Einsatzes bilden die bei jedem Erfassungsvorgang generierten Events, die zweierlei Arten von Aufwänden bedingen. Die primären Aufwände entstehen bei der Implementierung des RFID-Systems und im Betrieb durch u. a. Lizenzen. Da jedoch Umwelteinflüsse eine 100%-ige Erfassungsquote verhindern (MELSKI & SCHUMANN 2007, HAUSLADEN 2011), sind zusätzliche sekundäre Aufwände nötig, um Erfassungsfehler abzuwenden, zu erkennen und zu beheben (HAUKE ET AL. 2008). Zur Auslegung eines RFID-Systems ist es zunächst erforderlich die EP zu definieren, an denen die Objekte im Materialfluss erfasst werden sollen (s. Abschnitt 6.3.2). Anschließend ist das erforderliche RFID-System zu spezifizieren, das die Erfassungsvorgänge durchführt (s. Abschnitt 6.3.3). Abschließend werden die im Zusammenhang mit Erfassungsfehlern stehenden sekundären Aufwände erfasst (s. Abschnitt 6.3.4). Die folgenden Abschnitte basieren auf technischen Anforderungen. Diese dienen nicht der vollständigen Auslegung eines RFID-Systems, sondern sind erforderlich, da jede Komponente direkt durch die Anschaffung Kosten verursacht sowie indirekt durch eine unzureichende Auslegung Anpassungsaufwände bedingt und geplante Einsparungen nicht erzielt (BREITNER 2008, MELSKI 2006). Ziel dieses zweiten Methodenschritts ist es alle Aufwände zu erfassen, die mit der Implementierung und dem erfolgreichen Betrieb eines RFID-Systems verbunden sind.

6.3.2 Definition von Erfassungspunkten

Zur Realisierung der geplanten Einsparungen sind die Objekte an definierten Stellen im Materialfluss zu erfassen. Dies erfolgt an den EP, an denen durch den Einsatz der in Abschnitt 2.2.3 definierten EK die gewünschten Events generiert werden. Ziel dieses Teilschritts ist es die jeweiligen Stellen in den zuvor identifizierten PBS zu definieren, an denen ein Erfassungsvorgang erfolgen soll. Um dabei eine Hilfestellung zu geben, sind in Anhang 11.5 für jeden PBS beispielhafte Events beschrieben. Im PBS *innerbetrieblicher Transport* können das Einlager-Event und das Auslager-Event generiert werden. Diese geben Auskunft darüber, welches Objekt zu welcher Zeit in welchem Lager ein- bzw. ausgelagert wird. Grundlage für die Auswahl der Events sollte die in Abschnitt 5.3 getroffene Zielstellung des RFID-Einsatzes sein. Das Ziel einer Überwachung der Behälterbewegungen zwischen den Unternehmen würde bspw. dazu führen, dass Events im PBS *Vereinnahmen* und im PBS *Verladen* erzeugt werden. An einem EP können mehrere Events generiert werden. Je nach EK können die dabei generierten Daten variieren. Neben den Basisdaten was, wann, wo und warum erfasst wurde (s. Abschnitt 2.2.3) können bspw. genaue Angabe über die Reihenfolge der Objekte gemacht werden. Je nach EK können diese Daten mehr oder weniger detaillierte Angaben liefern. In Abhängigkeit von der Relevanz der Informationen für das Wertschöpfungsnetz sind die EP bzw. die Events zu definieren. Die erzeugten Daten können über den Infobroker bzw. die Assistenzsysteme unternehmensintern und -übergreifend verteilt und verarbeitet werden (s. Abschnitt 5.3). Bei der Definition der EP ist darauf zu achten, dass die generierten Daten an verschiedenen Stellen im Netzwerk Einsparungen erzielen. Informationen bzgl. der Materialabrufe beim Kunden und die Übermittlung dieser Daten in Echtzeit führen bspw. zu einer besseren Planung und Auslastung der Anlagen beim Lieferanten. Die vermehrte Erfassung kann höhere Kosten bei einzelnen Partnern verursachen, ermöglicht jedoch eine Rentabilitätssteigerung im Netzwerk.

Basierend auf der Modellierung der bewertungsrelevanten Prozesse ergibt dieser Teilschritt eine Übersicht über alle EP und den Events, die im implementierten RFID-System generiert werden. Abbildung 18 zeigt eine Auswahl möglicher Events in der zuvor modellierten Prozesskette.

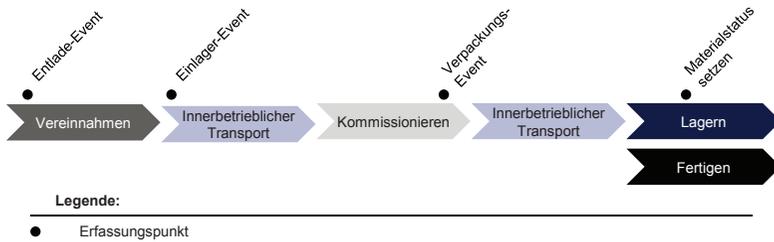


Abbildung 18: Beispielhafte Modellierung einer Prozesskette mit Events

6.3.3 Spezifizierung des RFID-Systems

Nach der Definition der EP sind die Komponenten zur Erzeugung und Verarbeitung der Events zu bestimmen. In der Bewertung dient dies der Erfassung der damit verbundenen Aufwände. Diese Aufwände lassen sich hinsichtlich dreier Kriterien unterscheiden. Das erste Kriterium ist der zeitliche Bezug. Aufwände treten einmalig oder laufend in Erscheinung. Neben der zeitlichen Einordnung ist auch die Beziehung zum Materialfluss zu beachten. Die Kosten für ein Gate bspw. sind unabhängig davon wie viele Objekte erfasst werden. Die Datenträgerkosten steigen hingegen mit zunehmender Objektanzahl (STRASSNER 2005). Des Weiteren variiert auch der Ort der Aufwandsentstehung. Aufwände können direkt in den PBS oder auch übergeordnet anfallen. PBS-spezifische Aufwände stellen Wartungskosten für die Erfassungsgeräte dar. Übergeordnet sind u. a. Lizenzgebühren für Softwaresysteme zu verbuchen. (MANNEL 2006)

Die Spezifizierung eines RFID-Systems bedingt in zwei Bereichen Aufwände. Neben den erforderlichen RFID-Komponenten können die Implementierung und der Betrieb zusätzliche Personal- und Ressourcenaufwände erfordern. Ziel dieses Teilschritts ist es alle Aufwände zu erfassen, die im Rahmen der Implementierung und im Betrieb anfallen. Hierzu stehen dem Anwender Ordnungsschemas zur Dokumentation der identifizierten Aufwände zur Verfügung.

Die nächsten Abschnitte erläutern zunächst ein Vorgehen zur Identifikation RFID-spezifischer Aufwände, bevor anschließend ressourcenbezogene und personelle Aufwände erfasst werden.

RFID-spezifische Aufwände: Ein funktionsfähiges RFID-System erfordert aufeinander abgestimmte Komponenten. Im Rahmen der Bewertung spielen primär die monetären Auswirkungen der technischen Belange eine zentrale Rolle. In

Anbetracht der Zielstellung der RFID-Anwendung (s. Abschnitt 5.3) gilt es daher ein System zu konfigurieren, das alle Anforderungen erfüllt und somit maximale Einsparungen bei gleichzeitig geringen Implementierungs- und Betriebskosten erzielt. Der Einsatz günstiger Komponenten reduziert zwar den Initialaufwand, kann jedoch im Betrieb aufwändige Nachkonfigurationen erfordern. Leistungsschwache Komponenten schöpfen des Weiteren nur mangelhaft vorhandene Potentiale aus. Zur Spezifizierung des Systems sollte daher das in Abbildung 19 dargestellte Vorgehen herangezogen werden.

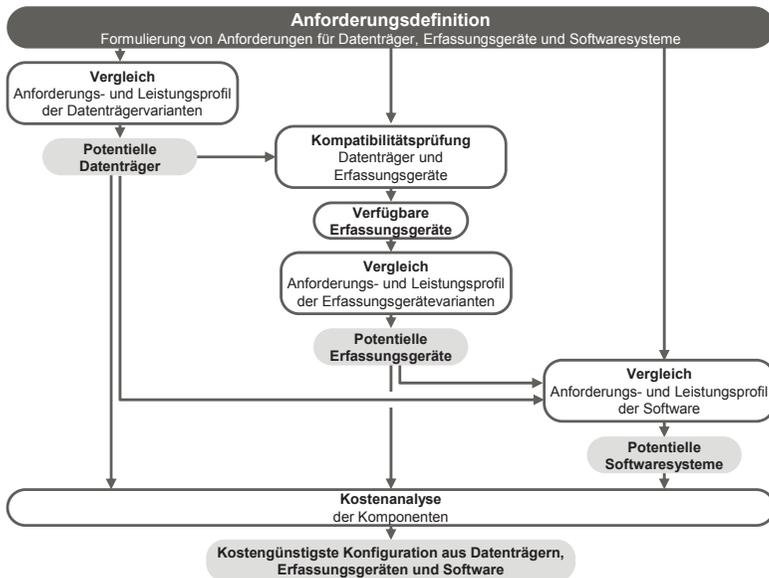


Abbildung 19: Vorgehensweise zur Bestimmung der RFID-Komponenten

Zur Konfiguration ist es nötig Anforderungen an die Datenträger, die Erfassungsgeräte und an die Software zu definieren. Eine Auflistung potentieller Anforderungen an die Komponenten ist im Anhang 11.3 zu finden. Zur vollständigen Auslegung eines RFID-Systems sei zudem auf die einschlägige Literatur, wie FINKENZELLER 2006, verwiesen. Nach Ermittlung aller benötigten Komponenten ist die kostengünstigste Kombination, unter Beachtung aller einmaligen und laufenden Aufwände, auszuwählen. Bei den einmaligen Aufwänden sind die Anschaffungs- und Entsorgungskosten zu integrieren. Das dargelegte Vorgehen ist für jeden zuvor festgelegten EP zu durchlaufen. Die definierten RFID-spezifischen Aufwände sind in dem in

Tabelle 3 dargestellten Ordnungsschema zu dokumentieren. Eine Einteilung der Aufwände erfolgt gemäß den erläuterten drei Kriterien.

Tabelle 3: Schemata zur Einteilung der Aufwände der RFID-Komponenten

Bezeichnung der Komponente	Wirkung			
	Zutreffende Aufwandsart mit „X“ kennzeichnen!			
Einmalige Aufwände				
Laufende übergeordnete Aufwände	1. Grad		2. Grad	
Laufende PBS-spezifische Aufwände	1. Grad		2. Grad	

Legende:

1. Grad Unabhängig vom Materialfluss 2. Grad Abhängig vom Materialfluss

Personal- und Ressourcenaufwände: Der RFID-Einsatz bewirkt im Datenmanagement, im Materialfluss und in der Ausstattung in unternehmensinternen sowie -übergreifenden Prozessen Einsparungen (GILLERT & HANSEN 2007, WERNER 2008, BENSEL ET AL. 2008A). Um diese zu ermöglichen, sind neben der RFID-Technik weitere Ressourcen und Mitarbeiter einzusetzen. Aufgrund der getrennten Betrachtung von Zeit- und Ressourceneinsparungen in der Bewertung, findet eine Anpassung der umfassenden Definition des Ressourcenbegriffs (SCHONERT 2008, WÖHE & DÖRING 2002, ABELE & REINHART 2011) statt:

Ressourcen sind die Gesamtheit aller materiellen (Papier, Behälter, Maschinen) und immateriellen (Energie, Lizenzen) Güter, die direkt bzw. indirekt in die Wertschöpfung integriert sind.

Die zusätzlichen Aufwände beeinflussen die Wirtschaftlichkeit und sind somit in die Bewertung zu integrieren. Zur strukturierten Erfassung der Aufwände dient das in Tabelle 4 dargestellte Ordnungsschema. Es unterstützt durch die Bildung von Kategorien aus dem Aufwandstyp (Ressourcen, Personal), den beeinflussten Bereichen (Datenmanagement, Materialfluss, Ausstattung) und des zeitlichen Rahmens (einmalig, laufend) in Verbindung mit dem räumlichen Auftreten (PBS-spezifisch, übergeordnet) die gezielte Identifikation der Aufwände. Den einzelnen Kategorien sind in der Tabelle beispielhafte Aufwände zugeordnet. Eine klare Zuweisung der Aufwände ist nicht erforderlich, da für die Bewertung nur die Identifikation aller Aufwände entscheidend ist.

In der Bewertung sind für jeden zuvor definierten EP alle auftretenden Aufwände in das in Tabelle 4 dargestellte Ordnungsschema einzutragen. Da hierbei techni-

sches Verständnis und Prozesskenntnisse nötig sind, empfiehlt sich der Austausch mit Prozess- und RFID-Experten (s. Abschnitt 5.3). Analog zu den RFID-spezifischen Aufwänden ist wieder die Art des Aufwands zu dokumentieren.

Tabelle 4: Ordnungsschema zur Spezifizierung des RFID-Systems

Wirkung: E LÜ (1./2. Grad) LP (1./2. Grad)			Ressourcenbezogene Aufwände			Personelle Aufwände		
			Datenmanagement	Materialfluss	Ausstattung	Datenmanagement	Materialfluss	Ausstattung
			...das Datenmanagement zu unterstützen?	...den Materialfluss zu unterstützen?	... die erforderliche Ausstattung zu bieten?	...das Datenmanagement zu unterstützen?	...den Materialfluss zu unterstützen?	...die Ausstattung bzw. das Know-How zu verbessern?
Einmalige Aufwände	PBS-spezifisch	Sind einmalige Aufwände im Prozess nötig, um...	Equipment zum „Killen“ der Datenträger	Fördertechnik für automatisierten Materialfluss	Einspannvorrichtung für Objekte mit Datenträger	Installation von Assistenzsystemen in Prozessen	Installation der Erfassungsgeräte	Initiale Mitarbeiter-schulung in den einzelnen Prozessen
	Übergeordnet	Sind einmalige übergeordnete Aufwände nötig, um...	Assistenzsystem zur Kontrolle des Datenzugriffs	Abschirmung der metallischen Umgebung	Bereitstellen von Werkzeugen für Wartungsarbeiten	Installation des Infobrokers	Anbringen der Datenträger im Closed-loop Betrieb	Projektteam zur RFID-Implementierung
Laufende Aufwände	PBS-spezifisch	Sind laufende Aufwände im Prozess nötig, um...	Kommunikationssystem zum Empfang von Aufträgen	Fördertechnik zum Ein- und Ausgliedern von Objekten	Arbeitsfläche zum Anbringen der Datenträger	Mitarbeiter zur Datenverarbeitung	Wartungsmitarbeiter für das RFID-System	Regelmäßige Weiterbildung in den Prozessen
	Übergeordnet	Sind laufende übergeordnete Aufwände nötig, um...	Speicherplatz für die Daten	Lizenzen für Assistenzsystem zum Verfolgen der Objekte	Fläche zum Lagern des Ersatz-equipments	Wartung der Datenbanken	Anbringen der Datenträger im Open-loop Betrieb	Projektteam zur Integration weiterer Prozesse

Legende:

- Aufwandsarten
 - Beeinflusste Bereiche
 - Schlüsselfragen
 - Beispiele für Aufwände
 - E Einmalige Aufwände
 - LÜ Lauf. übergeord. Aufwände
 - LP Lauf. PBS-spez. Aufwände
1. Grad Unabhängig vom Materialfluss 2. Grad Abhängig vom Materialfluss

Eine zusätzliche Steuerung der Abläufe, neben der Automatisierung manueller Tätigkeiten, erfordert primär im Datenmanagement zusätzliche Aufwände. Neben dem Infobroker für den Datenaustausch zwischen den Unternehmen sind ergänzende Assistenzsysteme zu implementieren. Darüber hinaus bedingt das aufkommende Datenvolumen den Einsatz von unterstützenden Systemen zur Filterung relevanter Informationen. Die genannten Aufwände sind im Ordnungsschema jeweils zu berücksichtigen.

Das Ergebnis der Spezifizierung ist eine Auflistung aller Aufwände für die Implementierung und den Betrieb des RFID-Systems.

6.3.4 Definition von Absicherungsstrategien

Die Spezifizierung des RFID-Systems schafft die Basis für die Generierung der definierten Events. Die gesetzten Ziele sind jedoch nur zu realisieren, wenn alle Objekte erfasst und im IT-System abgebildet werden. Um dies zu gewährleisten, sind Maßnahmen zur Verhinderung von Erfassungsfehlern zu implementieren. Ist dies nicht möglich, ist es erforderlich die Fehler aufzuzeigen und Vorgehen zu definieren, um sie zu beheben. Diese drei Bereiche sind für jeden EP zu durchlaufen. Da die Maßnahmen zusätzliche Aufwände erzeugen, sind sie in der Bewertung zu beachten. Um den wirtschaftlichen Einsatz zu gewährleisten, sind oftmals Fehler in Kauf zu nehmen, da der Ausschluss dieser mit größeren Aufwänden verbunden wäre als die Behebung.

In den nachfolgenden Abschnitten wird ein dreigeteiltes Vorgehen erläutert, das auf alle Events anzuwenden ist. Zunächst werden Maßnahmen zur Verhinderung von Fehlerfassungen ermittelt. Anschließend werden Maßnahmen definiert, um erfolgte Fehlerfassungen dem Mitarbeiter aufzuzeigen. Für beide Schritte stehen Ordnungsschemas zur Verfügung, die das Ableiten von Maßnahmen unterstützen und zur Dokumentation dienen. Den letzten Schritt bildet die Fixierung von Tätigkeiten zur Behebung von Fehlerfassungen. Hierzu stehen eine Modellierungsvorschrift und Schlüsselfragen zur Verfügung. Ziel dieses Teilschritts ist die Erfassung aller Aufwände, die mit einem Erfassungsfehler in Verbindung stehen.

Verhinderung von Erfassungsfehlern: Zur Gewährleistung der Erfassung aller Objekte sind Maßnahmen zu realisieren. Fehler werden durch defekte und fehlende Datenträger sowie durch beschädigte Erfassungsgeräte verursacht. Da die EK über unterschiedliche Funktionalitäten verfügen, sind Maßnahmen zu definieren, um die verschiedenen Fehlfunktionen zu verhindern. Diese zusätzlichen Aufwände sind in die Bewertung zu integrieren. Maßnahmen zur Verhinderung sind nur im technischen Bereich möglich, da menschliche Eingriffe erst erfolgen können, wenn der Fehler bereits eingetreten und erkannt ist. Die Integration weiterer RFID-Komponenten und eine softwareseitige Adaption können dazu beitragen die Funktionsfähigkeit zu erhöhen. Des Weiteren können ergänzende technische Komponenten, wie Kameras, zur Fehlerreduktion beitragen. Tabelle 5 zeigt anhand der EK 1 beispielhafte Maßnahmen, um Fehler eines RFID-Gates in Kombination mit fehlenden bzw. defekten Datenträgern zu vermeiden. Zusätzliche Erfassungsgeräte können bspw. Fehlerfassungen verhindern und durch eine doppelte Datenspeicherung Lesefehler übergangen werden. Eine Kombination der Maßnahmen ist möglich und in manchen Bereichen erforderlich. Die vorge-

gebene Struktur in der Tabelle unterstützt die Definition von Maßnahmen. Die Art des Aufwands ist wieder zu spezifizieren. Bei den in der Tabelle genannten Maßnahmen handelt es sich um Beispiele. In Abhängigkeit von den Funktionalitäten der EK sind individuelle Maßnahmen zu spezifizieren. Hierbei kann es vorkommen, dass nicht für alle Rubriken Maßnahmen identifiziert werden.

Tabelle 5: Ordnungsschema für Aufwände zur Fehlerverhinderung

Wirkung: E LÜ (1./2. Grad) LP (1./2. Grad)			RFID-Hardware-spezifische Aufwände	Software-spezifische Aufwände	Zusätzlicher Ressourceneinsatz
Erfassungsklasse 1 – RFID-Gate	Single-Reading	x	Zusätzliche Implementierung der Erfassungsklasse 2		Aufdruck eines Barcodes auf den Datenträger und zusätzliche Installation eines Barcode-Lesegeräts
			Wirkung: E	Wirkung:	Wirkung: E, LÜ 2
	Bulk-Reading	x	Bereitstellung eines zweiten RFID-Gates	Bestimmung fehlender Objekte aus vorhergehenden Events bzw. hinterlegten Stücklisten	Bildaufnahme der Objekte und Vergleich mit vorhergehenden Events
			Wirkung: E	Wirkung: LÜ 1	Wirkung: E, LP 2
	Sequenzierung				
			Wirkung:	Wirkung:	Wirkung:
	Lokalisierung				
			Wirkung:	Wirkung:	Wirkung:
	Schreiben				
			Wirkung:	Wirkung:	Wirkung:
	Lesen	x	Zusätzliche Implementierung der Erfassungsklasse 2	Doppelte Datenspeicherung auf Datenträger und im System und zusätzliches Versenden einer ID-Nummer	
			Wirkung: E	Wirkung: LÜ 2	Wirkung:

Legende:

 Erfassungsklasse (EK)	 Funktionalität der EK	E	Einmalige Aufwände
 Allg. Funktionalitäten	 Allg. Identifikationsmöglichkeiten	LÜ	Lauf. übergeord. Aufwände
 Beispiele für Aufwände	 Keine Maßnahmen erforderlich	LP	Lauf. PBS-spez. Aufwände

1. Grad Unabh. vom Materialfluss 2. Grad Abhängig vom Materialfluss

Identifikation von Erfassungsfehlern: Da eine erfolglose Erfassung für den Mitarbeiter nicht erkennbar ist, sind Maßnahmen zur Fehlererkennung bereitzustellen. Diese verursachen zusätzliche Aufwände, die es in der Bewertung zu beachten gilt. Da es sich bei den Objekten um Festkörper handelt, kann sich der physikalischen Eigenschaften eines Körpers zur Fehleridentifikation bedient werden. Ein Objekt ist über seine Masse, seine Fläche bzw. Volumen und seinen Aggregatzustand zu identifizieren (GELLERT & LENK 1974). Zudem können softwareseitige Maßnahmen im Datenmanagement implementiert werden. Für

jeden potentiellen Fehler sind Identifikationsmaßnahmen zu definieren. Tabelle 6 zeigt anhand der EK 1 beispielhafte Möglichkeiten zur Fehleridentifikation. Hierbei wird zwischen objekt- und systemseitigen Maßnahmen unterschieden. Lichtschranken und Bilderfassungssysteme können dazu beitragen Objekte im Erfassungsbereich zu erkennen und mit abgespeicherten Objektabbildungen abzugleichen. Viele Maßnahmen bestehen aus einer Kombination objekt- und systemseitiger Ergänzungen. Dabei besteht die Möglichkeit, dass nicht für alle Rubriken Maßnahmen definiert werden können. Bei den systemseitigen Anwendungen können neben den Anschaffungskosten auch laufende Kosten anfallen. Die identifizierten Aufwände sind wiederum hinsichtlich der Abhängigkeit vom Materialfluss und der zeitlichen und räumlichen Ausprägung zu beschreiben.

Tabelle 6: Ordnungsschema für Aufwände zur Fehlererkennung

Wirkung: E LÜ (1./2. Grad) LP (1./2. Grad)		Objektseitige Identifikation			Softwareseitige Identifikation	
		Mittels der Masse des Objekts	Mittels der Form des Objekts	Mittels des festen Aggregatzustandes des Objekts		
Erfassungsklasse 1 – RFID-Gate	Single-Reading	x	Waage zum Erkennen von Gewicht im Erfassungsbereich	Bilderfassung zur Erkennung eines Objekts im Erfassungsbereich	Lichtschranke zur Erkennung eines Objekts im Erfassungsbereich	Bei Taktbetrieb Abgleich mit zeitlich erwartetem Objekt
	Bulk-Reading	x	Wirkung: E	Wirkung: E	Wirkung: E	Wirkung: E, LÜ 1
			Waage und System zum Abgleich erwarteter und erfasster Masse	Abgleich mehrerer Bilder mit hinterlegten Bildern des Objekts		Abgleich zwischen erfasster und erwarteter Stückzahl
	Sequenzierung		Wirkung: E	Wirkung: E, LP 1	Wirkung:	Wirkung: E, LÜ 1
			Wirkung:	Wirkung:	Wirkung:	Wirkung:
	Lokalisierung					
			Wirkung:	Wirkung:	Wirkung:	Wirkung:
	Schreiben					
			Wirkung:	Wirkung:	Wirkung:	Wirkung:
	Lesen	x				Abgleich des Datenvolumens mit den erwarteten Informationen
Wirkung:			Wirkung:	Wirkung:	Wirkung: E, LÜ 1	

Legende:

 Erfassungsklasse (EK)	 Allg. Identifikationsmöglichkeiten	E	Einmalige Aufwände
 Allg. Funktionalitäten	 Objektseitige Identifikationsmöglichkeiten	LÜ	Lauf. übergeord. Aufwände
 Funktionalität der EK	 Keine Maßnahme erforderlich	LP	Lauf. PBS-spe. Aufwände
 Beispiele für Aufwände			
1. Grad Unabh. vom Materialfluss	2. Grad Abhängig vom Materialfluss		

Bedingt ein Fehler ein manuelles Eingreifen, muss dies dem Mitarbeiter dargestellt werden. Dies kann durch die Anregung verschiedener Sinneswahrnehmungen erfolgen. Eine visuelle Wahrnehmung über Bildschirm und Warnleuchte oder akustisch über ein Warnsignal ist möglich (PFEIFFER ET AL. 2010). Die hierzu definierten Maßnahmen sind entsprechend zu dokumentieren (s. Abschnitt 6.3.3, Tabelle 3).

Beheben von Erfassungsfehlern: Sind Erfassungsfehler aufgetreten und erkannt, gilt es diese zu beheben, um das gewünschte Event dennoch zu generieren. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass Aufwände im Materialfluss, im Datenmanagement und bei der Ausstattung, in vor- und nachgelagerten unternehmensinternen wie -übergreifenden Prozessen, erforderlich sein können. Auswirkungen im Materialfluss können zusätzliche Transport- und Prüfprozesse sein. Im Datenmanagement werden manuelle Eingriffe erforderlich, um falsche Daten zu korrigieren oder fehlende Dokumentationen anzufertigen. Zusätzliche Ausstattungsgegenstände sind bspw. mobile Erfassungsgeräte. Zudem sind Flächen zur Aus- und Wiedereingliederung der Objekte im Materialfluss vorzusehen. Sind spezifische Daten auf den Datenträgern zu hinterlegen, kann es nötig sein die Objekte in vorgelagerte Prozesse zurückzuführen, um die Informationen einzuholen.

Die Beispiele verdeutlichen, dass Aufwände in verschiedenen Bereichen erforderlich sein können. Häufig ist auch eine Kombination mehrerer Aufwände nötig, um eine Fehlerfassung zu beheben. Um alle Aufwände zu erfassen, werden im Folgenden zum einen Schlüsselfragen erläutert, die das gezielte Hinterfragen der Prozesse hinsichtlich notwendiger Tätigkeiten zur Fehlerbehebung unterstützen. Ziel dieser Schlüsselfragen ist es schon vor dem Auftreten der Fehler auf mögliche Aufwände hinzuweisen, die zusätzliche Kosten verursachen. Neben der vorzeitigen Erfassung von Aufwänden dienen die Schlüsselfragen zur Identifikation alternativer Wege zur Fehlerbehebung. Um verschiedene RFID-Systeme vergleichend gegenüberzustellen, wird zum anderen eine Modellierungsvorschrift eingeführt, die es dem Anwender ermöglicht die abgeleiteten Aufwände bzw. Aufwandsketten strukturiert zu dokumentieren.

Schlüsselfragen zur Aufwandsidentifikation bei der Fehlerbehebung

Die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Schlüsselfragen unterstützen den Anwender der Methode, ausgehend von der Fehlerfassung zunächst in dem jeweiligen PBS nach Aufwänden zu suchen. Die Aufwandsuche fokussiert zuerst den entstehenden Fehler, bevor prozessinterne Aufwände erfasst werden. Anschließend wird untersucht, ob weitere Prozesse im Unternehmen sowie un-

ternehmensübergreifend von dem Fehler betroffen sind. Ist dies der Fall, ist der Event der Fehlerfassung in den jeweiligen PBS zu übertragen und die jeweiligen Analysen bzgl. der Auswirkungen im PBS sowie in weiteren PBS durchzuführen. Dies erfolgt solange bis alle Aufwände identifiziert sind, die zur Fehlerbehebung erforderlich sind. Das prinzipielle Vorgehen zur Aufwandsidentifikation und eine Auswahl der zur Verfügung stehenden Schlüsselfragen ist in Abbildung 20 dargestellt. Generiert wurden die Schlüsselfragen im Rahmen zahlreicher RFID-Implementierungen, die im Zuge der Methodenentwicklung bearbeitet wurden. Ergänzend fand eine umfangreiche Literaturrecherche statt. Die Schlüsselfragen zielen auf keine Ja/Nein Antworten ab, sondern erwarten konkrete Beschreibungen der einzelnen Aufwände.

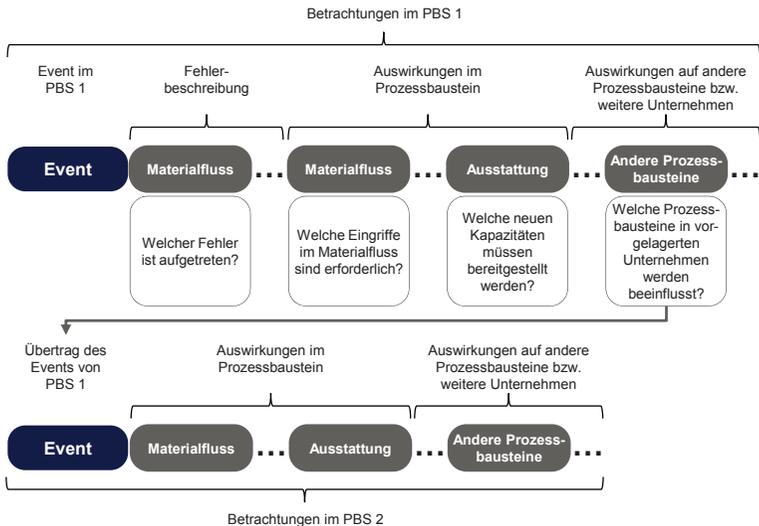


Abbildung 20: Vorgehen zur Aufwandsidentifikation bei der Fehlerbehebung

Die ersten Fragen ermöglichen die Erfassung auftretender Fehler. Hierzu dienen die Schlüsselfragen *Welcher Fehler ist aufgetreten* im Materialfluss sowie *Welche benötigten Daten fehlen* im Datenmanagement. Diese Schlüsselfragen identifizieren keine Aufwände, sondern dienen der Beschreibung des Fehlers, um gezielt Maßnahmen zur Fehlerbehebung abzuleiten.

Im nächsten Schritt wird der vorliegende PBS hinsichtlich zusätzlicher Aufwände zur Fehlerbehebung analysiert. Hierbei steht zunächst die Analyse möglicher Aufwände im Materialfluss im Fokus. Die Schlüsselfragen *Welche Eingriffe im*

Materialfluss sind erforderlich und Welche Transportbewegungen kommen hinzu zielen darauf ab, ob eine Ausgliederung der Objekte aus dem Wertschöpfungsprozess notwendig ist. Zudem können Prüfprozesse *Welche manuellen Prüfprozesse sind notwendig* sowie Korrekturen *Welche manuellen Korrekturvorgänge im Materialfluss sind erforderlich* nötig sein. Diese sind zur Statuserfassung des Objekts sowie zur Fehlerbehebung, indem bspw. ein neuer Datenträger angebracht wird, erforderlich. Um die Fehlerbehebung zu realisieren, sind in der Regel Eingriffe ins Datenmanagement nötig. Erforderliche Aufwände sind durch die Fragen *Welche neuen Daten müssen manuell erzeugt werden* und *Was muss manuell dokumentiert werden* zu erfassen. Zur Anbringung neuer Datenträger sind neben Arbeiten am Objekt auch Korrekturen im Datenmanagement erforderlich, um die Datenträger-ID (Identifikationsnummer des Datenträgers) den im System hinterlegten Daten bzgl. des Objekts zuzuweisen. Daher ist die Frage zu beantworten *Welche manuellen Korrekturvorgänge im Datenmanagement sind erforderlich*. Zur Durchführung der Korrekturen ist die entsprechende Ausstattung bereitzustellen. Durch die Schlüsselfragen *Welche bestehenden Kapazitäten müssen länger belegt werden* und *Welche neuen Kapazitäten müssen bereitgestellt werden* werden die damit verbundenen Aufwände identifiziert.

Die Datenspeicherung direkt am Objekt kann bei Verlust des Datenträgers dazu führen, dass Daten aus vorgelagerten Prozessen sowie Unternehmen eingeholt werden müssen. Sind Korrekturen in bestimmten Prozessen nicht möglich, gilt es nachgelagerte PBS sowie Unternehmen in die Fehlerbehebung zu integrieren. Die Schlüsselfrage *Welche nachgelagerten Prozessbausteine im Unternehmen werden beeinflusst* unterstützt die Identifikation entsprechender PBS, die zur Fehlerbehebung einzubinden sind. Um die genauen Aufwände in diesen Prozessen aufzuzeigen, sind die jeweiligen PBS wieder hinsichtlich der prozessinternen Schlüsselfragen zu untersuchen. Tabelle 7 stellt zusammenfassend die Schlüsselfragen zur Identifikation von Aufwänden zur Behebung von Fehlerfassungen dar.

Zur vollständigen Erfassung aller Aufwände, sind ausgehend vom definierten Event, alle Schlüsselfragen in der vorgegebenen Reihenfolge zu durchlaufen. In Abhängigkeit vom betrachteten Erfassungsfehler können in einer Schlüsselfrage mehrere Aufwände oder auch keine Aufwände identifiziert werden.

Tabelle 7: Schlüsselfragen zur Aufwandsidentifikation bei der Fehlerbehebung

	Bereich	Schlüsselfrage
Fehlerbeschreibung	Materialfluss	Welcher Fehler ist aufgetreten?
	Datenmanagement	Welche benötigten Daten fehlen?
Auswirkungen im Prozessbaustein	Materialfluss	Welche Eingriffe im Materialfluss sind erforderlich?
	Materialfluss	Welche Transportbewegungen kommen hinzu?
	Materialfluss	Welche manuellen Prüfprozesse sind notwendig?
	Materialfluss	Welche manuellen Korrekturvorgänge im Materialfluss sind erforderlich?
	Datenmanagement	Welche neuen Daten müssen manuell erzeugt werden?
	Datenmanagement	Was muss manuell dokumentiert werden?
	Datenmanagement	Welche manuellen Korrekturen im Datenmanagement sind erforderlich?
	Ausstattung	Welche bestehenden Kapazitäten müssen länger belegt werden?
Ausstattung	Welche neuen Kapazitäten müssen bereitgestellt werden?	
Auswirkungen auf andere PBS bzw. weitere Unternehmen	Weitere PBS	Welche vorgelagerten Prozessbausteine im Unternehmen werden beeinflusst?
	Weitere PBS	Welche nachgelagerten Prozessbausteine im Unternehmen werden beeinflusst?
	Weitere Unternehmen	Welche Prozessbausteine in vorgelagerten Unternehmen werden beeinflusst?
	Weitere Unternehmen	Welche Prozessbausteine in nachgelagerten Unternehmen werden beeinflusst?

Modellierung der Aufwände bei der Fehlerbehebung

Um die Aufwände strukturiert zu erfassen und für die Bewertung festzuhalten, werden diese mit einer Modellierungsvorschrift dokumentiert. Zur Beschreibung der Aufwände im Modell sind diese eindeutig zu bezeichnen. Darüber hinaus sind die Aufwände zu nummerieren, um eine eindeutige Kennzeichnung zu erhalten. Da Beziehungen zwischen den Faktoren bestehen, sind diese im Modell zu hinterlegen. In den entstehenden Aufwandsketten können reine Begünstigungen sowie Und- bzw. Oder-Beziehungen vorliegen (s. Abschnitt 2.3.3). Ein nicht erfasstes Objekt könnte bspw. zurück zum EP oder in eine Prüfstation transportiert werden. Zur Kennzeichnung der Aufwände, die in Beziehung zueinander stehen, findet ein Referenzieren zwischen den Nummern der Aufwände statt. Verursacht eine Fehlerkorrektur mehrere Und-Beziehungen ist der zeitliche Ablauf anzugeben. Das Ausgliedern eines Objekts aus dem Materialfluss aufgrund eines defekten Datenträgers könnte das Anbringen und Beschriften eines neuen Datenträgers und das Wiedereingliedern bedingen. Letzteres findet zum spätesten Zeitpunkt statt. Werden neben den prozessinternen Abläufen noch weitere PBS sowie Unternehmen in die Fehlerbehebung involviert, ist dies ebenso zu dokumentieren. Hierbei sind die Nummerierung, der PBS und das Unternehmen zu

hinterlegen. Die Modellierungsvorschrift für Aufwände zur Fehlerbehebung ist allgemein sowie beispielhaft an einem prozessinternen und -übergreifenden Aufwand in Abbildung 21 aufgezeigt. Darüber hinaus ist die Modellierung der Fehlerbeschreibung dargestellt. Die erforderlichen Informationen zur eindeutigen Kennzeichnung des Aufwands sowie der bestehenden Beziehungen werden im Modellierungselement hinterlegt.

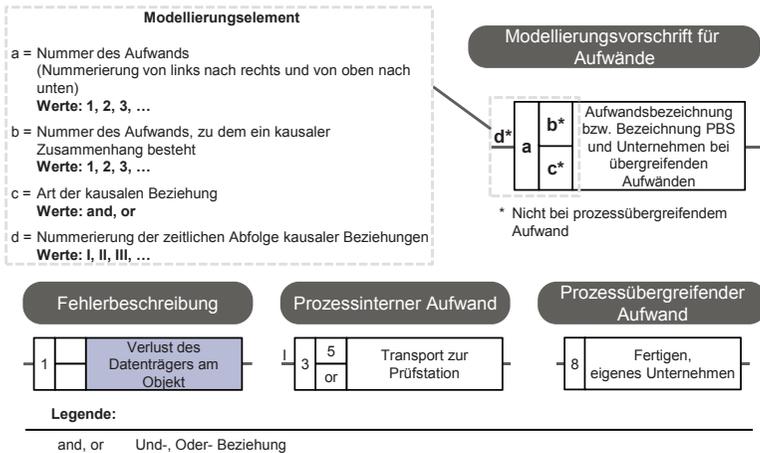


Abbildung 21: Modellierungselement im Rahmen der Modellierungsvorschrift für Aufwände zur Fehlerbehebung

Analog zu den bereits identifizierten Aufwänden bei der Spezifizierung des RFID-Systems sowie im Zusammenhang mit der Verhinderung und der Erkennung von Erfassungsfehlern sind die identifizierten Aufwände ebenfalls hinsichtlich ihrer Art einzuteilen. Hierbei ist zu unterscheiden, ob es sich um einmalige oder laufende PBS-spezifische bzw. übergeordnete Aufwände handelt. Zudem ist die Abhängigkeit vom Materialfluss zu fixieren. Da es sich bei den Aufwänden zur Fehlerbehebung, um Eingriffe in die Prozesse handelt, ist des Weiteren zu unterscheiden, ob ein zusätzlicher Zeit- oder Ressourceneinsatz erforderlich ist. Die festgelegte Einteilung wird im Rahmen der Modellierungsvorschrift im Verrechnungselement dokumentiert. Die vollständige Modellierungsvorschrift ist in Abbildung 22 dargestellt.

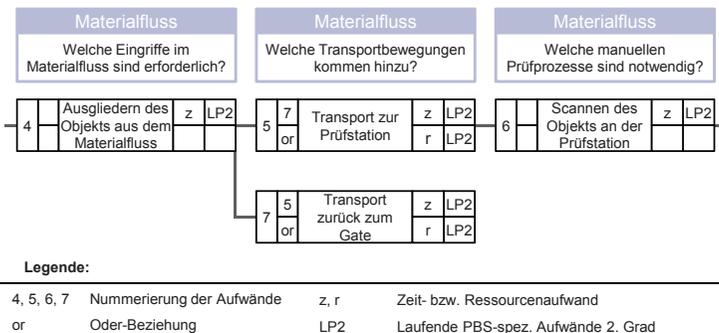


Abbildung 23: Ausschnitt einer Aufwandskette im PBS Vereinnahmen

Das Ergebnis dieses Teilschritts ist eine vollständige Auflistung aller Aufwände zur Verhinderung, Erkennung und Behebung von Erfassungsfehlern.

6.4 Identifikation von Nutzenpotentialen

6.4.1 Allgemeines

Für eine ganzheitliche Bewertung der Wirtschaftlichkeit des RFID-Einsatzes im Wertschöpfungsnetz ist neben der Erfassung der Aufwände auch eine vollständige Sammlung der Nutzenpotentiale erforderlich. Daher wird im Folgenden ein Vorgehen zur Identifikation der Nutzen erläutert. Hierzu werden zunächst die Bereiche definiert, in denen Nutzenpotentiale auftreten (s. Abschnitt 6.4.2). Aufbauend auf den Bereichen werden Schlüsselfragen und Kriterien dargelegt, die eine spezifische Identifikation der Nutzenpotentiale, mit Hilfe einer Modellierungsvorschrift, ermöglichen (s. Abschnitt 6.4.3). Dieses Vorgehen ist nur für sich verändernde Prozesse erforderlich. Wegfallende bzw. hinzukommende Prozesse (s. Abschnitt 6.2.3) sind hingegen vollständig als Einsparungen bzw. Aufwände zu verbuchen.

6.4.2 Bereiche der Entstehung von Nutzenpotentialen

Der RFID-Einsatz weist laut TELLKAMP (2006) und GILLE (2010) drei verschiedene Effekte auf. Der Automatisierungseffekt eliminiert primär in der Datenerfassung und -übertragung manuelle Tätigkeiten. Der dadurch entstehende Informationseffekt resultiert in einem stets aktuellen Datenbestand. Hierauf basierend

ermöglicht es der Transformationseffekt Abläufe effektiver zu gestalten. Neben diesen internen Effekten, direkt in den PBS, entstehen zudem Effekte in der Außenwirkung des Unternehmens. Diese externen Effekte können keinem PBS zugewiesen werden. Eine verbesserte Datenbasis erhöht die Liefertreue durch eine exaktere Planbarkeit. Zudem wird die Kundenzufriedenheit gesteigert, indem frühzeitig Kunden über auftretende Produktionsengpässe informiert werden. Daneben lassen sich Aufwände für Rückrufaktionen durch eine bessere Eingrenzung der betroffenen Objekte reduzieren. In Abbildung 24 sind die beiden Bereiche der Nutzenentstehung dargestellt und definiert.

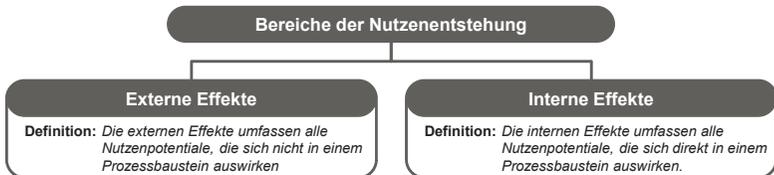


Abbildung 24: Definitionen der Nutzenbereiche

Externe Effekte

Die externen Effekte wirken sich in zwei Bereichen aus. Neben der Reduktion von Schadensersatzzahlungen, lassen sich auch Umsatzsteigerungen erzielen (s. Abbildung 25). Die Reduzierung von Strafbzahlungen basiert u. a. auf der Objektverfolgung in Echtzeit. Lieferschwierigkeiten werden rechtzeitig kommuniziert und damit eintretende Schäden reduziert (STRASSNER 2005). Zudem verringert die stetige Objekterfassung die Anzahl fehlerhafter Lieferungen (RICHTER & KIRCH 2012). Eine fortlaufende Dokumentation des Materialstatus senkt des Weiteren Regressforderungen, da der Verbau sicherheitsrelevanter Komponenten jederzeit nachgewiesen werden kann. Strafbzahlungen aufgrund von Plagiaten können, durch den Echtheitsnachweis direkt am Objekt, vermindert werden. Ein gesteigertes Image, durch die Reduktion von Rückrufen, in Kombination mit einer Durchlaufzeitreduzierung führt darüber hinaus zu einer Umsatzsteigerung. (SPRAFKE 2011, PEZOLDT & GEBERT 2011)

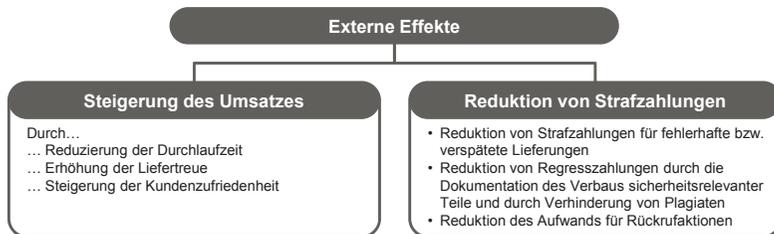


Abbildung 25: Nutzenpotentiale der externen Effekte

Interne Effekte

Die internen Effekte können in unterschiedlichen Formen in den PBS im Wertschöpfungsnetz auftreten. Basis dieser Potentiale stellt der Erfassungsvorgang im PBS dar. Dieser selbst bildet durch den Entfall der manuellen Erfassung und der automatisierten Erzeugung der Events eine erste Einsparung. Darauf basierend können sich durch die generierten Daten weitere Prozessverbesserungen in unternehmensinternen und -übergreifenden Abläufen ergeben (STRAUBE ET AL. 2009, BENSEL ET AL. 2008A). Ein Materialabruf im PBS *Montage* kann bspw. automatisiert eine Nachproduktion in der eigenen Fertigung sowie beim Lieferanten anstoßen. Diese frühzeitige Information kann erforderliche Planungstätigkeiten reduzieren und eine bessere Auslastung der Maschinen begünstigen. Die Schnittstelle zum Lieferanten besteht jedoch nur bei einem kooperativen RFID-Einsatz. Die Beispiele zeigen, dass Effekte direkt im PBS der Eventgenerierung sowie in anderen PBS entstehen können. Tritt ein Nutzen in anderen PBS und Unternehmen auf, findet dies nicht nur, wie im Falle der Nachproduktion, in vorgelagerten Abläufen statt, sondern auch in nachgelagerten Prozessen. Ein Empfangs-Event im PBS *Vereinnahmen* informiert nachfolgende Bereiche unmittelbar über ankommende Lieferungen. Durch den entstehenden Zeitvorsprung können bspw. im PBS *Fertigen* erforderliche Rüstvorgänge schon während der Materialanlieferung durchgeführt werden. Unabhängig vom Ort der Eventgenerierung ist der Nutzen in der Bewertung dem Unternehmen zuzuweisen, das eine Einsparung erzielt. Die Einsparungen fokussieren sich auf die drei Bereiche Materialfluss, Datenmanagement und Ausstattung. Bezogen auf den Automatisierungseffekt werden manuelle Abläufe im Materialfluss beeinflusst. Neben dem Erfassungsvorgang werden u. a. auch Transporte unterstützt sowie Vereinzlungsvorgänge eliminiert (GILLERT & HANSEN 2007). Auswirkungen im Datenmanagement ergeben sich durch die automatisierte Bereitstellung von Daten sowie durch die Generierung neuer Daten. Dies ermöglicht einen schnelleren Ablauf bzw. eine bessere Prozessplanung und somit eine Reduzierung der benötig-

ten Ausstattung (WERNER 2008). Durch die bessere Auslastung können Pufferflächen und Transportmittel eingespart werden (MANNEL 2006). Zudem wird die bisherige Erfassungstechnik freigesetzt. Eine Zusammenfassung der Bereiche in denen sich interne Effekte in den PBS ergeben ist in Abbildung 26 dargestellt.

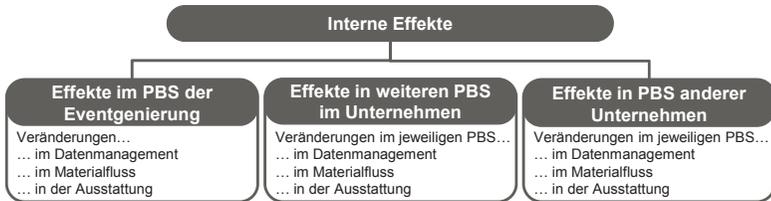


Abbildung 26: Bereiche der Nutzenentstehung der internen Effekte

Aufbauend auf den internen und externen Bereichen gilt es im nächsten Schritt die konkreten Nutzenpotentiale zu identifizieren. Da die Abbildung 25 bereits alle externen Nutzenpotentiale beinhaltet, konzentrieren sich die folgenden Abschnitte nur auf die Identifikation der internen Effekte.

6.4.3 Identifikation und Filterung von Nutzenpotentialen in den Prozessbausteinen

Bei diesem Schritt dienen, analog zur Aufwandsidentifikation bei der Fehlerbehebung, Schlüsselfragen zur gezielten Analyse der PBS. Die Schlüsselfragen liefern ein breites Portfolio theoretischer Nutzen, die der RFID-Einsatz bewirken kann. Da das reale Eintreten der Nutzenpotentiale jedoch abhängig vom Anwendungsfall des RFID-Systems ist, werden zudem Kriterien zur Filterung der Nutzen bereitgestellt. Diese Kriterien filtern aus dem breiten Portfolio theoretischer Nutzen diejenigen Potentiale heraus, die im implementierten RFID-System auftreten. Um das strukturierte Vorgehen bei der Identifikation der Nutzenpotentiale zu unterstützen, steht analog zu den Aufwänden bei der Fehlerbehebung, eine Modellierungsvorschrift zur Verfügung.

Event-basierte Nutzenidentifikation

Die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Schlüsselfragen unterstützen ausgehend vom Erfassungsvorgang, also der Eventgenerierung, zunächst die Nutzenidentifikation im jeweiligen PBS, bevor weitere Prozesse im Unternehmen und unternehmensübergreifend analysiert werden. Das Vorgehen zur Nutzenidentifikation und eine Auswahl der zur Verfügung stehenden Schlüsselfra-

gen ist in Abbildung 27 dargestellt. Das dargestellte Vorgehen stimmt mit dem Ablauf zur Aufwandsidentifikation bei der Fehlerbehebung überein. Generiert wurden die Schlüsselfragen im Rahmen zahlreicher RFID-Implementierungen, die im Zuge der Methodenentwicklung bearbeitet wurden. Ergänzend fand eine umfangreiche Literaturrecherche statt. Die Schlüsselfragen zielen auf keine Ja/Nein Antworten ab, sondern auf konkrete Beschreibungen des einzelnen Nutzens.

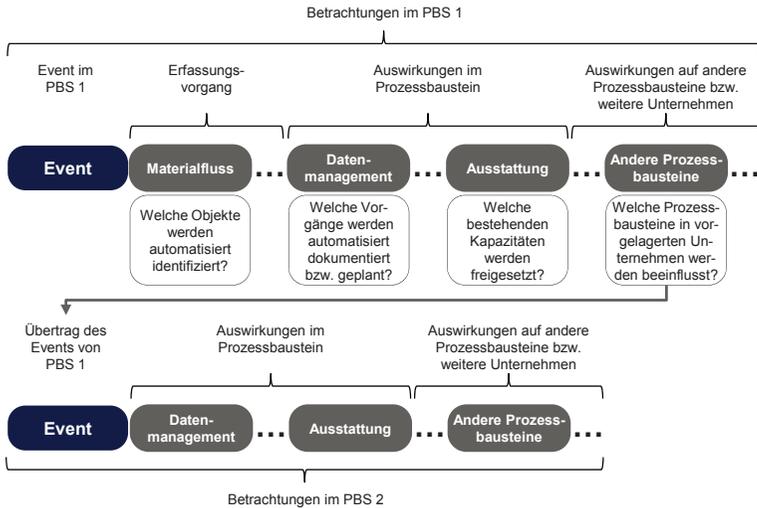


Abbildung 27: Vorgehen zur Nutzenidentifikation der internen Effekte

Bei der Identifikation der Nutzenpotentiale ist darauf zu achten, dass sich Abläufe nicht nur verändern, sondern vollständig entfallen können (SCHMIDT 2006). Interne Auftragspapiere können entweder automatisiert erstellt werden oder durch die Datenspeicherung am Objekt entfallen.

Den Beginn der Nutzenidentifikation bildet die Schlüsselfrage *Welche Objekte werden automatisiert identifiziert*. Diese Schlüsselfrage bezieht sich auf Abläufe im Materialfluss. Nach der automatisierten Erfassung ist der erzeugte Event im Datenmanagement zu verarbeiten. Hier ist zunächst die Frage zu stellen *Welche neuen Daten werden generiert*. Dies dient bspw. zur automatischen Setzung des Materialstatus. Bisher nicht erfasste Leerbehälterbewegungen können damit abgebildet werden (SCHMIDBAUER & ZEHNPFENNIG 2012). Neben der Datengenerierung können auch objektbezogene Daten zur Verfügung gestellt werden, um

bspw. Montagevorgänge zu unterstützen. Dieser Sachverhalt wird durch die Schlüsselfrage *Welche Daten werden automatisiert bereitgestellt* aufgegriffen.

Nach den initialen Vorgängen, die mit der Erfassung verbunden sind, gilt es die daraus resultierenden Wirkungen abzuleiten. Zunächst steht die weitere Datenverarbeitung im Fokus, bevor Folgerungen für den Materialfluss sowie für die Ausstattung getroffen werden. Demgemäß stellt sich für das Datenmanagement die Frage *Welche Vorgänge werden automatisiert dokumentiert bzw. geplant*. Neben der automatisierten Dokumentation des Verbaus eines Airbags, könnte auch eine kürzere Route geplant werden. Ein wesentlicher Nachteil der bisher manuellen Erfassung liegt in der hohen Fehleranfälligkeit. Die dadurch erforderlichen Korrekturen können durch die automatisierte Erfassung entfallen. Dies führt zu der Frage *Welche manuellen Korrekturvorgänge werden im Datenmanagement reduziert*. Wurden die Daten entsprechend verarbeitet, ist die Wirkung der Erfassung auf den Materialfluss zu analysieren. In engem Zusammenhang mit der Erfassung stehen bspw. Vereinzeltungsvorgänge, die durch die Frage *Welche manuellen Handlungsaufwände werden reduziert* erfasst werden. Neben den manuellen Tätigkeiten kann es zu Prüfvorgängen in bzw. zwischen den Prozessen kommen. Diese sind durch den RFID-Einsatz teilweise automatisierbar, indem die Vollständigkeit automatisiert abgeprüft wird. Darüber hinaus ermöglichen integrierte Sensoren die stetige Kontrolle von Umgebungsbedingungen, wie Temperaturen (MATHEUS & KLUMPP 2008). Bezugnehmend auf die dargestellte Thematik *Welche Prüfprozesse werden automatisiert* ist die Frage zu stellen *Welche manuellen Korrekturvorgänge werden im Materialfluss reduziert*. Umlagerungen falsch eingeordneter Objekte können in diesem Zusammenhang entfallen. Eine weitreichende Wirkung bilden diese Korrekturvorgänge im Zusammenhang mit Fehlerfolgenutzen. Eine eindeutige Kennzeichnung verhindert die Weiterbearbeitung fehlerhafter Komponenten. Dies bedeutet, dass die Fehlervermeidung durch den RFID-Einsatz das Ausführen unnötiger Tätigkeiten verhindert. Dies resultiert u. a. in der Reduzierung von Rücktransporten, die mit der Frage *Welche Transportbewegungen werden reduziert* erfasst werden. Der sicherere und schnellere Durchlauf von Abläufen wirkt sich darüber hinaus auf die Ausstattung aus. Die Fragen *Welche bestehenden Kapazitäten werden besser ausgelastet* sowie *Welche bestehenden Kapazitäten werden freigesetzt* stehen dabei im Vordergrund. Durch die objektbezogene Ortung lässt sich bspw. eine chaotische Lagerhaltung realisieren und somit Lagerfläche einsparen.

Neben prozessinternen Verbesserungen sind, wie in Abbildung 27 dargestellt, auch die Auswirkungen auf weitere Prozesse zu beachten. Hierbei ist zu überprü-

fen, ob vor- bzw. nachgelagerte Prozesse und Unternehmen ebenfalls von der Erfassung profitieren. Die Abläufe sind u. a. hinsichtlich der Frage *Welche nachgelagerten Prozesse im Unternehmen werden beeinflusst* zu untersuchen. Durch eine verbesserte Datenlage kann der Materialabruf gezielter erfolgen und so Pufferflächen und zugehörige Transporte eingespart werden. Eine Zusammenstellung der Schlüsselfragen ist in Tabelle 8 enthalten.

Tabelle 8: Schlüsselfragen zur Nutzenidentifikation der internen Effekte

	Bereich	Schlüsselfrage
Erfassungsvorgang	Materialfluss	Welche Objekte werden automatisiert identifiziert?
	Datenmanagement	Welche neuen Daten werden generiert?
	Datenmanagement	Welche Daten werden automatisiert bereitgestellt?
Auswirkungen im Prozessbaustein	Datenmanagement	Welche Vorgänge werden automatisiert dokumentiert bzw. geplant?
	Datenmanagement	Welche manuellen Korrekturvorgänge werden im Datenmanagement reduziert?
	Materialfluss	Welche manuellen Handlingsaufwände werden reduziert?
	Materialfluss	Welche Prüfprozesse werden automatisiert?
	Materialfluss	Welche manuellen Korrekturvorgänge werden im Materialfluss reduziert?
	Materialfluss	Welche Transportbewegungen werden reduziert?
	Ausstattung	Welche bestehenden Kapazitäten werden besser ausgelastet?
	Ausstattung	Welche bestehenden Kapazitäten werden freigesetzt?
Auswirkungen auf andere PBS bzw. weitere Unternehmen	Weitere PBS	Welche vorgelagerten Prozessbausteine im Unternehmen werden beeinflusst?
	Weitere PBS	Welche nachgelagerten Prozessbausteine im Unternehmen werden beeinflusst?
	Weitere Unternehmen	Welche Prozessbausteine in vorgelagerten Unternehmen werden beeinflusst?
	Weitere Unternehmen	Welche Prozessbausteine in nachgelagerten Unternehmen werden beeinflusst?

Zur vollständigen Erfassung aller möglichen Nutzenpotentiale sind, ausgehend vom definierten Event, alle Schlüsselfragen in der vorgegebenen Reihenfolge zu durchlaufen. In Abhängigkeit vom betrachteten Event können in einer Schlüsselfrage mehrere oder auch keine Potentiale identifiziert werden. Bei identifizierten Auswirkungen auf weitere PBS, sind das jeweilige Event in diesen PBS zu übertragen und erneut die Schlüsselfragen bzgl. der Auswirkungen im PBS und der Wirkung auf andere PBS zu durchlaufen. Einsparungen durch den Erfassungsvorgang können nur im Prozess der Eventgenerierung entstehen.

Um die Nutzenidentifikation weiter zu unterstützen, wurde ein Nutzenkatalog erstellt, der eine umfangreiche Sammlung potentieller Nutzen des RFID-Einsatzes beinhaltet. Diese Potentiale wurden in zahlreichen RFID-Projekten und in einer detaillierten Literaturrecherche für jeden PBS zusammengetragen und

kategorisiert. Die Kategorisierung unterscheidet zum einen ob es sich um Zeit- oder Ressourceneinsparungen handelt. Zum anderen werden die Potentiale hinsichtlich der verfolgten Zielstellung des RFID-Einsatzes unterschieden (s. Abschnitt 5.3). Auf unterster funktionaler Ebene können durch die reine Implementierung der RFID-Technik bereits erste Ressourceneinsparungen gehoben werden. Die Schwundreduktion von Ladungsträgern durch die stetige Erfassung kann hier angeführt werden (KOK ET AL. 2008). Neben der Materialüberwachung bietet RFID in der Basisausführung die Möglichkeit manuelle Prozesse zu automatisieren. Werden neben den Standardkomponenten Assistenzsysteme zur Verarbeitung der generierten Daten eingesetzt, lassen sich zudem Prozesse sicherer gestalten bzw. steuern. Auf der Sicherheitsstufe können bspw. Ein- und Auslagervorgänge überwacht werden. Eine automatisierte Nachbestellung und eine verbesserte Routenführung sind dagegen der Steuerungsstufe zuzurechnen. Tabelle 9 beinhaltet die Nutzensammlung für den PBS *Vereinnahmen*. Die Nutzenkataloge der weiteren PBS befinden sich im Anhang 11.6.

Tabelle 9: Nutzenkatalog für den PBS Vereinnahmen

Vereinnahmen			
Prozesseffizienz	Zeitreduktion	Automatisierung	Automatische Zuordnung von Produkten zu Lieferinformationen
			Entfall von Vereinnahmungsvorgängen durch Bulk-Reading
			Entfall manueller Scanvorgänge
			Automatische Aktualisierung der Bestandsdaten/Wareneingangsbuchung
			Automatischer Abgleich von Lieferdaten/Vollständigkeitsprüfung
			Automatische Erstellung von internen Auftragspapieren und -belegen
			Entfall der Erstellung von internen Auftragspapieren und -belegen
			Automatische Zuordnung der notwendigen Vereinnahmungsschritte und -informationen zum Artikel
			Automatische Rückmeldung an Lieferanten
	Sicherheit	Reduktion von Fehlern bei der Wareneingangsbuchung/Vollständigkeitsbuchung	
		Reduzierung von Fehlern bei der innerbetrieblichen Materialverteilung	
		Fehlervermeidung durch Speicherung des Teilestatus (n. i. O./i. O., Verschrottung usw.)	
	Steuerung	Automatische Prozesssteuerung durch direkte Zuordnung von Objekt und Transportauftrag (Reduzierung Handlungsaufwand)	
		Reduktion Aufwand für Sonderaktionen	
		Automatische Nachbestellung/Reklamation bei falschen/unvollständigen Lieferungen	
	Ressourcenreduktion	Technik	Freisetzen bestehendes Equipment
			Entfall der Erstellung von internen Auftragspapieren und -belegen
		Sicherheit	Reduktion von Fehlern bei der innerbetrieblichen Materialverteilung
Fehlervermeidung durch Speicherung des Teilestatus (n. i. O./i. O., Verschrottung usw.)			
Automatische Prozesssteuerung durch direkte Zuordnung von Objekt und Transportauftrag (Reduzierung Handlungsaufwand)			
Steuerung		Reduktion Aufwand für Sonderaktionen	
		Bessere Ausnutzung der Flächenkapazitäten (Zwischenlagerung)	

Die Nutzenkataloge unterstützen die Nutzenidentifikation. Beim Durchlauf der

einzelnen Schlüsselfragen können für jeden PBS die entsprechenden Kataloge herangezogen werden, um beispielhafte Antworten auf die Fragen zu erhalten.

Kriterien-basierte Nutzenfilterung

Da das Eintreten der Nutzenpotentiale abhängig vom Anwendungsfall ist (RHENSIUS & DEINDL 2009, GÜNTNER ET AL. 2010), werden im Folgenden Kriterien erarbeitet, die eine Identifikation relevanter Nutzen ermöglichen. Eine zentrale Rolle spielen die verwendeten RFID-Komponenten, die sich in ihren Funktionalitäten unterscheiden und somit ein erstes Kriterium darstellen (FINKENZELLER 2006). Detaillierter betrachtet ist im Rahmen der technischen Kriterien zwischen den EK, also der Technik zur Datengenerierung, und den Softwaresystemen, die der Datenverarbeitung dienen, zu unterscheiden. Die EK lassen sich anhand von Funktionalitäten einteilen (s. Abschnitt 2.2.3). Das Bulk-Reading bietet bspw. größere Potentiale als das Single-Reading. Des Weiteren können die generierten Events um zusätzliche Informationen, wie exakte Positionsdaten des Objekts, erweitert werden. Um die generierten Events, wie in den Schlüsselfragen formuliert, im Rahmen des Datenmanagements entsprechend weiter zu verarbeiten, sind zusätzliche Assistenzsysteme zu implementieren (TOTH 2011). Je nach Erfassungsziel sind entsprechende Systeme einzusetzen, die verschiedene Stufen der Prozessunterstützung ermöglichen. Wie im Rahmen des Nutzenkatalogs bereits erläutert, werden die Ebenen Technik, Automatisierung, Sicherheit und Steuerung unterschieden. Da die beiden erstgenannten Bereiche ohne zusätzliche Systeme realisierbar sind, werden sie im Rahmen der Kriterien in einer Stufe zusammengefasst. Neben den technischen Kriterien kommen primär in unternehmensübergreifenden Anwendungen organisatorische Kriterien zum Tragen. Der Eintritt von Nutzenpotentialen ist vom gewählten Erfassungsobjekt und der Erfassungsreichweite abhängig. Die Auswahl des Objekts legt einerseits die Granularität der Abbildung des Materialflusses im IT-System fest. Andererseits können die Objekte unterschiedlich tief in den Materialfluss und somit in die Prozesse integriert werden. Wie in Abschnitt 2.2.3 dargelegt, wird zwischen den drei Ebenen Transportmittel, Ladungsträger und Produkt unterschieden. Transportmittel ermöglichen ausschließlich die Unterstützung logistischer Abläufe. Hingegen generiert das Produkt auch Potentiale in Produktionsabläufen. Beispielhaft sei hier die Speicherung von Qualitätsdaten direkt am Objekt anzuführen (STRASSNER 2005, REINHART ET AL. 2012). In engem Zusammenhang mit der Objektwahl steht die Erfassungsreichweite. Es ist zu unterscheiden, ob das Objekt zwischen mehreren Unternehmen (Closed-loop kollaborativ) bzw. unternehmensintern zirkuliert (Closed-loop lokal) oder zum

Endkunden gelangt (Open-loop). Die Integration des Endkunden bietet die Möglichkeit After-Sales Prozesse zu unterstützen. (RHENSIUS 2008)

Abbildung 28 enthält eine Zusammenstellung der technischen und organisatorischen Kriterien. Diese sind bei der Spezifizierung des RFID-Systems (s. Abschnitt 6.3.2) für jeden EP zu definieren. Bei der EK kann für jeden EP nur eine Ausprägung gewählt werden. Ähnlich verhält es sich mit dem Erfassungsziel. Da die Funktionalitäten jedoch aufeinander aufbauen, enthält die höhere Stufe die Potentiale der darunter liegenden Ebenen. Beim Erfassungsobjekt ist die gleichzeitige Auswahl mehrerer Ausprägungen möglich, da ein EP verschiedene Objekte erfassen kann. Beim letzten Kriterium, der Erfassungsreichweite, kann zwischen einem Closed- und Open-loop-Einsatz gewählt werden. Der Closed-loop-Einsatz unterteilt sich zudem in eine lokale bzw. kollaborative Umsetzung.

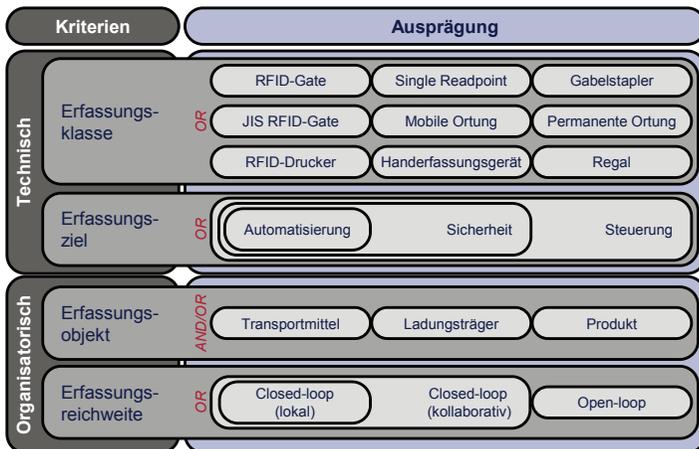


Abbildung 28: Filterkriterien der relevanten Nutzenpotentiale interner Effekte

Die Kriterien unterstützen die Filterung relevanter Nutzen, für den vorliegenden Anwendungsfall, aus dem Portfolio theoretischer Nutzenpotentiale.

Modellierung der Nutzenpotentiale der internen Effekte

Zur strukturierten Erfassung der identifizierten Potentiale und zur Dokumentation für weitere Analysen, wird nun eine Modellierungsvorschrift erläutert. Basis dieser Vorschrift stellen die Events, die Schlüsselfragen und die Kriterien dar.

Zur Kennzeichnung der Potentiale sind diese eindeutig zu bezeichnen. Hierzu empfiehlt sich eine kurze Beschreibung aus der direkt der Nutzen, wie bspw.

Entfall manueller Scanvorgänge, abgeleitet werden kann. Zudem sind die Beziehungen zwischen den Nutzen zu beachten. Neben rein begünstigenden Wirkungen können zudem Und- bzw. Oder-Beziehungen zwischen den Nutzenpotentialen bestehen. Bei der Bewertung ist darauf zu achten, dass sich die Beziehungen nur auf das Eintreten, jedoch nicht auf die monetäre Ausprägung auswirken. Zur Kennzeichnung der Beziehungen sind die Nutzen ausgehend von den Events zu nummerieren. Wie in Abbildung 29 dargestellt, wird neben der eigenen Nummer auch die Nummer des in Beziehung stehenden Potentials und die Art der Verbindung (and bzw. or) angegeben. Liegt eine reine Begünstigung vor sind die Felder offen zu lassen. Bei mehreren Und-Beziehungen ist es, zur Steigerung der Übersichtlichkeit und Rückverfolgbarkeit in der Bewertung, erforderlich den zeitlichen Verlauf zu kennzeichnen. Eine erkannte Fehlmenge bei der Vollständigkeitskontrolle würde eine automatisierte Nachbestellung, eine Kennzeichnung der Lieferung und das Ausschleusen derselben bedingen. Alle drei Potentiale würden eine Und-Beziehung aufweisen, wobei die Kennzeichnung vor dem Ausschleusen erfolgt. Neben der Bezeichnung des Potentials und der Kennzeichnung der Beziehungen sind zudem die Kriterien dem Nutzen zuzuweisen. Bei allen identifizierten Potentialen sind die jeweiligen Voraussetzungen zu dokumentieren, die das Eintreten des betrachteten Nutzenpotentials im vorliegenden Fall bedingt. Dies erleichtert neben der Auswahl des realen Nutzens für die Bewertung des implementierten Systems auch die Filterung der Potentiale bei der Gegenüberstellung alternativer RFID-Systeme. Entstehen Potentiale durch das Event auch in weiteren unternehmensinternen oder -übergreifenden PBS, ist die Bezeichnung des PBS sowie des jeweiligen Unternehmens entsprechend zu dokumentieren. Die beschriebenen Inhalte werden in Abbildung 29 dargestellt. Das Modellierungselement stellt die Beziehungen zwischen den Potentialen dar, wohingegen im Kriterienelement die Einordnung in die Kriterien erfolgt. Beispielfähig ist die Modellierung an einem prozessinternen und -übergreifenden Nutzen dargestellt. Bei der Angabe der entsprechenden Informationen im Bereich der Kriterien ist darauf zu achten, nur die jeweiligen Bezeichnungen in der Modellierung anzugeben, die Voraussetzung für das Eintreten des Nutzenpotentials sind. Bei den EK sind bspw. nur diejenigen anzugeben die das Nutzenpotential erzeugen können. Handelt es sich um einen Nutzen aus der Kategorie Sicherheit oder Steuerung ist dieser unabhängig von der EK, da er durch die Assistenzsysteme erzeugt wird. Es kann somit im entsprechenden Feld *Alle EK* angegeben werden.

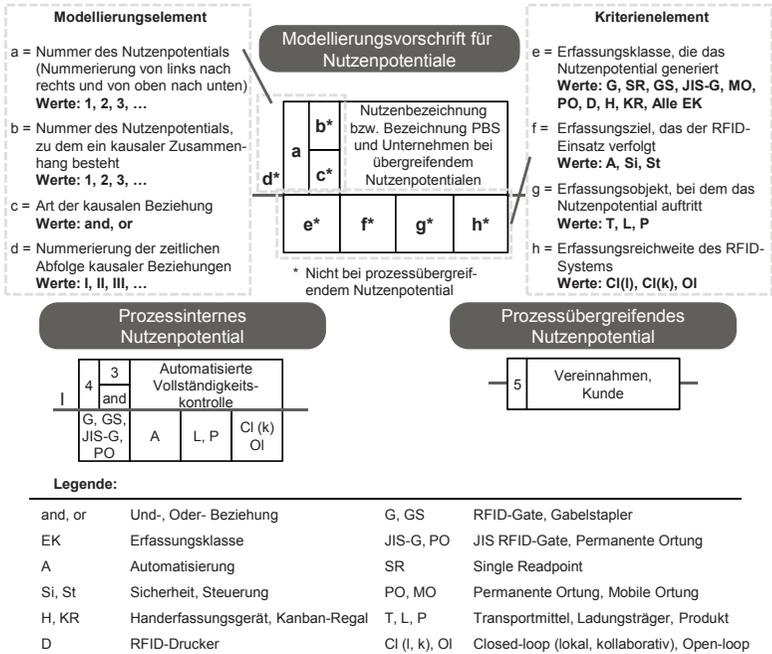


Abbildung 29: Modellierungs- und Kriterienelement im Rahmen der Modellierungsvorschrift der Nutzen

Zusätzlich zu den genannten Informationen sind den Nutzenpotentialen Angaben zur Bewertung hinzuzufügen. Dies ist einerseits die Angabe, ob es sich um Zeit- oder Ressourceneinsparungen handelt. Andererseits ist die Ebene der Nutzengenerierung zuzuweisen. Hierbei stehen wiederum die Ebenen Technik, Automatisierung, Sicherheit und Steuerung zur Auswahl. Für Fehlerfolgenutzen sind zudem die Auftretens- und Entdeckungswahrscheinlichkeit erforderlich. Die Entdeckungswahrscheinlichkeit β gibt Auskunft über die bisherige Wahrscheinlichkeit der Fehlerentdeckung in einem PBS. Die Auftretenswahrscheinlichkeit α ist die Wahrscheinlichkeit mit der bislang ein Fehler in einem Prozess auftrat. Wird durch den RFID-Einsatz ein bislang auftretender Fehler verhindert, sind alle nachfolgenden PBS hinsichtlich der Abläufe zu untersuchen, die vor RFID-Implementierung fehlerhafterweise durchgeführt wurden. Die Angaben zur Bewertung des Nutzens werden im Verrechnungselement hinterlegt. Abbildung 30 stellt die vollständige Modellierungsvorschrift dar.

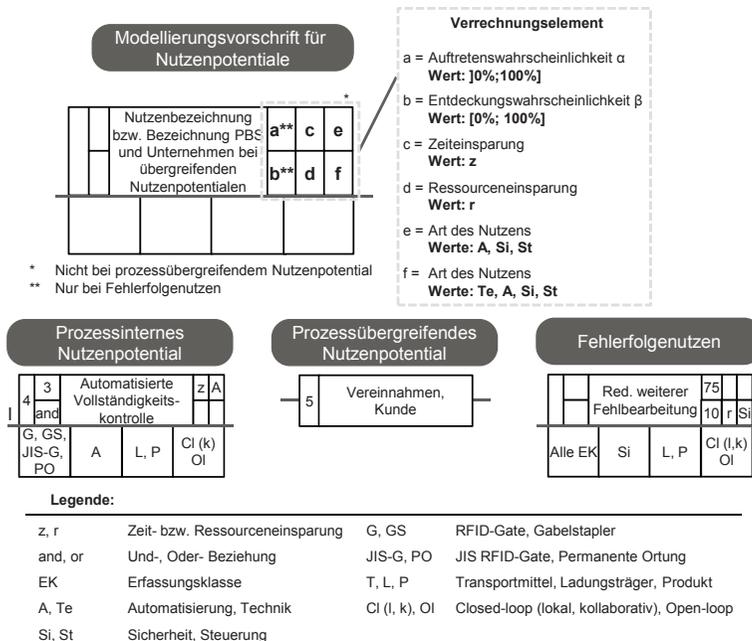
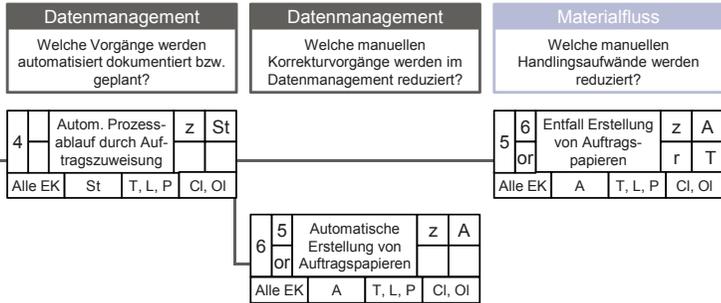


Abbildung 30: Vollständige Modellierungsvorschrift der Nutzen bestehend aus Modellierungs-, Kriterien- und Verrechnungselement

Zur strukturierten Analyse der PBS dienen die Schlüsselfragen und die Modellierungsvorschrift. Die Schlüsselfragen sind in vorgegebener Reihenfolge zu durchlaufen. Zur Beantwortung der Fragen kann der Nutzenkatalog herangezogen werden. Um die identifizierten Nutzenpotentiale mit allen relevanten Informationen zu dokumentieren, sind parallel zur Nutzenidentifikation die entstehenden Ketten unmittelbar mit der Modellierungsvorschrift abzubilden. Hierzu ist zunächst das Potential entsprechend zu bezeichnen und zu nummerieren. Anschließend sind vorhandene Beziehungen im Modellierungselement abzubilden. Zudem sind die entsprechenden Angaben im Kriterien- und Verrechnungselement zu hinterlegen. Bei der Modellierung der prozessübergreifenden Potentiale wird analog zum Vorgehen zur Aufwandsidentifikation bei der Fehlerbehebung verfahren, indem das Event in den jeweiligen PBS übertragen und anschließend der entsprechende prozessinterne Nutzen in dem PBS erfasst wird. Abbildung 31 stellt einen beispielhaften Auszug aus einer prozessinternen Nutzenkette dar. Dieser Kette liegt ein Erfassungsvorgang im PBS *Vereinnahmen* zu Grunde. Die

Modellierung dient neben der Quantifizierung eines Systems auch zum Vergleich alternativer Konzepte. Basierend auf den Modellen sind verschiedene Konfigurationen hinsichtlich realisierbarer Potentiale vergleichbar.



Legende:

4, 5, 6	Nummerierung der Nutzenpotentiale	z, r	Zeit- bzw. Ressourceneinsparung
or	Oder-Beziehung	T, A, St	Technik, Automatisierung, Steuerung
EK	Erfassungsklasse	T, L, P	Transportmittel, Ladungsträger, Produkt
Ci, Oi	Closed-loop (lokal, kollaborativ), Open-loop		

Abbildung 31: Ausschnitt einer Nutzenkette im PBS Vereinnahmen

Basierend auf der durchgeführten Modellierung können abschließend die relevanten Nutzenpotentiale mittels der Kriterien herausgefiltert werden. Hierzu ist jedes Nutzenpotential dem implementierten RFID-System gegenüberzustellen. Das in Abbildung 32 dargestellte Beispiel zeigt anhand des Erfassungsziels, dass aufgrund fehlender Assistenzsysteme in einem EP eine automatische Nachbestellung fehlender Produkte nicht erfolgen kann. Es ist lediglich eine Automatisierung des Erfassungsvorgangs möglich.

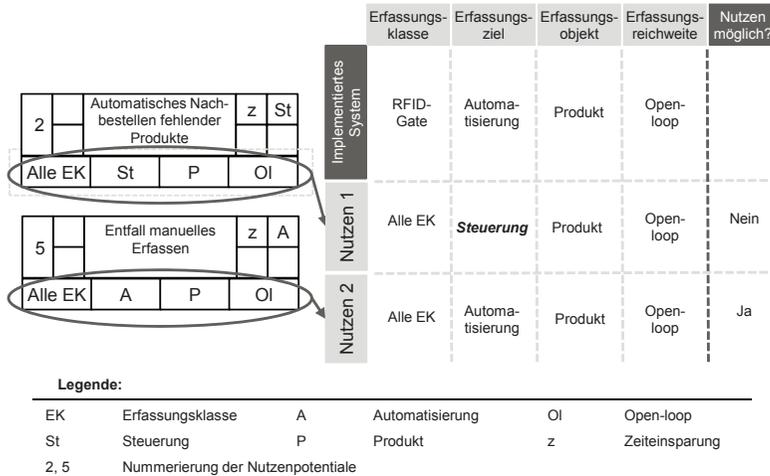


Abbildung 32: Beispiel für eine Kriterien-basierte Filterung relevanter Nutzen

Als Ergebnis liefert dieser Teilschritt eine strukturierte Abbildung aller Nutzen, ausgehend vom Erfassungsvorgang über die PBS hinweg. Die Kriterien ermöglichen die anwendungsfall-spezifische Auswahl der Potentiale für die Bewertung.

6.5 Fazit

Das dreistufige Vorgehen der Analysephase liefert als Ergebnis eine detaillierte Aufbereitung des betrachteten RFID-Systems. Zunächst wurde das Bewertungsziel definiert. Anschließend wurden die durch den RFID-Einsatz beeinflussten Prozesse mittels standardisierter PBS erfasst und abgebildet. Darauf aufbauend wurden die Stellen im Materialfluss fixiert, an denen ein Erfassungsvorgang durchgeführt werden soll. Dies bzgl. wurde ein Vorgehen erläutert, das eine Spezifizierung des erforderlichen RFID-System ermöglicht und alle Aufwände berücksichtigt, die mit der Implementierung und dem Betrieb verbunden sind. Den letzten Schritt der Analysephase bildete die Nutzenidentifikation. Mittels Schlüsselfragen und einer Modellierungsvorschrift wurden ausgehend vom Erfassungsvorgang alle Nutzen des RFID-Einsatzes unternehmensintern und -übergreifend ermittelt. Im Rahmen der Kriterien-basierten Nutzenfilterung fand abschließend eine Gegenüberstellung des implementierten RFID-Systems mit den modellierten Nutzenketten statt, um die bewertungsrelevanten Potentiale herauszufiltern.

7 Detaillierte Beschreibung der Bewertungsphase

7.1 Allgemeines

Die folgenden Abschnitte beschreiben die einzelnen Schritte der Bewertungsphase. Ziel dieser Phase ist die Quantifizierung aller Einflussfaktoren und die Ermittlung der Zielgrößen. Des Weiteren wird die Bewertung hinsichtlich verschiedener Blickwinkel analysiert. In Abschnitt 7.2 werden zunächst die quantitativen Einflussfaktoren unter Berücksichtigung einer qualitativen Beeinflussung monetär bewertet. Anschließend werden in Abschnitt 7.3 die Zielgrößen ermittelt, bevor in Abschnitt 7.4 verschiedene Analyseverfahren erläutert werden.

7.2 Quantifizierung der Einflussfaktoren

7.2.1 Allgemeines

Den ersten Schritt der Bewertungsphase bildet die Quantifizierung der Einflussfaktoren. Hierbei werden die identifizierten Nutzenpotentiale monetär bewertet (s. Abschnitt 7.2.2), bevor eine Quantifizierung der Aufwände in Abschnitt 7.2.3 erfolgt. Die Quantifizierung der Faktoren beruht auf einer Differenzbetrachtung, indem nur eine Bewertung der sich ändernden Abläufe durchgeführt wird. Abschließend wird ein Verfahren erläutert, das die Berücksichtigung der qualitativen Einflüsse in der Bewertung ermöglicht (s. Abschnitt 7.2.4).

7.2.2 Quantifizierung der Nutzenpotentiale

Generell bewirkt RFID externe und interne Effekte (s. Abbildung 33). Interne ergeben sich im Materialfluss bzw. in materialflussnahen Bereichen durch den Entfall bzw. die Veränderung von PBS und reduzieren somit den Zeit- und Ressourceneinsatz. Beim Prozessentfall sind alle bislang angefallenen Aufwände als Einsparungen zu verbuchen. Die Bewertung sich verändernder PBS basiert auf dem in Abschnitt 6.4.3 identifizierten Nutzen. Diese lassen sich hinsichtlich des Veränderungsgrads des Ablaufs unterscheiden. Vollständig entfallende Tätigkeiten sind wiederum mit den bisher angefallenen Aufwänden als Einsparung zu verbuchen. Beim teilweisen Entfall ist dagegen eine Differenzbetrachtung zwischen den bislang benötigten Kapazitäten und dem Kapazitätsaufwand nach der

RFID-Implementierung durchzuführen. Externe Effekte dagegen basieren auf einer Reduzierung von Strafzahlungen und eines Umsatzenstiegs.

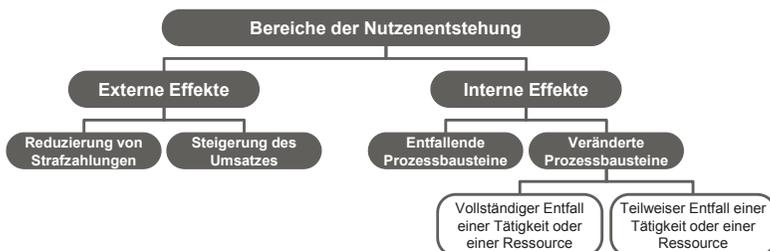


Abbildung 33: Arten von Nutzenpotentialen

Die folgenden Abschnitte erläutern zunächst ein Vorgehen zur Quantifizierung der externen Effekte, bevor anschließend die Bewertung der internen Effekte näher betrachtet wird. Da nicht eindeutig ersichtlich ist, inwiefern sich die Effekte monetär ausprägen, gestaltet es sich schwierig die relevanten Werte zu ermitteln, die zu einer Aussage bzgl. der Einsparungshöhe erforderlich sind. Liegen einzelne Werte dennoch vor, fehlen häufig Kenntnisse über bestehende Zusammenhänge und mathematische Beschreibungen dieser. (GILBERG 2009)

Um diesen Problematiken zu begegnen, werden standardisierte Formeln entwickelt, die durch verschiedene Basen gleichwertige Quantifizierungen der Potentiale ermöglichen. Diese alternativen Wege zeigen fehlende Werte und mathematische Zusammenhänge auf. Der Begriff Basis ist dabei folgendermaßen definiert:

Eine Basis stellt einen charakteristischen Parameter zur Beschreibung der Ausprägung eines Einflussfaktors dar. Dieser Parameter dient als Grundlage zur monetären Bewertung des Einflussfaktors, indem er das Fundament einer Bewertungsformel bildet.

Da einzelne Werte der Bewertungsformeln oftmals Schwankungen unterliegen oder von Experten geschätzt werden, wird abschließend ein Verfahren zur Integration der entstehenden Unsicherheiten aufgezeigt.

Quantifizierung der externen Effekte

Die Quantifizierung der externen Effekte beruht auf einer Gegenüberstellung der Umsätze und Strafzahlungen vor und nach der RFID-Implementierung. Dabei kann eine Zunahme bzw. Reduktion der Nutzensausprägung eintreten. Die Zunahme wird über eine *Zunahmequote* δ in die Berechnung integriert und gibt die

prozentuale Steigerung der Ausprägung an. Die *Reduktionsquote* λ dagegen beschreibt die Abnahme der Ausprägung (s. Formeln 3 und 4).

$$\delta = \frac{S_{\text{RFID}} - S_0}{S_0} \cdot 100\% \quad (3) \quad \lambda = \frac{S_0 - S_{\text{RFID}}}{S_0} \cdot 100\% \quad (4)$$

δ	Zunahmequote des Einflussfaktors
λ	Reduktionsquote des Einflussfaktors
S_0	Ausgangssituation ohne RFID des Einflussfaktors (Zeit, Ressourcen)
S_{RFID}	Soll-Situation mit RFID des Einflussfaktors (Zeit, Ressourcen)

Die Quoten können direkt als Prozentwerte angegeben oder durch die Verrechnung der Ist- und Soll-Ausprägung für jeden Nutzen ermittelt werden. Die Angabe der Quote kann durch die Einschätzung von Experten bzw. Prozessbeteiligten erfolgen, da eine direkte Bezifferung der Ausprägung des Soll-Zustands S_{RFID} häufig nicht möglich ist. Zudem dienen zur Ermittlung der Werte die in Abschnitt 5.4 beschriebenen Verfahren zur Informationsbeschaffung.

Die Bewertung einer Umsatzsteigerung kann auf Basis des bestehenden *Umsatzes* und der *Zunahmequote* erfolgen (s. Formel 5). Da eine direkte Aussage über die Umsatzentwicklung schwierig ist, empfiehlt sich eine detailliertere Betrachtung der Umsatzbildung. Der Umsatz berechnet sich aus der Anzahl verkaufter Produkte und der erzielten Erlöse (WESTKÄMPER 2006). Da RFID nur die Absatzmenge durch eine Durchlaufzeitreduzierung verändert, basieren die weiteren Basen auf diesem Sachverhalt. Die Umsatzsteigerung lässt sich somit auf Basis der *Kundenaufträge* und der verkauften *Einheiten* ermitteln (s. Formeln 7 und 9).

Basis: **Umsatz** $E_{\text{USZU}} = \text{US}_0 \cdot \delta_{\text{US}}$ (5)

mit $\delta_{\text{US}} = \frac{\text{US}_{\text{RFID}} - \text{US}_0}{\text{US}_0} \cdot 100\%$ (6)

Basis: **Kundenaufträge** $E_{\text{USZU}} = N_{\text{KA0}} \cdot \delta_{\text{KA}} \cdot \text{US}_{\text{KA}}$ (7)

mit $\delta_{\text{KA}} = \frac{N_{\text{KARFID}} - N_{\text{KA0}}}{N_{\text{KA0}}} \cdot 100\%$ (8)

Basis: **Einheiten** $E_{\text{USZU}} = N_{\text{EI0}} \cdot \delta_{\text{EI}} \cdot \text{US}_{\text{EI}}$ (9)

mit $\delta_{\text{EI}} = \frac{N_{\text{EIRFID}} - N_{\text{EI0}}}{N_{\text{EI0}}} \cdot 100\%$ (10)

E_{USZU}	Umsatzzunahmen durch den RFID-Einsatz
$\text{US}_{0, \text{RFID}}$	Umsatz im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand
$\text{US}_{\text{KA}, \text{EI}}$	Durchschnittlicher Umsatz pro Kundenauftrag bzw. Einheit

$N_{KA0, KARFID}$	Anzahl Kundenaufträge im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand
$N_{EI0, EIRFID}$	Anzahl verkaufter Einheiten im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand
$\delta_{US, KA, EI}$	Zunahmequote des Umsatzes, der Kundenaufträge, der verkauften Einheiten

Einsparungen durch die Reduktion von Strafzahlungen resultieren u. a. aus den verminderten Fehllieferungen. Die Bewertung kann auf Basis der Anzahl falscher *Lieferungen* bzw. auf Basis der Anzahl falschgelieferter *Einheiten* erfolgen. Die Formeln 11 und 13 greifen auf die *Reduktionsquote* λ zurück.

Basis: **Lieferungen** $E_{SZFLRED} = N_{L0} \cdot \lambda_L \cdot A_L$ (11)

mit $\lambda_L = \frac{N_{L0} - N_{LRFID}}{N_{L0}} \cdot 100\%$ (12)

Basis: **Einheiten** $E_{SZFLRED} = N_{EI0} \cdot \lambda_{EI} \cdot A_{EI}$ (13)

mit $\lambda_{EI} = \frac{N_{EI0} - N_{EIRFID}}{N_{EI0}} \cdot 100\%$ (14)

$E_{SZFLRED}$	Reduktion Strafzahlung für falsche Lieferungen
$N_{L0, LRFID}$	Anzahl falscher Lieferungen im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand
$N_{EI0, EIRFID}$	Anzahl falscher Einheiten im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand
$A_{L, EI}$	Aufwand pro falscher Lieferung bzw. Einheit
$\lambda_{L, EI}$	Reduktionsquote falscher Lieferungen bzw. falsch gelieferter Einheiten

Wie in Abbildung 25 (s. Abschnitt 6.4.3) dargestellt, ergeben sich weitere Einsparungen durch die Reduktion von Regressforderungen und der Aufwandsreduzierung für Rückrufe. Die hierfür erforderlichen Formeln befinden sich im Anhang 11.7. Eine Sammlung der Basen für die externen Effekte enthält Tabelle 10.

Tabelle 10: Basen zur Bewertung quantitativer Nutzen der externen Effekte

Basen	Einsatzbereich
Umsatz	Steigerung des Umsatzes
Kundenaufträge	
Einheiten	
Einheiten	Reduktion von Strafzahlungen
Lieferungen ^{nur bei 1}	
Regressforderungen ^{nur bei 2}	
Rückrufaktionen ^{nur bei 3}	

Zur Quantifizierung der externen Effekte stehen nun alternative Bewertungsmöglichkeiten zur Verfügung. Abhängig davon, ob es sich um eine Umsatzsteigerung

oder eine Reduktion von Strafzahlungen handelt, sind die verschiedenen Basen zur Bewertung heranzuziehen. Hinter jeder Basis liegen detaillierte Formeln die darüber informieren, welche Daten zur Quantifizierung benötigt werden. Basierend auf den vorliegenden Daten kann der Anwender die entsprechende Basis auswählen und die Quantifizierung des externen Effekts durchführen.

Quantifizierung der internen Effekte

Größtes Potential von RFID stellt die Effizienzsteigerung von Abläufen in direkten und indirekten Bereichen dar (REINHART ET AL. 2012). Beispielhaft können die Automatisierung manueller Tätigkeiten und die optimale Materialflusssteuerung genannt werden (VDA 5510). Dies bewirkt Kapazitätseinsparungen bei Mitarbeiterzeiten und Ressourcen. Das Eintreten der Nutzen hängt aber von der Art des RFID-Einsatzes ab. Wie bereits in Abschnitt 6.4.3 erläutert, werden die Ebenen Technik, Automatisierung, Sicherheit und Steuerung unterschieden. Nutzenpotentiale in den Ebenen Automatisierung und Steuerung beeinflussen jeweils die für die Durchführung eines Prozesses benötigten Kapazitäten und können somit im Rahmen der standardisierten Bewertungsformeln zusammen betrachtet werden. Analog verhält es sich mit den Potentialen im Bereich der Technik, die somit ebenfalls auf die gleichen Formeln zurückgreifen können. Zu beachten ist das Potentiale auf Ebene der Technik sich nur auf den Ressourceneinsatz auswirken und nicht auf die Mitarbeiterzeiten. Potentiale der Sicherheitsebene wirken sich auf die Prozessqualität und die damit verbundenen Fehler und Korrekturen aus. Der Bereich der Prozesssicherheit ist daher getrennt zu betrachten.

Grundlage der Bewertungsformeln stellen analog zu den externen Effekten alternative Basen und die *Reduktionsquote* λ dar. Da der Nutzen nur Einsparungen und somit eine Kostensenkung darstellt, ist die *Zunahmequote* δ nicht erforderlich. Im Wertschöpfungsprozess werden den Mitarbeitern die benötigten Ressourcen (Material, Hilfsmittel, Maschinen) und Bearbeitungszeiten bereitgestellt. Da durch RFID Prozesse schneller und ressourcensparender durchlaufen werden, entstehen Einsparungen in den vorhandenen Kontingenten. Im Zuge der Differenzbetrachtung ergeben sich somit die Bewertungsbasen des *Zeit- und Ressourcenkontingents*. Den Start der Wertschöpfung bildet der Kundenauftrag (THOMMEN & ACHLEITNER 2009). Die Aufträge durchlaufen daraufhin die einzelnen Prozesse. Da diese effizienter abgearbeitet werden, sind bei jedem Durchlauf Einsparungen zu erzielen. Die Gesamteinsparungen berechnen sich somit aus der Anzahl der Aufträge und der jeweiligen Einsparungen im Prozess. Die Anzahl der *Aufträge* stellt folglich eine Basis dar. Im PBS *Vereinnahmen* könnte

bspw. jeder Lieferung ein Auftrag hinterlegt sein. Neben externen Kundenaufträgen stellen auch interne Bestellungen zwischen Prozessen Aufträge dar. Die Auftragsausführung impliziert in der Regel mehrere Arbeitsvorgänge. Ein Vereinbarungsauftrag lässt sich bspw. in Lose bzw. Teilaufträge gliedern, die einen mehrmaligen Durchlauf einer Tätigkeit, wie eines Erfassungsvorgangs, bedeuten. Da wiederum jeder Vorgang Einsparungen erzeugt, dient die Anzahl der *Arbeitsvorgänge* als Basis. Die variierende Objektanzahl die einen Vorgang durchläuft, kann zudem die Einsparung beeinflussen. Daher bildet auch die Anzahl der *Einheiten* eine Basis. In engem Zusammenhang hierzu steht die Schwundquote. Bei Ladungsträgern ist bspw. mit einem Schwund von 5-8% jährlich zu rechnen (STRASSNER 2005). Hierdurch entstehen materielle Verluste sowie Zeitaufwände zur Nachbeschaffung und Verhinderung bzw. Korrektur möglicher Prozessstörungen durch Materialmangel. Zur Bewertung der anfallenden Zeit- und Ressourceneinsparungen dienen die *Schwundereignisse* als Basis. Neben der Schwundreduktion und der Effizienzsteigerung trägt RFID zur Fehlerverhinderung bei (RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009). Um Einsparungen auf der Ebene der Sicherheit zu bewerten, ist die Fehleranzahl zu betrachten, die der RFID-Einsatz verhindert. Exemplarisch lassen sich Fehlbuchungen, -verteilungen und -bearbeitungen abstellen und der damit verbundene Zeit- und Ressourcenaufwand einsparen. Da häufig Fehler korrigiert werden, stellen neben der Anzahl der *Fehler* auch die Anzahl der *Korrekturaufträge* bzw. *-vorgänge* Basen dar. Für die Bewertung sind diejenigen Korrekturen relevant, die zukünftig entfallen. Analog zu den Arbeitsvorgängen kann auch die Anzahl der fehlerhaften Einheiten variieren. Somit kann die Bewertung auch auf Basis der eingesparten *Fehleinheiten* erfolgen. Im Rahmen der Wertschöpfung findet ein stetiger Objekttransport zwischen den Prozessen statt. Durch die Datenbereitstellung in Echtzeit lässt sich eine bedarfs- und routenoptimierte Transportsteuerung realisieren und infolgedessen Wegstrecken verkürzen (GILLE 2010). Die *Wegstrecke* stellt somit eine weitere Basis dar. Alle definierten Basen sind in Tabelle 11 aufgelistet. Die Basen werden dabei bzgl. ihrer Eignung zur Bewertung von Zeit- und Ressourceneinsparungen sowie der Ebenen Technik, Automatisierung, Sicherheit und Steuerung eingeordnet.

Tabelle 11: Basen zur Bewertung quantitativer Nutzen der internen Effekte

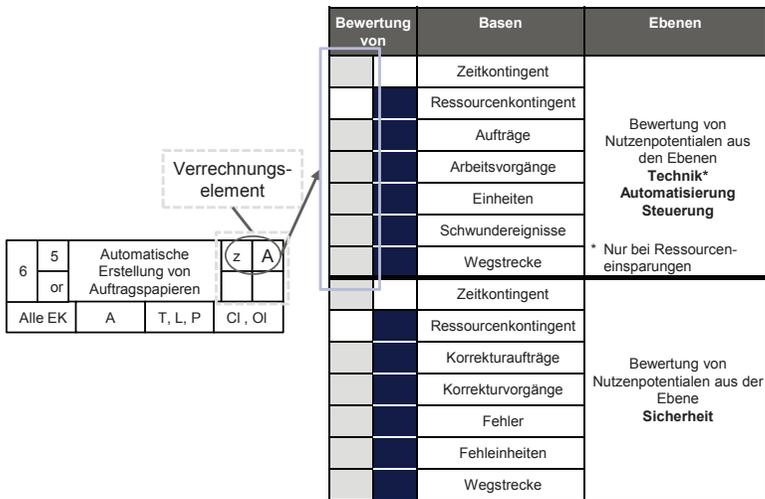
Bewertung von		Basen	Ebenen
		Zeitkontingent	Bewertung von Nutzenpotentialen aus den Ebenen Technik* Automatisierung Steuerung
		Ressourcenkontingent	
		Aufträge	
		Arbeitsvorgänge	
		Einheiten	
		Schwundereignisse	
		Wegstrecke	
		Zeitkontingent	Bewertung von Nutzenpotentialen aus der Ebene Sicherheit
		Ressourcenkontingent	
		Korrekturaufträge	
		Korrekturvorgänge	
		Fehler	
		Fehleinheiten	
		Wegstrecke	

Legende:

 Zeiteinsparung

 Ressourceneinsparung

Analog zu den externen Effekten stehen zur Quantifizierung der Nutzenpotentialer der internen Effekte alternative Basen zur Verfügung. Da es eine Vielzahl möglicher Basen gibt, findet bereits bei der Modellierung, im Rahmen der Identifikation der Potentiale, eine Zuordnung der Basen zu den Nutzenpotentialen statt. Das Verrechnungselement verweist auf die jeweilige Ebene, der die entsprechenden Basen untergeordnet sind (s. Abbildung 34). Die Angabe z im Verrechnungselement des Nutzenpotentialer einer automatischen Erstellung von Auftragspapieren gibt an, dass es sich um eine Zeiteinsparung handelt. Das A hingegen gibt Auskunft darüber, dass es sich bei der automatischen Erstellung um einen Nutzen der Ebene Automatisierung handelt. Diese Einteilung in der Modellierungsvorschrift ermöglicht eine Vorauswahl relevanter Basen. Da jedoch nicht jedes Potential aus der betrachteten Kategorie mit allen Basen bewertet werden kann, ist eine anschließende manuelle Selektion erforderlich. Um die Komplexität des Vorgehens jedoch zu reduzieren, sind im Einzelfall die entsprechenden Basen zu vernachlässigen. Für das in Abbildung 34 dargestellte Potential eignet sich bspw. die Basis *Schwundereignisse* nicht zur Bewertung, da diese Basis kein charakteristischer Parameter der Ausprägung des Nutzens ist.



Legende:

z	Zeitreduktion	5, 6	Nummerierung der Nutzenpotentiale
A	Automatisierung	T, L, P	Transportmittel, Ladungsträger, Produkt
EK	Erfassungsklasse	Cl, Ol	Closed-loop (lokal, kollaborativ), Open-loop
or	Oder-Beziehung		Ressourceneinsparung
	Zeiteinsparung		

Abbildung 34: Identifizierung potentieller Basen aus der Modellierung

Der in der Abbildung 34 dargestellte Nutzen kann bspw. über die Basis *Arbeitsvorgänge* bewertet werden (s. Formel 15). Die Einsparungen sind in der Bewertung dem ausführendem Mitarbeiter und der betroffenen Ressource zuzuweisen.

Basis: **Arbeitsvorgänge** $E = N_{AV} \cdot Z_0 \cdot \lambda_{AV} \cdot K_P$ (15)

mit $\lambda_{AV} = \frac{Z_0 - Z_{RFID}}{Z_0} \cdot 100\%$ (16)

- E Einsparung durch das Nutzenpotential
- N_{AV} Anzahl zu bearbeitender Aufträge
- $Z_{0,RFID}$ Zeitanspruchnahme ohne bzw. mit RFID
- λ_{AV} Reduktionsquote für die Zeit
- K_P Stundenlohn des Mitarbeiters

Z_{RFID} beschreibt den Zeitanteil der zur Ausführung der Tätigkeit nach der RFID-Implementierung erforderlich ist. Würde die Tätigkeit entfallen, d. h. $Z_{RFID} = 0$,

würde die Zeiteinsparungsquote einen Wert von 100% annehmen. Für die Bewertung des Nutzenpotentials können gleichwertig auch die weiteren Basen der Ebene Automatisierung herangezogen werden. Die dazugehörigen Formeln der Basen sind im Anhang 11.7 zu finden.

Um die relevanten Basen zur Quantifizierung zu erhalten, sind aus dem Verrechnungselement der modellierten Potentiale die entsprechenden Informationen zu entnehmen. Da die Basen alternative Verrechnungswege darstellen, besteht die Möglichkeit, in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Daten, die jeweiligen Basen zur Bewertung heranzuziehen.

Quantifizierung von Fehlerfolgenutzen bei den internen Effekten

Die Fehlerverhinderung kann neben den direkten Effekten auch Fehlerfolgenutzen erzeugen (STRÜKER ET AL. 2008). Eine fehlerhafte Montage oder Auslieferung bedingt einen Rücktransport und eine Nacharbeit. Diese Fehlerfolgekosten können sich über eine Vielzahl von PBS erstrecken. Im negativsten Falle wird der Fehler erst beim externen Kunden entdeckt. Durch RFID können diese Fehler unmittelbar verhindert oder durch die stetige Objekterfassung vor der Weiterverarbeitung erkannt werden. Hierdurch lassen sich bislang erforderliche Mehraufwände reduzieren. Zur Quantifizierung dieser Fehlerfolgenutzen dienen die Basen der internen Effekte. Die Zuordnung zu den Basen kann analog aus dem Verrechnungselement entnommen werden. Die Bewertungsformeln sind dabei um die Auftretenswahrscheinlichkeit α und die PBS-spezifische Entdeckungswahrscheinlichkeit β zu erweitern. Beide Werte sind ebenso aus der Modellierung zu entnehmen. Ausgehend vom PBS in dem der Fehlerfolgenutzen seinen Ursprung hat, sind für alle PBS die das Objekt durchläuft, die jeweiligen Entdeckungswahrscheinlichkeiten in die Formel einzutragen, bis derjenige PBS erreicht wird, in dem der Fehlerfolgenutzen bewertet werden soll.

Auf Basis der *Aufträge* ergibt sich bspw. zur Berechnung der Einsparungen für den Entfall von Rücktransporten folgender Zusammenhang (s. Formel 17):

$$\text{Basis: Aufträge} \quad E_{RT} = N_{AU} \cdot \alpha \cdot \prod_{i=1}^n (1 - \beta_i) \cdot Z_{RT0} \cdot \lambda_{AU} \cdot K_P \quad (17)$$

$$\text{mit} \quad \lambda_{AU} = \frac{Z_{RT0} - Z_{RTRFID}}{Z_{RT0}} \cdot 100\% \quad (18)$$

E_{RT} Einsparung durch Reduktion der Rücktransporte

N_{AU} Anzahl Transportaufträge

α Auftretenswahr. eines Fehlers in der Vereinnahmung im Ausgangszustand

β_i	Entdeckungswahr. des Fehlers in den Prozessen im Ausgangszustand
i, n	Laufvariablen für die Anzahl der Prozesse
$Z_{\text{RTO, RTRFID}}$	Zeitaufwand für Rücktransport im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand
λ_{AU}	Reduktionsquote der Anzahl der Rücktransporte
K_p	Stundenlohn des Mitarbeiters

Je später der Fehler identifiziert wird, desto höher sind die Korrekturaufwände. Neben dem reinen Rücktransport können auch Planungsaufwände zur Beseitigung von Materialengpässen nötig sein. Die Werte α und β sind unternehmensspezifisch zu ermitteln, indem die Prozesse hinsichtlich ihrer Fehleranfälligkeit und den bestehenden Instrumenten zur Fehleridentifikation untersucht werden.

Abbildung von Unsicherheiten der externen und internen Effekte

Die zur Bewertung benötigten Werte lassen sich häufig nicht eindeutig ermitteln und können somit das Bewertungsergebnis verfälschen (SCHMIDT 2006, MANNEL 2006). Erwartete Umsatzsteigerungen könnten ausbleiben und Prozessverbesserungen nur in einem geringeren Maße realisiert werden. Diese Unsicherheiten spiegeln sich bei der Bewertung in der *Zunahmequote* δ und der *Reduktionsquote* λ sowie in den darin enthaltenen Variablen wider. Zudem können weitere Werte Schwankungen unterliegen. Diese Werte sind in Abhängigkeit vom betrachteten Potential zu identifizieren. Um die resultierenden Unsicherheiten in die Bewertung zu integrieren, empfiehlt es sich die Ausprägungen der Variablen mittels Wahrscheinlichkeitsverteilungen abzubilden. Für die meisten Potentiale eignet sich die Normalverteilung, da diese durch den symmetrischen Aufbau um einen Erwartungswert viele Schwankungen der betrachteten Potentiale abbildet (COTTIN & DÖHLER 2009). Umsatzsteigerungen oder Zeitbedarfe können sich bspw. um einen gewissen Erwartungswert bewegen. Vorhandene Grenzen, wie eine minimale Wegstrecke, machen es erforderlich die Normalverteilung in gestutzter Form zu verwenden (KREBS 2011, COTTIN & DÖHLER 2009). Durch den symmetrischen Aufbau ist es jedoch nicht möglich rechts- und linksschiefe Verteilungen abzubilden (TROST 2008). Dies könnte der Fall sein, wenn sich der Zeitbedarf in einem Intervall (z. B. 10 bis 30 Sekunden) bewegt, jedoch mit einem Erwartungswert (z. B. 25 Sekunden) gerechnet wird, der sich an der oberen Grenze des Intervalls befindet. Zur Abbildung dieses Sachverhalts eignet sich die BetaPERT-Verteilung. Diese wird durch die Ober- und Untergrenze sowie dem wahrscheinlichsten Wert dargestellt (BLES ET AL. 2012). Eine Beschreibung der Verteilungsfunktionen ist im Anhang 11.9 angefügt. In Abhängigkeit von den vorliegenden Informationen ist die geeignete Verteilung auszuwählen.

Das Ergebnis dieses Teilschritts ist die monetäre Bewertung aller identifizierten Nutzenpotentiale. Hierzu stehen für die externen und internen Effekte verschiedene Basen zur Verfügung, die alternative Bewertungsformeln bieten. Die vorliegenden Modellierungen der Nutzenketten bilden dabei eine Verknüpfung zwischen dem Potential und den relevanten Basen und geben Auskunft über die Auftretens- und Entdeckungswahrscheinlichkeiten von Fehlerfolgenutzen. Zur Berücksichtigung von Unsicherheiten dienen Wahrscheinlichkeitsverteilungen.

7.2.3 Quantifizierung der Aufwände

Die Implementierung und der reibungsfreie Betrieb eines RFID-Systems erfordern verschiedene Aufwände, die den benötigten Zeit- und Ressourcenbedarf erhöhen. Diese Aufwände lassen sich, wie in Abschnitt 6.3.3 dargestellt, bzgl. des zeitlichen (einmalig bzw. laufend) und räumlichen (PBS-spezifisch bzw. übergeordnet) Auftretens sowie hinsichtlich der Abhängigkeit vom Materialfluss unterscheiden (s. Abbildung 35). Bei der Abhängigkeit vom Materialfluss werden zwei Grade unterschieden. Aufwände des 1. Grads sind unabhängig vom Materialfluss und daher in der monetären Ausprägung nicht abhängig von den Objektbewegungen. Schulungskosten für Mitarbeiter und Lizenzgebühren sind hier beispielhaft zu nennen. Dagegen ist die monetäre Ausprägung der Aufwände 2. Grads direkt abhängig von der Anzahl der bewegten Objekte. Die Anzahl der Datenträger beeinflusst bspw. die Aufwände im Open-loop System. Die hinterlegten Einstufungen bei der Aufwandsidentifikation in den Abschnitten 6.3.3 und 6.3.4 dienen zur Einordnung der Aufwände für die Quantifizierung.

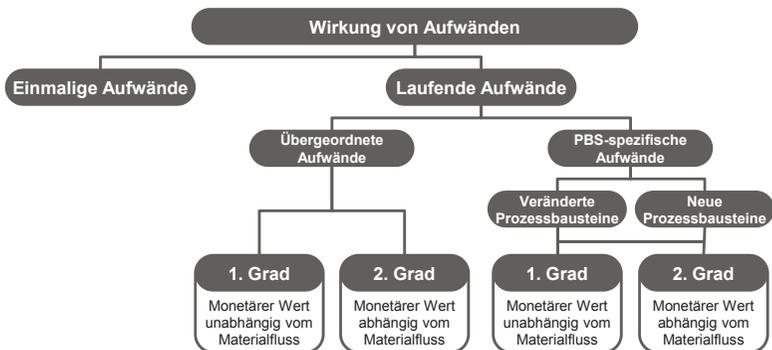


Abbildung 35: Wirkung von Aufwänden

In den folgenden Abschnitten wird zunächst ein Vorgehen zur Quantifizierung der einmaligen und laufenden materialflussunabhängigen Aufwände erläutert, bevor die laufenden materialflussabhängigen Aufwände quantifiziert werden. Abschließend wird ein Vorgehen zur Abbildung von Unsicherheiten dargelegt.

Quantifizierung einmaliger und materialflussunabhängiger Aufwände

Zur Quantifizierung einmaliger und materialflussunabhängiger Aufwände sind neben der Menge benötigter Komponenten (Hardware, Fläche) nur die Kosten pro Komponente zu bestimmen. Die Gesamtkosten ergeben sich anschließend durch Multiplikation der Werte (s. Formel 19).

$$A_K = N_K \cdot K_K \quad (19)$$

A_K	Aufwand der Komponente
N_K	Anzahl benötigter Komponenten
K_K	Kosten der benötigten Komponente

Laufende Aufwände für Wartung und Lizenzen können auch anteilmäßig aus den Anschaffungskosten abgeleitet werden. In der Literatur liegen hierzu Beispielwerte vor (SCHOLZ-REITER ET AL. 2007). Da diese aber im Unternehmen variieren können, empfiehlt es sich spezifische Werte zu ermitteln (ADAMEC 2011). Diese können bspw. aus Erfahrungswerten bestehender RFID-Systeme gewonnen werden.

Quantifizierung der materialflussabhängigen Aufwände

Zur Quantifizierung der materialflussabhängigen Aufwände wird analog zur Nutzenbewertung auf standardisierte Formeln zurückgegriffen, die auf alternativen Basen beruhen. Hierbei werden die in Abschnitt 7.2.2 ermittelten Basen der internen Effekte herangezogen. Die Basis *Schwundereignisse* wird jedoch nicht benötigt, da sich diese nur für die Einsparungsbewertung eignet. Die restlichen Basen teilen sich in zwei Bereiche, wie in Tabelle 12 dargestellt, auf. Ersterer beinhaltet allgemeine Basen zur Bewertung der materialflussabhängigen Aufwände. Der zweite Bereich beinhaltet zusätzliche spezifische Basen zur Quantifizierung von Aufwänden zur Fehlerbehebung. Eine Auswahlunterstützung der Basen ist bei den Aufwandsketten, analog zur Nutzenbewertung, im Verrechnungselement gegeben.

Tabelle 12: Basen zur Bewertung quantitativer Aufwände

Bewertung von	Basen	Einsatzbereich
	Zeitkontingent	Allgemeine Basen zur Bewertung materialflussabhängiger Aufwände und Aufwänden zur Behebung von Fehlerfassungen
	Ressourcenkontingent	
	Aufträge	
	Arbeitsvorgänge	
	Einheiten	
	Wegstrecke	
	Korrekturaufträge	Spezifische Basen zur Bewertung von Aufwänden zur Behebung von Fehlerfassungen
	Korrekturvorgänge	
	Fehler	
	Fehleinheiten	

Legende:

 Zeitaufwand

 Ressourcenaufwand

Verglichen mit den Einsparungen entstehen die Aufwände durch zusätzliche Abläufe und Prozesse. Ein ergänzender Montageprozess ist bspw. für das Anbringen der Datenträger erforderlich. Aufgrund der dadurch entstehenden Aufwände kann auf die *Zunahme-* und *Reduktionsquote* nicht zurückgegriffen werden, da diesen kein Ausgangszustand zugewiesen werden kann. Die Bewertung des Zeitbedarfs für die doppelte Datenspeicherung im System zur Verhinderung von Erfassungsfehlern gestaltet sich bspw. auf Basis der *Einheiten* wie folgt:

$$\text{Basis: Einheiten} \quad A_{DS} = N_{DS} \cdot Z_{DS} \cdot K_P \quad (20)$$

A_{DS} Aufwand für doppelte Datenspeicherung

N_{DS} Anzahl Einheiten zur doppelten Datenspeicherung

Z_{DS} Zeitaufwand für Datenspeicherung

K_P Stundenlohn des Mitarbeiters

Zur Bewertung von Maßnahmen zur Fehlerbehebung können zudem die spezifischen Basen verwendet werden. Der Aufwand für das Anbringen abgefallener Datenträger kann bspw. auf Basis der *Fehleinheiten* bewertet werden (s. Formel 21). Der Faktor f_{FE} beschreibt den Anteil der Objekte die mit einem neuen Datenträger ausgestattet werden. Befinden sich Objekte bereits am Ende der Wertschöpfung, wird in der Regel kein neuer Datenträger mehr angebracht.

$$\text{Basis: Fehleinheiten} \quad A_{AD} = N_{FRID} \cdot f_{FE} \cdot Z_{FE} \cdot K_P \quad (21)$$

A_{AD} Aufwand für Anbringung fehlender Datenträger

N_{RFID}	Anzahl Einheiten mit fehlenden Datenträgern
f_{FE}	Anteil Objekte die mit neuen Datenträgern ausgestattet werden
Z_{FE}	Zeitaufwand pro Fehleinheit
K_p	Stundenlohn des Mitarbeiters

Die Formeln der weiteren Basen befinden sich im Anhang 11.8.

Eine Sonderrolle nimmt die Bewertung der Datenträger ein. Die Quantifizierung des Initialaufwands zur Ausstattung aller Objekte kann hinsichtlich des Vorgehens zur Bewertung der einmaligen Aufwände erfolgen. Das Anbringen der Datenträger in Open-loop Anwendungen und der Ersatz defekter oder verlorener Datenträger sind dagegen gemäß dem Vorgehen zur Quantifizierung materialflussabhängiger Aufwände zu bewerten.

Abbildung von Unsicherheiten

Die Bewertung einmaliger materialflussunabhängiger Aufwände basiert auf vorliegenden Planungen und Angeboten. Anzahl und Preise von Gates sind daher bekannt. Unterliegen diese Werte dennoch Schwankungen, sind sie mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen abzubilden. Bei der Bewertung der materialflussabhängigen Aufwände mittels der Basen können Unsicherheiten in den Variablen auftreten. Neben Häufigkeiten können benötigte Zeit- und Ressourcenaufwände schwanken. Zur Modellierung dieser Unsicherheiten dienen, analog zur Nutzenbetrachtung, die Verteilungen in Anhang 11.9.

Als Ergebnis liefert dieser Teilschritt eine vollständige Quantifizierung aller Aufwände. Hierzu stehen in Abhängigkeit von der Art des Aufwands verschiedene Bewertungsvorgehen zur Verfügung. Analog zu den Nutzenpotentialen stehen u. a. Bewertungsbasen bereit. Bei der Quantifizierung ist auf Unsicherheiten zu achten, die über Wahrscheinlichkeitsverteilungen abzubilden sind.

7.2.4 Quantifizierung des qualitativen Einflusses

Der RFID-Einsatz wirkt sich auf verschiedene Bereiche aus. Abläufe können entfallen oder durch die Automatisierung beschleunigt werden. Eine resultierende Durchlaufzeitreduzierung führt zum schnelleren Markteintritt der Produkte und somit zu einer Umsatzsteigerung. Des Weiteren könnte das Unternehmen als Know-How Träger gelten und dadurch ein besseres Image erzielen (GILBERG 2009). Neben diesen positiven Effekten kann die Automatisierung manueller Abläufe auch die Befürchtung eines Arbeitsplatzverlusts bei den Mitar-

beitern verursachen. Zudem generiert die stetige Objektverfolgung neben Bewegungsprofilen des Materials auch Tätigkeitsnachweise der im Materialfluss involvierten Mitarbeiter (PEZOLDT & GEBERT 2011). Die geschilderten Faktoren könnten zu einer Demotivation der Mitarbeiter führen, die dadurch bspw. Tätigkeiten langsamer ausführen um zu zeigen, dass RFID nicht die gewünschten Einsparungen erbringt. Dies verursacht neben geringeren Einsparungen auch gesteigerte Schulungskosten zur Sensibilisierung der Mitarbeiter (RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009). Die Beispiele zeigen, dass die identifizierten Aufwände und Nutzenpotentiale einer qualitativen Beeinflussung unterliegen. Der Einfluss führt dazu, dass der Gesamteffekt eines Einflussfaktors einen quantitativen und qualitativen Anteil umfasst. Der Grad der Beeinflussung wird durch den Faktor f_{ql} ausgedrückt (s. Formeln 22 und 23).

$$E_{ges} = E_{qn} + E_{ql} = E_{qn} \cdot (S_{RFIDqn} \cdot f_{ql}) \quad (22)$$

$$A_{ges} = A_{qn} + A_{ql} = A_{qn} \cdot (1 + f_{ql}) \quad (23)$$

E_{ges}, A_{ges}	Gesamte Einsparungen bzw. gesamter Aufwand des Einflussfaktors
E_{qn}, A_{qn}	Quantitativer Anteil der Einsparung bzw. des Aufwands des Einflussfaktors
E_{ql}, A_{ql}	Qualitativer Anteil der Einsparung bzw. des Aufwands des Einflussfaktors
S_{RFIDqn}	Aufwand nach der RFID-Implementierung des betrachteten Ablaufs
f_{ql}	Qualitativer Anteilsfaktor

Die genannten Beispiele zeigen zudem, dass qualitative Einflüsse unterschiedliche Effekte bewirken (s. Abschnitt 2.3.2). Der qualitative Einfluss kann bspw. einen weiteren Anstieg der Einsparungen erzeugen. Eine erhöhte Planungssicherheit durch eine gesteigerte Transparenz über die Materialabrufe kann zur weiteren Reduzierung von Sicherheitsbeständen führen. Zudem kann qualitativer Nutzen auch Aufwände verringern, indem eine Motivationssteigerung durch den Entfall monotoner Tätigkeiten, wie Vereinzeltungsvorgänge, dazu führt, dass Schulungsaufwände reduziert werden. Auftretende qualitative Aufwände hingegen können eine Aufwandszunahme bewirken. Da Daten auf dem Datenträger nicht ohne Erfassungsgerät auslesbar sind und daher eine Abhängigkeit von der Technik besteht, können zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen zur Verhinderung von Systemabstürzen nötig sein. Neben einer Steigerung der Aufwände können auch Einsparungen reduziert werden. Die beschriebene Demotivation kann dazu führen, dass Objekte absichtlich zu schnell an Erfassungsgeräten vorbeigeführt werden, um Erfassungsfehler zu verursachen. Abbildung 36 beinhaltet eine Zusammenfassung der beschriebenen Effekte der qualitativen Einflussfaktoren.



Abbildung 36: Wirkungen der qualitativen Beeinflussung

Für die Bewertung ist herauszufiltern, welche der quantitativen Faktoren einem qualitativen Einfluss unterliegen. Entfallene PBS und Tätigkeiten der internen Effekte unterliegen keinem qualitativen Einfluss. Da die Tätigkeiten zukünftig nicht mehr ausgeführt werden, können sie auch keiner Beeinflussung unterliegen. Daher sind alle quantitativen Faktoren hinsichtlich der Frage zu untersuchen, ob sich die monetäre Ausprägung durch qualitative Einflüsse verändert. Hierbei können auch mehrere qualitative Faktoren gleichzeitig wirken. Werden qualitative Einflüsse identifiziert, ist darauf zu achten, diese wertneutral zu formulieren, um bei der Bewertung keine Tendenzen hinsichtlich der Wirkung vorzugeben. Die Wirkung von RFID auf die Mitarbeiter sollte daher neutral als Mitarbeitermotivation formuliert werden. Bei der Bewertung ist zu beachten, dass die Wirkung des Einflusses nur verbal beschreibbar ist. Daher dient zur Quantifizierung die Fuzzy-Logik (s. Abschnitt 2.7). Diese quantifiziert die Einflüsse, indem die Höhe des Einflusses mittels gezielter Abstufungen der Wirkung erfasst wird. Um dies zu ermöglichen, sind zunächst die Grenzen des Einflusses zu definieren.

Grenzwerte des Einflusses

Die Ermittlung der Grenzen einer qualitativen Beeinflussung eines quantitativen Faktors erfolgt basierend auf den Grenzen der maximal möglichen Beeinflussung. Der Ermittlung dieses maximal möglichen Einflusses in positiver und negativer Richtung liegen die folgenden Annahmen zu Grunde:

Annahme 1: Bei einer weiteren Zunahme der Einsparungen (X_{ZU}) muss die Summe des quantitativen Anteils $S_{RFID_{qn}}$ und des qualitativen Anteils $S_{RFID_{ql}}$ unterhalb des Wertes der Ausgangssituation S_0 liegen, da die Tätigkeit durch den qualitativen Einfluss nicht vollständig eliminiert werden kann.

Annahme 2: Die quantitativen Einsparungen lassen sich maximal auf den Wert Null reduzieren, da sonst die Tätigkeit wie bisher durchgeführt werden würde. Dies würde dem Ausgangszustand S_0 vor dem RFID-Einsatz entsprechen (X_{RED}).

Um die Materialbewegungen dennoch im IT-System abzubilden, kann die Erfassung zusätzlich durch RFID erfolgen.

Annahme 3: Nach oben sind die Aufwände durch ein Budget B bzw. die vorhandenen Investitionsmittel gedeckelt (X_{ZU}).

Annahme 4: Bei den Aufwänden kann eine untere Grenze A_{ges} von Null nicht unterschritten werden (X_{RED}).

Die Formeln 24 bis 29 stellen diese Annahmen dar:

$$E_{ges} = E_{qn} + E_{ql} = S_0 - S_{RFIDqn} - (S_{RFIDqn} \cdot f_{ql}) \quad (24)$$

Annahme 1 (X_{ZU}): $E_{ges} < S_0$: $f_{ql} > -1$ (25)

Annahme 2 (X_{RED}): $E_{ges} \geq 0$: $f_{ql} \leq \frac{S_0}{S_{RFIDqn}} - 1$ (26)

$$A_{ges} = A_{qn} + A_{ql} = A_{RFIDqn} \cdot (1 + f_{ql}) \quad (27)$$

Annahme 3 (X_{ZU}): $A_{ges} \leq B$: $f_{ql} \leq \frac{B}{A_{RFIDqn}} - 1$ (28)

Annahme 4 (X_{RED}): $A_{ges} \geq 0$: $f_{ql} \geq -1$ (29)

E_{ges}, A_{ges}	Gesamte Einsparungen bzw. gesamter Aufwand des Einflussfaktors
E_{qn}, A_{qn}	Quantitativer Anteil der Einsparung bzw. des Aufwands des Einflussfaktors
S_0	Ausgangssituation ohne RFID des Einflussfaktors (Zeit, Ressourcen)
S_{RFIDqn}	Quantitativer Anteil der Soll-Situation mit RFID des Einflussfaktors (Zeit, Ressourcen)
A_{RFIDqn}	Quantitativer Anteil der Aufwände für RFID des Einflussfaktors
B	Verfügbares Budget des Einflussfaktors
f_{ql}	Qualitativer Anteilsfaktor des Einflussfaktors

Zusammenfassend ergeben sich die in Tabelle 13 dargestellten Grenzen maximalen qualitativen Einflusses. Die Intervalle sind zwischen den ermittelten Werten und dem Wert Null aufgespannt. Der Wert Null entspricht keiner Veränderung der monetären Ausprägung durch einen qualitativen Einfluss.

Tabelle 13: Grenzen der maximalen qualitativen Beeinflussung

	X_{RED}	X_{ZU}
Nutzen	$[0; S_0/S_{RFIDqn}-1]$	$]-1; 0]$
Aufwand	$[-1; 0]$	$[0; B/A_{RFIDqn}-1]$

Basierend auf den definierten Grenzen maximaler Beeinflussung sind die Grenzwerte auf den jeweiligen Einflussfaktor anzupassen. Die Anpassung ist erforderlich, da jedem Faktor verschiedene Rahmenbedingungen zugrunde liegen. Beispielhaft sei die unterschiedliche Eingriffstiefe der Mitarbeiter in den Prozessen erwähnt. Mittels der Fuzzy-Logik werden die Intervalle in Teilmengen, den sog. Zugehörigkeitsfunktionen, zur genauen Ermittlung der Beeinflussung untergliedert (s. Abbildung 37). Die Zuweisung der Zugehörigkeitswerte zu den Funktionen erfolgt durch Prozessexperten. Um eine objektive Aussage und begründete Werte zu erhalten, wird sich der Delphi-Methode bedient. In mehreren Iterationen werden die Experten unabhängig voneinander bzgl. des Einflusses befragt und gegebene Einschätzungen nach einer Mittelwertbildung zurückgespiegelt, um begründete Anpassungen vorzunehmen. Dies erfolgt solange bis die Werte konstant bleiben. Als Experten könnten die an der Bewertung beteiligten Gruppen dienen (s. Abschnitt 5.3). (GAUSEMEIER ET AL. 1996, HESSE ET AL. 2009)

Die Einschätzungen sind zur Defuzzifizierung den Funktionen zuzuweisen (s. Abbildung 37). Die gesuchte Grenze des Einflusses ergibt sich durch die Bestimmung des Flächenschwerpunkts mittels der Flächenschwerpunkts-Methode. Die betrachtete Fläche ergibt sich unter den Funktionen auf Höhe der Zugehörigkeitswerte.

Abbildung 37 zeigt beispielhaft die Ermittlung der Grenzen einer möglichen Einsparungsreduktion durch den qualitativen Einfluss. Die angegebenen Werte stellen dabei die Mittelwerte aus der iterativen Expertenbefragung dar.

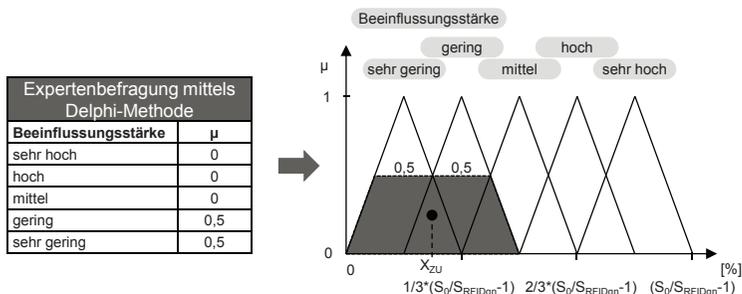


Abbildung 37: Ermittlung realer Grenzen der qualitativen Beeinflussung

Die Ermittlung des Flächenschwerpunkts erfolgt gemäß Formel 30:

$$X_{ZU,RED} = \frac{1}{F} \int_F x \, dF \quad (30)$$

$X_{ZU,RED}$ Grenze der Beeinflussung des quantitativen Anteils des Einflussfaktors
 F Fläche unter den Zugehörigkeitsfunkt. auf Höhe der Zugehörigkeitswerte

Durchführung der Quantifizierung

Nach Ermittlung der Einflussgrenzen erfolgt die Quantifizierung des qualitativen Einflusses. Hierzu ist der qualitative Faktor zur weiteren Verrechnung in Vektorform darzustellen. Zudem ist ein Regelwerk zu bestimmen, das die Art des Einflusses auf den quantitativen Faktor beschreibt. Da die Faktoren unterschiedlich starken Einfluss ausüben, ist des Weiteren ein Gewichtungsfaktor zu ermitteln. Wie aus Abbildung 36 hervorgeht, können qualitative Faktoren einen Nutzen sowie einen Aufwand darstellen. Um dies in einem Vektor (s. Formel 31) auszudrücken, sind in beide Richtungen Zugehörigkeitsfunktionen mit Abstufungen definiert. Bezugnehmend auf die Erläuterungen in Abschnitt 2.7 werden für jede Ausprägungsrichtung drei Abstufungen gewählt, um eine eindeutige Zuweisung zu ermöglichen. Die neutrale mittlere Zugehörigkeitsfunktion stellt den Fall keiner Beeinflussung dar. Analog zur Ermittlung der Zugehörigkeitswerte für die Grenzwerte sind für jeden qualitativen Faktor die Zugehörigkeitswerte zu bestimmen, die Auskunft darüber geben, wie stark ein Merkmal erfüllt wird. Um eine objektive Einstufung zu erreichen, wird sich erneut der Delphi-Methode bedient. Formel 31 beinhaltet neben der Definition der Zugehörigkeitsfunktionen ein Beispiel möglicher Zugehörigkeitswerte. Hierbei wird dem qualitativen Einflussfaktor die Eigenschaft eines geringen bis mittleren Nutzens zugesprochen.

$$\mu(\mathbf{u}) = \begin{pmatrix} \mu_{\text{Hoher Nutzen}}(\mathbf{u}) \\ \mu_{\text{Mittlerer Nutzen}}(\mathbf{u}) \\ \mu_{\text{Geringer Nutzen}}(\mathbf{u}) \\ \mu_{\text{Keine Beeinflussung}}(\mathbf{u}) \\ \mu_{\text{Geringer Aufwand}}(\mathbf{u}) \\ \mu_{\text{Mittlerer Aufwand}}(\mathbf{u}) \\ \mu_{\text{Hoher Aufwand}}(\mathbf{u}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0,6 \\ 0,4 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (31)$$

$\mu(\mathbf{u})$ Zugehörigkeitswert des Faktors \mathbf{u}

Beeinflussen mehrere qualitative Faktoren einen quantitativen Faktor ist die Stärke des individuellen Einflusses zu gewichten. Die Komplexität der Technik kann bspw. die erforderliche Bearbeitungszeit in einem bestimmten Ablauf stärker beeinflussen, als dies durch die Mitarbeitermotivation und die Transparenz

des Vorgehens der Fall ist. Zur Ermittlung der Einflussstärke ist, wie in Abbildung 38 dargestellt, auf einen paarweisen Vergleich zurückzugreifen.

	Komplexität der Technik	Motivation der Mitarbeiter	Transparenz des Vorgangs	Gewichtung G_u
Komplexität der Technik		3	3	6
Motivation der Mitarbeiter	1		1	2
Transparenz des Vorgangs	1	2		3

3 Punkte: Faktor in der Zeile hat höheren Einfluss als der Faktor in der Spalte

2 Punkte: Faktoren in der Zeile und Spalte haben den gleichen Einfluss

1 Punkt: Faktor in der Zeile hat niedrigeren Einfluss als der Faktor in der Spalte

Abbildung 38: Ermittlung der Gewichtung G_u der qualitativen Einflussfaktoren

Neben der Gewichtung G_u ist die Wirkung des qualitativen Faktors zu bestimmen. Wie in Abbildung 36 dargestellt kann eine Zunahme bzw. Reduzierung des quantitativen Anteils eintreten. Zur Berücksichtigung dieser gegensätzlichen Wirkung in der Bewertung stehen zwei Regelwerke zur Verfügung. Die Regeln ermöglichen eine Transformation des Vektors des qualitativen Faktors, um die zwei gegensätzlichen Wirkungen abzubilden (s. Tabelle 14).

Tabelle 14: Regelwerke zur Abbildung der qualitativen Wirkung auf den quantitativen Faktor

		Regelwerk 1		Regelwerk 2	
Wenn		Dann		Dann	
Qualitativer Faktor	Reihenfolge Zugehörigkeitswerte	Veränderung des quantitativen Faktors	Reihenfolge Zugehörigkeitswerte	Veränderung des quantitativen Faktors	Reihenfolge Zugehörigkeitswerte
Hoher Nutzen	1	Hohe Reduzierung	1	Hohe Zunahme	7
Mittlerer Nutzen	2	Mittlere Reduzierung	2	Mittlere Zunahme	6
Geringer Nutzen	3	Geringe Reduzierung	3	Geringe Zunahme	5
Keine Beeinflussung	4	Ausgangszustand	4	Ausgangszustand	4
Geringer Aufwand	5	Geringe Zunahme	5	Geringe Reduzierung	3
Mittlerer Aufwand	6	Mittlere Zunahme	6	Mittlere Reduzierung	2
Hoher Aufwand	7	Hohe Zunahme	7	Hohe Reduzierung	1

Zur Auswahl des richtigen Regelwerks ist zunächst zu unterscheiden, ob es sich bei dem qualitativen Faktor um einen Nutzen oder Aufwand handelt. Anschließend ist zu definieren, ob eine Zunahme bzw. Reduzierung des quantitativen Faktors erfolgt. Die Einteilung hinsichtlich Nutzen oder Aufwand kann anhand der Zugehörigkeitsfunktionen des aufgestellten Vektors erfolgen. Ist bspw. die

Summe der ersten drei Zugehörigkeitsfunktionen größer als die Summe der letzten drei Funktionen, handelt es sich um einen Nutzen (s. Formel 31). Zur Auswahl des richtigen Regelwerks dient die in Tabelle 15 getroffene Einteilung.

Tabelle 15: Auswahl des Regelwerks

		Art der Wirkung auf den quantitativen Faktor	
		Reduzierung	Zunahme
Art des qualitativen Faktors	Nutzen	Regelwerk 1	Regelwerk 2
	Aufwand	Regelwerk 2	Regelwerk 1

Basierend auf dem gewählten Regelwerk sind die Vektoren der qualitativen Faktoren zur Integration in die Berechnung in den jeweiligen Wirkungsvektor W_u zu transformieren. Hierbei ergeben sich folgende mathematische Umsetzungen:

$$W_u^{RW1} = \begin{pmatrix} \mu_{\text{Hoher Nutzen}}(u) \\ \mu_{\text{Mittlerer Nutzen}}(u) \\ \mu_{\text{Geringer Nutzen}}(u) \\ \mu_{\text{Keine Beeinflussung}}(u) \\ \mu_{\text{Geringer Aufwand}}(u) \\ \mu_{\text{Mittlerer Aufwand}}(u) \\ \mu_{\text{Hoher Aufwand}}(u) \end{pmatrix} \quad (32) \quad W_u^{RW2} = \begin{pmatrix} \mu_{\text{Hoher Aufwand}}(u) \\ \mu_{\text{Mittlerer Aufwand}}(u) \\ \mu_{\text{Geringer Aufwand}}(u) \\ \mu_{\text{Keine Beeinflussung}}(u) \\ \mu_{\text{Geringer Nutzen}}(u) \\ \mu_{\text{Mittlerer Nutzen}}(u) \\ \mu_{\text{Hoher Nutzen}}(u) \end{pmatrix} \quad (33)$$

- W_u Wirkungsvektor
- $\mu(u)$ Zugehörigkeitswert des Faktors u
- RW Regelwerk

Nach Ermittlung der qualitativen Faktoren und deren individuellen Ausprägung, ist der qualitative Anteil zu erfassen. Um diesen Anteil zu ermitteln, sind die qualitativen Faktoren mit ihrem Wirkungsvektor und der Gewichtung zum Outputvektor V_i zu verrechnen:

$$V_i = \frac{1}{\sum G(u,i)} \cdot \sum (G(u,i) \cdot W_u) \quad (34)$$

- V_i Outputvektor des qualitativen Anteils
- $G(u, i)$ Gewichtungsfaktor der Beziehung des Einflussfaktors u zu i
- W_u Wirkungsvektor des Einflussfaktors u

Um abschließend den Faktor f_{qi} zu erhalten, ist der ermittelte Vektor V_i mit Hilfe der Flächenschwerpunkts-Methode zu defuzzifizieren (s. Formel 30). Hierzu sind die Zugehörigkeitswerte den Zugehörigkeitsfunktionen im Analyseschaubild zuzuweisen (s. Abbildung 39). Die Funktionen können dabei eine Zunahme oder

Reduzierung des quantitativen Faktors bzw. ein neutrales Verhalten darstellen. Der Schwerpunkt des neutralen Verhaltens ist auf den Null-Punkt zu legen, da hier weder eine Zunahme noch eine Reduktion vorliegt. Die eingezeichneten Zugehörigkeitswerte dienen der beispielhaften Ermittlung des Faktors f_{ql} . Dieser ist abschließend zur Ermittlung der gesamten Einsparung bzw. des gesamten Aufwands in die Formeln 24 bzw. 27 zu übertragen.

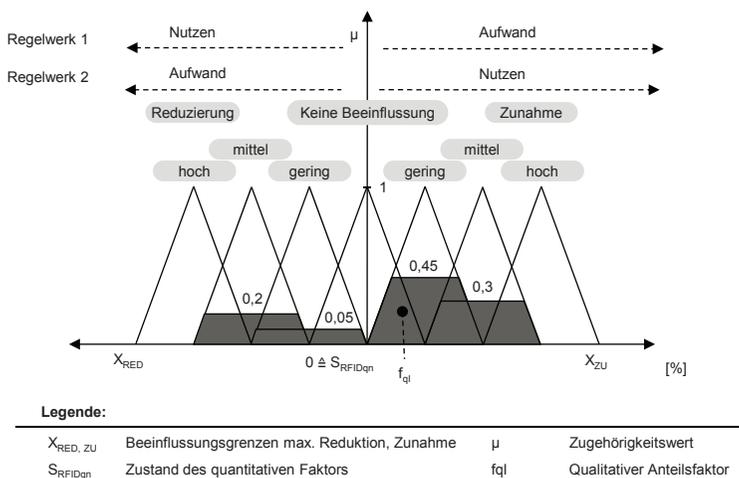


Abbildung 39: Ermittlung des qualitativen Einflussfaktors f_{ql}

Integration der Unsicherheit

Durch die verbale Beschreibung der qualitativen Faktoren und die Berechnung über die Zugehörigkeitsfunktionen ergeben sich Unsicherheiten bzgl. der exakten Wirkung des qualitativen Einflusses. Diese Unsicherheit spiegelt sich in der Ergebnisfläche der Bewertung des Faktors f_{ql} wider. Mittels des Dreipunktschätzverfahrens aus dem Bereich der Punkttechnik (KLEIN 2011, EISENFÜHR ET AL. 2010, REINHART ET AL. 2008) ist es möglich diese Unsicherheiten in eine Wahrscheinlichkeitsverteilung zu transformieren und in die Bewertung zu integrieren. Hierzu sind drei charakteristische Punkte der Fläche zu definieren. Es empfiehlt sich den maximalsten, minimalsten und wahrscheinlichsten Wert zu wählen. In Abhängigkeit davon, welche Verteilungsform der vorliegenden Fläche am besten entspricht, ist die jeweilige Wahrscheinlichkeitsverteilung zu wählen. Abbildung 40 zeigt die Vorgehensweise am Beispiel der BetaPERT-Verteilung. Weitere Verteilungsfunktionen sind im Anhang 11.9 zu finden.

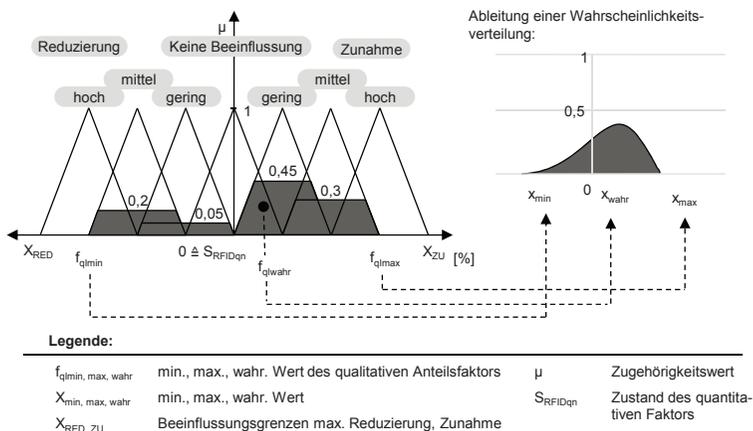


Abbildung 40: Transformation der Zugehörigkeitswerte in eine Wahrscheinlichkeitsverteilung

Durch das beschriebene Vorgehen in diesem Teilschritt ist es möglich qualitative Einflüsse in der Bewertung zu integrieren. Hierzu sind zunächst die Aufwände und Nutzenpotentiale zu bestimmen, die einem qualitativen Einfluss unterliegen. Diese qualitativen Einflüsse sind anschließend durch Prozessbeteiligte zu bewerten und durch Regelwerke mit einander zu verrechnen. Der durch die Defuzzifizierung erhaltene Faktor f_{ql} kann abschließend in die monetäre Bewertung integriert werden. Bestehende Unsicherheiten in der Bewertung der qualitativen Faktoren können aus der Flächenschwerpunkts-Methode abgeleitet werden. Als Ergebnis liefert dieser Teilschritt einen Wert für die monetäre Ausprägung der qualitativen Beeinflussung eines Aufwands bzw. eines Nutzenpotentials.

7.3 Bewertung der Wirtschaftlichkeit

7.3.1 Allgemeines

Nach der Quantifizierung aller Faktoren sind die Zielgrößen zu bestimmen. Hierzu dient die in Abschnitt 7.3.2 erläuterte Kalkulationsstruktur. Der Ablauf der Bewertung unter Beachtung von Unsicherheit ist in Abschnitt 7.3.3 dargestellt.

7.3.2 Kalkulationsstruktur

Zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit des RFID-Einsatzes sind unter Einfluss aller quantifizierten Einflussfaktoren die Zielgrößen zu bestimmen. Hierzu werden die in der Industrie verwendeten Kenngrößen des Kapitalwerts und der dynamischen Amortisationszeit ermittelt. Diese ermöglichen Aussagen bzgl. der Höhe der Rentabilität und über die Dauer der Refinanzierung. Zur Ermittlung der Zielgrößen steht die in Abbildung 41 dargestellt Kalkulationsstruktur zur Verfügung, deren Aufbau in den folgenden Abschnitten erläutert wird. Die einzelnen Ebenen sind dabei kursiv hervorgehoben.

Zur Berechnung sind Einsparungen und Aufwände auf verschiedenen Ebenen miteinander in Beziehung zu setzen (ZÄH ET AL. 2005). Die Aufwände teilen sich hinsichtlich des Entstehungsorts und -zeitpunkts in drei Ebenen auf. Die erste Ebene wird durch die *einmaligen Investitionen* für die Implementierung gebildet. Die Investitionen können nicht nur zu Beginn, sondern auch im Projektverlauf getätigt werden. Ferner sind Abschreibungen zu beachten, da diese zu steuerlichen Begünstigungen führen. Hardware-Komponenten können in der Regel über einen Zeitraum von vier bis sechs Jahren abgeschrieben werden. Die Aufwände können gemäß verschiedener AfA-Sätze (Abschreibung für Abnutzung) zeitlich verteilt werden und somit den periodenbezogenen Gewinn der Investition reduzieren. Beispielhafte Abschreibungssätze sind auf den Internetseiten des Bundesfinanzministeriums zu finden (URL: www.bundesfinanzministerium.de). Diese sind als Richtlinien zu sehen und können individuell angepasst werden (THOMMEN & ACHLEITNER 2009). Neben den einmaligen sind die *laufenden übergeordneten Aufwände* zu integrieren. Diese regelmäßig auftretenden Kosten sind keinem PBS direkt zurechenbar, sondern treten übergreifend über alle Prozesse auf und bilden die zweite Ebene. Lizenzgebühren für den Infobroker sind hier exemplarisch anzuführen. Die dritte Ebene bilden die *laufenden Aufwände* in den PBS, wie bspw. Schulungskosten für Mitarbeiter einzelner Prozesse.

Die Einsparungen gliedern sich in zwei Bereiche. Einerseits erzeugt RFID interne Effekte, die direkt zu Einsparungen im Materialfluss bzw. in materialflussnahen Abläufen in den indirekten Bereichen führen. Beispiele sind das Entfallen manueller Scanvorgänge und die Reduzierung von Papierbelegen. In den Verwaltungsbereichen können u. a. Nachbestellungen automatisiert werden. Diese werden direkt in den einzelnen PBS mit den laufenden PBS-spezifischen Aufwänden zu den *Effekten in den Prozessbausteinen* verrechnet. Das Aufsummieren der Effekte in den PBS ergibt die *Effekte in den Bereichen*. Andererseits ent-

stehen durch RFID zudem *externe Effekte*, die zwar den Unternehmenserfolg direkt beeinflussen, auf den Materialfluss jedoch keinen Einfluss haben. Dies ist bspw. die Reduktion von Schadensersatzzahlungen aufgrund fehlerhafter Lieferungen. Die *internen* und *externen Effekte* sowie die PBS-spezifischen laufenden Aufwände bilden in der Kalkulationsstruktur die *Zahlungsströme der Effekte*. Diese werden den *laufenden übergeordneten Aufwänden* gegenübergestellt, um die *gesamten Zahlungsströme* des RFID-Einsatzes zu erhalten. Zur Ermittlung der *Zielgrößen* werden diese final mit den *einmaligen Investitionen* verrechnet.

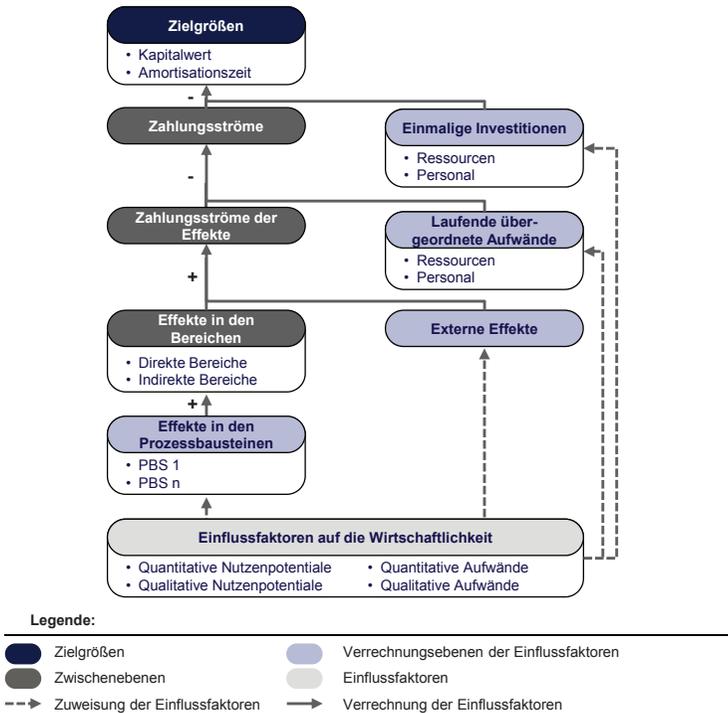


Abbildung 41: Kalkulationsstruktur zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Basierend auf der Kalkulationsstruktur sind alle quantifizierten Einflussfaktoren den entsprechenden Ebenen zuzuweisen. Dies dient der Ermittlung der Zielgrößen im nächsten Schritt.

7.3.3 Durchführung von Bewertung und Simulation

Das Bewertungsziel ist die Ermittlung des Kapitalwerts und der dynamischen Amortisationszeit der Investition. Dies erfolgt durch eine Differenzbetrachtung auf Basis der PBS, die alle Nutzen und Aufwände erfassen (BECKER ET AL. 2010). Um eine eindeutige Zuordnung der Faktoren zu erhalten, werden diese hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Personal- und Ressourceneinsatz unterteilt. Unter Beachtung von Abschreibungen, Steuern und spezifischen Diskontierungssätzen stehen die Formeln 1 und 2 aus Abschnitt 2.5.3 sowie die beschriebene Kalkulationsstruktur zur Ermittlung der Zielgrößen zur Verfügung. Diese kann rein deterministisch, also ohne die Berücksichtigung von Unsicherheiten, sowie unsicherheitsbehaftet angewendet werden (KREBS 2011). Da die meisten Faktoren Unsicherheiten unterliegen, empfiehlt es sich zur Bewertung des Risikos der Investition die Unsicherheiten zu integrieren. In Abhängigkeit von den Einflussfaktoren und des Bewertungszeitpunkts ist zu beachten, dass nicht alle Faktoren einer Unsicherheit unterliegen und sich somit eine Mischung beider Ansätze ergibt. Vor allem einmalige Investitionen und der Nutzen aus entfallenden PBS liegen als exakte Werte vor. Hingegen unterliegen Prozessveränderungen in der Regel Unsicherheiten. Zur Durchführung der Berechnung dient die Monte-Carlo-Simulation (s. Abschnitt 2.6). Abbildung 42 stellt die Ermittlung der Zielgrößen unter Beachtung sicherer und unsicherer Einflussfaktoren dar.

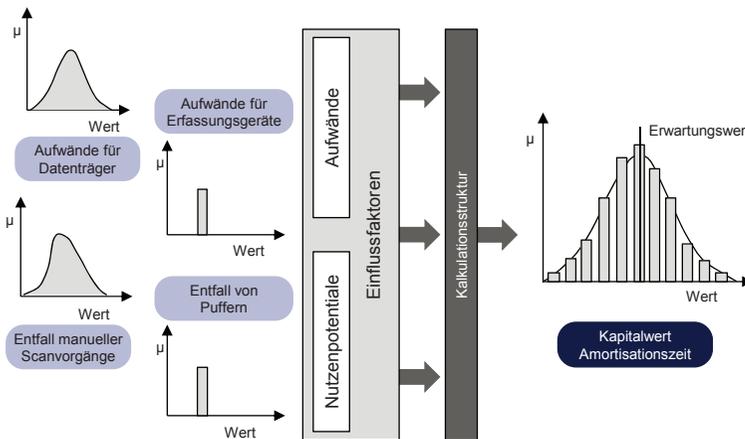


Abbildung 42: Ermittlung der Zielgrößen mittels der Monte-Carlo-Simulation

Als Ergebnis liefert dieser Teilschritt die Zielgrößen des Kapitalwerts und der dynamischen Amortisationszeit.

7.4 Analyse der Bewertung

7.4.1 Allgemeines

Die Analyse der Bewertung dient der Generierung einer aussagekräftigen Entscheidungsbasis. Die Systemanalyse (s. Abschnitt 7.4.2) untersucht die Bewertung hinsichtlich weiterer Verbesserungen durch die Kombination einzelner Personal- und Ressourceneinsparungen und überprüft die Vorteilhaftigkeit der EP, um die optimale Konfiguration des RFID-Systems zu ermitteln. Die integrierte Break-Even-Analyse ermöglicht zudem eine Abschätzung der notwendigen Objektbewegungen für einen wirtschaftlichen Einsatz. Die Ausgleichsanalyse (s. Abschnitt 7.4.3) hingegen ermittelt mögliche Kompensationsleistungen an benachteiligte Partner, um eine gerechte Verteilung von Kosten und Nutzen im Wertschöpfungsnetz zu erzielen. Die Expansionsanalyse (s. Abschnitt 7.4.4) bietet die Möglichkeit, basierend auf der vorliegenden Bewertung, Abschätzungen bzgl. der Wirtschaftlichkeit weiterer RFID-Projekte zu treffen.

7.4.2 Systemanalyse

Im Rahmen der Systemanalyse wird das bewertete RFID-System hinsichtlich dreier Fragestellungen analysiert. Die erste Frage beschäftigt sich mit der Generierung weiterer Einsparungen. Die PBS-basierte Bewertung resultiert in einer isolierten Betrachtung der Einflussfaktoren. Zeiteinsparungen können folglich in einzelnen PBS erzielt werden. Da die Mitarbeiter jedoch häufig nicht vollständig freigesetzt werden, kann das Unternehmen keine Einsparungen verbuchen. Durch die Verknüpfung mehrerer PBS könnte dieser Problematik begegnet werden. Einzelne Zeiteinsparungen gleicher Mitarbeitertypen, wie Lagerarbeiter, könnten zusammengelegt und vollständige Kapazitäten freigesetzt werden. Die zweite Fragestellung fokussiert die Verteilung der Kosten und Nutzen auf die EP. Durch eine Vereinigung bzw. Neuordnung dieser EP sind Investitionen einzusparen. Die Wirtschaftlichkeit vieler Bereiche hängt zudem von der Anzahl erfasster Objekte ab. Um hierzu eine Aussage zu ermöglichen, widmet sich die dritte Frage einer Break-Even-Analyse zur Ermittlung der kritischen Anzahl an Objektbewegungen. Eine Übersicht der Inhalte der Systemanalyse ist in Abbildung 43 ent-

halten. In der Systemanalyse werden nur die Einsparungen der internen Effekte beachtet, da die externen Effekte nicht direkt einem Mitarbeiter, einer Ressource, einem EP oder einem Objekt zugewiesen werden können.

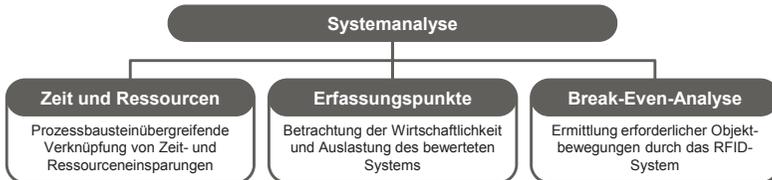


Abbildung 43: Unterteilung der Systemanalyse

Zeit und Ressourcen

Durch die Automatisierung von Tätigkeiten werden in den PBS Bearbeitungszeiten eingespart. Reale Einsparungen werden in der Regel jedoch erst wirksam, wenn die freie Zeit durch zusätzliche produktive Tätigkeiten wieder genutzt wird oder Mitarbeiter aus einem Prozess herausgenommen werden können. Dies ist jedoch nur durch die Einsparung einer vollständigen Schicht möglich (RHENSIUS & DÜNNEBACKE 2009, GILBERG 2009). Besteht diese Möglichkeit in einem PBS nicht, ist zu analysieren, ob gleiche Mitarbeitertypen (MAT) in unterschiedlichen PBS Einsparungen erzielen und diese kombiniert werden können. Unter einem MAT werden Mitarbeiter zusammengefasst, die gleiche Tätigkeiten im Unternehmen durchführen. Staplerfahrer können hier exemplarisch genannt werden. Zur Durchführung der Systemanalyse sind die in der Quantifizierung berücksichtigten Mitarbeiter hinsichtlich ihrer Tätigkeiten zu charakterisieren und in MAT zusammenzufassen. Auf Basis der MAT können Aufgaben dann so verteilt werden, dass ein Mitarbeiter gleiche Tätigkeiten in verschiedenen Bereichen übernimmt. Somit kann ein Mitarbeiter gleichen MAT freigesetzt werden.

Abbildung 44 stellt auf der linken Seite das Ergebnis der Nutzenquantifizierung in den PBS nach Bildung der MAT dar. Es ist ersichtlich, dass in den vier betrachteten PBS vier unterschiedliche MAT eingesetzt sind.

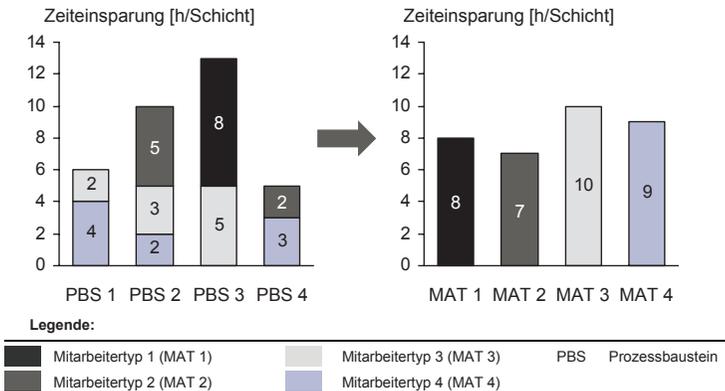


Abbildung 44: Verknüpfung der Zeiteinsparungen von Prozessbausteinen

Bei einer angenommenen Schichtdauer von 8 Stunden ist ein Mitarbeiter vom MAT 1 in PBS 3 direkt freizusetzen. Zudem ist zu überprüfen, ob die Tätigkeiten von MAT 2 in PBS 2 sowie MAT 3 in PBS 3 zeitlich so angeordnet werden können, dass ein Mitarbeiter eine Halbtagsstelle erhält. Durch die Kombination der Einsparungen kann jeweils ein Mitarbeiter der MAT 3 und 4 freigesetzt werden, da zusammengefasst eine Einsparung von über 8 Stunden erzielt wird (s. Abbildung 44, rechts). Bei MAT 2 kann keine vollständige Stelle eingespart werden. Zu prüfen ist hierbei, ob ebenfalls eine Halbtagsstelle implementiert werden kann. Durch die Kombination sind die Mitarbeiter in verschiedenen PBS für Abläufe verantwortlich. Voraussetzung für die Freisetzung durch Kombination der Einsparungen ist daher eine zeitlich sinnvolle Aufteilung der Tätigkeiten und eine Abstimmung zwischen den Verantwortungsbereichen.

Analog zur Betrachtung des Personals kann die Analyse des Ressourceneinsatzes erfolgen. Unter Ressourcen wird in diesem Rahmen ausschließlich das technische Equipment verstanden, das zur Durchführung der Prozesse erforderlich ist. Maschinen und Transportmittel sind exemplarisch zu nennen.

Erfassungspunkte

Neben weiteren Personal- und Ressourceneinsparungen ist das RFID-System auch hinsichtlich der Vorteilhaftigkeit der EP zu analysieren. Um diese Analyse durchzuführen, ist zunächst der Nutzen den Events und diese wiederum den EP zuzuordnen. Dies erfolgt basierend auf den erzeugten Nutzenketten, aus denen ersichtlich ist welches Potential durch welchen Event erzeugt wurde. Die jeweili-

gen monetären Einsparungen der Potentiale sind aus der Kalkulationsstruktur zu entnehmen. Einsparungen durch entfallene Prozesse sind verursachungsgemäß den entsprechenden Events zuzuordnen oder gleichmäßig über alle Events zu verteilen. Die Aufwände der EP sind ebenso aus der Kalkulationsstruktur zu entnehmen. Hierbei ist zu beachten, dass sich die Aufwände in EP-abhängige Aufwände, wie Antennen und Anschlüsse, und EP-unabhängige Aufwände teilen. Zu den EP-unabhängigen Aufwänden zählen neben Lizenzen auch Aufwände für hinzukommende PBS, wie für das Anbringen der Datenträger. Diese Kosten sind gleichmäßig auf alle EP zu verteilen. In Abbildung 45 sind die notwendigen Daten zur Durchführung der Systemanalyse auf Ebene der EP beispielhaft dargestellt. Die Werte sind dabei auf den gleichen Betrachtungszeitraum bezogen. Die Abbildung beinhaltet die einzelnen Personal- und Ressourceneinsparungen durch die Events und eine Zusammenfassung dieser zu den zugehörigen EP. EP 1 generiert die Events 1, 2 und 3. Zudem sind die Aufwände der EP dargestellt.

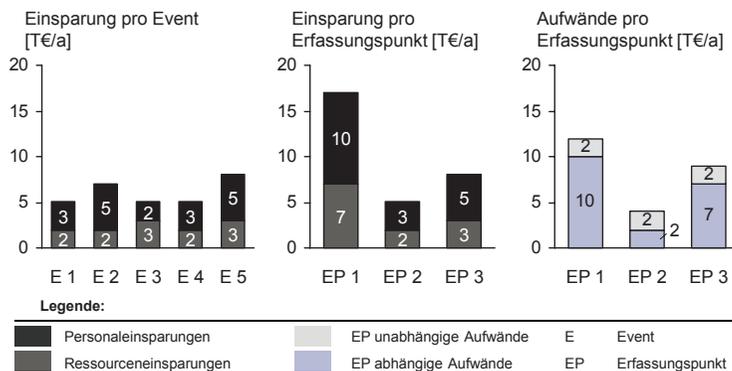


Abbildung 45: Daten für die Optimierung der Erfassungspunkte

Um die Vorteilhaftigkeit der EP zu beziffern, sind die Rentabilitätszahl k_{RentEP} und der Gewinn G_{EP} (s. Formeln 35 und 36) für jeden EP zu bestimmen.

$$k_{\text{RentEP}} = \frac{E_{\text{EP}}}{A_{\text{EP}}} \quad (35)$$

$$G_{\text{EP}} = E_{\text{EP}} - A_{\text{EP}} \quad (36)$$

k_{RentEP}	Rentabilitätskennzahl des Erfassungspunkts
E_{EP}	Einsparung des betrachteten Erfassungspunkts
A_{EP}	Aufwände des betrachteten Erfassungspunkts
G_{EP}	Gewinn des Erfassungspunkts

Für beide Kennzahlen ergibt sich, basierend auf den beispielhaften Werten aus Abbildung 45, die in Abbildung 46 dargestellte Verteilung.

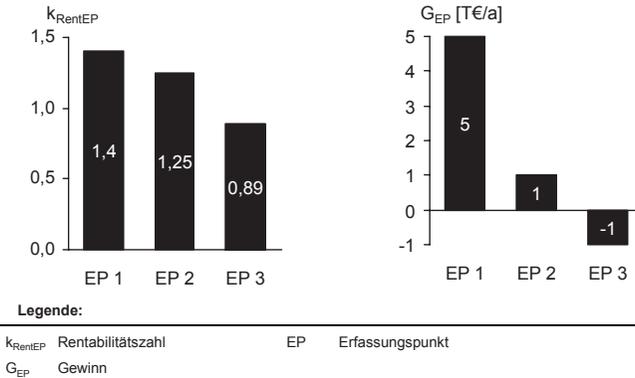


Abbildung 46: Rentabilitätskennzahl und Gewinn im Anwendungsbeispiel

Bei der Analyse der Rentabilitätskennzahl ist folgende Einteilung zu beachten:

- $k_{RentEP} < 1$ Der EP ist nicht wirtschaftlich.
 $k_{RentEP} > 1$ Der EP ist wirtschaftlich.

Hinsichtlich des Beispiels bedeutet dies, dass EP 1 und 2 wirtschaftlich sind. Eine Implementierung von EP 3 ist kritisch zu hinterfragen. Dies kann mittels des Gewinns G_{EP} erfolgen. Abbildung 46 zeigt, dass EP 1 und 2 einen Gewinn erbringen und somit absolut vorteilhaft sind. EP 1 ist zudem relativ am vorteilhaftesten, da dieser EP den größten Gewinn generiert (GÖTZE 2006). EP 3 erzielt hingegen einen Verlust und sollte absolut betrachtet nicht realisiert werden. Da dennoch die Möglichkeit besteht, dass die erzielten Einsparungen des EP die EP-abhängigen Aufwände übersteigen und somit einen Anteil zur Deckung der unabhängigen Kosten beitragen, sollte der Deckungsbeitrag ermittelt werden:

$$DB_{EP} = E_{EP} - A_{EPa} \quad (37)$$

- DB_{EP} Deckungsbeitrag des Erfassungspunkts
 E_{EP} Einsparung des betrachteten Erfassungspunkts
 A_{EPa} EP-abhängige Aufwände

Die zusätzliche Ermittlung dieses Werts zeigt, dass die Einsparungen von EP 3 in Höhe von 8.000 €/a die EP-abhängigen Aufwände in Höhe von 7.000 €/a übersteigen und somit einen Beitrag zur Deckung der unabhängigen Aufwände leis-

ten (s. Abbildung 45). Zur abschließenden Gegenüberstellung der EP werden diese in ein Portfolio eingetragen (s. Abbildung 47, links). Die Bereiche II und IV sind dabei grau hinterlegt, da sich diese rechnerisch nicht ergeben können. EP in Bereich I erzielen einen Gewinn und eine Rentabilitätszahl größer 1 und sind daher zu realisieren. EP in Bereich 3 erwirtschaften zwar einen Verlust, könnten jedoch einen Deckungsbeitrag leisten. Dieser ist in Klammern angegeben.

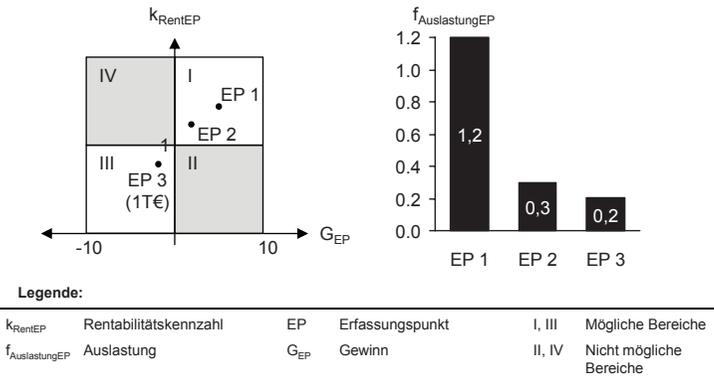


Abbildung 47: Ergebnisportfolio und Auslastungsgrad der Erfassungspunkte

Neben der Analyse der Vorteilhaftigkeit können die EP hinsichtlich ihrer Auslastung untersucht werden (s. Abbildung 47, rechts). Der Auslastungsgrad kann gemäß Formel 38 ermittelt werden. Hierbei wird die Anzahl der Objekte, die den betrachteten Event erzeugen, der Objektanzahl gegenübergestellt, die den PBS durchlaufen, in der die Eventgenerierung stattfindet. Werden an einem EP mehrere Events generiert, kann die Auslastung über 1 steigen, da ein Objekt auch mehrmals den EP passieren kann.

$$f_{AuslastungEP} = \sum_{i=1}^n \frac{N_{ObjekteEi}}{N_{ObjektePBS}} \quad (38)$$

$f_{AuslastungEP}$	Auslastungsgrad des Erfassungspunkts
$N_{ObjekteE}$	Anzahl der Objekte die ein Event durchlaufen
$N_{ObjektePBS}$	Anzahl der Objekte die einen Prozessbaustein durchlaufen
i, n	Laufvariablen für die Anzahl Events pro Erfassungspunkt

Bei einer geringen Auslastung der EP ist zu hinterfragen, ob eine Kombination mehrerer EP technisch und wirtschaftlich sinnvoll ist. Hierzu sind die Entfernung zwischen den EP und die Funktionalitäten der EK zu beachten. Unabhängig von

der Auslastung und der Vorteilhaftigkeit spielt bei der Bewertung der EP die gewünschte Abbildung der Objektbewegungen im IT-System und die damit erzielbare Transparenz im Netzwerk eine zentrale Rolle bei der Entscheidung.

Break-Even-Analyse

In besonderem Maße ist die Wirtschaftlichkeit von der Anzahl erfasster Objekte abhängig. Vor allem im PBS *Vereinnahmen*, in dem häufig Parallelprozesse realisiert sind, um alle angelieferten Objekte (mit und ohne Datenträger) zu erfassen, ist es von zentraler Bedeutung die kritische Menge (Break-Even) zu bestimmen, ab der die Einführung von RFID rentabel ist (DÄUMLER & GRABE 2007). Basis der Analyse stellen die quantifizierten Aufwände und Nutzen dar. Zur Durchführung der Analyse sind die Werte auf einen einheitlichen Betrachtungszeitraum, wie auf Monatebene, zu beziehen. Die Aufwände setzen sich aus den anteiligen einmaligen Investitionen und den laufenden Betriebsaufwänden zusammen. Zusätzliche Datenträgerkosten entstehen für die Wiederbeschaffung in Open-loop Anwendungen. Dieser Sachverhalt ist in Formel 39 dargestellt. Die erforderlichen Zahlenwerte sind aus der Kalkulationsstruktur zu entnehmen.

$$A_{\text{gesm}} = A_{\text{Investm}} + A_{\text{Betriebm}} + n_m \cdot \emptyset A_{\text{DatenträgerObjekt}} \quad (39)$$

A_{gesm}	Monatliche Gesamtaufwände
A_{Investm}	Anteilmäßige Investitionen auf einen Monat
A_{Betriebm}	Monatliche Betriebsaufwände
n_m	Objektanzahl pro Monat (Closed-loop System = 0)
$\emptyset A_{\text{DatenträgerObjekt}}$	Durchschnittliche Datenträgerkosten pro Objekt (Closed-loop System = 0)

Bei den Datenträgerkosten im Open-loop Betrieb ist darauf zu achten, dass nur diejenigen Objekte berücksichtigt werden, die nicht im Netzwerk zirkulieren. Gelangen verschiedene Objekte zum Endkunden ist zudem der jeweilige Mengenanteil a_{iA} bei der Kostenermittlung zu beachten (s. Formel 40).

$$\emptyset A_{\text{DatenträgerObjekt}} = \sum_{i=1}^n a_{iA} \cdot A_{\text{Objekti}} \quad (40)$$

mit
$$\sum_{i=1}^n a_{iA} = 1 \quad (41)$$

$\emptyset A_{\text{DatenträgerObjekt}}$	Durchschnittliche Datenträgerkosten pro Objekt
a_{iA}	Mengenanteil von Objekt i an allen Objekten, die zum Endkunden gelangen
A_{Objekti}	Datenträgerkosten des Objekts i
i, n	Laufvariablen für die Anzahl unterschiedlicher Objekte

Ein beispielhafter Verlauf der Aufwände ist in Abbildung 48 dargestellt. Im Gegensatz zum konstanten Verlauf der Closed-loop Anwendung steigen die Aufwände des Open-loop Systems mit abnehmender Steigung an. Dies ist auf Preisnachlässe bei steigender Stückzahl zurückzuführen.

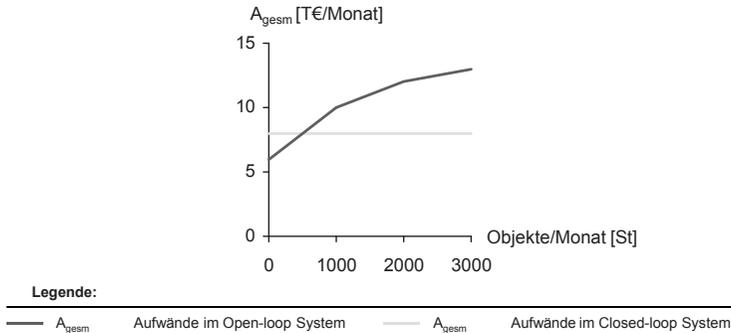


Abbildung 48: Kostenverteilung bei der Break-Even Betrachtung

Neben den Aufwänden sind die Einsparungen pro Objekt zu ermitteln (s. Formel 42). Hierbei werden nur interne Effekte beachtet, da externe Effekte zwar durch RFID generiert werden, jedoch nicht direkt auf das einzelne Objekt zurückzuführen sind (s. Abschnitt 6.4.2).

$$E_{gesm} = n_m \cdot \varnothing E_{\text{Objekt}} \quad (42)$$

E_{gesm}	Monatliche Gesamteinsparungen
n_m	Objektanzahl pro Monat
$\varnothing E_{\text{Objekt}}$	Durchschnittliche Einsparungen pro Objekt

Die Nutzengenerierung erfolgt durch verschiedene Objekte. Um einen repräsentativen Wert zu erhalten, ist es erforderlich den jeweiligen Mengenanteil a_{iE} und die konkreten Einsparungen der Objekte in der Analyse zu beachten.

$$\varnothing E_{\text{Objekt}} = \sum_{i=1}^n a_{iE} \cdot E_{\text{Objekt}i} \quad (43)$$

mit
$$\sum_{i=1}^n a_{iE} = 1 \quad (44)$$

$\varnothing E_{\text{Objekt}}$	Durchschnittliche Einsparungen pro Objekt
a_{iE}	Mengenanteil von Objekt i an allen Objekten
$E_{\text{Objekt}i}$	Einsparungen des Objekts i
i, n	Laufvariablen für die Anzahl unterschiedlicher verfolgter Objekte

Die Basis für die Nutzengenerierung sind die Events. Daher ist es möglich die Einsparungen für jedes Objekt auf Grundlage der vom jeweiligen Objekt erzeugten Events zu ermitteln (s. Formel 45). Eine zusätzliche Unterscheidung des Closed- und Open-loop Einsatzes kann damit entfallen. Die jeweiligen Einsparungen können wieder aus den Nutzenketten sowie der Kalkulationsstruktur entnommen werden.

$$E_{\text{Objekti}} = \sum_{i=1}^n E_{\text{ObjektE}} \quad (45)$$

E_{Objekti}	Einsparungen pro Objekt
E_{ObjektE}	Einsparungen des Objekts pro Event
i, n	Laufvariablen für die Anzahl der Events

Abbildung 49 zeigt den Verlauf des monatlichen Gesamtnutzens. Es ist zu erkennen, dass sich eine Ursprungsgerade mit der Steigung $\emptyset E_{\text{Objekt}}$ ergibt.

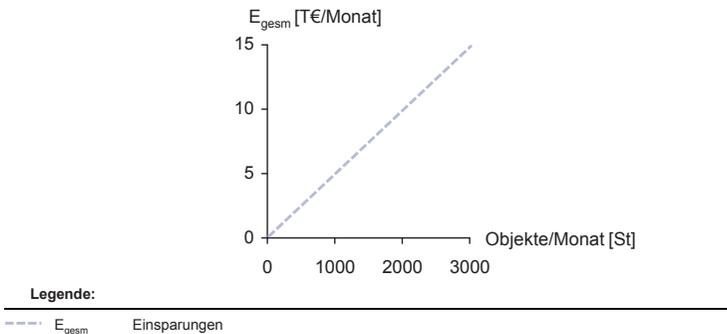


Abbildung 49: Nutzenverteilung in der Break-Even Betrachtung

Um die kritische Anzahl zu ermitteln, sind Aufwände und Einsparungen gegenüberzustellen (LEE & LEE 2010). Dies kann grafisch (s. Abbildung 50) oder rechnerisch (s. Formel 46) erfolgen. Bei Ersterem ergeben die Schnittpunkte a und b der Aufwands- und Einsparungsverläufe jeweils die Objektanzahl.

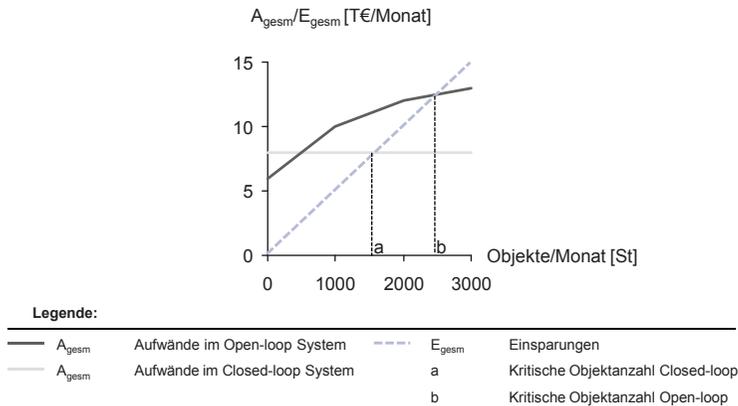


Abbildung 50: Kritische Objektanzahl im Closed- und Open-loop Einsatz

Bei der rechnerischen Lösung ergibt sich nach Auflösung hinsichtlich der Objektanzahl der in Formel 47 dargestellte Zusammenhang.

$$A_{gesm} = E_{gesm} \tag{46}$$

$$n_m = \frac{A_{Investm} + A_{Betrieblm}}{\emptyset E_{Objekt} - \emptyset A_{DatenträgerObjekt}} \tag{47}$$

- A_{gesm}, E_{gesm} Monatliche Gesamtaufwände bzw. Gesamteinsparungen
- n_m Objektanzahl pro Monat
- $A_{Investm}$ Anteilsmäßige Investitionen auf einen Monat
- $A_{Betrieblm}$ Monatliche Betriebsaufwände
- $\emptyset E_{Objekt}$ Durchschnittliche Einsparungen pro Objekt
- $\emptyset A_{DatenträgerObjekt}$ Durchschnittliche Datenträgerkosten pro Objekt (Closed-loop System = 0)

Die Systemanalyse ermöglicht erfasste Zeit- und Ressourceneinsparungen derart zu kombinieren, dass reale Einsparungen für das Unternehmen entstehen. Die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der einzelnen EP ermöglicht es zudem die Auslegung des RFID-Systems zu hinterfragen und gegebenenfalls anzupassen. Die Durchführung einer Break-Even-Analyse gibt abschließend Auskunft über die Objektanzahl, die für einen wirtschaftlichen Betrieb erforderlich ist.

7.4.3 Ausgleichsanalyse

Zahlreiche Potentiale entstehen erst durch den unternehmensübergreifenden RFID-Einsatz (s. Abschnitt 2.2.5). Häufig ist dies mit einer ungleichen Kosten-Nutzen-Verteilung verbunden. Unternehmen in frühen Wertschöpfungsstufen müssen oft mit zusätzlichen Kosten für das Anbringen der Datenträger kalkulieren. Viele Einsparungen entstehen jedoch erst in späteren Stufen, da hier bereits eine Prozessunterstützung ab dem *Vereinnahmen* erfolgt. Da aus diesem Grund Kooperationen häufig scheitern, ist eine Entschädigung benachteiligter Partner nötig. Ausgleichsleistungen im Rahmen des CBS (s. Abschnitt 2.8) beeinflussen jedoch die unternehmensspezifische Wirtschaftlichkeit und sind daher in der Bewertung zu beachten. Zudem sind bei der Umsetzung einige Prämissen, wie die Datengeheimhaltung, die Fairness, die Robustheit gegen Manipulation und RFID-spezifische Gesichtspunkte, wie technische Standards, zu berücksichtigen. Daher wurde das in Abbildung 51 abgebildete Vorgehen entwickelt (SEITER ET AL. 2007, RIHA 2008, TRIBOWSKI 2009).



Abbildung 51: Aufbau der Ausgleichsanalyse

Dieses umfasst ein Rahmenmodell und ein Vorgehensmodell. Ersteres legt u. a. die Systemgrenzen für die Analyse und die zu beachtenden Faktoren fest. Das Vorgehensmodell hingegen fokussiert die Ermittlung der Ausgleichshöhe. Im Folgenden werden die einzelnen Bereiche des Rahmenmodells erläutert.

Netzwerkleitungskreis: Der Netzwerkleitungskreis ist ein Gremium, in dem alle Partner vertreten sind. Die Aufgaben dieses umfassen u. a. die Gestaltung der RFID-Implementierung, indem das Ziel des RFID-Einsatzes, das verfolgte Objekt und die relevanten Prozesse definiert werden. Des Weiteren ist dieser Kreis

für die Durchführung des CBS, die Vereinbarung gemeinsamer Regeln und für die Fixierung der Reallokationsart verantwortlich. Für eine erfolgreiche Umsetzung benötigen die Unternehmensvertreter volle Entscheidungsgewalt, um die RFID-Implementierung und das CBS entsprechend zu gestalten. Zudem ist das Stimmrecht der Partner vor Projektbeginn zu fixieren. Hierbei sind der Wertschöpfungsanteil am gemeinsamen Produkt, die hierarchische Stellung des Unternehmens im Netzwerk und das Risiko der Implementierung bzw. die Höhe der Investitionen zu beachten. Findet eine parallele Implementierung in verschiedenen Projekten statt oder können Unternehmen bereits auf ein bestehendes RFID-System zurückgreifen, ist dies entsprechend in den Aufwänden und Einsparungen zu berücksichtigen. Wichtig ist es einen fairen Kompromiss zu erzielen, da der Erfolg des RFID-Einsatzes von allen Partnern abhängt. Unter dem Begriff fair wird eine Aufteilung der Aufwände und Nutzen verstanden, die von allen beteiligten Partnern als gerecht empfunden und vollständig akzeptiert wird. (RIHA 2008, JAP 2000, HELMIG ET AL. 2010)

Regeln: Grundlage eines erfolgreichen CBS sind verbindliche Regeln für alle Teilnehmer, deren Nichteinhaltung zu Sanktionen führt. Somit kann opportunistischem Handeln vorgebeugt sowie Vertrauensbildung und Systemdenken unterstützt werden. Folgende Regeln gilt es zu beachten (RIHA & WEIDT 2004):

- Das Ziel des kooperativen RFID-Einsatzes ist die maximale Kostenreduktion für die Fertigung gemeinsamer Erzeugnisse. Der RFID-Einsatz kann jedoch zu Mehrkosten bei einzelnen Unternehmen führen. Die Beteiligung dieser am Wertschöpfungsnetz ist jedoch obligatorisch, da nur gemeinschaftlich die angestrebte Kostenreduktion erzielt werden kann.
- Alle Partner müssen dem Kooperationsrahmen zustimmen, wobei die Rolle jedes Akteurs genau definiert und transparent ist. Die Rolle beschreibt die Aufgabe im Wertschöpfungsnetz. Dies ist vor allem bei leistungsbezogenen Reallokationsarten (s. Schritt 3) relevant, indem dem Logistikdienstleister ein Wertschöpfungsanteil zugewiesen wird.
- Alle Akteure vereinbaren und verwenden gemeinsame, einheitliche Kennzahlen für die Bewertung.
- Die Partner streben eine Win-Win-Situation an. Der erzielte Überschuss wird fair nach einem allgemein akzeptierten Schlüssel verteilt. Dieser wird durch die Reallokationsart (s. Schritt 3) vorgegeben.

- Jeder Teilnehmer ist für die Qualität seiner Daten bzgl. auftretender Einsparungen und Aufwände verantwortlich und verpflichtet diese den Partnern mitzuteilen, um eine faire Reallokation durchführen zu können.

Einflussfaktoren: Die Durchführung des CBS unterliegt internen und externen Einflüssen. Interne beschreiben die Gegebenheiten im Netzwerk und unterteilen sich in strukturelle und technische Gesichtspunkte. Dabei beschreiben strukturelle Faktoren die Beziehungen der Akteure, bestehende Machtstrukturen und Interessensasymmetrien. Ein wichtiger Aspekt ist das Vertrauen, das für eine effektive Umsetzung eines ganzheitlichen Optimums erforderlich ist. Dieses ist abhängig davon, über welchen Zeitraum bereits vor dem betrachteten Projekt Kooperationen zwischen den Partnern bestanden haben und wie viele Partner im Netzwerk vertreten sind. Eine steigende Anzahl von Unternehmen führt dazu, dass Daten nicht ohne Weiteres offen gelegt werden. Zudem spielt das zu beobachtende Objekt eine zentrale Rolle. Gelangt dieses zum Endkunden und zirkuliert nicht zwischen den Unternehmen, kann es zu ansteigenden laufenden Aufwänden bei einzelnen Partnern kommen (TRIBOWSKI 2009). Aus technischer Sicht spielen die bisherigen Erfahrungen mit RFID eine große Rolle. Bestehende Vorurteile und Unwissenheit können die Haltung gegenüber dem Vorhaben negativ beeinflussen. Die externen Einflüsse umfassen technische und marktbedingte Faktoren. Neben der Einhaltung technischer Standards wirkt sich auch die Reife der RFID-Technik auf die Akzeptanz aus. Eng damit verknüpft ist die Preisentwicklung der Komponenten, welche als Hauptursache für die kritische Haltung gegenüber RFID gilt (STRASSNER 2005) und von der Verbreitung der Technik auf dem Markt abhängig ist (TRIBOWSKI 2009). Externe Faktoren wirken nicht direkt auf das CBS, beeinflussen dennoch die Akzeptanz von RFID und begünstigen somit den CBS-Einsatz. Unter Beachtung der Einflüsse sollte der Netzwerkleitungskreis entscheiden, welche Form der RFID-Kooperation realisiert wird. Bestehen bereits Vorurteile gegenüber RFID bzw. anderer Projektpartner, empfiehlt es sich zunächst ein Pilotprojekt durchzuführen. Da das CBS parallel zur RFID-Implementierung erfolgt, fließen die Einflussfaktoren in die Zielformulierung des RFID-Einsatz im Rahmen der Definition der Eingangsgrößen und Voraussetzungen (s. Abschnitt 5.3) und im ersten Schritt des Vorgehensmodells mit ein.

Controlling-Instanz: Von entscheidender Bedeutung ist das Controlling für eine erfolgreiche Durchführung des CBS. Das Controlling ist neben der Datenerfassung für die Ermittlung der Reallokationshöhe und der Durchführung und Überwachung der anschließenden Reallokation, auch für die Dokumentation der einzelnen Schritte und Ergebnisse verantwortlich. In Bezug auf die personelle Aus-

gestaltung lassen sich zwei Institutionalisierungsmöglichkeiten unterscheiden, die je nach Vertrauensverhältnis zu wählen sind. Beim dezentralen Controlling führen die einzelnen Akteure die Bewertung selbst durch und teilen die jeweiligen Ergebnisse den Partnern mit. Das zentrale Controlling hingegen wird von einem unabhängigen externen Informationstreuhänder oder durch ein zusammengestelltes Team aus den Projektteilnehmern durchgeführt. Auf Basis dieser beiden klassischen Formen lassen sich weitere Umsetzungsmöglichkeiten definieren, die die klassischen Ansätze zum Teil vereinen. (HELMIG ET AL. 2010)

Nach Fixierung der Rahmenbedingungen wird mittels des Vorgehensmodells die Ausgleichshöhe ermittelt. Hierzu sind die folgenden Schritte zu durchlaufen:

Schritt 1 – Rahmendefinition: Da CBS ein projektbegleitendes Verfahren ist, können verschiedene Ergebnisse der unternehmensspezifischen Bewertung in die Rahmendefinition einfließen. Neben der Integration des Rahmenmodells in das Vorgehensmodell können auch Angaben bzgl. der Projektphase, des Betrachtungszeitraums und der beteiligten Partner übernommen werden. Darüber hinaus ist der Kompensationsmechanismus zu fixieren (s. Abschnitt 2.8). Um eine transparente und zielorientierte Vorgehensweise zu gewährleisten, empfiehlt sich die Verwendung eines strukturierten Protokolls (s. Anhang 11.10).

Schritt 2 – Aufstellung der Basisallokation: Die Basisallokation resultiert aus den unternehmensspezifischen Bewertungen. Die ermittelten Einsparungen und Aufwände werden zusammengetragen und durch das Controlling überprüft. Durch das Aufstellen der Basisallokation wird die Ausgangssituation ermittelt, also die Basis die sich aufgrund der RFID-Einführung in den Unternehmen ergibt, wenn keine Umverteilung stattfindet. Durch Aufsummieren der Basisallokationen lässt sich der Netzwerkeffekt bestimmen. Ist dieser negativ, ist das Gesamtprojekt unwirtschaftlich.

Schritt 3 – Festlegung der Reallokationsart und Ermittlung der Zielallokation: Zur Umverteilung der Effekte ist die Reallokationsstrategie zu definieren. Ziel der Strategie ist es die Effekte so zwischen den Partnern zu verteilen, dass dies als fair empfunden wird und sich die Unternehmen am RFID-Projekt beteiligen. Bei der Auswahl der geeigneten leistungsunabhängigen bzw. -abhängigen Strategie (s. Abschnitt 2.8) spielen u. a. der individuelle Wertschöpfungsanteil am gemeinsamen Produkt, die getätigten Investitionen und das damit verbundene Risiko für den Projektpartner eine wesentliche Rolle. Leistungsunabhängige Verfahren, wie die gleiche Zielallokation, die paritätische Zielallokation und die

Strategie Verluste ausgleichen, berücksichtigen bei der Ermittlung der Ausgleichshöhe nicht den Beitrag eines Unternehmens zum Gesamterfolg, d. h. der Netzwerkeffekt wird gleichmäßig über alle Partner verteilt. Diese Strategien empfehlen sich primär in frühen Phasen der gemeinsamen Projektarbeit, da die Höhe des Ausgleichs leicht zu ermitteln ist. Aufgrund der Einfachheit werden aber die individuellen Leistungen nicht berücksichtigt, wodurch die Verteilung in der Regel als ungerecht empfunden wird. Leistungsabhängige Verfahren, wie Gewinnallokation nach Wertschöpfungsanteil und gleiche Rendite, ermitteln die Ausgleichshöhe unter Beachtung des individuellen Beitrags. Diese Strategien setzen jedoch genauere Angaben über die individuellen Beiträge, wie Investitionen, Einsparungen und dem Wertschöpfungsanteil, der Unternehmen voraus. Ein Einsatz empfiehlt sich daher erst in fortgeschrittenen Projektphasen. Leistungsabhängige Verfahren erzielen in der Regel jedoch die gerechteren Verteilungen (RIHA 2008, SCHOPPMANN 2005). Die Definition der Reallokationsstrategie erfolgt nach Ermittlung der Basisallokation vom Netzwerkleitungskreis auf Basis der vorliegenden Zahlen, um eine für alle Partner faire Strategie zu bestimmen. Das individuelle Risiko, das die Unternehmen mit der Implementierung von RFID eingehen, findet keine Beachtung in den Reallokationsstrategien. Dieses ist bereits zu Projektbeginn durch den Netzwerkleitungskreis zu erfassen. Die getätigten Aufwände der Unternehmen könnten bspw. zur Berücksichtigung des Risikos unterschiedlich gewichtet werden. Zur Vervollständigung der Dokumentation ist die ausgewählte Strategie im Protokoll von Schritt 1 zu ergänzen. In Abhängigkeit der gewählten Strategie werden schließlich die Reallokationssummen und die Zielallokation ermittelt (s. Abschnitt 8.3.2).

Schritt 4 – Durchführung der Reallokation: Nach Ermittlung der monetären Ausgleichshöhe ist die Kompensation durchzuführen. Hierzu eignen sich materielle und immaterielle Verfahren (s. Abschnitt 2.8). Eine immaterielle Kompensation empfiehlt sich in frühen Projektphasen, da hier der Transfer von Know-how wertvoll sein kann. Der jeweilige Wert der erbrachten Leistung ist gemeinsam im Netzwerkleitungskreis zu fixieren. In späteren Phasen gewinnen materielle, zu denen auch monetäre Ansätze zählen, an Bedeutung. Dies ist darauf zurückzuführen, dass mit der RFID-Implementierung längerfristige Beziehungen zwischen den Unternehmen angestrebt werden und daher ein monetär erfolgreiches wirtschaften aller Partner erforderlich ist. Generell ist es empfehlenswert Kompensationen in späteren Phasen zu realisieren, da Nutzen und Aufwände erst während des RFID-Einsatzes vollständig erfassbar sind. (RIHA 2008)

Schritt 5 – Dokumentation und Feedback: Ergänzend zum Protokoll ist abschließend eine Dokumentation anzufertigen. Neben der Erfassung der Ergebnisse, mithilfe derer ein weiterer CBS-Durchlauf geplant und ausgeführt werden kann, steht vor allem die Dokumentation der gesammelten Erfahrungen im Mittelpunkt. Dies ermöglicht eine kontinuierliche Verbesserung des CBS und eine dynamische Anpassung bei Projektveränderungen.

Schritt 6 – Controlling: Das Controlling erfolgt parallel zu den Schritten des Vorgehensmodells und soll jederzeit die Qualität der ausgetauschten Daten sowie die exakte Durchführung des Ausgleichs sicherstellen. Im Fokus stehen die Prüfung der bereitgestellten Daten auf Vollständig- und Richtigkeit sowie die Sicherstellung der Einhaltung der vereinbarten Regeln. Bei Missachtung ist darüber hinaus die Vollstreckung der Sanktionen zu überwachen.

Die Ausgleichsanalyse liefert als Ergebnis einen Vorschlag, wie der Netzwerkeffekt gerecht unter den beteiligten Unternehmen zu verteilen ist und was dies für die unternehmensspezifische Wirtschaftlichkeit bedeutet.

7.4.4 Expansionsanalyse

Zur Reduzierung des Bewertungsaufwands für neue RFID-Projekte können bereits durchgeführte Bewertungen herangezogen werden, um Rückschlüsse auf mögliche Aufwände und Nutzen abzuleiten (MANNEL 2006). Da diese Faktoren jedoch von verschiedenen Kriterien abhängen, ist die Übertragbarkeit kritisch zu überprüfen (HITZIGER 2007). Hierzu findet zuerst eine Gegenüberstellung der neuen RFID-Implementierung und des vorliegenden Vergleichsprojekts statt, bevor auf die Wirtschaftlichkeit des neuen Projekts geschlossen wird.

Prüfung der Übertragbarkeit

Die Prüfung der Übertragbarkeit findet in einem dreistufigen Vorgehen statt, das im Folgenden beschrieben wird.

Schritt 1 – Ermittlung des Expansionsquotienten EQ: Der Expansionsquotient wird ermittelt indem die beiden Prozessketten, des neuen und des bereits bewerteten RFID-Systems, gegenübergestellt werden. Hierbei wird auf Ebene der PBS überprüft, ob die Abläufe einen homogenen Wertschöpfungsprozess beschreiben. Dazu ist es nötig, dass die Partner, das Objekt sowie die EP und relevanten PBS des neuen Projekts definiert sind (s. Abschnitt 5.3 und 6.2). Der Übereinstimmungsgrad wird durch die Formel 48 ermittelt:

$$EQ = \begin{cases} \frac{N_{UEPBS}}{N_{NPPBS}} & \text{für } N_{NPPBS} \geq N_{VPPBS} \\ \frac{N_{UEPBS}}{N_{VPPBS}} & \text{für } N_{NPPBS} < N_{VPPBS} \end{cases} \quad (48)$$

EQ	Expansionsquotient
N_{UEPBS}	Anzahl übereinstimmender Prozessbausteine
N_{NPPBS}	Anzahl der Prozessbausteine des neuen Projekts
N_{VPPBS}	Anzahl der Prozessbausteine des Vergleichsprojekts

Schritt 2 – Ermittlung der Expansionsgüte EG: Die Gegenüberstellung der PBS stellt die Homogenität des Materialflusses sicher. Da RFID jedoch einzelne Tätigkeiten beeinflusst, sind im nächsten Schritt die übereinstimmenden PBS in einem direkten Vergleich zu analysieren. Hierzu werden diese anhand charakteristischer Faktoren, wie der Personalstruktur, benötigter Ressourcen sowie des Layouts der einzelnen Prozesse, durch eine Punktbewertung miteinander verglichen. Um eine detaillierte Analyse zu erhalten, sind für jeden Faktor, wie in Abbildung 52 anhand des Personals dargestellt, beschreibende Kriterien zu definieren. Die Bewertung der Übereinstimmung der beiden RFID-Projekte bzgl. der Kriterien kann linear (1, 2, 3) bzw. progressiv verteilt (1, 3, 9) erfolgen, wenn übereinstimmenden Kriterien eine größere Bedeutung zugewiesen werden soll (LINDEMANN 2005). Die Ermittlung der Faktoren und Kriterien ist unternehmensspezifisch für jeden PBS zu treffen. Zur Identifikation der Faktoren und Kriterien sind zunächst die PBS hinsichtlich charakteristischer Größen zu hinterfragen, die ausschlaggebend für die Kostenentstehung im Prozess sind. Sind die Faktoren erfasst, sind Kriterien zu definieren, die eine eindeutige Beschreibung der Ausprägung der Faktoren ermöglichen. Hinsichtlich dieser Kriterien sind anschließend die RFID-Projekte gegenüberzustellen.

Faktor	Kriterien			Summe Punkte	Summe erreichbare Punkte	EG_{Faktor}^1
	Anzahl	Ausbildung	Stundenlohn			
Personal	3	9	1	13	27	0,48

¹ Summe Punkte/Summe erreichbarer Punkte

Abbildung 52: Punktbewertung für den Faktor Personal

Die Expansionsgüte EG des RFID-Projekts (s. Formel 50) ergibt sich anschließend auf Basis der Übereinstimmung der einzelnen PBS EG_{PBS} (s. Formel 49).

$$EG_{\text{PBS}} = \frac{\sum_{i=1}^n EG_{\text{Faktori}}}{N_{\text{Faktor}}} \quad (49)$$

EG_{PBS}	Expansionsgüte der Prozessbausteine
EG_{Faktori}	Expansionsgüte des Faktors i
N_{Faktor}	Anzahl der Faktoren des Prozessbausteins
i, n	Laufvariablen für die Anzahl der Faktoren

$$EG = \frac{\sum_{i=1}^n EG_{\text{PBSi}}}{N_{\text{ÜBPBS}}} \quad (50)$$

EG	Expansionsgüte
EG_{PBSi}	Expansionsgüte des Prozessbausteines i
$N_{\text{ÜBPBS}}$	Anzahl übereinstimmender Prozessbausteine
i, n	Laufvariablen für die Anzahl der übereinstimmenden Prozessbausteine

Schritt 3 – Ermittlung der Expansionskennzahl EKZ: Um abschließend eine eindeutige Aussage bzgl. der Übertragbarkeit zu treffen, wird die Expansionskennzahl bestimmt, welche die Analyse des Wertschöpfungsprozesses und der einzelnen PBS beachtet (s. Formel 51).

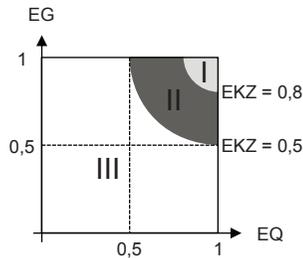
$$EKZ = EQ \cdot EG \quad (51)$$

EKZ	Expansionskennzahl
EQ	Expansionsquotient
EG	Expansionsgüte

In Abhängigkeit dieses Werts ergibt sich folgende Einteilung (s. Abbildung 53)

$EKZ = 1-0,8$	Gute Übertragbarkeit der Bewertung (Bereich I)
$EKZ = 0,8-0,5$	Mittlere Übertragbarkeit der Bewertung (Bereich II)
$EKZ = 0,5-0$	Keine Übertragbarkeit der Bewertung (Bereich III)

Die Grenzwerte stellen Anlehnungswerte dar und können unternehmensspezifisch angepasst werden. Stehen mehrere Projekte zur Verfügung, die zur Durchführung der Expansionsanalyse herangezogen werden können, empfiehlt es sich die ermittelten Expansionskennzahlen EKZ, für eine bessere Vergleichbarkeit der Eignung, in die in Abbildung 53 dargestellte Matrix einzutragen.

**Legende:**

EG	Expansionsgüte	EKZ	Expansionskennzahl	II	Mittlere Übertragbarkeit
EQ	Expansionsquotient	I	Gute Übertragbarkeit	III	Keine Übertragbarkeit

Abbildung 53: Bereiche der Expansionskennzahl

Weist keines der Vergleichsprojekte eine ausreichende Übertragbarkeit auf, sind weitere Projekte zu untersuchen.

Ermittlung der Wirtschaftlichkeit der neuen RFID-Implementierung

Ist ein Vergleichsprojekt definiert, wird die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit des neuen RFID-Projekts durchgeführt. Da in dieser Betrachtung keine periodenweise Zuordnung der Ein- und Auszahlungen erfolgt, wird ausschließlich der zu erwartende Gewinn (s. Formel 52) ermittelt. Einsparungen und Aufwände werden auf den gesamten Betrachtungszeitraum bezogen.

$$G_{NP} = E_{NP} - A_{NP} \quad (52)$$

G_{NP}	Gewinn des neuen Projekts
E_{NP}	Einsparungen des neuen Projekts
A_{NP}	Aufwände des neuen Projekts

Die Abschätzung der Einsparungen (s. Formel 53) basiert auf den Potentialen in den übereinstimmenden Prozessen des Vergleichsprojekts. Hierbei ist zu beachten, dass die Einsparungshöhe von der Anzahl der Objekte abhängt. Da neben den Einsparungen in den berücksichtigten PBS noch zusätzliche Nutzen existieren, wird der Einsparungsfaktor f_E ermittelt (s. Formel 54), der diesen Zusammenhang in die Bewertung integriert.

$$E_{NP} = f_E \cdot \sum_{i=1}^n \frac{N_{NP\text{Objekte}_i}}{N_{VP\text{Objekte}_i}} \cdot E_{VP\text{PBS}_i} \quad (53)$$

mit
$$f_E = E_{VP\text{ges}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{E_{VP\text{PBS}_i}} \quad (54)$$

E_{NP}	Einsparungen des neuen Projekts
f_E	Einsparungsfaktor
$N_{NP\text{Objekte}_i}, N_{VP\text{Objekte}_i}$	Objektanzahl im neuen Projekt, Vergleichsprojekt im Prozessbaustein i
$E_{VP\text{PBS}_i}$	Einsparungen des Vergleichsprojekts im Prozessbaustein i
$E_{VP\text{ges}}$	Gesamteinsparungen des Vergleichsprojekts
i, n	Laufvariable für die Anzahl der übereinstimmenden Prozessbausteine

Ergänzend zu den Einsparungen sind die Aufwände des neuen Projekts zu identifizieren, die neben Ausgaben für Hard- und Software-Komponenten auch Personalaufwände umfassen (s. Formel 58). Den Hardware-Komponenten werden dabei Aufwände für die Installation und den Betrieb der EP sowie für die Datenträger zugerechnet (s. Formel 55). Die Aufwände für die Software beinhalten die Initialkosten für die Implementierung und die laufenden Lizenzen (s. Formel 56). Die Personalkosten umfassen die Kosten für das Projektteam und die laufenden Ausgaben für bspw. Schulungen (s. Formel 57). Zusätzlich auftretende Aufwände werden durch den Aufwandsfaktor f_A berücksichtigt (s. Formel 59).

$$A_{NP\text{HW}} = \frac{N_{NP\text{EP}}}{N_{VP\text{EP}}} \cdot A_{VP\text{EP}} + \frac{N_{NP\text{Objekte}}}{N_{VP\text{Objekte}}} \cdot A_{VP\text{Datenträger}} \quad (55)$$

$$A_{NP\text{SW}} = \frac{N_{NP\text{SW}}}{N_{VP\text{SW}}} \cdot A_{VP\text{SW}} + \frac{N_{NP\text{Lizenzen}}}{N_{VP\text{Lizenzen}}} \cdot A_{VP\text{Lizenzen}} \quad (56)$$

$$A_{NP\text{MA}} = \frac{N_{NP\text{MAPT}}}{N_{VP\text{MAPT}}} \cdot A_{VP\text{MAPT}} + \frac{N_{NP\text{MAB}}}{N_{VP\text{MAB}}} \cdot A_{VP\text{MAB}} \quad (57)$$

$$A_{NP} = f_A \cdot (A_{NP\text{HW}} + A_{NP\text{SW}} + A_{NP\text{MA}}) \quad (58)$$

mit
$$f_A = \frac{A_{VP\text{ges}}}{A_{VP\text{EP}} + A_{VP\text{Datenträger}} + A_{VP\text{SW}} + A_{VP\text{Lizenzen}} + A_{VP\text{MAPT}} + A_{VP\text{MAB}}} \quad (59)$$

$A_{NP\text{HW}}, N_{NP\text{SW}}, N_{NP\text{MA}}$	Aufwände im neuen Projekt für Hardware, Software, Mitarbeiter
$N_{NP\text{EP}}, N_{VP\text{EP}}$	Anzahl der Erfassungspunkte im neuen Projekt, Vergleichsprojekt
$A_{VP\text{EP}}$	Aufwände im Vergleichsprojekt für Erfassungspunkte
$N_{NP\text{Objekte}}, N_{VP\text{Objekte}}$	Objektanzahl im neuen Projekt, Vergleichsprojekt
$A_{VP\text{Datenträger}}$	Aufwände im Vergleichsprojekt für Datenträger
$N_{NP\text{SW}}, N_{VP\text{SW}}$	Anzahl von Softwaresystemen im neuen Projekt, Vergleichsprojekt
$A_{VP\text{SW}}$	Aufwände im Vergleichsprojekt für Softwaresysteme
$N_{NP\text{Lizenzen}}, N_{VP\text{Lizenzen}}$	Anzahl lizenzpflichtiger Anwendungen im neuen Projekt, Vergleichsprojekt

$A_{VPLizenzen}$	Aufwände im Vergleichsprojekt für Lizenzen
$N_{NPMAPT, VPMAPT}$	Mitarbeiteranzahl des Projektteams im neuen Projekt, Vergleichsprojekt
A_{VPMAPT}	Aufwände im Vergleichsprojekt für Mitarbeiter des Projektteams
$N_{NPMAB, VPMAB}$	Mitarbeiteranzahl im Betrieb im neuen Projekt, Vergleichsprojekt
A_{VPMAB}	Aufwände im Vergleichsprojekt für Mitarbeiter im Betrieb
f_A	Aufwandsfaktor
A_{VPges}	Gesamtaufwände des Vergleichsprojekts

Nach einer detaillierten Analyse bereits realisierter und bewerteter RFID-Projekte, bzgl. der Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf eine neue RFID-Implementierung, findet eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit des neuen Projekts statt. Als Ergebnis liefert diese Analyse eine Aussage darüber, ob die Erweiterung des RFID-Einsatzes in einem bestimmten Anwendungsfall rentabel ist.

7.5 Fazit

Das dreistufige Vorgehen im Rahmen der Bewertungsphase liefert als Ergebnisse die Zielgrößen des Kapitalwerts und der dynamischen Amortisationszeit. Zunächst wurden hierzu die in der Analysephase identifizierten Aufwände und Nutzenpotentiale quantifiziert. Zur Bewertung der Faktoren dienen alternative Basen. Eine mögliche qualitative Beeinflussung wurde zudem mittels der Fuzzy-Logik in die Bewertung integriert. Zur anschließenden Ermittlung der Zielgrößen wurde eine Kalkulationsstruktur bereitgestellt, die auf verschiedenen Ebenen Einsparungen und Aufwände gegenüberstellt. Mögliche Unsicherheiten bzgl. der Ausprägung der Einflüsse wurden anhand von Wahrscheinlichkeitsverteilungen und der Monte-Carlo-Simulation in der Bewertung berücksichtigt. Im letzten Schritt der Bewertungsphase wurden zusätzliche Analyseverfahren erläutert, die je nach Fragestellung eingesetzt werden können. Zur Identifikation weiterer Verbesserungspotentiale des installierten RFID-Systems dient die Systemanalyse. Für eine gerechte Verteilung der Kosten und Nutzen im Wertschöpfungsnetz ist die Ausgleichsanalyse heranzuziehen. Die Expansionsanalyse ermöglicht des Weiteren Aussagen über die Rentabilität einer Erweiterung des RFID-Einsatzes, auf Basis bereits durchgeführter Bewertungen.

8 Umsetzung der Methode

8.1 Allgemeines

Ziel der folgenden Abschnitte ist die Darstellung der praktischen Anwendung der entwickelten Methode. Um den Aufwand und die Komplexität für den Anwender zu reduzieren, wurden die zentralen Schritte der Methode in dem Bewertungstool €CO₂Calc abgebildet. Im Folgenden wird der Aufbau des Tools erläutert (s. Abschnitt 8.2), bevor die Anwendung der Methode an einem Projektbeispiel demonstriert wird (s. Abschnitt 8.3). Abschließend findet in Abschnitt 8.4 eine Validierung der Methode anhand der in Kapitel 3 definierten Anforderungen statt.

8.2 Bewertungstool €CO₂Calc

Eine Unterstützung des strukturierten Vorgehens und eine Aufwandsreduzierung für die Bewertung erfolgen durch das Microsoft® Office Excel® basierte Bewertungstool €CO₂Calc. Unter Beachtung der Zielstellung, der Wirtschaftlichkeitsbewertung von RFID im Wertschöpfungsnetz, bieten sich alternative Einsatzmöglichkeiten dieses Tools. In einer gemeinschaftlichen Bewertung kann die Wirtschaftlichkeit des Netzwerks bestimmt werden. Die getrennte Bewertung hingegen ermöglicht die Erfassung der individuellen Wirtschaftlichkeit der beteiligten Partner. Benötigen Unternehmen aufgrund der Datengeheimhaltung oder interner Nachweise eine eigenständige Bewertung, dient €CO₂Calc auch zur Bewertung eines einzelnen Unternehmens. Unabhängig von der Betrachtungsart sind die Rahmendaten im Tool zu hinterlegen. Neben den allgemeinen Angaben, wie den Unternehmensbezeichnungen und den Mitarbeiter- (Logistiker, Planer) und Ressourcentypen (Stapler, Papier) mit den dazu gehörenden Kostengrößen, wie Stundenlöhnen und Komponentenpreisen, sind auch spezifische Bewertungsparameter zu definieren. Exemplarisch sind hier die Betrachtungs- und Abschreibungsdauer sowie der Diskontierungszinssatz zu nennen. Nach Eingabe der Daten ist der erste Schritt der Bewertung durchzuführen, in dem die Prozesskette modelliert wird (s. Abbildung 54). Hierzu bietet das Tool die Möglichkeit direkte und indirekte Bereiche mittels der in Abschnitt 6.2.3 definierten standardisierten PBS abzubilden. Der Materialfluss kann im Rahmen der direkten Bereiche in drei parallelen Strängen untersucht werden. Eine Zuordnung der Prozesse zu den Unternehmen erfolgt durch eine farbliche Kennzeichnung.

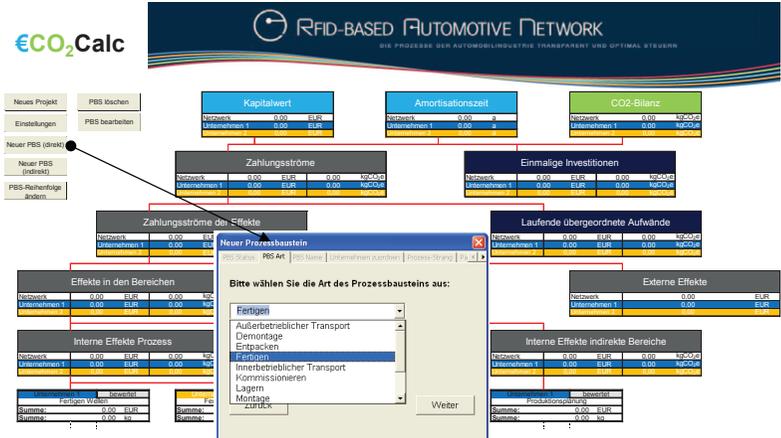


Abbildung 54: Kalkulationsstruktur und Prozessmodellierung im €CO₂Calc

Nach der Prozessmodellierung erfolgt, analog zum Vorgehen in der Bewertungsmethode, die Erfassung der Aufwände. Hierbei werden die einmaligen und laufenden Aufwände getrennt für jedes Unternehmen in der Kalkulationsstruktur hinterlegt (s. Abbildung 54). Laufende übergeordnete Kosten werden gesondert von den prozessabhängigen Aufwänden verbucht, die unmittelbar den PBS zugeordnet werden. Sind Aufwände abzuschreiben, kann dies hinter jeder Position direkt markiert werden. Eine Berücksichtigung in der Zielgrößenbestimmung erfolgt dann automatisch. Neben den Aufwänden sind in die Bewertung noch die Nutzenpotentiale zu integrieren. Diese werden, wie in der Methode beschrieben, im Bewertungstool hinsichtlich interner und externer Effekte getrennt (s. Abschnitt 6.4.2). Nutzenpotentiale in den internen Effekten werden unmittelbar den PBS untergeordnet. Zur Unterstützung bei der Identifikation der Potentiale, ist, wie in Abbildung 55 dargestellt, jedem PBS der in der Analysephase erläuterte Nutzenkatalog hinterlegt, aus dem unter Beachtung des Einsatzziels des RFID-Systems der entsprechende Nutzen ausgewählt und in die Bewertung integriert werden kann (s. Abschnitt 6.4.3). Die Quantifizierung der Einflussfaktoren kann anschließend über die in Abschnitt 7.2.2 und 7.2.3 entwickelten standardisierten Bewertungsformeln erfolgen. Für die bereits hinterlegten Nutzenpotentiale sind die alternativen Basen mit den entsprechenden Formeln in das Tool integriert (s. Abbildung 55). Eine Erweiterung der Potentiale und Formeln ist jederzeit möglich.

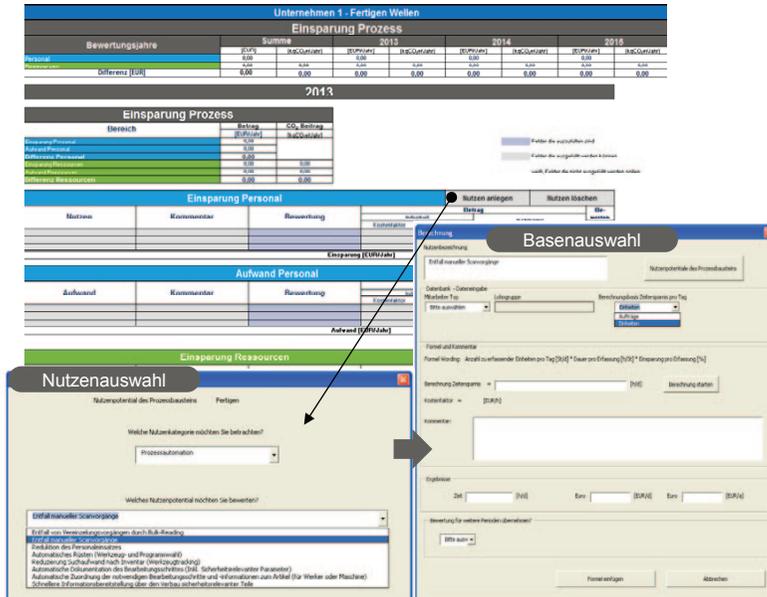


Abbildung 55: Prozessbausteinbewertung im €CO₂Calc

Die Bewertung der Ausprägung des qualitativen Einflusses erfolgt durch ein hinterlegtes Bewertungsschema. Auftretende Unsicherheiten in der Quantifizierung können durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen modelliert und in die Bewertung integriert werden. Zur Kalkulation wird auf die Simulationssoftware von Oracle® Crystal Ball® zurückgegriffen, die auf der Tabellenkalkulation von Microsoft® Office Excel® basiert und die Monte-Carlo-Simulation ermöglicht.

Um die Übersichtlichkeit der Bewertung zu gewährleisten und anschließende Analysen zu unterstützen, werden die Faktoren bzgl. ihres Einflusses auf den Personal- und Ressourceneinsatz unterschieden. Da €CO₂Calc projektbegleitend Verwendung findet, kann es zur Sammlung der Einflussfaktoren genutzt werden. Eine Integration dieser in die Bewertung erfolgt erst nach entsprechender Kennzeichnung. Sind alle relevanten Faktoren markiert und quantifiziert, erfolgt, unter Berücksichtigung des Bewertungszeitraums und der Betrachtungsart, automatisch die Ermittlung der Zielgrößen des Kapitalwerts und der Amortisationszeit, nur für das Netzwerk oder für das Netzwerk sowie für jeden Partner. Durch die genaue Zuordnung der Aufwände und Einsparungen zu den Unternehmen, den PBS und den einzelnen Mitarbeiter- und Ressourcentypen können anschließend

die entsprechenden Analysen durchgeführt werden. Ergänzend zur Wirtschaftlichkeitsbewertung bietet €CO₂Calc die Möglichkeit der Erstellung einer CO₂-Bilanz des RFID-Einsatzes. Da die Methode zur Bilanzierung nicht Bestandteil dieser Arbeit ist, wird von einer tiefergehenden Beschreibung abgesehen.

8.3 Projektbeispiel

8.3.1 Beschreibung des Projektbeispiels

Die vorliegende Dissertation entstand im Rahmen des Forschungsprojekts RAN – RFID-based Automotive Network. Das Projekt fokussierte die Implementierung der RFID-Technik in das Wertschöpfungsnetz der Automobilindustrie. Hierbei wurden unternehmensinterne sowie -übergreifende Anwendungsfälle in logistischen und produktionstechnischen Abläufen realisiert. Dabei wurden verschiedene RFID-Systeme implementiert und, anhand der in dieser Arbeit entwickelten Methode, bewertet. Um die gewonnenen Erkenntnisse in gesammelter Weise darzustellen, wurde im Rahmen des Projekts eine Demonstrationsplattform am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München errichtet (s. Abbildung 56), die die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten von RFID aufzeigt. Im Zusammenspiel verschiedener Unternehmen entlang des Wertschöpfungsnetzes wird in dieser Demonstrationsumgebung ein variantenreiches Getriebe produziert. Hierzu werden Welle-Zahnrad-Verbindungen sowie Gehäuse-Komponenten und Anbauteile von den Zulieferern 1 und 2 angeliefert. Rohstofflieferungen und die Bereitstellung weiterer Komponenten erfolgt durch den Zulieferer 3. Alle Transporte werden von einem Logistikdienstleister übernommen. Die Zulieferer 1 und 2 sind Lieferanten erster Ordnung, wohingegen Zulieferer 3 ein Lieferant zweiter Ordnung ist. Definiertes Ziel der Demonstrationsplattform war neben der Darstellung von Einsatzmöglichkeiten vor allem die detaillierte Analyse der Effekte des RFID-Einsatzes. Folglich wurden alle Unternehmen und Prozesse hinsichtlich auftretender Aufwände und Potentiale untersucht. Zudem wurde die Wirtschaftlichkeit der Unternehmen und des Wertschöpfungsnetzes bewertet und hinsichtlich verschiedener Kriterien analysiert.

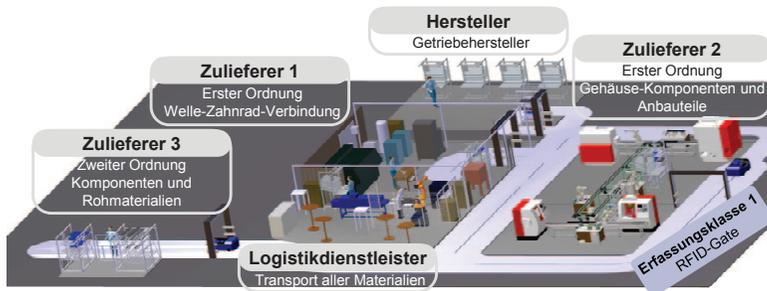


Abbildung 56: Aufbau der Demonstrationsplattform

8.3.2 Anwendung der Methode im Projektbeispiel

Im folgenden Abschnitt werden die einzelnen Schritte der entwickelten Bewertungsmethode durchlaufen. Um die Übersichtlichkeit zu gewährleisten, wird das Vorgehen beispielhaft am Zulieferer 3 erläutert. Ziel der Bewertung ist es für die beteiligten Partner in einer Feinplanung eine detaillierte Erfassung möglicher Effekte zu erhalten. Aus diesem Grund findet eine getrennte Bewertung der Wirtschaftlichkeit für jedes Unternehmen sowie für das gesamte Netzwerk statt.

Spezifizierung des Bewertungsfalls

Im ersten Schritt der Methode sind die Zielstellung für die Bewertung und die zu betrachtenden PBS zu definieren (s. Abschnitt 6.2). Um eine unternehmensübergreifende Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, werden die Zielgrößen des Kapitalwerts und der Amortisationszeit für jeden Partner ermittelt. Da es sich bei der Zielgruppe der Bewertung um das Projektteam handelt, sind alle qualitativen und quantitativen Einflüsse uneingeschränkt zu integrieren. Mögliche ungleiche Verteilungen von Kosten und Nutzen sind bei der Bewertung entsprechend zu beachten, um eine gerechte Realisierung zu ermöglichen.

Da der Zulieferer 3 eine Vielzahl von Unternehmen beliefert, fokussiert sich der Einsatz der RFID-Technik im Rahmen des Projekts lediglich auf diejenigen Prozesse, die ausgehend vom *Lagern* bis zum *Verladen* der betrachteten Objekte durchlaufen werden. Wie in Abbildung 57 dargestellt, durchschreiten die mit Datenträgern bestückten Produkte und Ladungsträger vier PBS. Des Weiteren findet eine Unterstützung der verantwortlichen Planungs- und Verwaltungsstelle statt.

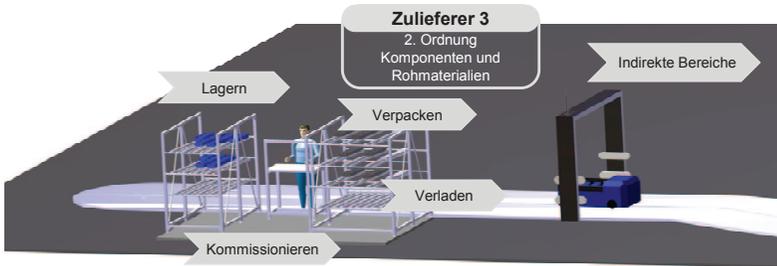


Abbildung 57: Bewertungsrelevante PBS des Zulieferers 3

Identifikation der Aufwände

Der zweite Schritt der Bewertungsmethode umfasst die Aufwandsidentifikation (s. Abschnitt 6.3). Neben der Definition von EP und der damit verbundenen Spezifizierung des RFID-Systems sind auch Absicherungsstrategien zu erarbeiten, um Erfassungsfehler zu verhindern, zu erkennen und zu beheben. Zur Abbildung der Materialbewegungen im IT-System findet in jedem PBS ein Erfassungsvorgang statt. Zur Generierung der gewünschten Events in den PBS wurde dabei, in Abhängigkeit der benötigten Funktionalität, auf die entsprechenden EK zurückgegriffen (s. Abschnitt 2.2.3). Ladungsträger wurden mit kostengünstigen Smart-Labels bestückt, wohingegen die Produkte mit teureren Disk-Datenträgern ausgestattet worden sind, um spezifische Daten direkt am Produkt zu hinterlegen. Neben den Basiskomponenten wurden ein Infobroker zum Datenaustausch zwischen den Unternehmen und verschiedene Assistenzsysteme zur Datenverarbeitung implementiert. Ziel des RFID-Systems ist die Automatisierung und sichere Gestaltung der Prozesse. Eine Steuerung der Abläufe ist nicht angedacht.

Bereits realisierte RFID-Projekte haben aufgezeigt, dass die Prozesse sehr stabil laufen. Lediglich beim Kommissionieren aus dem Lager heraus kann es zu Erfassungsfehlern kommen. Um dieser Problematik zu begegnen, wurde zusätzlich ein Pick-to-Light System mit entsprechenden Erfassungssensoren im Lager installiert. Dieses dient dem Abgleich der realen Materialbewegungen und der erfassten Datenträger zwischen den PBS *Lagern* und *Kommissionieren*. Tabelle 16 beinhaltet eine Übersicht der implementierten Ausstattung von Zulieferer 3.

Tabelle 16: Komponenten des RFID-Systems von Zulieferer 3

Benötigte Komponenten von Zulieferer 3		
Prozessbaustein	Bezeichnung Komponente	Erfassungs-/Objektklasse
Benötigte Komponenten im Rahmen der Spezifizierung des RFID-Systems		
Lagern	Kanban-Regal	Erfassungsklasse 9
Kommissionieren	Single Readpoint	Erfassungsklasse 2
Verpacken	Single Readpoint	Erfassungsklasse 2
Verladen	RFID-Gate	Erfassungsklasse 1
Übergeordnet für alle Prozessbausteine	Datenträger (Smart-Label)	Ladungsträger
Übergeordnet für alle Prozessbausteine	Datenträger (Disk-Datenträger)	Produkt
Übergeordnet für alle Prozessbausteine	Infobroker (Repository)	
Übergeordnet für alle Prozessbausteine	Assistenzsysteme	
Benötigte Komponenten im Rahmen der Ausgleichsstrategien		
Lagern	Pick-to-Light System	

Identifikation von Nutzenpotentialen

Nachdem das RFID-System spezifiziert und mögliche Erfassungsfehler in der Planung berücksichtigt wurden, sind für die einzelnen Unternehmen die Potentiale abzuleiten. Dies erfolgt indem, basierend auf den definierten EP, die in Abschnitt 6.4.3 entwickelten Schlüsselfragen zur Nutzenidentifikation angewendet werden. Ziel der Fragen ist es die Potentiale direkt in den PBS zu erfassen, bevor mögliche Effekte in anderen Prozessen unternehmensintern und -übergreifend ermittelt werden. Darüber hinaus ist hinsichtlich der in Abschnitt 6.4.2 definierten Bereiche zu prüfen, ob zusätzliche externe Effekte, wie Reduzierung von Strafzahlungen oder Umsatzsteigerungen, auftreten. Um das Vorgehen zur Bestimmung der internen Effekte zu veranschaulichen, wird dies beispielhaft im PBS *Kommissionieren* anhand des Verpackungs-Events, das durch den Single Readpoint erzeugt wird, erläutert. Zur Identifikation des Nutzens werden die definierten Schlüsselfragen in vorgegebener Reihenfolge durchlaufen und die ermittelten Nutzenpotentiale unmittelbar mittels der Modellierungsvorschrift mit allen Elementen dokumentiert.

Ausgehend von der automatisierten Erfassung der Getriebehälften ergibt sich die in Abbildung 58 dargestellte Nutzenkette, die aus Gründen der Übersichtlichkeit nur einen Auszug der Schlüsselfragen und identifizierten Potentiale beinhaltet. Das erste Potential wird durch die automatisierte Identifikation generiert. Anschließend erfolgt ein automatisierter Abgleich mit dem vorliegenden Kommissionierauftrag, um Fehlkommissionierungen zu vermeiden. Durch die

Vermeidung dieser Fehler kann zudem der Fehlerfolgenutzen einer Reduzierung von Rücktransporten verbucht werden. Beim Aufstellen der Ketten wurden für jedes Potential die entsprechenden Werte im Modellierungs-, Kriterien- und Verrechnungselement hinterlegt. Beim Nutzenpotential der Reduktion von Fehlkommissionierungen gibt das Modellierungselement Auskunft über die Und-Beziehung zur Reduzierung von Rücktransporten. Da es sich bei dem Nutzenpotential, um ein Potential der Ebene Sicherheit handelt und somit durch ein Assistenzsystem erzeugt wird, ist der Nutzen unabhängig von der EK. Dies ist durch die Angabe *Alle EK* im Kriterienelement gekennzeichnet. Das Potential kann zudem bei der Erfassung von Ladungsträgern und Produkten erzeugt werden und ist unabhängig davon, ob die Objekte in einer Closed-loop Anwendung zirkulieren oder bis zum Endkunden gelangen. Zur Unterstützung der Bewertung sind im Verrechnungselement neben der Kennzeichnung der Zeiteinsparung und der Ebene des Nutzens auch die Auftretens- und Entdeckungswahrscheinlichkeit hinterlegt, um eine Quantifizierung mittels der Basen zu ermöglichen. Ausgehend von der Identifikation der Getriebehälften kann zudem die bisher manuell erfolgte Auftragsübermittlung an den PBS *Verpacken* automatisiert erfolgen. Diese Vorabinformation führt des Weiteren dazu, dass im PBS *Verpacken* aufgrund des zeitlichen Vorsprungs Verpackungsanlagen besser ausgeplant werden können. Dieses übergreifende Potential ist nur hinsichtlich des beeinflussten PBS *Verpacken* in der Nutzenkette in Abbildung 58 dokumentiert. Zur genauen Erfassung der mit der Vorabinformation verbundenen Potentiale ist der Event im Rahmen der Modellierung in den PBS *Verpacken* zu übertragen und anhand der Schlüsselfragen zu untersuchen. Aus dem Kriterienelement wird jedoch ersichtlich, dass der Nutzen einer Vorabinformation ein Steuerungsnutzen ist und folglich ein zusätzliches Assistenzsystem erfordert. Da das implementierte System lediglich auf eine Automatisierung und Steigerung der Prozesssicherheit abzielt, kann dieses Potential nicht gehoben werden.

Neben den erwähnten Potentialen führt der automatisierte Abgleich der Aufträge zu einer Motivationssteigerung bei den Mitarbeitern, da diese den monotonen Abgleich von Papierlisten zukünftig nicht mehr durchführen müssen. Des Weiteren wird die Transparenz im PBS *Kommissionieren* erhöht, da die Ablage der Papierlisten entfällt. Beide Faktoren beeinflussen zusätzlich die Fehlerreduktion des Kommissionierens, da die motivierten Mitarbeiter die Arbeit gewissenhafter erledigen und durch den Entfall der Papierbelege Verwechslungsmöglichkeiten beseitigt wurden.

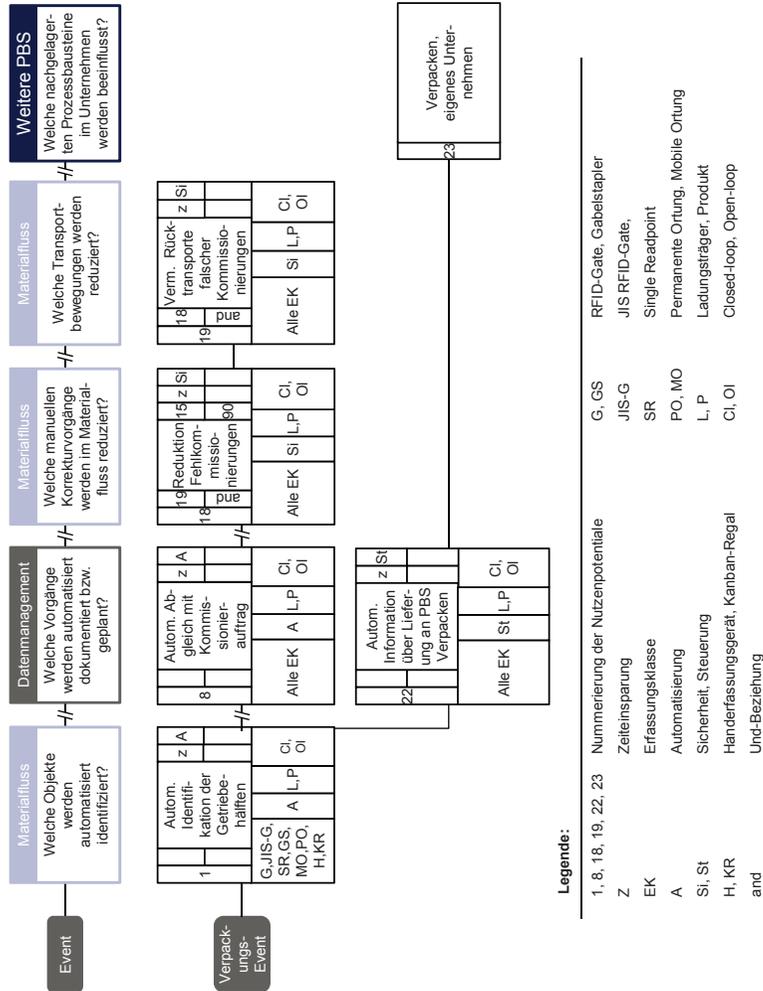


Abbildung 58: Beispielhafte Nutzenkette im PBS Kommissionieren

Aufgrund der bereits guten Kooperationen mit den Partnern erwartet Zulieferer 3 keine zusätzlichen externen Effekte des RFID-Einsatzes.

Quantifizierung der Einflussfaktoren

Für eine monetäre Bewertung ist es erforderlich die identifizierten Einflussfaktoren zu quantifizieren. Dabei ist neben der Bewertung der Faktoren auch der qua-

litative Einfluss zu beachten. Das Vorgehen zur Quantifizierung wird anhand der Potentiale des automatisierten Abgleichs der Objekte mit den Aufträgen, der Reduktion von Fehlkommissionierungen und der daraus resultierenden Reduktion von Rücktransporten erläutert (s. Abbildung 58). Die qualitativen Einflüsse einer gesteigerten Mitarbeitermotivation und einer erhöhten Transparenz werden zudem bei der Fehlerreduktion berücksichtigt. Wie im Verrechnungselement ersichtlich, ergibt sich das Potential des automatisierten Abgleichs durch den Automatisierungseffekt von RFID und drückt sich in einer Zeiteinsparung aus. Somit können zur Bewertung die Basen der Ebene Automatisierung, die sich auf den Zeitaufwand auswirken, herangezogen werden. Da der Abgleich direkt am Arbeitsplatz erfolgt und der Mitarbeiter daher keine Wegstrecken zurücklegen muss, eignet sich die Basis *Wegstrecke* nicht zur Bewertung. Darüber hinaus wird keine Reduktion von Schwund erzielt, wodurch sich auch die Basis *Schwundereignisse* nicht zur Bewertung eignet. In Tabelle 17 sind alle relevanten Basen zur Bewertung des automatisierten Abgleichs mit I gekennzeichnet.

Tabelle 17: Übersicht der Basen zur Bewertung der Nutzenpotentiale

Bewertung von		Basen	Ebenen
I		Zeitkontingent	Bewertung von Nutzenpotentialen aus den Ebenen Technik* Automatisierung Steuerung
		Ressourcenkontingent	
I		Aufträge	
I		Arbeitsvorgänge	
I		Einheiten	
		Schwundereignisse	
		Wegstrecke	
			* Nur bei Ressourceneinsparungen
II, III		Zeitkontingent	Bewertung von Nutzenpotentialen aus der Ebene Sicherheit
		Ressourcenkontingent	
II, III		Korrekturaufträge	
II, III		Korrekturvorgänge	
II, III		Fehler	
II, III		Fehleinheiten	
III		Wegstrecke	

Legende:

	Zeiteinsparung		Ressourceneinsparung		Base für Rücktransport
	Base für automatisierten Abgleich		Base für Fehlerreduktion		

Die Bewertung könnte bspw. über das bislang bereitgestellte *Zeitkontingent* sowie über die Anzahl an *Aufträgen*, *Arbeitsvorgängen* oder *Einheiten* erfolgen. In

den Formeln 60 und 61 ist beispielhaft die Bewertung mittels der Anzahl an Ge-triebehälften dargestellt, die jährlich den PBS *Kommissionieren* durchlaufen.

Basis: **Einheiten** $E_{AA}=N_{EI} \cdot Z_{AB0} \cdot \lambda_{EI} \cdot K_{MS}$ (60)

$$(800.000 \text{ St/a} \cdot 3 \text{ s/St} \cdot 100 \% \cdot 29,41 \text{ €/h}) / 3.600 \text{ 1/h} = 19.606,67 \text{ €/a}$$
 (61)

E_{AA}	Einsparung durch automatisierten Abgleich von Objekten mit Aufträgen
N_{EI}	Anzahl Einheiten pro Jahr
Z_{AB0}	Zeitbedarf für manuellen Abgleich pro Einheit
λ_{EI}	Reduktionsquote durch automatisierten Abgleich
K_{MS}	Stundenlohn des Mitarbeiters

Da dieser Prozess vollständig entfällt, können keine qualitativen Einflüsse den monetären Wert beeinflussen.

Ein weiteres Potential des RFID-Einsatzes ist die Reduktion von Fehlkommissionierungen. Da das System somit zu einer sichereren Gestaltung des Prozesses beiträgt, lässt sich der Nutzen der Ebene Sicherheit zuordnen (s. Abbildung 58). Die erzeugte Einsparung wirkt sich lediglich auf den Zeiteinsatz aus, da beim *Kommissionieren* außer dem Mitarbeiter keine weiteren Ressourcen eingesetzt werden. Unter dem Zeiteinsatz ist die Dauer zu verstehen die bislang vom Mitarbeiter für die Durchführung der Fehlkommissionierung und dessen Korrektur aufgebracht wurde. Da die Fehlerbehebung an der gleichen Bearbeitungsstation durchgeführt wird, eignen sich alle Basen bis auf die *Wegstrecke* zur Bewertung. Die entsprechenden Basen sind in Tabelle 17 mit II gekennzeichnet. Eine beispielhafte Bewertung erfolgt nun anhand der Anzahl an *Korrekturvorgängen*.

Basis: **Korrekturvorgänge** $E_{FK}=N_{KV} \cdot Z_{KV} \cdot \lambda_{KV} \cdot K_{MS}$ (62)

$$(8.000 \text{ St/a} \cdot 5 \text{ min/St} \cdot 80 \% \cdot 29,41 \text{ €/h}) / 60 \text{ 1/h} = 15.856,33 \text{ €/a}$$
 (63)

E_{FK}	Einsparung durch Reduktion von Fehlkommissionierungen
N_{KV}	Anzahl der Korrekturvorgänge im Ausgangszustand
Z_{KV}	Zeitbedarf für Fehlkommissionierung und Korrekturvorgang
λ_{KV}	Reduktionsquote für Fehlkommissionierungen
K_{MS}	Stundenlohn des Mitarbeiters

Da der Kommissionier-Prozess durch die Mitarbeiter ausgeführt wird, hängt die Fehlerquote unmittelbar von diesen und der vorherrschenden Arbeitsbedingungen ab. Von Prozessexperten wurde daher der Motivation der Mitarbeiter sowie

$$E_{gesFK} = E_{qnFK} + f_{ql} \cdot E_{qnFK} = E_{qnFK} \cdot [(S_0 - E_{qnFK}) \cdot f_{ql}] \quad (66)$$

$$\text{mit } S_0 \quad [(8.000 \text{ St/a} \cdot 5 \text{ min/St} \cdot 29,41 \text{ €/h}) / 60 \text{ 1/h} = 19.606,67 \text{ €/a} \quad (67)$$

$$15.856,33 \text{ €/a} - (19.606,67 \text{ €/a} - 15.856,33 \text{ €/a}) \cdot (-6,75 \%) = 16.109,48 \text{ €/a} \quad (68)$$

E_{gesFK}	Gesamte Einsparungen des Potentials Fehlerreduktion
E_{qnFK}	Quantitativer Anteil der Einsparung des Potentials der Fehlerreduktion
S_0	Kosten für Korrekturvorgänge vor der RFID-Implementierung
f_{ql}	Qualitativer Anteilfaktor der Motivations- und Transparenzsteigerung

Aus der Nutzenkette ist ersichtlich, dass die Verringerung von Fehlkommissionierungen zu weiteren Einsparungen bei den Transportkosten führt, da der Anteil fehlerhafter Auslieferungen, die durch das Personal des PBS *Kommissionieren* zurückgeholt werden müssen, reduziert wird. Dieses Potential erzeugt wiederum eine Qualitätssteigerung des Prozesses und lässt sich somit der Ebene Sicherheit zuweisen. Da der Rücktransport auch durch die *Wegstrecke* charakterisiert ist, stehen alle Basen der betrachteten Ebene zur Verfügung. Hierbei werden aber nur Zeiteinsparungen beachtet, da der Transport ohne technisches Gerät erfolgt. Die entsprechenden Basen sind in Tabelle 17 mit III markiert. Bei der Bewertung sind die Auftretenswahrscheinlichkeit α der Auslieferung einer fehlerhaften Kommissionierung und die Entdeckungswahrscheinlichkeit β zu beachten. Die Bewertung des Fehlerfolgenutzens im PBS *Kommissionieren* wird exemplarisch anhand der *Fehler* durchgeführt. Für die Gesamtbewertung sind die Einsparungen aus der Fehlerreduktion in den weiteren PBS ebenfalls zu ermitteln.

$$\text{Basis: Fehler} \quad E_{RT} = N_{FK} \cdot \alpha \cdot \prod_{i=1}^i (1 - \beta_i) \cdot Z_{RT} \cdot \lambda_{RT} \cdot K_{MS} \quad (69)$$

$$(8.000 \text{ St/a} \cdot 15 \% \cdot \prod_{i=1}^i (1 - 90 \%) \cdot 10 \text{ min/St} \cdot 100 \% \cdot 29,41 \text{ €/h}) / 60 \text{ 1/h} \quad (70)$$

$$= 588,20 \text{ €/a}$$

E_{RT}	Einsparung durch Reduktion von Rücktransporten
N_{FK}	Anzahl Fehlkommissionierungen im Ausgangszustand
Z_{RT}	Zeitbedarf für Rücktransport und Fehlerbehebung
λ_{RT}	Reduktionsquote fehlerhafter Auslieferungen
α	Auftretenswahrscheinlichkeit der Auslieferung einer Fehlkommissionierung
β_i	Entdeckungswahrscheinlichkeit der Fehlkommissionierung im Prozess i
i	Laufvariable für die Anzahl der Prozesse
K_{MS}	Stundenlohn des Mitarbeiters

Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Im Anschluss an die Quantifizierung der Einflussfaktoren erfolgt die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Unternehmen und des Wertschöpfungsnetzes. Um Unsicherheiten stochastischer und linguistischer Art in die Bewertung zu integrieren, sind die unsicheren Parameter zu identifizieren und mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu hinterlegen. Beispielhaft können die Zeitbedarfe und Reduktionsquoten in den Formeln 60, 62 und 69 mit einer Normalverteilung modelliert werden. Zudem kann zur vollständigen Abbildung der Ausprägung des qualitativen Einflusses f_{qi} in Formel 66, die BetaPERT-Verteilung aus der Abbildung 59 abgeleitet werden. Die Bewertung und Simulation der Wahrscheinlichkeitsverteilungen erfolgt mittels der Monte-Carlo-Simulation. In der Bewertung wird neben den in dieser Arbeit quantifizierten Faktoren noch eine Vielzahl weiterer Einflussfaktoren berücksichtigt. Diese Faktoren wurden im Rahmen des Forschungsprojekts aus den industriellen Anwendungsfällen abgeleitet und in der Demonstrationsplattform dargestellt. Abbildung 60 stellt das Bewertungsergebnis für den Zulieferer 3 dar. Auf der linken Seite der Abbildung ist das Kalkulationsschema aus dem Bewertungstool €CO₂Calc dargestellt, das die Ermittlung des Kapitalwerts und der Amortisationszeit, unter Beachtung spezifischer Zins- und Abschreibungssätze, ermöglicht. Auf der rechten Seite ist das Histogramm abgebildet, das sich aus der Bewertung der unsicheren Einflussfaktoren für den Kapitalwert ergibt.

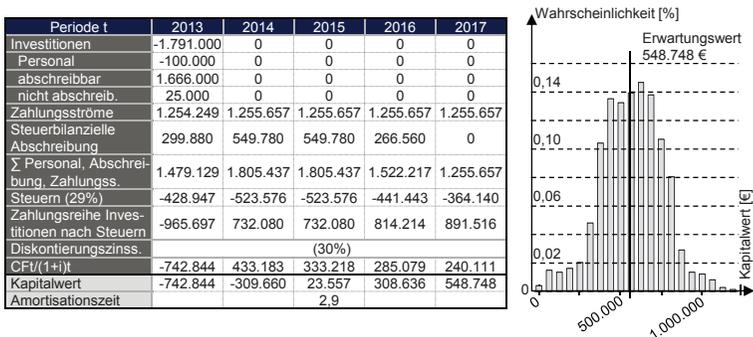


Abbildung 60: Bewertungsergebnis von Zulieferer 3

Ergänzend zum Bewertungsergebnis für den Zulieferer 3 sind in Tabelle 18 die jeweiligen Erwartungswerte für den Kapitalwert und die Amortisationszeit für alle beteiligten Unternehmen sowie für das Wertschöpfungsnetz dargestellt.

Tabelle 18: Übersicht der Bewertungsergebnisse

Unternehmen/Netzwerk	Kapitalwert	Amortisationszeit
Logistikdienstleister	9.990 €	4,1 a
Zulieferer 3	548.748 €	2,9 a
Zulieferer 2	2.124.414 €	1,5 a
Zulieferer 1	455.671 €	1,5 a
Hersteller	769.036 €	2,7 a
Netzwerk	4.436.562 €	1,9 a

Analyse der Bewertung

Basierend auf den Bewertungsergebnissen lassen sich die im Abschnitt 7.4 dargestellten Möglichkeiten zur Analyse der Bewertung anwenden. Für das einzelne Unternehmen können zusätzliche Potentiale identifiziert oder eine weiterführende Planung für andere Unternehmensbereiche vorangetrieben werden. In Anbetracht der in Tabelle 18 dargestellten Bewertungsergebnisse empfiehlt sich in erster Linie eine Ausgleichsanalyse durchzuführen, da die Investitionen der Unternehmen eine stark unterschiedliche Rentabilität erzeugen. In den meisten Unternehmen werden, im Rahmen der taktischen Planung, ausschließlich Investitionen getätigt die sich innerhalb von zwei Jahren amortisieren (FERBER 2005). Um daher sicherzustellen, dass sich alle Unternehmen am RFID-Projekt beteiligen, ist eine gerechte Verteilung der Aufwände und Nutzen erforderlich. Dies kann anhand der in Abschnitt 7.4.3 beschriebenen Ausgleichsanalyse erfolgen. Nach Festlegung des Rahmenmodells und Durchführung der Schritte des Vorgehensmodells ergibt sich für das betrachtete RFID-System das in Abbildung 61 dargestellte Verteilungsschema. Zur Berechnung des Schemas wurde als Ziel vorgegeben, dass alle Unternehmen die gleiche Rendite erzielen. Für die Zielerreichung sind entsprechende Ausgleichszahlungen zwischen den Unternehmen zu leisten. Zur Ermittlung der Höhe dieser Zahlungen sind zunächst die individuellen Einsparungen und Aufwände aus den durchgeführten Bewertungen zu entnehmen und zur Basisallokation zu verrechnen. Hierdurch wird ersichtlich, dass sehr unterschiedliche Renditen von den Unternehmen erwirtschaftet werden. Die Rendite des Netzwerks entspricht der Zielrendite, die alle Partner erreichen sollen. Basierend auf den individuellen Einsparungen und Aufwänden wird der Anteil des jeweiligen Unternehmens an den gesamten Einsparungen und Aufwänden berechnet und daraus der Differenzanteil ermittelt. Der jeweilige Differenzanteil wird anschließend mit den Gesamtaufwänden multipliziert, um die Reallokationshöhe zu ermitteln. Diese wird abschließend mit der Basisallokation zur Ziel-

allokation addiert. Die ermittelten Zahlen geben eine Anlehnung in welcher Höhe ein Ausgleich zu leisten ist. Die Form des Ausgleichs ist zwischen den Unternehmen zu definieren. Des Weiteren ist darauf zu achten, dass die Kalkulation nicht die Risiken berücksichtigt, die ein Unternehmen mit den Investitionen eingeht. Daher sind individuelle Vereinbarungen zwischen den Partnern zu treffen.

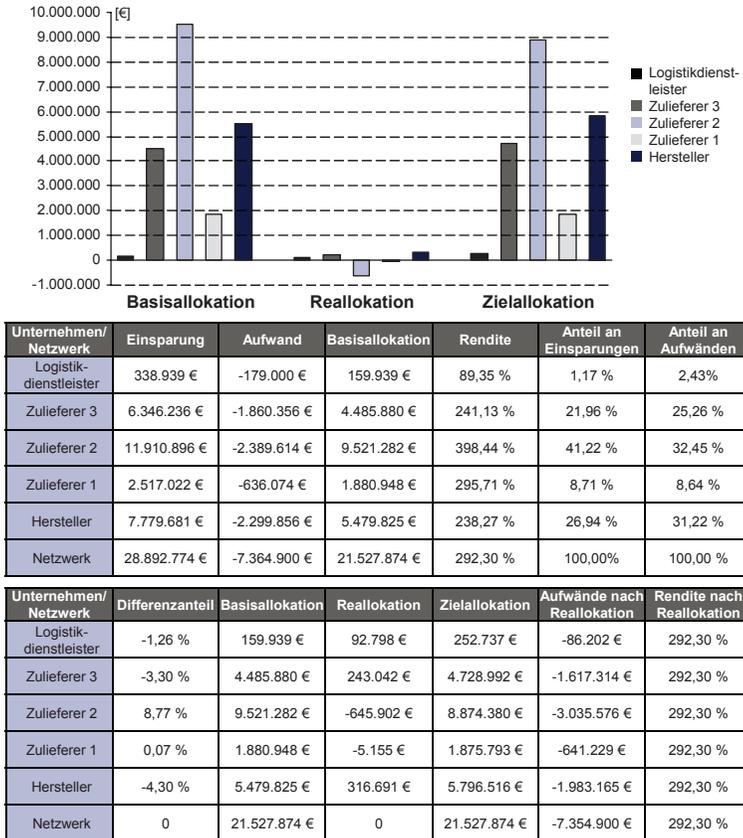


Abbildung 61: Ausgleichsanalyse mit dem Ziel gleicher Rendite

8.4 Bewertung der entwickelten Methode

Im folgenden Abschnitt erfolgt eine Gegenüberstellung der entwickelten Methode mit den in Kapitel 3 definierten Anforderungen. Eine Übersicht des Erfüllungsgrads der speziellen und anwendungsorientierten Anforderungen ist in Abbildung 62 enthalten.

Legende:	Spezielle Anforderungen					Anwendungsorientierte Anforderungen			
	Monetäre Bewertung	Berücksichtigung multidimensionaler Einflussfaktoren	Unterstützung der Einflussfaktoren-identifikation	Unterstützung der Einflussfaktorenquant. unter Berücksichtigung von Unsicherheiten	Dynamische Bewertung	Praxistauglichkeit	Flexibilität	Transparenz	Skalierbarkeit
Das Verfahren erfüllt die Anforderungen...									
○ nahezu gar nicht									
◐ wenig									
◑ teilweise									
◒ relativ gut									
◓ nahezu vollständig									
Vorliegende Arbeit	◓	◓	◓	◓	◓	◓	◑	◑	◓

Abbildung 62: Spiegelung der entwickelten Methode an den Anforderungen

Eine zentrale Anforderung an eine unternehmensübergreifende Bewertung ist die Ermittlung einer monetären Zielgröße, die eine Vergleichbarkeit alternativer RFID-Konzepte und der Rentabilität in unterschiedlichen Unternehmen ermöglicht. Dies wird in der entwickelten Methode durch den Kapitalwert und der darauf basierenden dynamischen Amortisationszeit erreicht. Die Methode liefert neben einer reinen monetären Zielgröße somit auch eine Aussage darüber, in welchem Zeitraum die Investitionen refinanziert sind.

Die zweite Anforderung fokussiert die Integration multidimensionaler Einflussfaktoren. Durch eine strukturierte Gliederung der Einflüsse ermöglicht die Methode die Integration verschiedener Aufwände und Nutzenpotentiale. Faktoren die sich hinsichtlich des Zeitpunkts und des Orts des Eintretens unterscheiden, können gleichermaßen in der Kalkulation berücksichtigt werden. Darüber hinaus ermöglicht der Einsatz der Fuzzy-Logik die Erfassung qualitativer Einflüsse.

Wesentliche Schwachstelle bestehender Ansätze ist die fehlende Unterstützung bei der Einflussfaktorenidentifikation. Zur Erfüllung dieser Anforderung wurde speziell in Kapitel 6, im Rahmen der Analysephase, ein Vorgehen erläutert, das die gezielte Identifikation möglicher Potentiale und Aufwände, basierend auf

Schlüsselfragen und einer Modellierungsvorschrift, ermöglicht. Durch die stufenweise Abfrage von RFID-Effekten wird ein breites Portfolio an Faktoren gewonnen. Da die Nutzenpotentiale abhängig vom implementierten System sind, wurde des Weiteren durch die Kriterien-basierte Nutzenfilterung ein Verfahren bereitgestellt, das eine gezielte Reflektion theoretisch möglicher Potentiale mit den real umsetzbaren Potentialen des implementierten Systems ermöglicht.

Neben der Identifikation weisen bestehende Ansätze Defizite in der Anforderung hinsichtlich einer effektiven Bewertungsunterstützung auf. Diese Schwachstelle wurde durch ein standardisiertes Bewertungsvorgehen behoben, indem für jeden quantitativen Einflussfaktor verschiedene Bewertungsbasen zur Verfügung gestellt werden, die eine Kalkulation desselben Effekts unter Berücksichtigung verschiedener Daten ermöglichen. Für die Bewertung der qualitativen Effekte wurde ein Verfahren definiert, das den qualitativen Einfluss unmittelbar einem quantitativen Faktor zurechnet. Zudem bietet die Methode die Möglichkeit stochastische und linguistische Unsicherheiten mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu modellieren und somit die Unsicherheiten in der Bewertung zu beachten.

Die Anforderung einer dynamischen Bewertung wird durch zweierlei Funktionalitäten erfüllt. Das Bewertungsvorgehen und das Bewertungstool $\text{€CO}_2\text{Calc}$ ermöglichen eine Bewertung über eine Vielzahl von Perioden. Dies erlaubt eine Integration der Aufwände und Nutzen zum Zeitpunkt des Auftretens. Des Weiteren eignet sich die Methode zur begleitenden Bewertung über die verschiedenen Phasen der Projektrealisierung. Zunächst können in einer frühen Phase einzelne Faktoren hinterlegt und mit groben Abschätzungen bewertet werden. Im weiteren Verlauf der Projektrealisierung können weitere Einflussfaktoren ergänzt und detaillierter bewertet werden, bis abschließend nach der Projektrealisierung validierte Faktoren und Werte in die Bewertung einfließen.

Neben den speziellen Anforderungen wurden in Kapitel 3 noch anwendungsorientierte Anforderungen an eine Bewertungsmethode definiert. Für eine industrielle Anwendung wurde u. a. eine hohe Praxistauglichkeit gefordert. Dies wird durch einen strukturierten Aufbau gewährleistet, indem die Analyse stufenweise durchlaufen wird. Des Weiteren ermöglicht die getrennte Bewertung der Prozesse eine Konzentration auf abgegrenzte Bereiche, was zu einer Reduktion der Komplexität führt. Eine zentrale Forderung der Praxistauglichkeit ist zudem ein ausgewogenes Verhältnis von Aufwand zu Nutzen. Dies wurde u. a. durch die Implementierung des Vorgehens im Bewertungstool erreicht. Des Weiteren unterstützen die strukturierte Vorgehensweise und der projektbegleitende Einsatz

der Methode eine effiziente Implementierung und Bewertung des RFID-Systems. Gewonnene Erkenntnisse können unmittelbar im Tool hinterlegt werden, was den Bewertungsaufwand reduziert. Zudem führt die Dokumentation der Aufwände und realisierbaren Potentiale zu einer verbesserten Ausgestaltung des RFID-Systems. Neben dem zeitlichen Aufwand für die Bewertung erfordert die Integration von Unsicherheiten den Erwerb des Simulationstools Oracle® Crystal Ball®. Dies ermöglicht die Integration verschiedener Unsicherheiten. Jedoch bedingt das Tool ca. 800 € zusätzliche Aufwendungen für den Erwerb einer Lizenz.

Die Erfüllung der Anforderung nach einer hohen Flexibilität ist durch die entwickelte Methode nur bedingt erfüllt. Zwar ermöglicht die flexible Modellierung des Materialflusses durch die definierten PBS eine variable Anpassung an den Betrachtungsbereich. Jedoch fokussieren die im Nutzenkatalog sowie im Bewertungstool €CO₂Calc hinterlegten Nutzenpotentiale die Abläufe in der Automobilindustrie und lassen sich nur eingeschränkt auf andere Branchen übertragen.

Wie im Rahmen der Praxistauglichkeit bereits erläutert, kann die Bewertung stufenweise erfolgen. Durch eine Gliederung komplexer Abläufe in einzelne Prozesse, können diese getrennt voneinander bewertet und folglich die Bewertungskomplexität reduziert werden. In Kombination mit der definierten Kalkulationsstruktur wird eine hohe Transparenz über das Bewertungsvorgehen erzielt. Bei steigender Anzahl an PBS nimmt jedoch die Anzahl zu berücksichtigender Faktoren erheblich zu, was die Übersichtlichkeit schmälert.

Die letzte Anforderung stellt die Skalierbarkeit des Bewertungsvorgehens dar. Da sich die entwickelte Methode für die Bewertung eines einzelnen Unternehmens sowie für die gemeinschaftliche bzw. getrennte Betrachtung mehrerer Unternehmen im Netzwerk eignet, kann diese Anforderung als erfüllt betrachtet werden. Darüber hinaus ist die Anzahl der modellierten Prozesse sowie der integrierten Einflussfaktoren flexibel an den Anwendungsfall adaptierbar.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Die zunehmende Produktindividualisierung und eine Verlagerung der Produktion zu den Absatzmärkten führen zu einer kontinuierlichen Reduktion der Fertigungstiefe bei den Automobilherstellern. Die Wertschöpfung der zunehmend variantenreicheren Produktpalette wird daher über mehrere Unternehmen verteilt. Daraus ergeben sich Netzwerke aus verschiedenen Stufen der Wertschöpfung sowie Dienstleistern, die bspw. Transportaufgaben übernehmen.

Um die Koordination der Wertschöpfung über Unternehmensgrenzen hinweg effektiv zu gestalten, kommt dem Informationsfluss in Echtzeit eine hohe Bedeutung zu. Hierzu setzen die Unternehmen verstärkt auf die RFID-Technik, die es ermöglicht Daten direkt am Produkt zu hinterlegen und diese sichtkontaktlos auszutauschen bzw. zu bearbeiten. Da der Einsatz von RFID jedoch abhängig von verschiedenen Randbedingungen ist, ergeben sich häufig individuelle Einzellösungen. Des Weiteren treten vielfach erst in der Betriebsphase zusätzliche Anforderungen auf, die weitere Kosten verursachen. Dies ist vor allem bei kooperierenden Implementierungen der Fall. Neben den Aufwänden stellt sich zudem die Erfassung möglicher Einsparungen problematisch dar. Die Potentiale treten in verschiedenen Bereichen auf und unterliegen in ihrer Ausprägung oftmals Unsicherheiten. Mögliche Bearbeitungszeitreduktionen weisen bspw. stochastische Schwankungen auf. Eine gesteigerte Transparenz kann zudem nur verbal erfasst werden und unterliegt somit linguistischen Unsicherheiten.

Zur Bewältigung dieser Probleme werden in der industriellen Anwendung oft Pilotprojekte initiiert, um technische Anforderungen sowie mögliche Potentiale frühzeitig zu erkennen. Erfahrungsberichte und Studien zeigen jedoch auf, dass hierdurch nur ein begrenztes Spektrum an Einflussfaktoren erfasst werden kann. Speziell durch die Ausdehnung auf unternehmensübergreifende Anwendungen wird eine Vielzahl von Faktoren generiert, die die Wirtschaftlichkeit des RFID-Einsatzes entscheidend beeinflusst. In der Praxis werden diese Einflüsse durch Expertenschätzungen quantifiziert oder im Falle qualitativer Einflüsse in der Bewertung vernachlässigt. Dies kann zu erheblichen Fehlinvestitionen und damit zur Reduktion der Wettbewerbsfähigkeit führen.

Eine Bewertungsunterstützung finden die Unternehmen in verschiedenen wissenschaftlichen sowie kommerziellen Ansätzen. Diese weisen jedoch den Mangel auf, dass sie nur Verrechnungsstrukturen zur Verfügung stellen. Die Identifikation und Quantifizierung der Einflussfaktoren wird weitestgehend vernachlässigt.

Zudem finden unternehmensübergreifende Effekte nur begrenzt Beachtung. Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher eine Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von RFID im Wertschöpfungsnetz entwickelt, die sich primär der erkannten Schwachstellen widmet.

Basierend auf dem Handlungsbedarf wurde in Kapitel 5 die Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von RFID im Wertschöpfungsnetz erläutert. Das Vorgehen gliedert sich in eine Analyse- und eine Bewertungsphase.

Im ersten Schritt der dreistufigen Analysephase ist zunächst das Bewertungsziel zu definieren, bevor die relevanten Prozesse des RFID-Einsatzes im Wertschöpfungsnetz mittels standardisierter PBS modelliert werden. Anschließend sind die Aufwände zu identifizieren, indem die EP festgelegt und die dafür erforderlichen Komponenten spezifiziert werden. Zudem sind Absicherungsstrategien zu erarbeiten, um etwaige Erfassungsfehler entsprechend zu beheben. Hierzu stehen Schlüsselfragen und eine Modellierungsvorschrift zur gezielten Analyse der PBS zur Verfügung. Der dritte Schritt fokussiert die Sammlung und Filterung der Nutzenpotentiale. Hierbei kann wiederum auf Schlüsselfragen und eine Modellierungsvorschrift zurückgegriffen werden, die eine Ableitung von Nutzenketten ermöglichen. Des Weiteren unterstützt ein PBS-spezifischer Nutzenkatalog die Identifikation von Potentialen. Um den relevanten Nutzen für den konkreten Bewertungsfall herauszufiltern, kann sich technischer und organisatorischer Kriterien bedient werden.

In der Bewertungsphase werden zuerst die identifizierten Einflussfaktoren quantifiziert. Hierzu wurden Basen erarbeitet die eine Bewertung der Aufwände und Nutzenpotentiale über alternative Formeln ermöglichen. Die Formeln zeigen benötigte Daten auf und bieten verschiedene Optionen vorhandene Daten in die Bewertung zu integrieren. Basierend auf der Fuzzy-Logik wurde zudem ein Vorgehen entwickelt, das die Integration qualitativer Einflussfaktoren in die Bewertung ermöglicht. Zur Berücksichtigung auftretender Unsicherheiten wurde sich der Risikoanalyse bedient. Durch die Modellierung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen können sowohl stochastische als auch linguistische Unsicherheiten bewertet werden. Die Berechnung der Zielgrößen erfolgt im fünften Schritt durch eine Gegenüberstellung der Aufwände und Nutzen in einer mehrstufigen Kalkulationsstruktur, die eine zeitliche sowie räumliche Zuweisung der Faktoren fokussiert. Die modellierten Unsicherheiten werden mittels der Monte-Carlo-Simulation in die Bewertung integriert. Der letzte Schritt des Vorgehens ist die Analyse des Bewertungsergebnisses. Mittels der Systemanalyse kann das spezifi-

zierte System hinsichtlich weiterer Einsparungen und kritischer Stellhebel untersucht werden. Des Weiteren besteht die Möglichkeit durch die Expansionsanalyse aus dem vorliegenden Ergebnis auf die Rentabilität eines erweiterten Einsatzes zu schließen. Hinsichtlich des unternehmensübergreifenden Einsatzes spielt vor allem die Ausgleichsanalyse eine zentrale Rolle, die eine gerechte Verteilung der Kosten und Nutzen fokussiert.

Die entwickelte Methode fand bereits in einer Vielzahl von RFID-Projekten Anwendung. Hierbei hat vor allem die Implementierung des Vorgehens im Bewertungstool €CO₂Calc den Bewertungsaufwand reduziert und somit die Praxistauglichkeit erhöht. Im Vergleich zu etablierten Ansätzen erfordert primär die Identifikation der Einflussfaktoren einen erhöhten Bewertungsaufwand. Diesem steht jedoch ein exakteres Ergebnis gegenüber, das eine Vielzahl bislang nicht beachteter Faktoren beinhaltet. Zudem reduziert die projektbegleitende Modellierung der Wirkketten den Aufwand. Die Ketten bieten darüber hinaus die Möglichkeit alternative Systeme schnell zu vergleichen.

Um die Anwendbarkeit der Methode weiter zu fördern, gilt es primär den Zeitbedarf für die Identifikation der Einflussfaktoren und für die Erfassung relevanter Daten zur Quantifizierung zu reduzieren. Dies kann durch den Aufbau einer Datenbasis erfolgen, in der die Wirkketten und die real auftretenden Aufwände und Potentiale bereits realisierter RFID-Systeme gesammelt werden. Zudem sollten vorliegende Kosten und gemessene Einsparungen den Faktoren in der Datenbank hinterlegt werden, um bei zukünftigen Bewertungen direkt belastbares Zahlenmaterial zur Verfügung zu haben. Hierbei sollten auch Erkenntnisse über den qualitativen Einfluss dokumentiert werden, der derzeit noch großen Unsicherheiten unterliegt. Die Datenbank reduziert den Bewertungsaufwand und erhöht die Güte des Ergebnisses, da weniger Unsicherheiten bestehen.

Wie die Studien in der Ausgangssituation zeigen, wird sich der Einsatz der RFID-Technik in den nächsten Jahren intensivieren. Die Unternehmen fokussieren dabei speziell die unternehmensübergreifende Implementierung. Durch den RFID-Einsatz sollen Bestände reduziert und Materialflüsse beschleunigt und effizienter gestaltet werden. Ressourceneinsparungen sollen dadurch generiert werden. Da aber die Herstellung und der Betrieb eines RFID-Systems sehr ressourcenintensiv sind, stellt sich die Frage nach der ökologischen Bilanz. Zur Evaluierung der ökologischen Rentabilität des RFID-Einsatzes bedarf es einer geeigneten Bewertungsmethode. Die hierzu erforderliche Methode könnte auf das in dieser Arbeit entwickelte Vorgehen zurückgreifen.

10 Literaturverzeichnis

ABELE & REINHART 2011

Abele, E.; Reinhart, G.: Zukunft der Produktion. Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen. München: Hanser Verlag 2011. ISBN: 9783446425958.

ABRAMOVICI ET AL. 2009

Abramovici, M.; Bellalouna, F.; Flohr, M.: Open-Loop-Einsatz von RFID im industriellen Bereich. ZWF (2009) 104, S. 200-205.

ADAMEC 2011

Adamec, T.: Recycling von RFID. Fürth: 2011.

ALTROCK 1995

Altrock, C.: Fuzzy Logic. 2 Aufl. München: Oldenbourg Verlag 1995. ISBN: 3486234102.

ARENS 2009

Arens, M.: Bankinternes Rating leistungswirtschaftlicher Risiken bei kleinen und mittleren Unternehmen (Dissertation) Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre Technische Universität. München (2009).

BÄCKE-HEGER 2008

Bäcke-Heger, F.: Flexibler fertigen mit RFID. technologie (2008) 3, S. 70-73.

BAIER 2007

Baier, A.: High Performance in der Automobilzulieferindustrie. Unternehmen im Spagat zwischen Kosten- und Technologieführerschaft, 2007.

BARTHEL ET AL. 2010

Barthel, K.; Böhler-Bädecker, S.; Bormann, R.; Dispan, J.; Fink, P.; Koska, T.; Meißner, H.-R.; Pronold, F.: Zukunft der deutschen Automobilindustrie. Herausforderungen und Perspektiven für den Strukturwandel im Automobilsektor Friedrich-Ebert-Stiftung 2010. ISBN: 978386872588.

BAUMBACH 2012

Baumbach, M.: Supply Chain Visibility mit RFID. RFID@Bosch. Homburg: 2012.

BECKER ET AL. 2008

Becker, J.; Knackstedt, R.; Pfeiffer, D.; Herausgeber: Wertschöpfungsnetzwerke. Konzepte für das Netzwerkmanagement und Potenziale aktueller Informationstechnologien. Heidelberg: Physica Verlag 2008.

BECKER ET AL. 2010

Becker, J.; Vilkov, L.; Weiß, B.; Winkelmann, A.: A model based approach for calculating the process driven business value of RFID investments. Production Economics 127 (2010), S. 358-371.

- BELLORD 2012**
Bellord, S. R.: Total Economic Impact™-Studie zu Adobe Acrobat X.
Cambridge: 2012.
- BENSEL ET AL. 2009**
Bensel, P.; Fürstenberg, F.; Gerke, K.; Goebel, C.; Grummt, E.; Kähne, F.; Ihm, E.; Schilz, S.; Sielemann, O.; Spin, K.; Tamm, G.; Tribowski, C.; Träger, R.; Vogeler, S.; Werner, K.; Ziekow, H.: Leitfaden (Leitfaden) Humboldt-Universität. Berlin (2009).
- BENSEL ET AL. 2008A**
Bensel, P.; Gunther, O.; Tribowski, C.; Vogeler, S. (Hrsg.): Cost-Benefit Sharing in Cross-Company RFID Applications: A Case Study Approach. Paris, 2008.
- BENSEL ET AL. 2008B**
Bensel, P.; Richter, M.; Vogeler, S.: Diffusion von Vertrauen in unternehmensübergreifenden RFID-Anwendungen (Forschungsbericht) Technische Universität. Berlin (2008).
- BIETHAHN ET AL. 1997**
Biethahn, J.; Hönerloh, A.; Kuhl, J.; Nissen, V.: Fuzzy-Set-Theorie in betriebswirtschaftlichen Anwendungen. München: Vahlen Verlag 1997. ISBN: 3800621355.
- BLESSEL ET AL. 2012**
Blesl, M.; Wissel, S.; Fahl, U.: Stromerzeugung 2030 – mit welchen Kosten ist zu rechnen? Energiewirtschaftliche Tagesfragen 62 (2012) 10, S. 20-27.
- BLOHM ET AL. 2006**
Blohm, H.; Lüder, K.; Schaefer, C.: Investition. Schwachstellenanalyse des Investitionsbereichs und Investitionsrechnung. 9 Aufl. München: Vahlen Verlag 2006. ISBN: 3800631687.
- BRAUSE 1995**
Brause, R.: Neuronale Netze. Eine Einführung in die Neuroinformatik. 2 Aufl. Stuttgart: Teubner Verlag 1995. ISBN: 3519122472.
- BREITNER 2008**
Breitner, M. H.: Prozessoptimierung mit RFID (Forschungsbericht) Institut für Wirtschaftsinformatik Leibniz Universität. Hannover (2008).
- BRIEKE 2008**
Brieke, M.: Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung in der Fabrikplanung (Dissertation) Fakultät für Maschinenbau Gottfried Wilhelm Leibniz Universität. Hannover (2008).
- BULLINGER ET AL. 2003**
Bullinger, H. J.; Warnecke, H. J.; Westkämper, E. (Hrsg.): Neue Organisationsformen im Unternehmen. Berlin: Springer Verlag 2003. ISBN: 3540676104.

CÄSAR & LEGNER 2003

Cäsar, M. A.; Legner, C.: Einsatzbereiche und Fallbeispiele zu Service-Portalen (Forschungsbericht) Institut für Wirtschaftsinformatik Hochschule für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften. St. Gallen (2003).

CECH ET AL. 2006

Cech, C.; Jeckle, M.; Messner, S.; Ortner, G.; Schwarz, R.; Stickler, R.; Wale, T.: Risikomanagement in Unternehmen (Forschungsbericht) Fachhochschule des BFI. Wien (2006).

COENENBERG 1992

Coenenberg, A. G.: Kostenrechnung und Kostenanalyse. Landesberg am Lech: Moderne Industrie Verlag 1992. ISBN: 3478393906.

COTTIN & DÖHLER 2009

Cottin, C.; Döhler, S.: Risikoanalyse. Modellierung, Beurteilung und Management von Risiken mit Praxisbeispielen. 1 Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag 2009. ISBN: 9783834805942.

DÄUMLER & GRABE 2007

Däumler, K.-D.; Grabe, J.: Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung. Aufgaben und Lösungen, Testklausur, Checklisten, Tabellen für die finanzmathematischen Faktoren. 12 Aufl. Herne: Nwb Verlag 2007. ISBN: 978348252302112.

DILLERUP & ALBRECHT 2005

Dillerup, R.; Albrecht, T.: Kapitalwertmethode Haufe Rechnungswesen Office, Version 3.2. Freiburg: Rudolf Haufe Verlag GmbH & Co. KG 2005.

DILLERUP ET AL. 1999

Dillerup, R.; Zahn, E.; Schmid, U.: Investitionsentscheidungen in flexible. Zeitschrift für Betriebswirtschaft (1999) 1, S. 43-67.

DIN 8580

DIN 8580: Fertigungsverfahren. Berlin: Beuth Verlag 2003.

DITTMANN 2006

Dittmann, L.: Der angemessene Grad an Visibilität in Logistik-Netzwerken (Dissertation) Hochschule für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften. St. Gallen (2006).

DUDEN 2013

Duden: Nutzen. <www.duden.de> - 25.04.2013.

EISELE & KNOBLOCH 2011

Eisele, W.; Knobloch, A. P.: Technik des betrieblichen Rechnungswesens. Buchführung und Bilanzierung, Kosten- und Leistungsrechnung, Sonderbilanzen. 8 Aufl. München: Vahlen Verlag 2010. ISBN: 9783800637843.

EISENFÜHR ET AL. 2010

Eisenführ, F.; Langer, T.; Weber, M.: Rationales Entscheiden. 5 Aufl. Berlin: Springer Verlag 2010. ISBN: 9783642028489.

ERBEN 2000

Erben, R. F.: Fuzzy -Logic-basiertes Risikomanagement (Dissertation) Fakultät für Wirtschaftswissenschaften Bayerische Julius-Maximilians-Universität Würzburg (2000).

EWERT & WAGENHOFER 2008

Ewert, R.; Wagenhofer, A.: Interne Unternehmensrechnung. 7 Aufl. Berlin: Springer Verlag 2008. ISBN: 9783540772842.

FEHR ET AL. 2004

Fehr, S.; Sauber, K.; Schmidt, T.: Klassifizierung der Methoden eines Ganzheitlichen Produktionssystems unter Berücksichtigung der Anforderungen in direkter Bereiche. Logistics Journal (2012) 12, S. 1-8.

FERBER 2005

Ferber, S.: Strategische Kapazitäts- und Investitionsplanung in der globalen Supply Chain eines Automobilherstellers (Dissertation) Fakultät für Wirtschaftswissenschaften Universität. Augsburg (2005).

FINKENZELLER 2006

Finkenzeller, K.: RFID Handbook. Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten. 4 Aufl. München: Hanser Verlag 2006. ISBN: 9783446403987.

FLEISCH & MATTERN 2005

Fleisch, E.; Mattern, F. (Hrsg.): Das Internet der Dinge. Berlin: Springer Verlag 2005. ISBN: 3540240039.

FLEISCH ET AL. 2004

Fleisch, E.; Ringbeck, J.; Stroh, S.; Plenge, C.; Dittmann, L.; Strassner, M.: RFID- The Opportunity for Logistics Service Providers (Forschungsbericht) ETH. St. Gallen (2004).

FUCHS 2012

Fuchs, W.: Produktion und Logistik in Deutschland 2025. VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik. 03/2012.

GAUSEMEIER ET AL. 1996

Gausemeier, J.; Fink, A.; Schlake, O.: Szenario-Management. Planen und Führen mit Szenarien. 2 Aufl. München: Hanser Verlag 1996. ISBN: 3446187219.

GEHR & HELLINGRATH 2007

Gehr, F.; Hellingrath, B.: Logistik in der Automobilindustrie. Innovatives Supply Chain Management für wettbewerbsfähige Zulieferstrukturen. Berlin: Springer Verlag 2007. ISBN: 9783540140450.

GELLERT & LENK 1974

Gellert, Walter; Lenk, Richard (Hrsg.): Fachlexikon ABC Physik. Zürich: Deutsch Verlag 1974. ISBN: 3871440035.

GHEORGHE ET AL. 1996

Gheorghe, A. V.; Krause, J.-P.; Mock, R.: Integration von Fuzzy-Logic für ei-

- ne regionale Umweltrisiko-Analyse. Modellierung komplexer Zusammenhänge in der regionalen Sicherheitsplanung. Zürich: VDF Hochschulverlag 1996. ISBN: 3728122939.
- GILBERG 2009
Gilberg, J.: Technische Ausgestaltung und wirtschaftliche Beurteilung des überbetrieblichen RFID-Einsatzes. Köln: JOSEF EUL VERLAG 2009. ISBN: 9783899368345.
- GILLE 2010
Gille, D.: Wirtschaftlichkeit von RFID-Systemen in der Logistik. Ex-Ante-Quantifizierung der ökonomischen Effekte allgegenwärtiger Informationsverarbeitung. 1 Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag 2010. ISBN: 9783834925589.
- GILLERT & HANSEN 2007
Gillert, F.; Hansen, W.-R.: RFID für die Optimierung von Geschäftsprozessen. Prozess-Strukturen, IT-Architekturen, RFID-Infrastruktur. München: Hanser Verlag 2007. ISBN: 3446405070.
- GLEIBNER 2004
Gleißner, W.: Auf nach Monte Carlo. RISKNEWS (2004) 1, S. 31-37.
- GLEIBNER 2006
Gleißner, W.: Entscheidungen unter Unsicherheit und Erwartungsnutzentheorie. Risiko Manager (2006) 12, S. 1-20.
- GLEIBNER & ROMEIKE 2005
Gleissner, W.; Romeike, F.: Risikomanagement. Umsetzung, Werkzeuge, Risikobewertung. 1 Aufl. Freiburg: Haufe Mediengruppe 2005. ISBN: 344806209X.
- GÖBEL 2008
Göbel, C.: Ökonomische Bewertung von RFID-Anwendungen im Supply Chain Management. Berlin: 2008.
- GOLOMB 2008
Golomb, N.: Damit der Ruf nicht ruiniert wird. Automobil Konstruktion (2008) 3, S. 60-61.
- GÖTZE 2006
Götze, U.: Investitionsrechnung. Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. 5 Aufl. Berlin: Springer Verlag 2006. ISBN: 3540288171.
- GÖTZE 2008
Götze, U.: Investitionsrechnung. Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. 6 Aufl. Berlin: Springer Verlag 2008. ISBN: 9783540788720.
- GRUNDIG 2009
Grundig, C.-G.: Fabrikplanung. Planungssystematik - Methoden - Anwendungen. 3 Aufl. München: Hanser 2009. ISBN: 9783446414112.

GS1 2005

GS1: Der RFID-Kalkulator im Überblick. Köln: 2005.

GÜNTHNER ET AL. 2010

Günthner, A.; Meißner, S.; Conze, M.; Fischer, R.: Stand und Entwicklung des RFID-Einsatzes in der Automobillogistik. Ergebnisse einer empirischen Studie RFID Anwenderzentrum München 2010. ISBN: 9783941702097.

GÜNTHNER & MEIßNER 2006

Günthner, W. A.; Meißner, S.: Logistischer Schutz vor Produktpiraterie (2006), S. 1-5.

HAAG ET AL. 2012

Haag, H.; Radimersky, A.; Meyer-Schwickerath, B.: Wandlungstreiber in Wertschöpfungsnetzen erkennen. wt Werkstatttechnik online 102 (2012) 9, S. 633-638.

HANHART ET AL. 2005A

Hanhart, D.; Jinschek, R.; Kipper, U.; Legner, C.; Österle, H.: Mobile und Ubiquitous Computing in der Instandhaltung – Bewertung der Anwendungsszenarien bei der Fraport AG (Forschungsbericht) Institut für Wirtschaftsinformatik Universität. St. Gallen (2005).

HANHART ET AL. 2005B

Hanhart, D.; Legner, C.; Österle, H.: Anwendungsszenarien des Mobile und Ubiquitous Computing in der Instandhaltung (Forschungsbericht) Institut für Wirtschaftsinformatik Universität. St. Gallen (2005).

HAUKE ET AL. 2008

Hauke, M.; Schäfer, M.; Apfeld, R.; Bömer, T.; Hülke, M.; Borowski, T.; Büllsbach, K. H.; Förmer-Schäfer, H. G.; Grigulewitsch, W.; Heimann, K. D.; Köhler, B.; Krauß, M.; Kühlem, W.; Lohmaier, O.; Meffert, K.; Pilger, J.; Reuß, G.; Schuster, U.; Zilligen, H.: Funktionale Sicherheit von Maschinensteuerungen. Berlin 2008.

HAUSLADEN 2011

Hausladen, I.: IT-gestützte Logistik. Systeme, Prozesse, Anwendungen. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag 2011. ISBN: 9783834921994.

HEITSCH 2000

Heitsch, J.-U.: Multidimensionale Bewertung alternativer Produktionstechniken (Dissertation) Werkzeugmaschinenlabor Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule. Aachen (2000).

HELMIG ET AL. 2010

Helmig, J.; Schmidt, C.; Schweicher, B.: CBS-Net - Cost-Benefit-Sharing in Netzwerken. Aufwand und Nutzen der Umsetzung von SCM-Konzepten erkennen und verteilen. Aachen: FIR Verlag 2010. ISBN: 3934318932. (5).

HESSE ET AL. 2009

Hesse, M.; Schickl, P.; Lehr, T.: Die Delphi-Methode in der Regionalentwick-

lung Anwendungsbeispiel zur Erarbeitung von regionalpolitischen Maßnahmen zur Förderung der Dienstleistungswirtschaft im Erzgebirge (Forschungsbericht) Institut für Öffentliche Finanzen und Public Management, Finanzwissenschaft Universität. Leipzig (2009).

HIRNLE & HESS 2004

Hirnle, C.; Hess, T.: Rationale IT-Investitionsentscheidungen: Hürden und Hilfsmittel. *Controlling & Management* (2004) 1, S. 86-95.

HITZIGER 2007

Hitziger, T.: Übertragbarkeit von Vorkenntnissen bei der Zuverlässigkeitstestplanung (Dissertation) Institut für Maschinenelemente Universität. Stuttgart (2007).

HOCHSTÄTTER 2008

Hochstätter, C. H.: CeBIT: Identifikation überall mit RFID und Co. <<http://www.zdnet.de>> - 08.02.2013.

HOMBERGS & RIHA 2008

Hombergs, A.; Riha, I.: Softwareauswahl für den Einsatz von Cost Benefit Sharing in Logistiknetzwerken (Forschungsbericht) Universität. Dortmund (2008).

HÖNERLOH 1997

Hönerloh, A.: Unschärfe Simulation in der Betriebswirtschaft. Modellbildung und Simulation auf der Basis der Fuzzy-Set-Theorie. Göttingen: Unitext Verlag 1997. ISBN: 3926142561.

HÜTTNER 1999

Hüttner, M.: Grundzüge der Marktforschung. 6 Aufl. München: Oldenbourg Verlag 1999. ISBN: 3486249533.

IMMEN 2011

Immen, S.: KBA - Wir punkten mit Verkehrssicherheit. Flensburg: 2011.

IVANTYSYNOVA 2008

Ivantysynova, L.: RFID in Manufacturing: Mapping the Shop Floor to IT-Enabled Business Processes (Dissertation) Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät Humboldt-Universität. Berlin (2008).

JÄKEL 2008

Jäkel, C.: Der Einsatz mono- und multikultureller Teams in Abhängigkeit von der zu bearbeitenden Aufgabe (Dissertation) Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät der Katholischen Universität. Eichstätt-Ingolstadt (2008).

JANSEN & HELMIGH 2007

Jansen, R.; Helmigh, M.: Einsatz von RFID in der pharmazeutischen Industrie. *Logistics Journal* (2007), S. 1-2.

JAP 2000

Jap, D. S.: 'PIE-SHARING' in complex collaboration contexts. *Journal of Marketing Research* (2000).

KALOS & WHITLOCK 1986

Kalos, M. H.; Whitlock, P. A.: Monte Carlo Methods Courant Institute of Mathematical Sciences. New York: J. Wiley & Sons Verlag 1986. ISBN: 9780471898399.

KAPLAN & NORTON 1993

Kaplan, R. S.; Norton, D. P.: Putting the Balanced Scorecard to Work. Harvard Business Review (1993), S. 134-147.

KILGER ET AL. 2012

Kilger, W.; Pampel, J. R.; Vikas, K.: Flexible Plankostenrechnung und Deckungsbeitragsrechnung. 13 Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag 2012. ISBN: 9783834937582.

KINKEL 2009

Kinkel, S.: Erfolgsfaktor Standortplanung. In- und ausländische Standorte richtig bewerten. 2 Aufl. Berlin: Springer Verlag 2009. ISBN: 9783540884705.

KLEIN 2011

Klein, M.: Monte-Carlo Simulation und Fuzzyfizierung qualitativer Informationen bei der Unternehmensbewertung (Dissertation) Friedrich-Alexander-Universität. Erlangen-Nürnberg (2011).

KLEIN & SCHOLL 2011

Klein, R.; Scholl, A.: Planung und Entscheidung. Konzepte, Modelle und Methoden einer modernen betriebswirtschaftlichen Entscheidungsanalyse. 2 Aufl. München: Vahlen Verlag 2011. ISBN: 9783800638840.

KOK ET AL. 2008

Kok, A. G.; Donselaar, K.; Woensel, T.: A break-even analysis of RFID technology for inventory sensitive to shrinkage. Production Economics (2008) 112, S. 521-531.

KÖNIG 2008

König, R.: Management betrieblicher Risiken bei produzierenden Unternehmen (Dissertation) Fakultät für Maschinenwesen Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule. Aachen (2008).

KONTNY 2010

Kontny, H.: Norddeutsche RFID-Studie. Überblick, 09/2010.

KOYUNCU 2009

Koyuncu, F.: Konzeption und Realisierung einer unternehmensübergreifenden Wirtschaftsbetrachtung von RFID-gestützten Prozessen im Automotive Umfeld (Dissertation) Wirtschaftswissenschaften, Wirtschaftsinformatik und Wirtschaftsrecht Universität. Siegen (2009).

KREBS 2011

Krebs, P.: Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung

- multidimensionaler Unsicherheiten (Dissertation) Lehrstuhl für Betriebswissenschaften und Montagetechnik Technischen Universität. München (2011).
- KRUSCHWITZ 2009**
Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung. 12 Aufl. München: Oldenbourg Verlag 2009. ISBN: 9783486587661.
- KUHLMANN & AMENDE 2009**
Kuhlmann, F.; Amende, M.: EPC-Informationsservices (EPCIS) und Umsetzung im EPC-Showcase. Grundlageninformation (Konzept und Anwendung des EPCIS) GS1 Germany GmbH2009.
- KUHN & HELLINGRATH 2002**
Kuhn, A.; Hellingrath, B.: Supply-Chain-Management. Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette. Berlin: Springer Verlag 2002. ISBN: 3540654232.
- KUHN ET AL. 2006**
Kuhn, A.; Hellingrath, B.; Keller, M.; Riha, I.: Wissenschaft und Praxis im Dialog. Steuerung von Logistiksystemen - auf dem Weg zur Selbststeuerung. Hamburg: Deutscher Verkehrs Verlag 2006. ISBN: 3871543403.
- LAMPE & STRASSNER 2005**
Lampe, M.; Strassner, M.: The Potential of RFID for Moveable Asset Management (Forschungsbericht) Institute for Pervasive Computing ETH. Zürich (2005).
- LANGE ET AL. 2008**
Lange, V.; Alberti, A.; Becker, M.; Hofmann, J.; Maaß, J.-C.; Meiss, C.; Schürer, S.: Entwicklung eines Verfahrens zur Kosten-Nutzen-Bewertung von RFID-Systemen (Forschungsbericht) Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik. Dortmund (2008).
- LEE & LEE 2010**
Lee, I.; Lee, B. C.: An investment evaluation of supply chain RFID technologies: A normative modeling approach. Production Economics 125 (2010), S. 313-323.
- LEGNER ET AL. 2009**
Legner, C.; Pelli, D.; Löhe, J.; Walden, J.; Fischer, T.; Stein, O.: Wandel in den Wertschöpfungsstrukturen der Automobilindustrie-Konsequenzen für Prozesse und Informationssysteme (Forschungsbericht) European Business School. Schloss Reichartshausen (2009).
- LINDEMANN 2005**
Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. Berlin: Springer Verlag 2005. ISBN: 3540140417.

LÖDDING 2008

Lödning, H.: Verfahren der Fertigungssteuerung. Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration. 2. Aufl. Berlin: Springer 2008. ISBN: 9783540768593.

LOOS 1998

Loos, P.: Integriertes Prozeßmanagement direkter und indirekter Bereiche durch Workflow-Management. *Industrie Management*, 14 (1998) 2, S. 13-18.

LYHS 2005

Lyhs, W.: Kostenvorteile durch Integration von RFIDs in Unternehmensprozesse. <www.micromata.de> - 24.04.2013.

MADLBERGER 2008

Madlberger, M.: Einsatz von RFID im Supply Chain Management: Eine empirische Analyse der Einflussfaktoren (Forschungsbericht) Institut für Betriebswirtschaftslehre und Wirtschaftsinformatik Wirtschaftsuniversität. Wien (2008).

MALONE 1988

Malone, W. T.: *What is Coordination Theory?* Cambridge: 1988.

MANGAN ET AL. 2012

Mangan, J.; Lalwan, C.; Butcher, T.; Javadpour, R.: *Global logistics and Supply Chain management*. 2. Aufl. New York: John Wiley & Sons, Ltd 2012. ISBN: 9781119998846.

MANNEL 2006

Mannel, A.: *Prozessorientiertes Modell zur Bewertung der ökonomischen Auswirkungen des RFID-Einsatzes in der Logistik*. Frankfurt am Main: Deutscher Fachverlag 2006. ISBN: 3866410980. (67).

MATHEUS & KLUMPP 2008

Matheus, D.; Klumpp, M.: *Radio Frequency Identification (RFID) in der Logistik (Forschungsbericht)* Institut für Logistik- & Dienstleistungsmanagement Fachhochschule für Ökonomie & Management. Essen (2008).

MEIERBECK 2010

Meierbeck, R.: *Strategisches Risikomanagement der Beschaffung. Entwicklung eines ganzheitlichen Modells am Beispiel der Automobilindustrie*. 1. Aufl. Köln: EUL Verlag 2010. ISBN: 9783899369779.

MEIßNER 2009

Meißner, R. H.: *Automobilproduktion in der Prozess- oder Wertschöpfungskette*. Brannenburg: 2009.

MELSKI 2006

Melski, A.: *Grundlagen und betriebswirtschaftliche Anwendung von RFID (Forschungsbericht)* Institut für Wirtschaftsinformatik Georg-August-Universität. Göttingen (2006).

MELSKI & SCHUMANN 2007

Melski, A.; Schumann, M.: *Management von RFID-Daten (Forschungsbe-*

- richt) Institut für Wirtschaftsinformatik Georg-August-Universität. Göttingen (2007).
- MENTZER ET AL. 2001
Mentzer, J.-T.; DeWitt, W.; Keebler, J.-S.; Min, S.; Nix, N.-W.; Smith, C.-D.; Zacharia, Z.-G.: Defining Supply Chain Management. *Journal of Business Logistics* 22 (2001) 2, S. 1–25.
- MEYER 2006
Meyer, T.: Globale Produktionsnetzwerke (Dissertation) Technische Universität. Darmstadt (2006).
- MÖLLER 2008
Möller, N.: Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme (Dissertation) Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik Technische Universität. München (2008).
- MÜLLER 2011
Müller, A.: Standardisierte Steuerung von Informationen. *Ident* (2011), S. 12–13.
- NISSEN 2008
Nissen, V.: Ilmenauer Beiträge zur Wirtschaftsinformatik. Einige Grundlagen zum Management von IT-Agilität Institut für Wirtschaftsinformatik, Technische Universität Ilmenau 2008. ISBN: 9783938940211.
- OCKER 2010
Ocker, D.: Unschärfe Risikoanalyse strategischer Ereignisrisiken. Frankfurt am Main: Lang Verlag 2010. ISBN: 9783631597521.
- OLAH ET AL. 2011
Olah, N.; Huth, T.; Löhr, D.: Monetarismus mit Liquiditätsprämie. Steinfurt: 2011.
- OLFERT & REICHEL 2006
Olfert, K.; Reichel, C.: Investition. Kompendium der praktischen Betriebswirtschaft. 10. Aufl. Ludwigshafen: Kiehl Verlag 2006. ISBN: 3470704708.
- ÖRTEL ET AL. 2004
Örtel, B.; Wölk, M.; Hilty, L.; Köhler, A.; Kelter, H.; Ullmann, M.; Wittmann, S.: Risiken und Chancen des Einsatzes von RFID-Systemen. Trends und Entwicklungen in Technologien, Anwendungen und Sicherheit. Ingelheim: SecuMedia 2004. ISBN: 392274656X.
- ÖSTERLE & WINTER 2003
Österle, H.; Winter, R. (Hrsg.): Business Engineering. Auf dem Weg zum Unternehmen des Informationszeitalters. Berlin: Springer Verlag 2003.
- OSTGATHE 2012
Ostgathe, M.: System zur produktbasierten Steuerung von Abläufen in der auftragsbezogenen Fertigung und Montage (Dissertation) Lehrstuhl für Werk-

- zeugmaschinen und Fertigungstechnik Technischen Universität. München (2012).
- PERRIDON ET AL. 2009
Perridon, L.; Steiner, M.; Rathgeber, A. W.: Finanzwirtschaft der Unternehmung. 15 Aufl. München: Vahlen Verlag 2009. ISBN: 9783800636792.
- PEZOLDT & GEBERT 2011
Pezoldt, K.; Gebert, R.: RFID im Handel - Vor- und Nachteile aus Unternehmens- und Kundensicht (Forschungsbericht) Institut für Betriebswirtschaftslehre Technische Universität. Ilmenau (2011).
- PFEIFFER ET AL. 2010
Pfeiffer, S.; Wühr, D.; Schütt, P.: Greening fängt beim Menschen an (Tagungsband) münchener kolloquium Technische Universität. München (2010).
- PIETSCH 2003
Pietsch, T.: Bewertung von Informations- und Kommunikationssystemen. Ein Vergleich betriebswirtschaftlicher Verfahren. 2 Aufl. Berlin: Erich Schmidt Verlag 2003. ISBN: 3503070885.
- PLAUT ET AL. 2006
Plaut, H. G.; Bonin, A.; Vikas, K.: Grenzplankostenrechnung und Einzelkostenrechnung. Controlling & Management (2006) 1, S. 75-80.
- PRIVENAU 2012
Privenau, R.: Neokognitron und Hopfield-Netz als künstliche neuronale Netze zur Mustererkennung. Theorie, computergestützte Simulation und Anwendungen. Hamburg: Diplomica Verlag 2012. ISBN: 9783842872189.
- QUAAS 2005
Quaas, R.: Messung der qualitativ-strategischen Nutzeffekte von IT-Investitionen. Fürth: 2005.
- RAMIREZ 2012
Ramirez, A.: Kanban-Regal: Technologiedemonstrator der Erfassungsklasse 9 erfolgreich umgesetzt. RAN-Newsletter (2012) 7, S. 8.
- REDING 2009
Reding, V. (Hrsg.): COMMISSION RECOMMENDATION on the implementation of privacy and data protection principles in applications supported by Radio-Frequency Identification. Brüssel: 2009.
- REICHEL ET AL. 2009
Reichel, J.; Müller, G.; Mandelartz, J. (Hrsg.): Betriebliche Instandhaltung. Heidelberg: Springer Verlag 2009. ISBN: 9783642005015.
- REIBNITZ 2003
Reibnitz, U. H.: Positionierungsstrategien. ANZAG Magazin (2003), S. 27-29
- REINHART ET AL. 2008
Reinhart, G.; Krebs, P.; Haas, M.; Zäh, M. F.: Monetäre Bewertung von Produktionssystemen. ZWF 103 (2008) 12, S. 845-850.

REINHART ET AL. 2011A

Reinhart, G.; Genc, E.; Hauptvogel, A.; Heinecke, G.; Lamparter, S.; Ostgathe, M.: Absicherung von Produktions- und Logistikprozessen. ZWF 106 (2011) 12, S. 963-968.

REINHART ET AL. 2011B

Reinhart, G.; Pause, J.; Krziwon, K.: Managementkonzept für Eingangsgrößen von Kostenmodellen. ZWF 106 (2011) 6, S. 2-7.

REINHART ET AL. 2011C

Reinhart, G.; Irrenhauser, T.; Reinhardt, S.; Reisen, K.; Schellmann, H.: Wirtschaftlicher und Ressourceneffizienter durch RFID. ZWF 106 (2011) 4, S. 225-230.

REINHART ET AL. 2011D

Reinhart, G.; Engelhardt, P.; Genc, E.; Niehues, M.; Ostgathe, M.: Planung und Steuerung von Abläufen in der Automobilindustrie. ZWF 106 (2011) 5, S. 326-331.

REINHART ET AL. 2012

Reinhart, G.; Irrenhauser, T.; Reinhardt, S.; Reisen, K.: Kriterienbasierte Nutzensauswahl in der Wirtschaftlichkeitsbewertung von RFID. ZWF 107 (2012) 3, S. 182-186.

REINHART ET AL. 2013

Reinhart, G.; Irrenhauser, T.; Reinhardt, S.; Reisen, K.; Bleisteiner, T.; Ramirez, A.: Bewertung des RFID-Einsatzes im automobilen Wertschöpfungsnetz. ZWF 108 (2013) 12, S. 976-980.

REMER 2005

Remer, D.: Einführen der Prozesskostenrechnung. 2. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag 2005. ISBN: 3791024272.

RHENSIVS 2008

Rhensius, T.: RFID im After Sales und Service. Ident (2008), S. 88-89.

RHENSIVS & DEINDL 2009

Rhensius, T.; Deindl, M.: Metastudie RFID. Eine umfassende Analyse von Anwendungen, Nutzen und Hindernissen der RFID-Implementierung. 2. Aufl. Aachen: FIR Verlag 2009. ISBN: 9783934318960.

RHENSIVS & DÜNNEBACKE 2009

Rhensius, T.; Dünnebacke, D.: RFID - Business Case Calculation. 3-stufiges Vorgehen zur Planung und Bewertung des RFID-Einsatzes. Aachen: Klinkenberg Verlag 2009. ISBN: 9783934318915.

RICHTER & KIRCH 2012

Richter, K.; Kirch, M.: Funk-Chip in der Kleidung. IFFOCUS (2012), S. 40-42.

RIHA 2008

Riha, I.: Entwicklung einer Methode für Cost Benet Sharing in Logistiknetz-

- werken (Dissertation) Fakultät für Maschinenbau Technische Universität Dortmund (2008).
- RIHA & HIRTHAMMER 2005
 Riha, I.; Hirthammer, K.: Framework for Cost-Benefit-Sharing in Logistics Networks (Forschungsbericht) Fakultät für Maschinenbau Technische Universität Dortmund (2005).
- RIHA & WEIDT 2004
 Riha, I.; Weidt, S.: Support System Requirements for an Applied Cost-Benefit-Sharing-Model (Forschungsbericht) Fakultät für Maschinenbau Technische Universität Dortmund (2004).
- RIMPAU 2010
 Rimpau, C.: Wissensbasierte Risikobewertung in der Angebotskalkulation für hochgradig individualisierte Produkt (Dissertation) Institut für Betriebswissenschaften und Montagetechnik Technische Universität München (2010).
- ROMEIKE 2006
 Romeike, F.: Risikomessung – Normalverteilung oder Mean-Reversion-Modelle? Risiko Manager (2006) 5, S. 1-11.
- ROMMELFANGER 1994
 Rommelfanger, H.: Fuzzy decision Support-Systeme. Entscheiden bei Unschärfe. 2. Aufl. Berlin: Springer Verlag 1994. ISBN: 3540577939.
- ROSENKRANZ & MIßLER-BEHR 2005
 Rosenkranz, F.; Mißler-Behr, M.: Unternehmensrisiken erkennen und managen. Einführung in die quantitative Planung. Berlin: Springer Verlag 2005. ISBN: 6610626308.
- SCHÄFER 2011
 Schäfer, B.: Anlagenprototyp für intelligente Fahrzeugsitze. RAN-Newsletter (2011) 4, S. 2.
- SCHAFFRY 2007
 Schaffry, A.: Klare Wachstumsprognose. <http://www.cio.de> - 03.05.2007.
- SCHIERENBECK & WÖHLE 2012
 Schierenbeck, H.; Wöhle, B.: Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre. 18. Aufl. München: Oldenbourg Verlag 2012. ISBN: 9783486598261.
- SCHMELZER & SESSELMANN 2008
 Schmelzer, H. J.; Sesselmann, W.: Geschäftsprozessmanagement in der Praxis. Kunden zufrieden stellen - Produktivität steigern - Wert erhöhen. 6. Aufl. München: Hanser Verlag 2008. ISBN: 9783446410022.
- SCHMIDBAUER & ZEHNPFENNIG 2012
 Schmidbauer, B.; Zehnpfennig, M.: Behältermanagement: Optimierungspotenziale nutzen. RAN-Newsletter (2012) 6, S. 5-7.
- SCHMID & GROSCHE 2008
 Schmid, S.; Grosche, P.: Management internationaler Wertschöpfung in der

- Automobilindustrie. Strategie, Struktur und Kultur Bertelsmann Stiftung. Gütersloh 2008.
- SCHMIDT 2006
Schmidt, D.: RFID im mobile Supply Chain Event Management. Anwendungsszenarien, Verbreitung und Wirtschaftlichkeit. Wiesbaden: Gabler Verlag 2006. ISBN: 3834903434.
- SCHMITZ ET AL. 2009
Schmitz, G.; Dietz, M.; Eberhardt, S.: Detaillierte Diagnose unternehmensspezifischer Ansatzpunkte zur Erzielung von Kundenvorteilen mittels Kundenlösungen in KMUs (Forschungsbericht) Lehrstuhl für Dienstleistungsmanagement und Handel Universität. Duisburg-Essen (2009).
- SCHNEEWEIß 1991
Schneeweiß, C.: Systemanalytische und entscheidungstheoretische Grundlagen. Berlin: Springer Verlag 1991. ISBN: 3540540008. (1).
- SCHNEEWEIß 1967
Schneeweiß, H.: Entscheidungskriterien bei Risiko. Berlin: Springer Verlag 1967.
- SCHÖNSLEBEN 2007
Schönsleben, P.: Integrales Logistikmanagement: Operations and Supply Chain Management in umfassenden Wertschöpfungsnetzwerken. Berlin: Springer Verlag 2007. ISBN: 3540681787
- SCHÖNSLEBEN ET AL. 2007
Schönsleben, P.; Schnetzler, M.-J.; Nölle, A.: Erfolgreich in Wertschöpfungsnetzwerken kooperieren. *Industrie Manager* (2007) 23, S. 69-72.
- SCHOLZ-REITER ET AL. 2007
Scholz-Reiter, B.; Gorltd, C.; Hinrichs, U.; Tervo, J.-T.; Lewandowski, M.: RFID - Einsatzmöglichkeiten und Potentiale in logistischen Prozessen. Bremen 2007.
- SCHONERT 2008
Schonert, T.: Interorganisationale Wertschöpfungsnetzwerke in der deutschen Automobilindustrie. Die Ausgestaltung von Geschäftsbeziehungen am Beispiel internationaler Standortentscheidungen. Wiesbaden: Gabler Verlag 2008. ISBN: 3834997285.
- SCHOPPMANN 2005
Schoppmann, R.: Interorganisationales Kostencontrolling. Kostenmanagement, Kostenrechnung und Open-Book-Accounting für Kooperationen und Netzwerke. München: Vahlen Verlag 2005. ISBN: 380063211X.
- SCHULTE 1996
Schulte, C.: Lexikon des Controlling. München: Oldenbourg Verlag 1996. ISBN: 3486229788.

SEITER ET AL. 2007

Seiter, M.; Isensee, J.; Strizel, M.; Urban, U.; Zeibig, S.: Wirtschaftlichkeitsanalyse mit dem Extended Performance Analyse-Ansatz (EPA) dargestellt am Beispiel von RFID Investitionen (Forschungsbericht) International Performance Research Institute (IPRI). Stuttgart (2007).

SOBOL 1974

Sobol, I. M.: The Monte Carlo Method (Forschungsbericht) Department of Mathematics Universität. Chicago (1974).

SOMMERLATTE ET AL. 2004

Sommerlatte, T.; Mirow, M.; Niedereichholz, C.: Handbuch der Unternehmensberatung. Organisationen führen und entwickeln. Berlin: Schmidt Verlag 2004. ISBN: 9783503078462.

SPRAFKE 2011

Sprafke, M.: Die Anzahl der RFID-Pilotierungen hat zugenommen. Ident (2011), S. 13.

STAIB 2011

Staib, C.: Standortbestimmung im Supply-Chain-Management. Wo stehen Einkauf und lieferantenbezogene Qualitätssicherung? AMT successfactory. Halbergmoos 2011.

STEINHÜBEL 2004

Steinhübel, V.: Strategisches Controlling. Prozess und System. 3 Aufl. München: Herbert Utz Verlag 2004. ISBN: 3831604355.

STRASSNER 2005

Strassner, M.: RFID im Supply Chain Management (Dissertation) Hochschule für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften. St. Gallen (2005).

STRAUBE ET AL. 2009

Straube, F.; Truschkin, E.; Fürstenberg, F.; Vogeler, S.; Bensel, P.: RFID in der Logistik - Empfehlungen für eine erfolgreiche Einführung (Forschungsbericht) Technische Universität. Berlin (2009).

STRÜKER ET AL. 2008

Strüker, J.; Gille, D.; Faupel, T.: RFID Report 2008. Institut für Informatik und Gesellschaft Albert-Ludwigs-Universität. Freiburg im Breisgau (2008).

SUDHOFF 2007

Sudhoff, W.: Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion (Dissertation) Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik Technische Universität. München (2007).

SULZMAIER 2009

Sulzmaier, S.: RFID-Potenzialanalyse. Ident (2009), S. 94-95.

SYSKA 2006

Syska, A.: Produktionsmanagement. Das A - Z wichtiger Methoden und Kon-

- zepte für die Produktion von heute. 1 Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag 2006. ISBN: 3834902357.
- TAMM 2011
Tamm, G.: RFID - Unternehmenübergreifender Einsatz. ISIS AutoID (2011).
- TAMM & TRIBOWSKI 2010
Tamm, G.; Tribowski, C.: Informatik im Fokus. RFID. Dordrecht: Springer Verlag 2010. ISBN: 9783642114595.
- TELLKAMP 2003
Tellkamp, C.: The Auto-ID Calculator: An Overview (Forschungsbericht) Institute of Technology Management Universität. St. Gallen (2003).
- TELLKAMP 2006
Tellkamp, C.: The impact of Auto-ID technology on process performance – RFID in the FMCG supply chain (Dis.) Graduate School of Business Administration, Economics, Law and Social Sciences Universität. St. Gallen (2006).
- THOMMEN & ACHLEITNER 2009
Thommen, J.-P.; Achleitner, A.-K.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 6 Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlage 2009. ISBN: 9783834913258.
- TOTH 2011
Toth, M.: RAN-Assistenzsysteme schaffen Transparenz und steuern die Supply Chain. RAN-Newsletter (2011) 2, S. 4.
- TRÄGER 1994
Träger, D. H.: Einführung in die Fuzzy-Logik. 2 Aufl. Stuttgart: Teubner Verlag 1994. ISBN: 3519161621.
- TRIBOWSKI 2009
Tribowski, C.: RFID-Enabled Cooperation in the Supply Chain (Dissertation) Fakultät für Wirtschaftswissenschaften Humboldt-Universität. Berlin (2009).
- TROST 2008
Trost, M.: Gesamtheitliche Anlagenmodellierung und -analyse auf Basis stochastischer Netzverfahren (Dissertation) Institut für Maschinenelemente Universität. Stuttgart (2008).
- TURCK 2009A
Turck: Benutzerhandbuch RFID-System. Mülheim: 2009.
- TURCK 2009B
Turck: Modulares RFID-System. Mülheim: 2009.
- VDA 5002
VDA 5002: Begriffsbestimmungen im Transport- und Lieferprozess der Automobilindustrie. Bonn 1997.
- VDA 5510
VDA 5510: RFID zur Verfolgung von Teilen und Baugruppen in der Automobilindustrie. Frankfurt 2008.

- VDI 2860
VDI 2860: Montage-und Handhabungstechnik. Berlin: Beuth Verlag 1990.
- VDI 1319
VDI 1319: Grundlagen der Meßtechnik. Berlin: Beuth Verlag 1995.
- VDI 4472
VDI 4472: Anforderungen an Transpondersysteme zum Einsatz in der Supply Chain. Düsseldorf 2008.
- VILKOV 2007
Vilkov, L.: Prozessorientierte Wirtschaftlichkeitsanalyse von RFID-Systemen. Ein ganzheitlicher Ansatz für Supply Chain Management und Logistik. Berlin: Logos Verlag 2007. ISBN: 9783832515782.
- VILKOV & WEIß 2008
Vilkov, L.; Weiß, B.: Prozessorientierte Wirtschaftlichkeitsanalyse von RFID-Systemen anhand eines Referenz-Wirkungsmodells (Forschungsbericht) Institut für Wirtschaftsinformatik Westfälische Wilhelms-Universität. Münster (2008).
- VITO 1948
Vito, F.: Die Neutralität der Wirtschaftswissenschaft und der Begriff der Wohlfahrtsökonomie. Mailand: 1948.
- VOJDANI & GÄRTNER 2007
Vojdani, N.; Gärtner, C.: Kriterien zur Identifikation von RFID-Einsatzpotenzialen entlang der Supply-Chain. Logistics Journal (2007), S. 1-7.
- VOß 2006
Voß, H.: ForLog-Studie: Logistik-Outsourcing in der Automobilindustrie – Eine Untersuchung zur Flexibilität (Forschungsbericht) Lehrstuhl für Logistik Universität. Erlangen-Nürnberg (2006).
- WALDMANN ET AL. 2007
Waldmann, U.; Hollstein, T.; Sohr, K.: RFID-Studie 2007 (Forschungsbericht) Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie. Darmstadt (2007).
- WERNER 2008
Werner, H.: Supply Chain Management. Grundlagen, Strategien, Instrumente und Controlling. 3 Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag 2008. ISBN: 978383490508.
- WERTHMANN 2013
Werthmann: RAN-Leitfaden AP4. 2013.
- WESTKÄMPER 2006
Westkämper, E.: Einführung in die Organisation der Produktion. 1 Auflage Berlin: Springer Verlag 2006. ISBN: 3540260390.
- WHANG 2010
Whang, S.: Timing of RFID Adoption in a Supply Chain. Management Science 56 (2010) 2, S. 343-355.

WHITAKER ET AL. 2007

Whitaker, J.; Sunil, M.; Krishnan, M.: A Field Study of RFID Deployment and Return Expectations. Production and Operations Management Society (2007) 5, S. 599-612.

WIBBE & ROHDE 2009

Wibbe, C.; Rohde, D.: Supply Chain Planning beim BMW Z4 Roadster. Berlin: 2009.

WILDEMANN 2001

Wildemann, H.: Qualitätssicherung von Geschäftsprozessen. Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre mit Schwerpunkt Logistik Technische Universität München (2001).

WILDEMANN 2006

Wildemann, H.: Risikomanagement und Rating. 1 Aufl. München: TCW Transfer-Centrum 2006. ISBN: 9783937236261.

WILDEMANN 2007

Wildemann, H.: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 6 Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2007. ISBN: 9783791080512.

WINKLER 2011

Winkler, M.: Herausforderungen an die einheitliche Nummerierung mit RFID. RAN-Newsletter 4.

WÖHE & DÖRING 2002

Wöhe, G.; Döring, U.: Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 21 Aufl. München: Vahlen Verlag 2002. ISBN: 3800628651.

ZÄH ET AL. 2005

Zäh, M.; Möller, N.; Sudhoff, W.: A Framework for the Valuation of Changeable Manufacturing Systems (Forschungsbericht) Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften Technische Universität München (2005).

ZANGEMEISTER 2000

Zangemeister, C.: Erweiterte Wirtschaftlichkeits-Analyse (EWA). Grundlagen, Leitfaden und PC-gestützte Arbeitshilfen für ein "3-Stufen-Verfahren" zur Arbeitssystembewertung. 2 Aufl. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, Verl. für Neue Wiss. 2000. ISBN: 3897015099.

ZIEGENBEIN 2007

Ziegenbein, A.: Supply Chain Risiken (Dissertation) ETH. Zürich (2007).

ZSCHORN 2007

Zschorn, L.: Quantifizierung von Unsicherheiten in auftragsbezogenen Produktionsnetzen (Dissertation) Fakultät für Wirtschaftswissenschaften Technische Universität Chemnitz (2007).

11 Anhang

11.1 Beschreibung der Erfassungsklassen

Die EK **Gabelstapler** ermöglicht durch eine fest installierte Anordnung mindestens einer Antenne und einem RFID-Reader auf einem Gabelstapler oder Flurförderfahrzeug Objekte beim Aufnehmen, Transportieren oder Ablegen zu erfassen. Befinden sich die Objekte in wechselnden Positionen bzw. variiert die Anzahl dieser, können zusätzliche Antennen erforderlich sein. Da sich mehrere Objekte im Erfassungsbereich befinden können, empfiehlt sich der Einsatz eines Triggers (Lichtschranke, Drucksensor), um das gewünschte Objekt herauszufiltern. Die EK 3 bietet keine Möglichkeit schreibend auf die Objekte zuzugreifen sowie diese bzgl. einer Sequenz oder einer bestimmten Position abzubilden.

Durch die EK **JIS RFID-Gate** kann die Reihenfolge und die exakte Position mehrerer Objekte gleichzeitig erfasst werden. Die Erfassung erfolgt analog zum RFID-Gate durch das Vorbeiführen der Objekte an einem Erfassungsgerät. Anhand verschiedener Verfahren (Cell of Origin, Trilateration, Triangulation), die eine definierte Anzahl und Anordnung von Antennen bedingen, können der Erfassungsbereich analysiert und die gewünschten Informationen erfasst werden. In Abhängigkeit davon, welches Verfahren zur Positionsbestimmung eingesetzt wird, sind verschiedene technische Komponenten nötig.

Eine weitere EK stellt die **Mobile Ortung** dar. Durch ein mobiles Gerät können Objekte erfasst und die gewonnenen Datensätze mit einmaligen, nicht permanenten Positionsinformationen abgelegt werden. Da sich bei der Erfassung das Objekt und das Erfassungsgerät in unmittelbarer Nähe befinden, können die Koordinaten des Erfassungsgeräts gleich der Position des Objekts gesetzt werden. Die Positionsbestimmung kann bspw. über GPS (Global Positioning System) erfolgen. Sollen die Objekte in Gebäuden erfasst werden ist die Positionsbestimmung über Satelliten nicht möglich und es muss auf sog. Local Positioning Systems zurück gegriffen werden. In Abhängigkeit des eingesetzten Verfahrens entstehen unterschiedliche Aufwände. Durch die Mobile Ortung kann lediglich die Position eines Objekts bestimmt werden.

Eine Weiterentwicklung der Mobilen Ortung stellt die **Permanente Ortung** dar. Diese kann beobachteten Objekten in Echtzeit genaue Positionsdaten zuweisen. Hierbei ist zwischen Tracking und Positioning zu unterscheiden. Beim Tracking

verfolgt das Erfassungsgerät ein Objekt durch den Wertschöpfungsprozess und berechnet die Position. Im Gegensatz hierzu errechnet beim Positioning das Objekt seine Position selbst (GPS). Eine Sequenzbildung sowie ein schreibender Zugriff sind analog der Mobilien Ortung nicht möglich.

Der **RFID-Drucker** wird zur Erstellung von RFID-Smartlabels mittels verschiedener Druckverfahren (Thermotransfer-, Thermodirekt- sowie Laserdruck) eingesetzt. Der anschließende Schreibvorgang erfolgt iterativ, indem zunächst die Beschreibbarkeit überprüft wird, bevor die Daten auf den Datenträger geschrieben und abschließend die Integrität der Informationen sichergestellt wird. Fehlerhafte Datenträger können somit direkt identifiziert und ausgegliedert werden. Die Funktionalität des RFID-Druckers umfasst nur das beschreiben einzelner Objekte. Hierdurch kann bspw. ein Produktionsstart-Event gesetzt werden.

Eine einfache Form der Erfassung stellt das **Handerfassungsgerät** dar. Dieses Gerät, bestehend aus einer Lese- und Schreibeinheit, findet im mobilen Einsatz Verwendung. Der Erfassungsvorgang kann mittels Knopfdruck gestartet werden. Die erfassten Daten können anschließend mittels WLAN (Wireless Local Area Network) oder gebündelt und zeitversetzt über eine Dockingstation übermittelt werden. Diese EK ermöglicht lediglich das Auslesen bzw. Beschreiben eines Objekts während eines Erfassungsvorgangs.

Die letzte EK beschreibt ein **Kanban-Regal**. Dieses findet Verwendung wenn die Ein- und Auslagerung von Objekten erfasst und die damit verbundenen Materialbewegungen Aktionen auslösen sollen. Exemplarisch könnte eine Auslagerung einen Produktionsauftrag anstoßen. Zur genauen Positionserkennung im Lager können wieder verschiedene Verfahren (Cell of Origin, Triangulation, Trilateration) eingesetzt werden, die wiederum mit unterschiedlichen Aufwänden verbunden sind. Das Regal ermöglicht nur die Positionsbestimmung und den lesenden Zugriff auf ein Objekt.

11.2 Checkliste für die monetäre RFID-Bewertung

Tabelle 19: Checkliste für die monetäre RFID-Bewertung

Checkliste für die monetäre RFID-Bewertung			
Eingangsgrößen und Voraussetzungen			
Checkfeld	Erläuterungen	Festgesetzte Rahmenbedingungen	Erledigt
Zielsetzung des RFID-Systems	<ul style="list-style-type: none"> Beschreibung des Ziels, das der RFID-Einsatz erreichen soll 		
Ermittlung der Partnerunternehmen	<ul style="list-style-type: none"> Unternehmen, die direkt am RFID-Projekt beteiligt sind 		
	<ul style="list-style-type: none"> Weitere Unternehmen im Wertschöpfungsprozess, die nicht am RFID-Projekt beteiligt sind 		
Fixierung der Objektklasse	<ul style="list-style-type: none"> Festlegung des Objekts/der Objekte, die mit RFID ausgestattet werden 	<ul style="list-style-type: none"> Transportmittel Bezeichnung: Ladungsträger Bezeichnung: Produkt Bezeichnung: 	
Definition des Bewertungszeitpunkts	<ul style="list-style-type: none"> Zu welchem Zeitpunkt im Projekt findet die Bewertung statt 	<ul style="list-style-type: none"> Grobplanung Feinplanung Betriebsphase 	
Integration aller beteiligten Gruppen	<ul style="list-style-type: none"> Beteiligte bzw. Interessenten der Bewertung 	<ul style="list-style-type: none"> Bewertungsverantwortlicher Name: Management Name: Prozessmitarbeiter Name: Controlling Name: Hard-/Softwarelieferant Name: 	
Zieldefinition			
Zielgröße	<ul style="list-style-type: none"> Definition der zu ermittelnden Zielgröße 	<ul style="list-style-type: none"> Kapitalwert Armortisationszeit 	
Bewertungsebene	<ul style="list-style-type: none"> Definition der Bewertungsebene 	<ul style="list-style-type: none"> Unternehmensindividuelle Bewertung Bewertung des Netzwerkeffekts 	
Zielgruppe	<ul style="list-style-type: none"> Definition der Zielgruppe der Bewertung 		
	<ul style="list-style-type: none"> Rahmenbedingungen der Zielgruppe 		
Einschränkungen bei zu integrierenden Einflussfaktoren	<ul style="list-style-type: none"> Festlegung der Einflussfaktoren, die nicht in der Bewertung zu berücksichtigen sind 		

11.3 Anforderungsprofile der RFID-Komponenten

Die nachfolgenden Aufstellungen stellen beispielhafte Möglichkeiten zur Spezifizierung eines RFID-Systems dar. Der Fokus liegt hierbei auf der ökonomischen Erfüllung definierter Anforderungen (TURCK 2009, TURCK 2010, MELSKI & SCHUMANN 2007, HAUSLADEN 2011, FINKENZELLER 2006).

Tabelle 20: Beispielhafte Anforderungen an die RFID-Software

	Kriterium	Kriteriumsbeschreibung
Steuerung	Konfiguration der Gates	Können Gates konfiguriert werden?
	Antriggern der Antennen	Können Antennen angetriggert werden?
	Verwaltung der Schreib-/Lesegeräte	Können Schreib-/Lesegeräte verwaltet werden?
	Steuerung von Kontrollsystemen	Können Kontrollsysteme (z. B. Kamera) verwaltet werden?
Daten-handhabung	Sammlung der Daten	Können die eingehenden Daten gesammelt werden?
	Filtern der Daten	Wie detailliert können Daten gefiltert werden?
	Transformation der Daten	In welches Format können die Daten transformiert werden?
Diagnose	Bereitstellung der Daten an übergeordnetes System	Können die gesammelten Daten an das übergeordnete System übergeben werden?
	Anzeige von Fehlermeldungen	Können Fehlermeldungen angezeigt werden?
Datenrate	Darstellung von Statistikdaten	Ist eine Ausgabe von Statistikdaten möglich?
	Anzahl Leseoperationen	Wie viele Datensätze können pro Zeiteinheit gelesen werden?
	Anzahl Schreiboperationen	Wie viele Datensätze können pro Zeiteinheit geschrieben werden?
	Anzahl zeitgleich lesbarer Datenträger	Wie viele Datenträger können gleichzeitig ausgelesen werden?
	Anzahl zeitgleich beschreibbarer Datenträger	Wie viele Datenträger können gleichzeitig beschrieben werden?
	Datensätze verarbeiten pro Zeiteinheit	Wie viele Datensätze können pro Zeiteinheit verarbeitet werden?
	Anzahl zeitgleich verarbeitbarer Datensätze	Wie viele Datensätze können gleichzeitig verarbeitet werden?
Sicherheit	Anzahl zeitgleich antriggerbarer Antennen	Wie viele Antennen können zeitgleich angetriggert werden?
	Verschlüsselung der Daten	Werden die übertragenen Daten verschlüsselt?
Kompatibilität mit...	Robustheit	Läuft das System auch bei Komponentenausfall stabil?
	Betriebssystem PC	Ist die Software mit dem Betriebssystem des PC kompatibel?
	Übergeordneten Systemen (ERP/MES)	Ist die Software mit den verwendeten übergeordneten Systemen kompatibel?
	Infobroker	Ist die Software mit dem Infobroker kompatibel?
	RFID-Schreib-/Lesegeräten	Ist die Software mit den RFID-Geräten kompatibel?
Hardware	Anderen Auto-ID-Systemen	Ist die Software mit den anderen verwendeten Auto-ID-Geräten (z. B. Barcode, OCR) kompatibel?
	Erforderliche Rechnerleistung	Reicht die vorhandene Rechnerleistung aus?
Zukunfts-sicherheit	Benötigter Speicherplatz	Ist genügend Speicherplatz vorhanden?
	Erweiterbarkeit um neue Komponenten	Sind neue Komponenten ins System integrierbar?
	Portabilität auf neue Plattformen	Ist die Software in zukünftigen Systemen betriebsfähig?

Tabelle 21: Beispielhafte Anforderungen an ein Erfassungsgerät

	Kriterium	Kriteriumsbeschreibung
Funktionalität	Single-Reading	Kann ein Datenträger automatisiert erfasst werden?
	Bulk-Reading	Können mehrere Datenträger gleichzeitig erfasst werden?
	Sequenzierung	Kann eine Reihenfolge der Datenträger gebildet werden?
	Lokalisierung	Kann die räumliche Orientierung der Datenträger erfasst werden?
	Schreiben	Kann schreibend auf die Datenträger zugegriffen werden?
	Lesen	Kann lesend auf die Datenträger zugegriffen werden?
Geometrie	Bauform	Welche Kontur hat das Erfassungsgerät?
	Fläche	Welche Länge und Breite weist das Erfassungsgerät auf?
	Höhe	Welche Höhe weist das Erfassungsgerät auf?
Luft-schnittstelle	Arbeitsfrequenz	Mit welcher Frequenz findet die Datenübertragung statt?
	Datenübertragung	Welches physikalische Verfahren dient zur Datenübertragung?
	Reichweite	Über welche Distanz kann die Datenübertragung stattfinden?
	Zu übertragende Datenmenge	Welche Datenmenge kann in einem Zeitraum übertragen werden?
	Statische oder dynamische Übertragung von Daten	Kann die Datenübertragung statisch bzw. dynamisch erfolgen?
	Geschwindigkeit beim dynamischen Schreiben (on the fly)	Mit welcher Geschwindigkeit erfolgt die Datenübertragung?
Umgebungsbedingungen	Zulässiger Temperaturbereich	Für welchen Temperaturbereich eignet sich das Erfassungsgerät?
	Einfluss von Feuchtigkeit	Inwiefern wird die Leistungsfähigkeit durch Feuchtigkeit beeinflusst?
	Materialdurchdringung	In welchem Maße können Daten Materialien durchdringen?
	Vibrationsfestigkeit	Inwiefern wird die Leistungsfähigkeit durch Vibrationen beeinflusst?
	Schockfestigkeit	Inwiefern wird die Leistungsfähigkeit durch Stöße beeinflusst?

Tabelle 22: Beispielhafte Anforderungen an einen Datenträger

	Kriterium	Kriteriumsbeschreibung
Basisfunktion	Energieversorgung	Welche Form der Energieversorgung besitzt der Datenträger?
Geometrie	Bauform	Welche Kontur hat der Datenträger?
	Fläche	Welche Länge und Breite weist der Datenträger auf?
	Höhe	Welche Höhe weist der Datenträger auf?
Luft-schnittstelle	Arbeitsfrequenz	Mit welcher Frequenz findet die Datenübertragung statt?
	Datenübertragung	Welches physikalische Verfahren dient zur Datenübertragung?
	Reichweite	Über welche Distanz kann die Datenübertragung stattfinden?
Chip	Anzahl Leseoperationen	Wie viele Datensätze können pro Zeiteinheit gelesen werden?
	Anzahl Schreiboperationen	Wie viele Datensätze können pro Zeiteinheit geschrieben werden?
	Typische Lesezeit	Wie lange benötigt ein Lesevorgang?
	Typische Schreibzeit	Wie lange benötigt ein Schreibvorgang?
	Speichergröße	Welche Datenmenge kann auf dem Datenträger hinterlegt werden?
	Speicherart	Welche Art der Datenspeicherung ermöglicht der Datenträger?
Umgebungsbedingungen	Speichertyp	Kann auf den Datenträger lesend/schreibend zugegriffen werden?
	Zulässiger Temperaturbereich	Für welchen Temperaturbereich eignet sich der Datenträger?
	Einfluss von Feuchtigkeit	Inwiefern wird die Leistungsfähigkeit durch Feuchtigkeit beeinflusst?
	Montage auf Metall	Kann der Datenträger in metallischem Umfeld eingesetzt werden?
	Mindestabstand zum Metall	Welcher Abstand muss mindestens zum metallischen Umfeld liegen?
	Autoklaven geeignet	Können die Datenträger in einem Autoklaven eingesetzt werden?
Materialdurchdringung	In welchem Maße können Daten Materialien durchdringen?	

11.4 Beschreibung der Prozessbausteine

Tabelle 23: Einteilung und Beschreibung der Prozessbausteine

Innerbetriebliche Logistikprozesse	
Entpacken	Das Entpacken beschreibt die Entnahme und die Erfassung einzelner oder aller Objekte aus einer zusammengesetzten Ladungseinheit.
Kommissionieren	Kommissionieren bildet die auftragsbezogene physische Zusammenführung von Waren oder Ladungsträgern an einem Ort ab.
Lagern	Lagern ist das geplante Liegen von Objekten im Materialfluss. Dieses umfasst zudem das Puffern zwischen zwei Stationen.
Innerbetrieblicher Transport	Durch einen spezifischen Transportauftrag bzw. durch die Objektbereitstellung wird ein Transport des Objekts von A nach B innerhalb der Unternehmensgrenzen angestoßen. Die Aus- bzw. Einlagerung sind im Prozess eingeschlossen.
Vereinnahmen	Dieser Baustein beschreibt den prozessualen Ablauf bei der Inbesitznahme von angelieferten Objekten am Wareneingang.
Verladen	Dieser Baustein beschreibt den prozessualen Ablauf bei der Verladung von Objekten am Warenausgang.
Verpacken	Der Baustein Verpacken beinhaltet das Zusammenführen und die buchungstechnische Zusammenfassung einzelner Objekte zu einem Packstück.
Außerbetriebliche Logistikprozesse	
Außerbetrieblicher Transport	Der außerbetriebliche Transport beschreibt den Weg eines Objekts von A nach B außerhalb der Unternehmensgrenzen auf öffentlichen Transportwegen.
Produktions- und Qualitätsprozesse	
Demontage	Die Demontage beinhaltet alle Verfahren der DIN 8580, bei denen ein Objekt in einen wertschöpfenden Prozess eintritt und mindestens zwei Objekte diesen wieder verlassen (DIN 8580).
Fertigen	Das Fertigen beinhaltet alle Verfahren der DIN 8580, bei denen ein Objekt in einen wertschöpfenden Prozess eintritt und genau dieses Objekt diesen wieder verlässt (DIN 8580).
Montage	Die Montage beinhaltet alle Verfahren der DIN 8580, bei denen mindestens zwei Objekte in einen wertschöpfenden Prozess eintreten und genau ein Objekt diesen wieder verlässt (DIN 8580).
Qualitätssicherung (QS)	Die Qualitätssicherung beinhaltet in Anlehnung an die VDI 2860 alle Prozesse, bei denen ein Objekt gemessen oder hinsichtlich einer Eigenschaft überprüft wird (VDI 2860).
Verwaltungsprozesse	
Indirekte Prozesse	Zu den indirekten Bereichen gehören alle unterstützenden Abläufe, die nicht im Wertschöpfungsprozess integriert sind, sondern Planungs- und Organisationstätigkeiten übernehmen.

11.5 Beschreibung beispielhafter Events

Tabelle 24: Beschreibung von Events in den Prozessbausteinen

Entpacken	
Vereinzelungs-Event	Verbundene Elemente werden reell und buchhalterisch getrennt. Jedes Objekt verfügt anschließend über eine individuelle ID.
Entnahme-Event	Das Event dokumentiert die Entnahme von Produkten oder Ladungsträgern aus einem Ladungsträger bzw. Transportmittel.
Kommissionieren	
Verpackungs-Event	Serialisierte Objekte werden zu einem übergeordneten Objekt zusammengefasst und mittels einer ID gekennzeichnet.
Lagern	
Materialstatus setzen	Aktualisierung des Status des erfassten Objekts im System.
Innerbetrieblicher Transport	
Einlager-Event	Der Event dokumentiert den Einlager-Vorgang eines Objekts mittels verschiedener Informationen, wie Einlagerort und -zeit.
Auslager-Event	Der Event dokumentiert den Auslager-Vorgang eines Objekts mittels verschiedener Informationen, wie Auslagerort und -zeit.
Vereinnahmen	
Sendungsempfangs-Event	Ankommende Objekte werden überprüft und Ankunftszeit sowie Objektzustand erfasst. Das Event dokumentiert das Ende eines Liefervorgangs.
Entlade-Event	Objekte (Ladungsträger, Produkte) werden von einem Transportmittel entnommen.
Vereinnahmungs-Event	Das Event beschreibt den buchhalterischen Übergang eines Objekts zwischen zwei Netzwerkpartnern.
Materialstatus setzen	Aktualisierung des Status des erfassten Objekts im System.
Verladen	
Verlade-Event	Ein Objekt wird auf einem Transportmittel verladen. Das Sendungsziel sowie andere prozessrelevante Informationen werden u. a. auf dem Datenträger dokumentiert.
Verpacken	
Pack-Event	Nicht serialisierte Objekte werden zusammengefasst und unter einer ID aggregiert. Die Zuordnung erfolgt über die Art und Anzahl der Objekte.
Verpackungs-Event	Serialisierte Objekte werden zu einem übergeordneten Objekt zusammengefasst und mittels einer ID gekennzeichnet.

Außerbetrieblicher Transport	
Gate Out-Event	Das Event wird beim Start eines Transportvorgangs beim versendenden Unternehmen generiert. Dabei werden Durchfahrtsrichtung und -zeit dokumentiert.
Gate In-Event	Das Event wird beim Ende eines Transportvorgangs beim empfangenden Unternehmen generiert. Dabei werden Durchfahrtsrichtung und -zeit dokumentiert.
Transit-Event	Während des Transports wird die Position des Objekts überwacht. Die Positionsdaten sowie weitere Informationen werden entsprechend dokumentiert.
Demontage	
Produktionsstart-Event	Das Event wird beim Produktionsstart generiert und Fertigungsbeginn sowie prognostizierte Endzeit dokumentiert.
Produktionsende-Event	Das Event wird beim Produktionsende generiert und der exakte Zeitpunkt dokumentiert.
Materialnummer ändern	Ändert sich die Material- bzw. Produktnummer im Prozessablauf, wird diese entsprechend auf dem Datenträger angepasst.
Fertigen	
Produktionsstart-Event	Das Event wird beim Produktionsstart generiert und Fertigungsbeginn sowie prognostizierte Endzeit dokumentiert.
Produktionsende-Event	Das Event wird beim Produktionsende generiert und der exakte Zeitpunkt dokumentiert.
Materialnummer ändern	Ändert sich die Material- bzw. Produktnummer im Prozessablauf, wird diese entsprechend auf dem Datenträger angepasst.
Montage	
Produktionsstart-Event	Das Event wird beim Produktionsstart generiert und Fertigungsbeginn sowie prognostizierte Endzeit dokumentiert.
Produktionsende-Event	Das Event wird beim Produktionsende generiert und der exakte Zeitpunkt dokumentiert.
Materialnummer ändern	Ändert sich die Material- bzw. Produktnummer im Prozessablauf, wird diese entsprechend auf dem Datenträger angepasst.
Qualitätssicherung (QS)	
Prüfstart-Event	Das Event wird beim Prüfungsstart generiert und Prüfungsbeginn sowie prognostizierte Endzeit dokumentiert.
Prüfende-Event	Das Event wird beim Prüfungsende generiert und der exakte Zeitpunkt dokumentiert.
Materialstatus setzen	Aktualisierung des Status des erfassten Objekts im System.

11.6 Nutzenkataloge der Prozessbausteine

Tabelle 25: Nutzenkatalog für den PBS Entpacken

Entpacken				
Prozesseffizienz	Zeitreduktion	Automatisierung	Entfall von Vereinzelungsvorgängen durch Bulk-Reading	
			Entfall manueller Scanvorgänge	
			Automatischer Abgleich von Lieferdaten/Vollständigkeitsprüfung	
			Automatische Aktualisierung des Materialstatus	
	Sicherheit	Steuerung	Automatische Zuordnung der notwendigen Bearbeitungsschritte und -informationen	
			Fehlervermeidung bei der Eingangsbuchung von Objekten	
	Ressourcenreduktion	Technik	Steuerung	Reduktion Aufwand für Sonderaktionen
				Entfall der Erstellung von internen Auftragspapieren und -belegen
		Automatisierung	Sicherheit	Freisetzen bestehendes Equipment
Steuerung		Steuerung	Reduktion Aufwand für Sonderaktionen	
			Reduzierung Entpackstationen durch bessere Auslastung (Bessere Ausnutzung der Flächenkapazitäten)	

Tabelle 26: Nutzenkatalog für den PBS Kommissionieren

Kommissionieren					
Prozesseffizienz	Zeitreduktion	Automatisierung	Entfall von Vereinzelungsvorgängen durch Bulk-Reading		
			Entfall manueller Scanvorgänge		
			Automatisierte Bereitstellung von Informationen		
			Automatisierter Abgleich mit Kommissionierauftrag		
		Sicherheit	Steuerung	Entfall der Endkontrolle der Kommissionierung	
				Automatische Dokumentation des Kommissionierstatus	
		Ressourcenreduktion	Technik	Steuerung	Entfall der Erstellung von internen Auftragspapieren und -belegen
					Freisetzen bestehendes Equipment
	Automatisierung		Sicherheit	Reduzierung von Fehlkommisionierungen	
				Vermeidung von Stillstandszeiten durch Überwachung der Teileverfügbarkeit	
	Steuerung		Steuerung	Reduzierung des Suchaufwands nach Bearbeitungsplätzen	
				Vermeidung von Rücktransporten falscher Kommissionierungen	
	Steuerung	Steuerung	Automatisierte Dokumentation Kommissionierstatus (Automatische Dokumentation)		
			Reduktion Aufwand für Sonderaktionen		
	Steuerung	Steuerung	Entfall manueller Statusprüfung unvollständiger Kommissioniervorgänge (Automatisierte Identifikation Kommissionierstatus)		
			Entfall der Erstellung von internen Auftragspapieren und -belegen		
Steuerung	Steuerung	Freisetzen bestehendes Equipment			
		Vermeidung von Rücktransporten falscher Kommissionierungen			
Steuerung	Steuerung	Reduktion Aufwand für Sonderaktionen			

Tabelle 27: Nutzenkatalog für den PBS Lagern

Lagern			
Prozesseffizienz	Zeitreduktion	Automatisierung	Zeitersparnis bei der Durchführung der Inventur
		Sicherheit	Geringerer Suchaufwand durch Reduzierung falsch verbuchter Lagerplätze Vermeidung von Falschaulagerung
		Steuerung	Reduktion Aufwand für Sonderaktionen Automatische Statusüberwachung der Lagereinheiten (Temperatur, Lagerzeit); Condition Monitoring
	Ressourcenreduktion	Technik	Freisetzen bestehendes Equipment Reduktion von Schwund/Diebstahl
		Automatisierung	
		Sicherheit	Automatische Statusüberwachung der Lagereinheiten (Temperatur, Lagerzeit); Condition Monitoring
	Steuerung	Bestandsreduzierung (Einheiten, Ladungsträger) Reduktion Aufwand für Sonderaktionen Bessere Ausnutzung der Flächenkapazitäten (Zwischenlagerung)	

Tabelle 28: Nutzenkatalog für den PBS Innerbetrieblicher Transport

Innerbetrieblicher Transport				
Prozesseffizienz	Zeitreduktion	Automatisierung	Entfall von Vereinzelungsvorgängen durch Bulk-Reading Entfall manueller Scanvorgänge Automatischer Abgleich Transportauftrag und transportierte Objekte Automatische Transportbestätigung Automatische Aktualisierung des Materialstatus/der Position des Materials Automatische Erstellung von internen Auftragspapieren und -belegen Automatische Ein-/Auslagerungsbestätigung Automatische Ein-/Auslagerungspapiere Automatische Vollständigkeitskontrolle	
		Sicherheit	Entfall der Erstellung von internen Auftragspapieren und -belegen Reduzierung von Fehlern bei der innerbetrieblichen Materialverteilung Vermeidung von Fehlern bei der manuellen Dokumentation der Transportvorgänge Geringerer Suchaufwand durch Reduzierung falsch verbuchter Lagerplätze Vermeidung von Korrekturaufwand bei Fehlbuchung im System	
		Steuerung	Reduktion Aufwand für Sonderaktionen Reduktion von Schwund/Diebstahl Automatische Routensteuerung durch Zuordnung von Objekten zu Zielorten	
		Ressourcenreduktion	Technik	Freisetzen bestehendes Equipment Entfall der Erstellung von internen Auftragspapieren und -belegen
			Automatisierung	
			Sicherheit	Energieersparnis durch automatisierte Routensteuerung Reduzierung von Fehlern bei der innerbetrieblichen Materialverteilung
		Steuerung	Berücksichtigung von Energieverbräuchen bei der Routenplanung Reduktion Aufwand für Sonderaktionen	

Tabelle 29: Nutzenkatalog für den PBS Verladen

Verladen			
Prozesseffizienz	Zeitreduktion	Automatisierung	Entfall von Vereinzelungsvorgängen durch Bulk-Reading
			Entfall manueller Scanvorgänge
			Automatische Zuweisung von Verladeaufträgen an das Verladepersonal
		Sicherheit	Automatischer Abgleich von Lieferdaten/Vollständigkeitsprüfung
			Automatische Aktualisierung des Materialstatus/Behälterstatus (Ausgangsbuchung)
			Automatische Erzeugung von Versandinformationen/Begleitdokumenten
	Steuerung	Automatische Zuordnung der notwendigen Verladeschritte und -informationen zum Artikel	
		Fehlervermeidung durch Zuordnung von Ladungsträgern zu Transportmitteln/Frachträger	
		Überprüfung der richtigen Verladereihenfolge	
	Ressourcenreduktion	Technik	Reduktion Aufwand für Sonderaktionen
			Freisetzen bestehendes Equipment
		Automatisierung	Reduzierung Planungsaufwand bei Transportmittelplanung (Zusammenfassung von Lieferungen, Automatische Beauftragung von LDL)
Sicherheit		Entfall der Erstellung von internen Auftragspapieren und -belegen, Warenbegleitpapiere	
		Automatische Zuweisung von Verladeaufträgen an das Verladepersonal	
Steuerung		Fehlervermeidung durch Zuordnung von Ladungsträgern zu Transportmitteln/Frachträgern	
	Reduktion Aufwand für Sonderaktionen		
	Reduzierung Verladefläche durch bessere Auslastung (Bessere Ausnutzung der Flächenkapazitäten)		

Tabelle 30: Nutzenkatalog für den PBS Verpacken

Verpacken			
Prozesseffizienz	Zeitreduktion	Automatisierung	Entfall von Vereinzelungsvorgängen durch Bulk-Reading
			Entfall manueller Scanvorgänge
			Automatische Lieferankündigung (Avis)
		Sicherheit	Automatische Aktualisierung des Materialstatus
			Automatische Etikettenerstellung
			Entfall der Erstellung von Etiketten
	Steuerung	Automatische Erstellung der Warenbegleitpapiere	
		Automatische Zuordnung der notwendigen Bearbeitungsschritte und -informationen	
		Fehlervermeidung durch direkte Zuordnung von Artikeln und Verpackungsmaterial zum Versandauftrag	
	Ressourcenreduktion	Technik	Reduktion Aufwand für Sonderaktionen
			Freisetzen bestehendes Equipment
		Automatisierung	Entfall der Erstellung von internen Auftragspapieren und -belegen
Sicherheit		Fehlervermeidung durch direkte Zuordnung von Artikeln und Verpackungsmaterial zum Versandauftrag	
		Reduktion Aufwand für Sonderaktionen	
Steuerung		Reduzierung Packstationen durch bessere Auslastung (Bessere Ausnutzung der Flächenkapazitäten)	

Tabelle 31: Nutzenkatalog für den PBS Außerbetrieblicher Transport

Außerbetrieblicher Transport				
Prozesseffizienz	Zeitreduktion	Automatisierung	Automatisierte Statuserstellung und -bereitstellung an relevante Lieferketteninstanzen Schnellere Zollabwicklung	
		Sicherheit		
		Steuerung	Reduzierung Planungsaufwand bei Sondertransporten (Berücksichtigung aktueller Produktionsinformationen)	
	Ressourcenreduktion	Technik		Entfall der Erstellung von internen Auftragspapieren und -belegen Reduktion von Schwund/Diebstahl Freisetzen bestehendes Equipment
			Automatisierung	
			Sicherheit	Automatische Statusüberwachung der Lagereinheiten (Temperatur, Lagerzeit); Condition Monitoring
		Steuerung		Reduktion des Energieverbrauchs durch Berücksichtigung von Energieverbräuchen bei der Routenplanung Vermeidung von Sondertransporten durch aktuelle Produktionsinformationen

Tabelle 32: Nutzenkatalog für den PBS Demontage

Demontage						
Prozesseffizienz	Zeitreduktion	Automatisierung	Entfall von Vereinzelungsvorgängen durch Bulk-Reading Entfall manueller Scanvorgänge Automatisches Rüsten (Werkzeug- und Programmwahl)			
			Sicherheit	Automatische Zuordnung der notwendigen Demontageschritte und -informationen zum Artikel (für Werker oder Maschine) Reduzierung Suchaufwand nach Inventar (Werkzeugtracking) Schnellere Informationsbereitstellung über die Demontage sicherheitsrelevanter Teile/Stoffe Automatische Dokumentation des Demontageschritts (inkl. Sicherheitsrelevanter Parameter)		
				Steuerung	Vermeidung von Falschdemontage durch Verfügbarkeit produktspezifischer Informationen Zuverlässiges Ausschleusen von n. i. O.-Teilen Aufwandsreduzierung beim Einsteuern von Eilaufträgen Reduktion Aufwand für Sonderaktionen Reduzierung des Suchaufwands nach Demontageplätzen	
		Ressourcenreduktion			Technik	Entfall der Erstellung von internen Auftragspapieren und -belegen Freisetzen bestehendes Equipment
					Automatisierung	
				Sicherheit	Vermeidung von Falschdemontage und Nacharbeit durch direkte Zuordnung von Produkt und Demontageinformation Zuverlässiges Ausschleusen von n. i. O.-Teilen: Vermeidung von Weiterdemontage Reduktion von Standby-Verlusten (Anlagentechnik)	
		Steuerung		Reduktion Aufwand für Sonderaktionen Reduzierung Demontageplätze durch bessere Auslastung (Bessere Ausnutzung der Flächenkapazitäten)		

Tabelle 33: Nutzenkatalog für den PBS Fertigen

		Fertigen	
Prozesseffizienz	Zeitreduktion	Automatisierung	Entfall von Vereinzelungsvorgängen durch Bulk-Reading
			Entfall manueller Scanvorgänge
			Automatisches Rüsten (Werkzeug- und Programmwahl)
			Reduzierung Suchaufwand nach Inventar (Werkzeugtracking)
			Automatische Dokumentation des Bearbeitungsschritts (inkl. Sicherheitsrelevanter Parameter)
			Automatische Zuordnung der notwendigen Bearbeitungsschritte und -informationen zum Artikel (für Werker oder Maschine)
		Sicherheit	Schnellere Informationsbereitstellung über den Verbau sicherheitsrelevanter Teile
			Vermeidung von Stillstandszeiten durch Überwachung der Teileverfügbarkeit
			Vermeidung von Falschbearbeitung durch Verfügbarkeit produktspezifischer Informationen
			Zuverlässiges Ausschleusen von n. i. O.-Teilen
	Steuerung	Ausschussreduzierung durch Berücksichtigung vorhandener Produkttoleranzen	
		Reduzierung des Suchaufwands nach Bearbeitungsplätzen	
		Reduktion Aufwand für Sonderaktionen	
		Reduktion Aufwand für Nachbestellung bei Fehlbearbeitung	
		Reduktion Aufwand beim Einsteuern von Eilaufträgen	
		Reduktion Aufwand für Sonderaktionen	
	Ressourcenreduktion	Technik	Entfall der Erstellung von internen Auftragspapieren und -belegen
			Freisetzen bestehendes Equipment
			Entfall von Ressourcen
		Automatisierung	Ausschussreduzierung durch Berücksichtigung vorhandener Produkttoleranzen
Vermeidung von Falschbearbeitung und Nacharbeit durch direkte Zuordnung von Produkt und Bearbeitungsinformation			
Sicherheit		Zuverlässiges Ausschleusen von n. i. O.-Teilen: Vermeidung von Weiterbearbeitung	
		Reduzierung Fertigungsplätze durch bessere Auslastung (Bessere Ausnutzung der Flächenkapazitäten)	
Steuerung		Reduktion des Energieverbrauchs durch Berücksichtigung von Energieverbräuchen bei der Maschinenbelegung	
		Reduktion Aufwand für Sonderaktionen	
		Reduktion von Standby-Verlusten (Anlagentechnik)	

Tabelle 34: Nutzenkatalog für den PBS Montage

Montage			
Prozesseffizienz	Zeitreduktion	Automatisierung	Entfall von Vereinzelungsvorgängen durch Bulk-Reading
			Entfall manueller Scanvorgänge
			Automatisches Rüsten (Werkzeug- und Programmwahl)
			Automatische Zuordnung der notwendigen Montageschritte und -informationen zum Artikel (für Werker oder Maschine)
			Reduzierung Suchaufwand nach Inventar (Werkzeugtracking)
			Schnellere Informationsbereitstellung über den Verbau sicherheitsrelevanter Teile/Stoffe
		Sicherheit	Automatische Dokumentation des Montageschritts (inkl. Sicherheitsrelevanter Parameter)
			Vermeidung von Stillstandszeiten durch Überwachung der Teileverfügbarkeit
			Vermeidung von Falschmontage durch Verfügbarkeit produktspezifischer Informationen
			Zuverlässiges Ausschleusen von n. i. O.-Teilen
		Steuerung	Aufwandsreduzierung beim Einsteuern von Eilaufträgen
			Reduzierung des Suchaufwands nach Montageplätzen
Ressourcenreduktion	Technik	Entfall der Erstellung von internen Auftragspapieren und -belegen	
		Freisetzen bestehendes Equipment	
	Automatisierung		
	Sicherheit	Vermeidung von Falschmontage und Nacharbeit durch direkte Zuordnung von Produkt und Montageinformation	
		Zuverlässiges Ausschleusen von n. i. O.-Teilen: Vermeidung von Weitermontage	
		Reduktion von Standby-Verlusten (Anlagentechnik)	
	Steuerung	Reduktion Aufwand für Sonderaktionen	
		Reduzierung Montageplätze durch bessere Auslastung (Bessere Ausnutzung der Flächenkapazitäten)	

Tabelle 35: Nutzenkatalog für den PBS Qualitätssicherung (QS)

Qualitätssicherung (QS)			
Prozesseffizienz	Zeitreduktion	Automatisierung	Entfall von Vereinzelungsvorgängen durch Bulk-Reading
			Entfall manueller Scanvorgänge
			Automatische Zuordnung der notwendigen Prüfschritte und -informationen zum Artikel (für Werker oder Maschine)
			Reduzierung Suchaufwand nach Inventar (Werkzeugtracking)
			Automatische Dokumentation des Prüfschritts
			Sicherheit
			Zuverlässiges Ausschleusen von n. i. O.-Teilen
		Steuerung	Reduktion des Aufwands beim Einsteuern von Eilaufträgen
			Reduktion Aufwand für Sonderaktionen
			Reduzierung des Suchaufwands nach Prüfplätzen
		Technik	Entfall der Erstellung von internen Auftragspapieren und -belegen
			Freisetzen bestehendes Equipment
Ressourcenreduktion	Automatisierung		
	Sicherheit	Vermeidung der Durchführung falscher Prüfschritte durch Verfügbarkeit produktspezifischer Informationen	
		Zuverlässiges Ausschleusen von n. i. O.-Teilen: Vermeidung von Weiterbearbeitung	
	Steuerung	Reduktion von Standby-Verlusten (Anlagentechnik)	
		Reduktion Aufwand für Sonderaktionen	
		Reduzierung QS-Stationen durch bessere Auslastung (Bessere Ausnutzung der Flächenkapazitäten)	

Tabelle 36: Nutzenkatalog für den PBS Indirekte Bereiche

		Indirekte Bereiche	
Prozesseffizienz	Zeitreduktion	Automatisierung	Verringerung des Planungsaufwands
			Entfall manueller Auftragsannahmen (intern/extern)
			Entfall manueller Bestellungen (intern/extern)
			Reduzierung des Aufwands für die Informationsbereitstellung
			Automatisches Umplanen bei Absatzschwankungen
			Reduktion Aufwand für Nachbestellung auf Grund von Schwund
			Reduzierung Aufwand bei der Rechnungserstellung
		Reduzierung Suchaufwand durch Objekttracking	
		Sicherheit	Reduzierung Planungsaufwand bei Sondertransporten (Berücksichtigung aktueller Produktionsinformationen)
	Reduzierung Planungsaufwand bei Sondermassnahmen (Berücksichtigung aktueller Produktionsinformationen)		
	Reduzierung Planungsaufwand für Rückrufaktionen durch exaktere Nach- bzw. Rückverfolgbarkeit von Objekten		
	Reduzierung Korrekturaufwand bei Planungsfehlern durch schlechte Informationen		
	Steuerung	Reduzierung Aufwand für Sonderaktionen	
Ressourcenreduktion	Technik		
	Automatisierung		
	Sicherheit		
	Steuerung	Reduzierung Aufwand für Sonderaktionen	

11.7 Bewertungsformeln für quantitative Nutzenpotentiale

Externe Effekte

Reduktion von Regresszahlungen durch Dokumentation des Verbaus sicherheitsrelevanter Teile sowie durch Verhinderung von Plagiaten

Basis: **Regressforderungen** $E_{SZRRED} = N_{R0} \cdot \lambda_R \cdot A_R$ (71)

mit $\lambda_R = \frac{N_{R0} - N_{RRFID}}{N_{R0}} \cdot 100\%$ (72)

Basis: **Einheiten** $E_{SZRRED} = N_{EI0} \cdot \lambda_{EI} \cdot A_{EI}$ (73)

mit $\lambda_{EI} = \frac{N_{EI0} - N_{EIRFID}}{N_{EI0}} \cdot 100\%$ (74)

E_{SZRRED} Reduktion Strafzahlung für Regressansprüche

$N_{R0, RRFID}$ Anzahl Regressforderungen im Ausgangs- bzw. Soll-Zustand

$N_{EI0, EIRFID}$ Anzahl regressbetroffener Einheiten im Ausgangs- bzw. Soll-Zustand

$A_{R, EI}$ Durchschnittlicher Aufwand pro Forderung bzw. Einheit

$\lambda_{R, EI}$ Reduktionsquote Regressforderungen bzw. Einheiten

Reduktion des Aufwands für Rückrufaktionen

Basis: **Rückrufaktionen** $E_{SZRARED} = N_{RA0} \cdot \lambda_{RA} \cdot A_{RA}$ (75)

mit $\lambda_{RA} = \frac{N_{RA0} - N_{RARFID}}{N_{RA0}} \cdot 100\%$ (76)

Basis: **Einheiten** $E_{SZRARED} = N_{EI0} \cdot \lambda_{EI} \cdot A_{EI}$ (77)

mit $\lambda_{EI} = \frac{N_{EI0} - N_{EIRFID}}{N_{EI0}} \cdot 100\%$ (78)

$E_{SZRARED}$	Reduktion Aufwand für Rückrufaktionen
$N_{RA0, RARFID}$	Anzahl Rückrufaktionen im Ausgangs- bzw. Soll-Zustand
$N_{EI0, EIRFID}$	Anzahl rückgerufener Einheiten im Ausgangs- bzw. Soll-Zustand
$A_{RA, EI}$	Aufwand pro Rückrufaktion bzw. zurückgerufener Einheit
$\lambda_{RA, EI}$	Reduktionsquote Rückrufaktionen bzw. zurückgerufener Einheiten

Interne Effekte*Bewertung von Nutzenpotentialen aus den Ebenen Technik, Automatisierung und Steuerung*

Basis: **Zeitkontingent** $E_Z = SC \cdot MA \cdot AZ \cdot f_A \cdot \lambda_Z \cdot K_P$ (79)

mit $\lambda_Z = \frac{Z_{A0} - Z_{ARFID}}{Z_{A0}} \cdot 100\%$ (80)

E_Z	Einsparung Zeit
SC	Anzahl Schichten
MA	Anzahl Mitarbeiter
AZ	Arbeitszeit pro Mitarbeiter und Schicht
f_A	Zeitlicher Anteil der Aktivität am Zeitkontingent
λ_Z	Reduktionsquote Zeitaufwand
K_P	Stundenlohn des Mitarbeiters
$Z_{A0, ARFID}$	Zeitaufwand für Aktivität im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand

Basis: **Ressourcenkont.** $E_R = M_R \cdot f_A \cdot \lambda_R \cdot K_R$ (81)

mit $\lambda_R = \frac{R_{A0} - R_{ARFID}}{R_{A0}} \cdot 100\%$ (82)

E_R	Einsparung Ressourcen
M_R	Menge zur Verfügung gestellter Ressourcen
f_A	Anteil der Ressourcen am Kontingent für die Aktivität

λ_R	Reduktionsquote Ressourcenaufwand
K_R	Kosten pro Ressourceneinheit
$R_{AU, AURFID}$	Ressourcenaufwand für Aktivität im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand

$$\text{Basis: Aufträge} \quad E_Z = N_{AU} \cdot Z_{AU0} \cdot \lambda_{AU} \cdot K_P \quad (83)$$

$$\text{mit} \quad \lambda_{AU} = \frac{Z_{AU0} - Z_{AURFID}}{Z_{AU0}} \cdot 100\% \quad (84)$$

$$\text{Basis: Aufträge} \quad E_R = N_{AU} \cdot R_{AU0} \cdot \lambda_{AU} \cdot K_R \quad (85)$$

$$\text{mit} \quad \lambda_{AU} = \frac{R_{AU0} - R_{AURFID}}{R_{AU0}} \cdot 100\% \quad (86)$$

$E_{Z,R}$	Einsparung Zeit bzw. Ressourcen
N_{AU}	Anzahl Aufträge
$Z_{AU0, AURFID}$	Zeitaufwand pro Auftrag im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand
$R_{AU0, AURFID}$	Ressourcenaufwand pro Auftrag im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand
λ_{AU}	Reduktionsquote pro Auftrag
$K_{P,R}$	Stundenlohn des Mitarbeiters, Kosten pro Ressourceneinheit

$$\text{Basis: Arbeitsvorgänge} \quad E_Z = N_{AV} \cdot Z_{AV0} \cdot \lambda_{AV} \cdot K_P \quad (87)$$

$$\text{mit} \quad \lambda_{AV} = \frac{Z_{AV0} - Z_{AVRFID}}{Z_{AV0}} \cdot 100\% \quad (88)$$

$$\text{Basis: Arbeitsvorgänge} \quad E_R = N_{AV} \cdot R_{AV0} \cdot \lambda_{AV} \cdot K_R \quad (89)$$

$$\text{mit} \quad \lambda_{AV} = \frac{R_{AV0} - R_{AVRFID}}{R_{AV0}} \cdot 100\% \quad (90)$$

$E_{Z,R}$	Einsparung Zeit bzw. Ressourcen
N_{AV}	Anzahl Arbeitsvorgänge
$Z_{AV0, AVRFID}$	Zeitaufwand pro Arbeitsvorgang im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand
$R_{AV0, AVRFID}$	Ressourcenaufwand pro Arbeitsv. im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand
λ_{AV}	Reduktionsquote pro Arbeitsvorgang
$K_{P,R}$	Stundenlohn des Mitarbeiters, Kosten pro Ressourceneinheit

$$\text{Basis: Einheiten} \quad E_Z = N_{EI} \cdot Z_{EI0} \cdot \lambda_{EI} \cdot K_P \quad (91)$$

$$\text{mit} \quad \lambda_{EI} = \frac{Z_{EI0} - Z_{EIRFID}}{Z_{EI0}} \cdot 100\% \quad (92)$$

$$\text{Basis: Einheiten} \quad E_R = N_{EI} \cdot R_{EI0} \cdot \lambda_{EI} \cdot K_R \quad (93)$$

$$\text{mit} \quad \lambda_{EI} = \frac{R_{EI0} - R_{EIRFID}}{R_{EI0}} \cdot 100\% \quad (94)$$

$E_{Z,R}$	Einsparung Zeit bzw. Ressourcen
N_{EI}	Anzahl zu bearbeitender Einheiten
$Z_{EIO, EIRFID}$	Zeitaufwand pro Einheit im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand
$R_{EIO, EIRFID}$	Ressourcenaufwand pro Einheit im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand
λ_{EI}	Reduktionsquote pro Einheit
$K_{P,R}$	Stundenlohn des Mitarbeiters, Kosten pro Ressourceneinheit

Basis: **Schwundereignisse** $E_Z = N_{SE0} \cdot Z_{SE} \cdot \lambda_{SE} \cdot K_P$ (95)

mit $\lambda_{SE} = \frac{N_{SE0} - N_{SERFID}}{N_{SE0}} \cdot 100\%$ (96)

Basis: **Schwundereignisse** $E_R = N_{SE0} \cdot R_{SE} \cdot \lambda_{SE} \cdot K_R$ (97)

mit $\lambda_{SE} = \frac{N_{SE0} - N_{SERFID}}{N_{SE0}} \cdot 100\%$ (98)

$E_{Z,R}$	Einsparung Zeit bzw. Ressourcen
$N_{SE0, SERFID}$	Anzahl Schwundereignisse im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand
Z_{SE}	Zeitaufwand pro Schwundereignis
R_{SE}	Ressourcenaufwand pro Schwundereignis
λ_{SE}	Reduktionsquote für die Anzahl der Schwundereignisse
$K_{P,R}$	Stundenlohn des Mitarbeiters, Kosten pro Ressourceneinheit

Basis: **Wegstrecke** $E_Z = L_{WS0} \cdot \frac{1}{GS} \cdot \lambda_{WS} \cdot K_P$ (99)

mit $\lambda_{WS} = \frac{L_{WS0} - L_{WSRFID}}{L_{WS0}} \cdot 100\%$ (100)

Basis: **Wegstrecke** $E_R = L_{WS0} \cdot R_{WS} \cdot \lambda_{WS} \cdot K_R$ (101)

mit $\lambda_{WS} = \frac{L_{WS0} - L_{WSRFID}}{L_{WS0}} \cdot 100\%$ (102)

$E_{Z,R}$	Einsparung Zeit bzw. Ressourcen
$L_{WS0, WSRFID}$	Länge Wegstrecke im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand
GS	Geschwindigkeit
R_{WS}	Ressourcenaufwand pro Wegstrecke
λ_{WS}	Reduktionsquote für die Wegstrecke
$K_{P,R}$	Stundenlohn des Mitarbeiters, Kosten pro Ressourceneinheit

Bewertung von Nutzenpotentialen aus der Ebene Sicherheit

Basis: **Zeitkontingent** $E_Z = SC \cdot MA \cdot AZ \cdot f_A \cdot \lambda_Z \cdot K_P$ (103)

mit $\lambda_Z = \frac{Z_{A0} - Z_{ARFID}}{Z_{A0}} \cdot 100\%$ (104)

E_Z	Einsparung Zeit
SC	Anzahl Schichten
MA	Anzahl Mitarbeiter
AZ	Arbeitszeit pro Mitarbeiter und Schicht
f_A	Zeitlicher Anteil der Aktivität am Zeitkontingent
λ_Z	Reduktionsquote für den Zeitaufwand
K_P	Stundenlohn des Mitarbeiters
$Z_{A0, ARFID}$	Zeitaufwand für Aktivität im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand

Basis: **Ressourcenkont.** $E_R = M_R \cdot f_A \cdot \lambda_R \cdot K_R$ (105)

mit $\lambda_R = \frac{R_{A0} - R_{ARFID}}{R_{A0}} \cdot 100\%$ (106)

E_R	Einsparung Ressourcen
M_R	Menge zur Verfügung gestellter Ressourcen
f_A	Anteil der Ressourcen am Kontingent für die Aktivität
λ_R	Reduktionsquote für den Ressourcenaufwand
K_R	Kosten pro Ressourceneinheit
$R_{A0, ARFID}$	Ressourcenaufwand für Aktivität im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand

Basis: **Korrekturaufträge** $E_Z = N_{KA0} \cdot Z_{AU} \cdot \lambda_{KA} \cdot K_P$ (107)

mit $\lambda_{KA} = \frac{N_{KA0} - N_{KARFID}}{N_{KA0}} \cdot 100\%$ (108)

Basis: **Korrekturaufträge** $E_R = N_{KA0} \cdot R_{AU} \cdot \lambda_{KA} \cdot K_R$ (109)

mit $\lambda_{KA} = \frac{N_{KA0} - N_{KARFID}}{N_{KA0}} \cdot 100\%$ (110)

$E_{Z, R}$	Einsparung Zeit bzw. Ressourcen
$N_{KA0, KARFID}$	Anzahl Korrekturaufträge im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand
Z_{AU}	Zeitaufwand pro Korrekturauftrag
R_{AU}	Ressourcenaufwand pro Korrekturauftrag
λ_{KA}	Reduktionsquote für Anzahl der Korrekturaufträge
$K_{P, R}$	Stundenlohn des Mitarbeiters, Kosten pro Ressourceneinheit

$$\text{Basis: Korrekturvorgänge} \quad E_Z = N_{KV0} \cdot Z_{KV} \cdot \lambda_{KV} \cdot K_P \quad (111)$$

$$\text{mit} \quad \lambda_{KV} = \frac{N_{KV0} - N_{KVRFD}}{N_{KV0}} \cdot 100\% \quad (112)$$

$$\text{Basis: Korrekturvorgänge} \quad E_R = N_{KV0} \cdot R_{KV} \cdot \lambda_{KV} \cdot K_R \quad (113)$$

$$\text{mit} \quad \lambda_{KV} = \frac{N_{KV0} - N_{KVRFD}}{N_{KV0}} \cdot 100\% \quad (114)$$

$E_{Z,R}$	Einsparung Zeit bzw. Ressourcen
$N_{KV0, KVRFD}$	Anzahl Korrekturvorgänge im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand
Z_{KV}	Zeitaufwand pro Korrekturvorgang
R_{KV}	Ressourcenaufwand pro Korrekturvorgang
λ_{KV}	Reduktionsquote für Anzahl der Korrekturvorgänge
$K_{P,R}$	Stundenlohn des Mitarbeiters, Kosten pro Ressourceneinheit

$$\text{Basis: Fehler} \quad E_Z = N_{F0} \cdot Z_F \cdot \lambda_F \cdot K_P \quad (115)$$

$$\text{mit} \quad \lambda_F = \frac{N_{F0} - N_{FRFD}}{N_{F0}} \cdot 100\% \quad (116)$$

$$\text{Basis: Fehler} \quad E_R = N_{F0} \cdot R_F \cdot \lambda_F \cdot K_R \quad (117)$$

$$\text{mit} \quad \lambda_F = \frac{N_{F0} - N_{FRFD}}{N_{F0}} \cdot 100\% \quad (118)$$

$E_{Z,R}$	Einsparung Zeit bzw. Ressourcen
$N_{F0, FRFD}$	Anzahl Fehler im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand
Z_F	Zeitaufwand pro Fehler
R_F	Ressourcenaufwand pro Fehler
λ_F	Reduktionsquote für Anzahl der Fehler
$K_{P,R}$	Stundenlohn des Mitarbeiters, Kosten pro Ressourceneinheit

$$\text{Basis: Fehleinheiten} \quad E_Z = N_{FE0} \cdot Z_{FE} \cdot \lambda_{FE} \cdot K_P \quad (119)$$

$$\text{mit} \quad \lambda_{FE} = \frac{N_{FE0} - N_{FERFD}}{N_{FE0}} \cdot 100\% \quad (120)$$

$$\text{Basis: Fehleinheiten} \quad E_R = N_{FE0} \cdot R_{FE} \cdot \lambda_{FE} \cdot K_R \quad (121)$$

$$\text{mit} \quad \lambda_{FE} = \frac{N_{FE0} - N_{FERFD}}{N_{FE0}} \cdot 100\% \quad (122)$$

$E_{Z,R}$	Einsparung Zeit bzw. Ressourcen
$N_{FE0, FERFD}$	Anzahl Fehleinheiten im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand
Z_{FE}	Zeitaufwand pro Fehleinheit

R_{FE}	Ressourcenaufwand pro Fehleinheit
λ_{FE}	Reduktionsquote für Anzahl der Fehleinheiten
$K_{P,R}$	Stundenlohn des Mitarbeiters, Kosten pro Ressourceneinheit

Basis: **Wegstrecke** $E_Z = L_{WS0} \cdot \frac{1}{GS} \cdot \lambda_{WS} \cdot K_P$ (123)

mit $\lambda_{WS} = \frac{L_{WS0} - L_{WSRFID}}{L_{WS0}} \cdot 100\%$ (124)

Basis: **Wegstrecke** $E_R = L_{WS0} \cdot R_{WS} \cdot \lambda_{WS} \cdot K_R$ (125)

mit $\lambda_{WS} = \frac{L_{WS0} - L_{WSRFID}}{L_{WS0}} \cdot 100\%$ (126)

$E_{Z,R}$	Einsparung Zeit bzw. Ressourcen
$L_{WS0, WSRFID}$	Länge Wegstrecke im Ausgangszustand bzw. im Soll-Zustand
GS	Geschwindigkeit
R_{WS}	Ressourcenaufwand pro Wegstrecke
λ_{WS}	Reduktionsquote pro Wegstrecke
$K_{P,R}$	Stundenlohn des Mitarbeiters, Kosten pro Ressourceneinheit

11.8 Bewertungsformeln für quantitative Aufwände

Bewertung von Aufwänden mittels der allgemeinen Basen

Basis: **Zeitkontingent** $A_Z = SC \cdot MA \cdot AZ \cdot f_A \cdot K_P$ (127)

A_Z	Zeitaufwand
SC	Anzahl Schichten
MA	Anzahl Mitarbeiter
AZ	Arbeitszeit pro Mitarbeiter und Schicht
f_A	Zeitlicher Anteil der Aktivität am Zeitkontingent
K_P	Stundenlohn des Mitarbeiters

Basis: **Ressourcenkont.** $A_R = M_R \cdot f_A \cdot K_R$ (128)

A_R	Ressourcenaufwand
M_R	Menge zur Verfügung gestellter Ressourcen
f_A	Anteil der Ressourcen am Kontingent für die Aktivität
K_R	Kosten pro Ressourceneinheit

$$\text{Basis: Aufträge} \quad A_Z = N_{AU} \cdot Z_{AURFID} \cdot K_P \quad (129)$$

$$\text{Basis: Aufträge} \quad A_R = N_{AU} \cdot R_{AURFID} \cdot K_R \quad (130)$$

$A_{Z,R}$	Zeit- bzw. Ressourcenaufwand
N_{AU}	Anzahl Aufträge
Z_{AU}	Zeitaufwand pro Auftrag im Soll-Zustand
R_{AU}	Ressourcenaufwand pro Auftrag im Soll-Zustand
$K_{P,R}$	Stundenlohn des Mitarbeiters, Kosten pro Ressourceneinheit

$$\text{Basis: Arbeitsvorgänge} \quad A_Z = N_{AV} \cdot Z_{AVRFID} \cdot K_P \quad (131)$$

$$\text{Basis: Arbeitsvorgänge} \quad A_R = N_{AV} \cdot R_{AVRFID} \cdot K_R \quad (132)$$

$A_{Z,R}$	Zeit- bzw. Ressourcenaufwand
N_{AV}	Anzahl Arbeitsvorgänge
Z_{AV}	Zeitaufwand pro Arbeitsvorgang im Soll-Zustand
R_{AV}	Ressourcenaufwand pro Arbeitsvorgang im Soll-Zustand
$K_{P,R}$	Stundenlohn des Mitarbeiters, Kosten pro Ressourceneinheit

$$\text{Basis: Einheiten} \quad A_Z = N_{EI} \cdot Z_{EIRFID} \cdot K_P \quad (133)$$

$$\text{Basis: Einheiten} \quad A_R = N_{EI} \cdot R_{EIRFID} \cdot K_R \quad (134)$$

$A_{Z,R}$	Zeit- bzw. Ressourcenaufwand
N_{EI}	Anzahl Einheiten
Z_{EI}	Zeitaufwand pro Einheit im Soll-Zustand
R_{EI}	Ressourcenaufwand pro Einheit im Soll-Zustand
$K_{P,R}$	Stundenlohn des Mitarbeiters, Kosten pro Ressourceneinheit

$$\text{Basis: Wegstrecke} \quad A_Z = L_{WSRFID} \cdot \frac{1}{GS} \cdot K_P \quad (135)$$

$$\text{Basis: Wegstrecke} \quad A_R = L_{WSRFID} \cdot R_{WS} \cdot K_R \quad (136)$$

$A_{Z,R}$	Zeit- bzw. Ressourcenaufwand
L_{WS}	Länge Wegstrecke im Soll-Zustand
GS	Geschwindigkeit
R_{WS}	Ressourcenaufwand pro Wegstrecke
$K_{P,R}$	Stundenlohn des Mitarbeiters, Kosten pro Ressourceneinheit

Bewertung von Aufwänden zur Fehlerbehebung durch spezifische Basen

$$\text{Basis: Fehler} \quad A_Z = N_{\text{FRFID}} \cdot f_F \cdot Z_F \cdot K_P \quad (137)$$

$$\text{Basis: Fehler} \quad A_R = N_{\text{FRFID}} \cdot f_F \cdot R_F \cdot K_R \quad (138)$$

$A_{Z,R}$	Zeit- bzw. Ressourcenaufwand
N_{FRFID}	Anzahl Fehler im Soll-Zustand
f_F	Anteil der Fehler die korrigiert werden
Z_F	Zeitaufwand pro Fehler
R_F	Ressourcenaufwand pro Fehler
$K_{P,R}$	Stundenlohn des Mitarbeiters, Kosten pro Ressourceneinheit

$$\text{Basis: Fehleinheiten} \quad A_Z = N_{\text{FERFID}} \cdot f_{FE} \cdot Z_{FE} \cdot K_P \quad (139)$$

$$\text{Basis: Fehleinheiten} \quad A_R = N_{\text{FERFID}} \cdot f_{FE} \cdot R_{FE} \cdot K_R \quad (140)$$

$A_{Z,R}$	Zeit- bzw. Ressourcenaufwand
f_{FE}	Anteil der Fehleinheiten die korrigiert werden
N_{FERFID}	Anzahl Fehleinheiten im Soll-Zustand
Z_{FE}	Zeitaufwand pro Fehleinheit
R_{FE}	Ressourcenaufwand pro Fehleinheit
$K_{P,R}$	Stundenlohn des Mitarbeiters, Kosten pro Ressourceneinheit

$$\text{Basis: Korrekturaufträge} \quad A_Z = N_{\text{KARFID}} \cdot Z_{KA} \cdot K_P \quad (141)$$

$$\text{Basis: Korrekturaufträge} \quad A_R = N_{\text{KARFID}} \cdot R_{KA} \cdot K_R \quad (142)$$

$A_{Z,R}$	Zeit- bzw. Ressourcenaufwand
N_{KARFID}	Anzahl Korrekturaufträge im Soll-Zustand
Z_{KA}	Zeitaufwand pro Korrekturauftrag
R_{KA}	Ressourcenaufwand pro Korrekturauftrag
$K_{P,R}$	Stundenlohn des Mitarbeiters, Kosten pro Ressourceneinheit

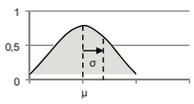
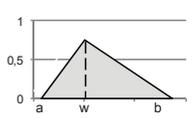
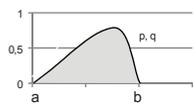
$$\text{Basis: Korrekturvorgänge} \quad A_Z = N_{\text{KVRFID}} \cdot Z_{KV} \cdot K_P \quad (143)$$

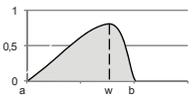
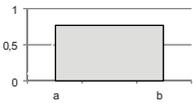
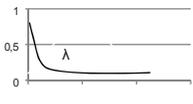
$$\text{Basis: Korrekturvorgänge} \quad A_R = N_{\text{KVRFID}} \cdot R_{KV} \cdot K_R \quad (144)$$

$A_{Z,R}$	Zeit- bzw. Ressourcenaufwand
N_{KVRFID}	Anzahl Korrekturvorgänge im Soll-Zustand
Z_{KV}	Zeitaufwand pro Korrekturvorgang
R_{KV}	Ressourcenaufwand pro Korrekturvorgang
$K_{P,R}$	Stundenlohn des Mitarbeiters, Kosten pro Ressourceneinheit

11.9 Mögliche Wahrscheinlichkeitsverteilungen

Tabelle 37: Beschreibung möglicher Wahrscheinlichkeitsverteilungen

Normalverteilung		
	Charakteristische Parameter	Eigenschaften
	σ, μ	Wenig Informationen über spezifische Wahrscheinlichkeiten vorhanden
$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-1/2\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$	$f(x)$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Zufallsvariablen x
	μ	Erwartungswert
	σ	Standardabweichung
Dreiecksverteilung		
	Charakteristische Parameter	Eigenschaften
	a, w, b	Betonung des Maximalwerts mit linearem Abfall zu den Intervallgrenzen; einfache Modellierung
$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(w-a)} & \text{für } a \leq x \leq w \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-w)} & \text{für } w < x \leq b \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$	$f(x)$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Zufallsvariablen x
	a, b	Untere bzw. obere Grenze des Intervalls
	w	Wahrscheinlichster Wert
Betaverteilung		
	Charakteristische Parameter	Eigenschaften
	a, b, p, q	Ähnlich zu Normalverteilung, jedoch mit rechts-/ linksschiefer Ausprägung und Intervallbegrenzung
$f(x) = \frac{(x-a)^{p-1} \cdot (b-x)^{q-1}}{B(p,q) \cdot (b-a)^{p+q-1}}$	$f(x)$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Zufallsvariablen x
	$B(p, q)$	Beta-Funktion
	p, q	Reelwertige Parameter $p, q > 0$
	a, b	Reelwertige Intervallgrenzen

BetaPERT-Verteilung		
	Charakteristische Parameter	Eigenschaften
	a, w, b	Definition durch drei Eingangsparameter; geeignet für Projektunsicherheiten
$f(x) = \frac{(x-a)^{p(m)-1} \cdot (b-x)^{q(m)-1}}{B(p(m), q(m)) \cdot (b-a)^{p(m)+q(m)-1}}$	$f(x)$ $B(p(m), q(m))$ $p(m), q(m)$ a, b	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Zufallsvariablen x BetaPERT-Funktion Reelwertige Parameter p(m), q(m) > 0 Reelwertige Intervallgrenzen
Gleichverteilung		
	Charakteristische Parameter	Eigenschaften
	a, b	Angabe der Wahrscheinlichkeit für ein Intervall, ohne dabei einen definierten Wert hervorzuheben
$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{für } a \leq x \leq b \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$	$f(x)$ a, b	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Zufallsvariablen x Untere bzw. Obere Grenze des Intervalls
Exponentialverteilung		
	Charakteristische Parameter	Eigenschaften
	$\lambda = 1/\mu$	Geeignet für Lebensdaueruntersuchungen
$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\mu} e^{-\frac{x}{\mu}} & \text{für } x > 0 \\ 0 & \text{für } x \leq 0 \end{cases}$	$f(x)$ μ	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Zufallsvariablen x Erwartungswert

11.10 Protokoll zur Durchführung der Ausgleichsanalyse

Tabelle 38: Protokoll für die Ausgleichsanalyse

CBS-Protokoll: Integration des Rahmenmodells			
Checkfeld	Erläuterungen	Festgesetzte Rahmenbedingungen	Erlедigt
1. Allgemeines	• Beteiligte Unternehmen		
	• Aktuelle Phase des RFID-Projekts	o Pilotphase o Hochlaufphase o Betriebsphase Kommentar:	
	• Dauer des zu bewertenden Zeitraums		
2. Zielsetzung	• Gemeinsames Projektziel		
	• Teilziele der Projektpartner		
3. Einflussfaktoren	• Interne Faktoren: Struktur der Supply Chain (Vertrauensbasis, Interessensasymmetrien, Hierarchien etc.)		
	• Interne Faktoren: Technik (Know-how, Integrationstiefe/-reichweite etc.)		
	• Externe Faktoren: Technik (Reife der Technik, Standardisierung etc.)		
	• Externe Faktoren: Markt (Preisentwicklungen, Verbreitung der Technik etc.)		
4. Regeln	• Übergeordnetes Regelwerk		
	• Integration der Ziele		
5. Controlling	• Institutionalisierung	o Single-Controlling (dezentral) o Fremd-Controlling (zentral) o Team-/Co-Controlling o Sonstige: Kommentar:	
6. Bewertung	• Bewertungsverfahren		
	• Schlüsselkennzahlen		
7. Verteilung	• Kompensationsmechanismus	o Monetär o Materiell o Immateriell Kommentar:	
	• Reallokationsstrategie	o Gleiche Zielallokation o Paritätische Gewinnallokation o Verluste ausgleichen o Gewinnallokation nach Wertschöpfungsanteil o Gleiche Rendite o Sonstige: Kommentar:	
Ort, Datum		Unternehmen	
Unterschrift Projektleiter (Unternehmen)		Unterschrift Unternehmensvertreter	

11.11 Genutzte Softwareprodukte und genannte Firmen

Tabelle 39: Auflistung genutzter Softwareprodukte

Genutzte Softwareprodukte	
Microsoft® Office Excel® 2007	Tabellenkalkulation (Microsoft Corporation)
Oracle® Crystal Ball® Version 11.1.1.1.00	Software zur Durchführung der Monte-Carlo-Simulation (Oracle Corporation)

Tabelle 40: Auflistung genannter Firmen

Genannte Firmen	
Dun & Bradstreet Deutschland GmbH	Eisenheimerstraße 47A, 80687 München, Deutschland
ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH	Frankfurter Ring 211, 80807 München, Deutschland
GS1 Germany GmbH	Maarweg 133, 50825 Köln, Deutschland
Hans Turck GmbH & Co.KG	Witzlebenstraße 7, 45472 Mülheim/Ruhr, Deutschland
IBM Deutschland GmbH	IBM-Allee 1, 71139 Ehningen, Deutschland
Microsoft Corporation	1 Microsoft Way, Redmond, WA 98052, USA
Odette International Limited	71 Great Peter Street, London SW1P 2BN, UK
Oracle Corporation	500 Oracle Parkway, Redwood Shores, CA 94065, USA

12 Studienarbeitsverzeichnis

Im Rahmen dieser Dissertation entstanden am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München in den Jahren von 2010 bis 2013 unter wesentlicher wissenschaftlicher, fachlicher und inhaltlicher Anleitung des Autors die im Folgenden aufgeführten studentischen Arbeiten. In diesen wurden u. a. Fragestellungen zur Identifikation und Quantifizierung von Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit von RFID untersucht. Entstandene Ergebnisse sind teilweise in das vorliegende Dokument eingeflossen. Der Autor dankt allen Studierenden für ihr Engagement bei der Unterstützung dieser wissenschaftlichen Arbeit.

Studierende/r	Studienarbeit
Elias Christ (Semesterarbeit, 2011)	Entwicklung einer Methode zur Wirtschaftlichkeitsbewertung von RFID-Systemen
Elias Christ (Diplomarbeit, 2011)	Anwendungsspezifische Bewertung der Wirtschaftlichkeit von RFID in der Wertschöpfungskette
Katharina Fritsch (Semesterarbeit, 2011)	Cost Benefit Sharing für den Einsatz von RFID entlang der Supply Chain
Marc Steiner (Diplomarbeit, 2011)	Methode zur Kalkulation von Ausgleichsszenarien in RFID-unterstützten Wertschöpfungsnetzen
Jessica Homan (Semesterarbeit, 2012)	Bewertung der Kosten- und Nutzenaspekte von RFID in der gesamten Wertschöpfungskette anhand eines idealisierten Anwendungsszenarios
Benjamin Lemme (Semesterarbeit, 2012)	Identifikation und Kategorisierung qualitativer und quantitativer Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeitsbewertung von RFID in der Supply Chain
Klaus Priller (Bachelorarbeit, 2012)	Entwicklung einer Verrechnungsstruktur und Analysewerkzeuge für die Wirtschaftlichkeitsbewertung von RFID
Daniel Rief (Bachelorarbeit, 2012)	Standardisierte Bewertung quantitativer Nutzenpotentiale von RFID
Florian Ertl (Diplomarbeit, 2013)	Integration qualitativer Einflussfaktoren in die Wirtschaftlichkeitsbewertung von RFID
Felix Jenkel (Semesterarbeit, 2013)	Identifikation quantitativer Nutzenpotentiale für die Wirtschaftlichkeitsbewertung von RFID

Seminarberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Seminarberichte iwb sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utzverlag.de, www.utzverlag.de

- 1 **Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung**
115 Seiten - ISBN 3-931327-01-9
- 2 **Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt**
82 Seiten - ISBN 3-931327-02-7
- 3 **Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung**
110 Seiten - ISBN 3-931327-03-5
- 4 **Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte**
134 Seiten - ISBN 3-931327-04-3
- 5 **Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung**
95 Seiten - ISBN 3-931327-05-1
- 6 **Materialbearbeitung mit Laser - von der Planung zur Anwendung**
86 Seiten - ISBN 3-931327-06-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**
80 Seiten - ISBN 3-931327-07-9
- 8 **Qualitätsmanagement - der Weg ist das Ziel**
130 Seiten - ISBN 3-931327-08-7
- 9 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte**
120 Seiten - ISBN 3-931327-09-5
- 10 **3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel**
90 Seiten - ISBN 3-931327-10-8
- 11 **Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
110 Seiten - ISBN 3-931327-11-6
- 12 **Autonome Produktionssysteme**
100 Seiten - ISBN 3-931327-12-4
- 13 **Planung von Montageanlagen**
130 Seiten - ISBN 3-931327-13-2
- 14 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 15 **Flexible fluide Kleb-/Dichtstoffe - Dosierung und Prozeßgestaltung**
80 Seiten - ISBN 3-931327-15-9
- 16 **Time to Market - Von der Idee zum Produktionsstart**
80 Seiten - ISBN 3-931327-16-7
- 17 **Industriekeramik in Forschung und Praxis - Probleme, Analysen und Lösungen**
80 Seiten - ISBN 3-931327-17-5
- 18 **Das Unternehmen im Internet - Chancen für produzierende Unternehmen**
165 Seiten - ISBN 3-931327-18-3
- 19 **Leittechnik und Informationslogistik - mehr Transparenz in der Fertigung**
85 Seiten - ISBN 3-931327-19-1
- 20 **Dezentrale Steuerungen in Produktionsanlagen – Plug & Play – Vereinfachung von Entwicklung und Inbetriebnahme**
105 Seiten - ISBN 3-931327-20-5
- 21 **Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Schnell zu funktionalen Prototypen**
95 Seiten - ISBN 3-931327-21-3
- 22 **Mikrotechnik für die Produktion - Greifbare Produkte und Anwendungspotentiale**
95 Seiten - ISBN 3-931327-22-1
- 24 **EDM Engineering Data Management**
195 Seiten - ISBN 3-931327-24-8
- 25 **Rationelle Nutzung der Simulationstechnik - Entwicklungstrends und Praxisbeispiele**
152 Seiten - ISBN 3-931327-25-6
- 26 **Alternative Dichtungssysteme - Konzepte zur Dichtungsmontage und zum Dichtmittelauftrag**
110 Seiten - ISBN 3-931327-26-4
- 27 **Rapid Prototyping - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
111 Seiten - ISBN 3-931327-27-2
- 28 **Rapid Tooling - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
154 Seiten - ISBN 3-931327-28-0
- 29 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Abschlussseminar**
156 Seiten - ISBN 3-931327-29-9
- 30 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 31 **Engineering Data Management (EDM) - Erfahrungsberichte und Trends**
183 Seiten - ISBN 3-931327-31-0
- 32 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 33 **3D-CAD - Mehr als nur eine dritte Dimension**
181 Seiten - ISBN 3-931327-33-7
- 34 **Laser in der Produktion - Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz**
102 Seiten - ISBN 3-931327-34-5
- 35 **Ablaufsimulation - Anlagen effizient und sicher planen und betreiben**
129 Seiten - ISBN 3-931327-35-3
- 36 **Moderne Methoden zur Montageplanung - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
124 Seiten - ISBN 3-931327-36-1
- 37 **Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit - Produktivitätssteigerung durch technische und organisatorische Ansätze**
95 Seiten - ISBN 3-931327-37-X
- 38 **Rapid Prototyping - Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung**
128 Seiten - ISBN 3-931327-38-8
- 39 **Rapid Tooling - Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau**
130 Seiten - ISBN 3-931327-39-6
- 40 **Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie - Flexibel und schneller mit modernen Kooperationen**
160 Seiten - ISBN 3-931327-40-X
- 41 **Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen**
146 Seiten - ISBN 3-89675-041-0
- 42 **Stückzahlflexible Montagesysteme**
139 Seiten - ISBN 3-89675-042-9
- 43 **Produktivität und Verfügbarkeit - ...durch Kooperation steigern**
120 Seiten - ISBN 3-89675-043-7
- 44 **Automatisierte Mikromontage - Handhaben und Positionieren von Mikrobauteilen**
125 Seiten - ISBN 3-89675-044-5
- 45 **Produzieren in Netzwerken - Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele**
173 Seiten - ISBN 3-89675-045-3
- 46 **Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation**
108 Seiten - ISBN 3-89675-046-1

- 47 Virtuelle Produktion - Prozeß- und Produktsimulation
131 Seiten - ISBN 3-89675-047-X
- 48 Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen
106 Seiten - ISBN 3-89675-048-8
- 49 Rapid Prototyping - Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung
150 Seiten - ISBN 3-89675-049-6
- 50 Rapid Manufacturing - Methoden für die reaktionsfähige Produktion
121 Seiten - ISBN 3-89675-050-X
- 51 Flexibles Kleben und Dichten - Produkt- & Prozeßgestaltung, Mischverbindungen, Qualitätskontrolle
137 Seiten - ISBN 3-89675-051-8
- 52 Rapid Manufacturing - Schnelle Herstellung von Klein- und Prototypenserien
124 Seiten - ISBN 3-89675-052-6
- 53 Mischverbindungen - Werkstoffauswahl, Verfahrensauswahl, Umsetzung
107 Seiten - ISBN 3-89675-054-2
- 54 Virtuelle Produktion - Integrierte Prozess- und Produktsimulation
133 Seiten - ISBN 3-89675-054-2
- 55 e-Business in der Produktion - Organisationskonzepte, IT-Lösungen, Praxisbeispiele
150 Seiten - ISBN 3-89675-055-0
- 56 Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation als planungsbegleitendes Werkzeug
150 Seiten - ISBN 3-89675-056-9
- 57 Virtuelle Produktion - Datenintegration und Benutzerschnittstellen
150 Seiten - ISBN 3-89675-057-7
- 58 Rapid Manufacturing - Schnelle Herstellung qualitativ hochwertiger Bauteile oder Kleinserien
169 Seiten - ISBN 3-89675-058-7
- 59 Automatisierte Mikromontage - Werkzeuge und Fügetechnologien für die Mikrosystemtechnik
114 Seiten - ISBN 3-89675-059-3
- 60 Mechatronische Produktionssysteme - Genauigkeit gezielt entwickeln
131 Seiten - ISBN 3-89675-060-7
- 61 Nicht erschienen - wird nicht erscheinen
- 62 Rapid Technologien - Anspruch - Realität - Technologien
100 Seiten - ISBN 3-89675-062-3
- 63 Fabrikplanung 2002 - Visionen - Umsetzung - Werkzeuge
124 Seiten - ISBN 3-89675-063-1
- 64 Mischverbindungen - Einsatz und Innovationspotenzial
143 Seiten - ISBN 3-89675-064-X
- 65 Fabrikplanung 2003 - Basis für Wachstum - Erfahrungen Werkzeuge Visionen
136 Seiten - ISBN 3-89675-065-8
- 66 Mit Rapid Technologien zum Aufschwung - Neue Rapid Technologien und Verfahren, Neue Qualitäten, Neue Möglichkeiten, Neue Anwendungsfelder
185 Seiten - ISBN 3-89675-066-6
- 67 Mechatronische Produktionssysteme - Die Virtuelle Werkzeugmaschine: Mechatronisches Entwicklungsvorgehen, Integrierte Modellbildung, Applikationsfelder
148 Seiten - ISBN 3-89675-067-4
- 68 Virtuelle Produktion - Nutzenpotenziale im Lebenszyklus der Fabrik
139 Seiten - ISBN 3-89675-068-2
- 69 Kooperationsmanagement in der Produktion - Visionen und Methoden zur Kooperation - Geschäftsmodelle und Rechtsformen für die Kooperation - Kooperation entlang der Wertschöpfungskette
134 Seiten - ISBN 3-98675-069-0
- 70 Mechatronik - Strukturndynamik von Werkzeugmaschinen
161 Seiten - ISBN 3-89675-070-4
- 71 Klebtechnik - Zerstörungsfreie Qualitätssicherung beim flexibel automatisierten Kleben und Dichten
ISBN 3-89675-071-2 - vergriffen
- 72 Fabrikplanung 2004 Erfolgsfaktor im Wettbewerb - Erfahrungen - Werkzeuge - Visionen
ISBN 3-89675-072-0 - vergriffen
- 73 Rapid Manufacturing Vom Prototyp zur Produktion - Erwartungen - Erfahrungen - Entwicklungen
179 Seiten - ISBN 3-89675-073-9
- 74 Virtuelle Produktionssystemplanung - Virtuelle Inbetriebnahme und Digitale Fabrik
133 Seiten - ISBN 3-89675-074-7
- 75 Nicht erschienen - wird nicht erscheinen
- 76 Berührungslose Handhabung - Vom Wafer zur Glaslinse, von der Kapsel zur aseptischen Ampulle
95 Seiten - ISBN 3-89675-076-3
- 77 ERP-Systeme - Einführung in die betriebliche Praxis - Erfahrungen, Best Practices, Visionen
153 Seiten - ISBN 3-89675-077-7
- 78 Mechatronik - Trends in der interdisziplinären Entwicklung von Werkzeugmaschinen
155 Seiten - ISBN 3-89675-078-X
- 79 Produktionsmanagement
267 Seiten - ISBN 3-89675-079-8
- 80 Rapid Manufacturing - Fertigungsverfahren für alle Ansprüche
154 Seiten - ISBN 3-89675-080-1
- 81 Rapid Manufacturing - Heutige Trends - Zukünftige Anwendungsfelder
172 Seiten - ISBN 3-89675-081-X
- 82 Produktionsmanagement - Herausforderung Variantenmanagement
100 Seiten - ISBN 3-89675-082-8
- 83 Mechatronik - Optimierungspotenzial der Werkzeugmaschine nutzen
160 Seiten - ISBN 3-89675-083-6
- 84 Virtuelle Inbetriebnahme - Von der Kür zur Pflicht?
104 Seiten - ISBN 978-3-89675-084-6
- 85 3D-Erfahrungsforum - Innovation im Werkzeug- und Formenbau
375 Seiten - ISBN 978-3-89675-085-3
- 86 Rapid Manufacturing - Erfolgreich produzieren durch innovative Fertigung
162 Seiten - ISBN 978-3-89675-086-0
- 87 Produktionsmanagement - Schlink im Mittelstand
102 Seiten - ISBN 978-3-89675-087-7
- 88 Mechatronik - Vorsprung durch Simulation
134 Seiten - ISBN 978-3-89675-088-4
- 89 RFID in der Produktion - Wertschöpfung effizient gestalten
122 Seiten - ISBN 978-3-89675-089-1
- 90 Rapid Manufacturing und Digitale Fabrik - Durch Innovation schnell und flexibel am Markt
100 Seiten - ISBN 978-3-89675-090-7
- 91 Robotik in der Kleinserienproduktion - Die Zukunft der Automatisierungstechnik
ISBN 978-3-89675-091-4
- 92 Rapid Manufacturing - Ressourceneffizienz durch generative Fertigung im Werkzeug- und Formenbau
ISBN 978-3-89675-092-1
- 93 Handhabungstechnik - Innovative Greiftechnik für komplexe Handhabungsaufgaben
136 Seiten - ISBN 978-3-89675-093-8
- 94 iwB Seminarreihe 2009 Themengruppe Werkzeugmaschinen
245 Seiten - ISBN 978-3-89675-094-5
- 95 Zuführtechnik - Herausforderung der automatisierten Montage!
111 Seiten - ISBN 978-3-89675-095-2
- 96 Risikobewertung bei Entscheidungen im Produktionsumfeld - Seminar »Risiko und Chance«
151 Seiten - ISBN 978-3-89675-096-9
- 97 Seminar Rapid Manufacturing 2010 - Innovative Einsatzmöglichkeiten durch neue Werkstoffe bei Schichtbauverfahren
180 Seiten - ISBN 978-3-89675-097-6

- 98 Handhabungstechnik · Der Schlüssel für eine automatisierte Herstellung von Composite-Bauteilen
260 Seiten · ISBN 978-3-89675-098-3
- 99 Abschlussveranstaltung SimuSint 2010 · Modulares Simulationssystem für das Strahlenschmelzen
270 Seiten · ISBN 978-3-89675-099-0
- 100 Additive Fertigung: Innovative Lösungen zur Steigerung der Bauteilqualität bei additiven Fertigungsverfahren
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-4114-7
- 101 Mechatronische Simulation in der industriellen Anwendung
91 Seiten · ISBN 978-3-8316-4149-9
- 102 Wissensmanagement in produzierenden Unternehmen
ISBN 978-3-8316-4169-7
- 103 Additive Fertigung: Bauteil- und Prozessauslegung für die wirtschaftliche Fertigung
ISBN 978-3-8316-4188-8
- 104 Ressourceneffizienz in der Lebensmittelkette
ISBN 978-3-8316-4192-5
- 105 Werkzeugmaschinen: Leichter schwer zerspanen! Herausforderungen und Lösungen für die Zerspanung von Hochleistungswerkstoffen
120 Seiten · ISBN 978-3-8316-4217-5
- 106 Batterieproduktion – Vom Rohstoff bis zum Hochvoltspeicher
108 Seiten · ISBN 978-3-8316-4221-2
- 107 Batterieproduktion – Vom Rohstoff bis zum Hochvoltspeicher
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-4249-6

Forschungsberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Band 1–121, herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. J. Milberg und Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart, sind im Springer Verlag,
Berlin, Heidelberg erschienen

Forschungsberichte iwb ab Band 122 sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utzverlag.de, www.utzverlag.de

- 122 *Burghard Schneider*: Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile
183 Seiten · ISBN 978-3-89675-559-9
- 123 *Bernd Goldstein*: Modellgestützte Geschäftsprozessgestaltung in der Produktentwicklung
170 Seiten · ISBN 978-3-89675-546-9
- 124 *Helmut E. Mößner*: Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme
164 Seiten · ISBN 978-3-89675-585-8
- 125 *Ralf-Gunter Gräser*: Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern
167 Seiten · ISBN 978-3-89675-603-9
- 126 *Hans-Jürgen Trossin*: Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik
162 Seiten · ISBN 978-3-89675-614-5
- 127 *Doris Kugelmann*: Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern
168 Seiten · ISBN 978-3-89675-615-2
- 128 *Ralf Diesch*: Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen
160 Seiten · ISBN 978-3-89675-618-3
- 129 *Werner E. Lulay*: Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen
190 Seiten · ISBN 978-3-89675-620-6
- 130 *Otto Murr*: Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen
178 Seiten · ISBN 978-3-89675-636-7
- 131 *Michael Macht*: Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping
170 Seiten · ISBN 978-3-89675-638-1
- 132 *Bruno H. Mehler*: Aufbau virtueller Fabriken aus dezentralen Partnerverbänden
152 Seiten · ISBN 978-3-89675-645-9
- 133 *Knut Heitmann*: Sichere Prognosen für die Produktionsptimierung mittels stochastischer Modelle
146 Seiten · ISBN 978-3-89675-675-6
- 134 *Stefan Blessing*: Gestaltung der Materialflußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen
160 Seiten · ISBN 978-3-89675-690-9
- 135 *Can Abay*: Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industriekeramik
159 Seiten · ISBN 978-3-89675-697-8
- 136 *Stefan Brandner*: Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken
172 Seiten · ISBN 978-3-89675-715-9
- 137 *Arnd G. Hirschberg*: Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung
165 Seiten · ISBN 978-3-89675-729-6
- 138 *Alexandra Reek*: Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahlschweißen
193 Seiten · ISBN 978-3-89675-730-2
- 139 *Khalid-Alexander Sabbah*: Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen
148 Seiten · ISBN 978-3-89675-739-5
- 140 *Klaus U. Schiffenbacher*: Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken
187 Seiten · ISBN 978-3-89675-754-8
- 141 *Andreas Sprenzel*: Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung
144 Seiten · ISBN 978-3-89675-757-9

- 142 **Andreas Gallasch:** Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion
150 Seiten - ISBN 978-3-89675-781-4
- 143 **Ralf Cuiper:** Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen
174 Seiten - ISBN 978-3-89675-783-8
- 144 **Christian Schneider:** Strukturmechanische Berechnungen in der Werkzeugmaschinenkonstruktion
180 Seiten - ISBN 978-3-89675-789-0
- 145 **Christian Jonas:** Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen
183 Seiten - ISBN 978-3-89675-870-5
- 146 **Ulrich Willnecker:** Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen
194 Seiten - ISBN 978-3-89675-891-0
- 147 **Christof Lehner:** Beschreibung des Nd:YAG-Laserstrahlschweißprozesses von Magnesiumdruckguss
205 Seiten - ISBN 978-3-8316-0004-5
- 148 **Frank Rick:** Simulationsgestützte Gestaltung von Produkt und Prozess am Beispiel Laserstrahlschweißen
145 Seiten - ISBN 978-3-8316-0008-3
- 149 **Michael Höhn:** Sensorgeführte Montage hybrider Mikrosysteme
185 Seiten - ISBN 978-3-8316-0012-0
- 150 **Jörn Böhl:** Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-0020-5
- 151 **Robert Bürgel:** Prozessanalyse an spanenden Werkzeugmaschinen mit digital geregelten Antrieben
185 Seiten - ISBN 978-3-8316-0021-2
- 152 **Stephan Dürrschmidt:** Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion
194 Seiten - ISBN 978-3-8316-0023-6
- 153 **Bernhard Eich:** Methode zur prozesskettenorientierten Planung der Teilerbereitstellung
136 Seiten - ISBN 978-3-8316-0028-1
- 154 **Wolfgang Rudorfer:** Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke
207 Seiten - ISBN 978-3-8316-0037-3
- 155 **Hans Meier:** Verteilte kooperative Steuerung maschinennaher Abläufe
166 Seiten - ISBN 978-3-8316-0044-1
- 156 **Gerhard Nowak:** Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-0055-7
- 157 **Martin Werner:** Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen
191 Seiten - ISBN 978-3-8316-0058-8
- 158 **Bernhard Lenz:** Finite Elemente-Modellierung des Laserstrahlschweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung
162 Seiten - ISBN 978-3-8316-0094-6
- 159 **Stefan Grunwald:** Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung
216 Seiten - ISBN 978-3-8316-0095-3
- 160 **Josef Gartner:** Qualitätssicherung bei der automatisierten Applikation hochviskoser Dichtungen
165 Seiten - ISBN 978-3-8316-0096-0
- 161 **Wolfgang Zeller:** Gesamtheitliches Sicherheitskonzept für die Antriebs- und Steuerungstechnik bei Werkzeugmaschinen
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0100-4
- 162 **Michael Loferer:** Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen
178 Seiten - ISBN 978-3-8316-0118-9
- 163 **Jörg Fährer:** Ganzheitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses
176 Seiten - ISBN 978-3-8316-0124-0
- 164 **Jürgen Höppner:** Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsstarker Schallwandler
144 Seiten - ISBN 978-3-8316-0125-7
- 165 **Hubert Götte:** Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik
258 Seiten - ISBN 978-3-8316-0126-4
- 166 **Martin Weissenberger:** Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess
210 Seiten - ISBN 978-3-8316-0138-7
- 167 **Dirk Jacob:** Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0142-4
- 168 **Ulrich Roggleder:** System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen
175 Seiten - ISBN 978-3-8316-0154-7
- 169 **Robert Klingel:** Anziehfverfahren für hochfeste Schraubverbindungen auf Basis akustischer Emissionen
164 Seiten - ISBN 978-3-8316-0174-5
- 170 **Paul Jens Peter Ross:** Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung
144 Seiten - ISBN 978-3-8316-0191-2
- 171 **Stefan von Praun:** Toleranzanalyse nachgiebiger Baugruppen im Produktentstehungsprozess
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-0202-5
- 172 **Florian von der Hagen:** Gestaltung kurzfristiger und unternehmensübergreifender Engineering-Kooperationen
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-0208-7
- 173 **Oliver Kramer:** Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe
212 Seiten - ISBN 978-3-8316-0211-7
- 174 **Winfried Dohmen:** Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0214-8
- 175 **Oliver Anton:** Ein Beitrag zur Entwicklung telepräzenter Montagesysteme
158 Seiten - ISBN 978-3-8316-0215-5
- 176 **Welf Broser:** Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-0217-9
- 177 **Frank Breitingner:** Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen
156 Seiten - ISBN 978-3-8316-0227-8
- 178 **Johann von Pieverling:** Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling
163 Seiten - ISBN 978-3-8316-0230-8
- 179 **Thomas Baudisch:** Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-0249-0
- 180 **Heinrich Schieferstein:** Experimentelle Analyse des menschlichen Kausystems
132 Seiten - ISBN 978-3-8316-0251-3
- 181 **Jochim Berlek:** Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungssystemen
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-0258-2
- 182 **Christian Meierlohn:** Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung
181 Seiten - ISBN 978-3-8316-0292-6
- 183 **Volker Weber:** Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzzentrierten Unternehmensnetzwerken
230 Seiten - ISBN 978-3-8316-0330-5
- 184 **Thomas Bongardt:** Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern
170 Seiten - ISBN 978-3-8316-0332-9

- 185 **Tim Angerer:** Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0336-7
- 186 **Alexander Krüger:** Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme
197 Seiten - ISBN 978-3-8316-0371-8
- 187 **Matthias Meindl:** Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing
236 Seiten - ISBN 978-3-8316-0465-4
- 188 **Thomas Fusch:** Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-0467-8
- 189 **Thomas Mosandl:** Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgssysteme
182 Seiten - ISBN 978-3-8316-0471-5
- 190 **Christian Patran:** Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0474-6
- 191 **Robert Cisek:** Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0475-3
- 192 **Florian Auer:** Methode zur Simulation des Laserstrahlsschweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen
160 Seiten - ISBN 978-3-8316-0485-2
- 193 **Carsten Selke:** Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung
137 Seiten - ISBN 978-3-8316-0495-1
- 194 **Markus Seefried:** Simulation des Prozessschrittes der Wärmebehandlung beim Indirekten-Metall-Lasersintern
216 Seiten - ISBN 978-3-8316-0503-3
- 195 **Wolfgang Wagner:** Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostensenkung bei marktnaher Produktion
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-0586-6
- 196 **Christopher Ulrich:** Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0590-3
- 197 **Johann Härtl:** Prozessgaseinfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern
148 Seiten - ISBN 978-3-8316-0611-5
- 198 **Bernd Hartmann:** Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-0615-3
- 199 **Michael Schlip:** Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0631-3
- 200 **Florian Manfred Grätz:** Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0643-6
- 201 **Dieter Eireiner:** Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding
214 Seiten - ISBN 978-3-8316-0650-4
- 202 **Gerhard Volkwein:** Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0668-9
- 203 **Sven Roeren:** Komplexitätsvariable Einflussgrößen für die bauteilbezogene Struktursimulation thermischer Fertigungsprozesse
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-0680-1
- 204 **Henning Rudolf:** Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0697-9
- 205 **Stella Clarke-Griech:** Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0701-3
- 206 **Michael Ehrenstraßer:** Sensoreinsatz in der telepräsenten Mikromontage
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0743-3
- 207 **Rainer Schack:** Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0748-8
- 208 **Wolfgang Sudhoff:** Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion
300 Seiten - ISBN 978-3-8316-0749-5
- 209 **Stefan Müller:** Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0750-1
- 210 **Ulrich Kohler:** Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme
246 Seiten - ISBN 978-3-8316-0753-2
- 211 **Klaus Schlickeneder:** Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 **Niklas Möller:** Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 **Daniel Siedl:** Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfahrenbewegungen
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-0779-2
- 214 **Dirk Ansoerg:** Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiräumen
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0785-3
- 215 **Georg Wünsch:** Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme
238 Seiten - ISBN 978-3-8316-0795-2
- 216 **Thomas Oerth:** Strukturmekanische Berechnung und Regelungssimulation von Werkzeugmaschinen mit elektromechanischen Vorschubantrieben
194 Seiten - ISBN 978-3-8316-0798-3
- 217 **Bernd Petzold:** Entwicklung eines Operatorarbeitsplatzes für die telepräsente Mikromontage
234 Seiten - ISBN 978-3-8316-0805-8
- 218 **Lucas Papadakis:** Simulation of the Structural Effects of Welded Frame Assemblies in Manufacturing Process Chains
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0813-3
- 219 **Mathias Mörtl:** Ressourcenplanung in der variantenreichen Fertigung
228 Seiten - ISBN 978-3-8316-0820-1
- 220 **Sebastian Weig:** Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-0823-2
- 221 **Tobias Hornfleck:** Laserstrahlbiegen komplexer Aluminiumstrukturen für Anwendungen in der Luftfahrtindustrie
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0826-3
- 222 **Hans Egermeier:** Entwicklung eines Virtual-Reality-Systems für die Montagesimulation mit kraftrückkoppelnden Handschuhen
230 Seiten - ISBN 978-3-8316-0833-1
- 223 **Matthäus Sigl:** Ein Beitrag zur Entwicklung des Elektronenstrahlinterns
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0841-6
- 224 **Mark Harfensteller:** Eine Methodik zur Entwicklung und Herstellung von Radiumtargets
198 Seiten - ISBN 978-3-8316-0849-2
- 225 **Jochen Werner:** Methode zur roboterbasierten förderbandsynchronen Fließmontage am Beispiel der Automobilindustrie
210 Seiten - ISBN 978-3-8316-0857-7
- 226 **Florian Hagemann:** Ein formflexibles Werkzeug für das Rapid Tooling beim Spritzgießen
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-0861-4

- 227 **Haitham Rashidy:** Knowledge-based quality control in manufacturing processes with application to the automotive industry
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-0862-1
- 228 **Wolfgang Vogl:** Eine interaktive räumliche Benutzerschnittstelle für die Programmierung von Industrierobotern
248 Seiten - ISBN 978-3-8316-0869-0
- 229 **Sonja Schedl:** Integration von Anforderungsmanagement in den mechatronischen Entwicklungsprozess
176 Seiten - ISBN 978-3-8316-0874-4
- 230 **Andreas Trautmann:** Bifocal Hybrid Laser Welding - A Technology for Welding of Aluminium and Zinc-Coated Steels
314 Seiten - ISBN 978-3-8316-0876-8
- 231 **Patrick Neise:** Managing Quality and Delivery Reliability of Suppliers by Using Incentives and Simulation Models
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-0878-2
- 232 **Christian Habicht:** Einsatz und Auslegung zeitenfensterbasierter Planungssysteme in überbetrieblichen Wertschöpfungsketten
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-0891-1
- 233 **Michael Spitzweg:** Methode und Konzept für den Einsatz eines physikalischen Modells in der Entwicklung von Produktionsanlagen
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0931-4
- 234 **Ulrich Münzert:** Bahnplanungsalgorithmen für das robotergestützte Remote-Laserstrahlschweißen
176 Seiten - ISBN 978-3-8316-0948-2
- 235 **Georg Völlner:** Rührreibschweißen mit Schwerlast-Industrierobotern
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-0955-0
- 236 **Nils Müller:** Modell für die Beherrschung und Reduktion von Nachfrageschwankungen
286 Seiten - ISBN 978-3-8316-0992-5
- 237 **Franz Decker:** Unternehmensspezifische Strukturierung der Produktion als permanente Aufgabe
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0996-3
- 238 **Christian Lau:** Methodik für eine selbstoptimierende Produktionssteuerung
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-4012-6
- 239 **Sharif Rimpau:** Wissensbasierte Risikobewertung in der Angebotskalkulation für hochgradig individualisierte Produkte
268 Seiten - ISBN 978-3-8316-4015-7
- 240 **Michael Loy:** Modulare Vibrationswendelförderer für flexiblen Teilezuführung
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-4027-0
- 241 **Andreas Eursch:** Konzept eines immersiven Assistenzsystems mit Augmented Reality zur Unterstützung manueller Aktivitäten in radioaktiven Produktionsumgebungen
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-4029-4
- 242 **Florian Schwarz:** Simulation der Wechselwirkungen zwischen Prozess und Struktur bei der Drehbearbeitung
282 Seiten - ISBN 978-3-8316-4030-0
- 243 **Martin Georg Prasch:** Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die variantenreiche Serienmontage
261 Seiten - ISBN 978-3-8316-4033-1
- 244 **Johannes Schlip:** Adaptive Montagesysteme für hybride Mikrosysteme unter Einsatz von Telepräsenz
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-4063-8
- 245 **Stefan Lutzmann:** Beitrag zur Prozessbeherrschung des Elektronenstrahlschmelzens
242 Seiten - ISBN 978-3-8316-4070-6
- 246 **Gregor Branner:** Modellierung transienter Effekte in der Struktursimulation von Schichtbauverfahren
230 Seiten - ISBN 978-3-8316-4071-3
- 247 **Josef Ludwig Zimmermann:** Eine Methodik zur Gestaltung berührungslos arbeitender Handhabungssysteme
186 Seiten - ISBN 978-3-8316-4091-1
- 248 **Clemens Pörnbacher:** Modellgetriebene Entwicklung der Steuerungssoftware automatisierter Fertigungssysteme
280 Seiten - ISBN 978-3-8316-4108-6
- 249 **Alexander Lindworsky:** Teilautomatische Generierung von Simulationsmodellen für den entwicklungsbegleitenden Steuerungstest
294 Seiten - ISBN 978-3-8316-4125-3
- 250 **Michael Mauderer:** Ein Beitrag zur Planung und Entwicklung von rekongfigurierbaren mechatronischen Systemen – am Beispiel von starren Fertigungssystemen
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4126-0
- 251 **Roland Mark:** Qualitätsbewertung und -regelung für die Fertigung von Karosserieteilen in Presswerken auf Basis Neuronaler Netze
228 Seiten - ISBN 978-3-8316-4127-7
- 252 **Florian Reichl:** Methode zum Management der Kooperation von Fabrik- und Technologieplanung
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4128-4
- 253 **Paul Gebhard:** Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen bei Anwendung für das Rührreibschweißen
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4129-1
- 254 **Michael Heinz:** Modellunterstützte Auslegung berührungsloser Ultraschallgreifsysteme für die Mikrosystemtechnik
302 Seiten - ISBN 978-3-8316-4147-5
- 255 **Pascal Krebs:** Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-4156-7
- 256 **Gerhard Straßer:** Greiftechnologie für die automatisierte Handhabung von technischen Textilien in der Faserverbundfertigung
290 Seiten - ISBN 978-3-8316-4161-1
- 257 **Frédéric-Felix Lacour:** Modellbildung für die physikbasierte Virtuelle Inbetriebnahme materialflussintensiver Produktionsanlagen
222 Seiten - ISBN 978-3-8316-4162-8
- 258 **Thomas Hensel:** Modellbasierter Entwicklungsprozess für Automatisierungslösungen
184 Seiten - ISBN 978-3-8316-4167-3
- 259 **Sharif Zaidan:** A Work-Piece Based Approach for Programming Cooperating Industrial Robots
212 Seiten - ISBN 978-3-8316-4175-8
- 260 **Hendrik Schellmann:** Bewertung kundenspezifischer Mengenflexibilität im Wertschöpfungsnetz
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-4189-5
- 261 **Marwan Radi:** Workspace scaling and haptic feedback for industrial telepresence and teleaction systems with heavy-duty teleoperators
172 Seiten - ISBN 978-3-8316-4195-6
- 262 **Markus Ruhstorfer:** Rührreibschweißen von Rohren
206 Seiten - ISBN 978-3-8316-4197-0
- 263 **Rüdiger Daub:** Erhöhung der Nahttiefe beim Laserstrahl-Wärmeleitungsschweißen von Stählen
182 Seiten - ISBN 978-3-8316-4199-4
- 264 **Michael Ott:** Multimaterialverarbeitung bei der additiven strahl- und pulverbettbasierten Fertigung
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4201-4
- 265 **Martin Ostagthe:** System zur produktbasierten Steuerung von Abläufen in der auftragsbezogenen Fertigung und Montage
278 Seiten - ISBN 978-3-8316-4206-9
- 266 **Imke Nora Kellner:** Materialsysteme für das pulverbettbasierte 3D-Drucken
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-4223-6
- 267 **Florian Oefele:** Remote-Laserstrahlschweißen mit brillanten Laserstrahlquellen
238 Seiten - ISBN 978-3-8316-4224-3
- 268 **Claudia Anna Ehinger:** Automatisierte Montage von Faserverbund-Vorförmlingen
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-4233-5

- 269 **Tobias Zeilinger:** Laserbasierte Bauteillagebestimmung bei der Montage optischer MikrokompONENTEN
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4234-2
- 270 **Stefan Krug:** Automatische Konfiguration von Robotersystemen (Plug&Produce)
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-4243-4
- 271 **Marc Lotz:** Erhöhung der Fertigungsgenauigkeit beim Schweiß-Reibschweißen durch modellbasierte Regelungsverfahren
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4245-8
- 272 **William Brice Tekouo Moutchiho:** A New Programming Approach for Robot-based Flexible Inspection systems
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-4247-2
- 273 **Matthias Waibel:** Aktive Zusatzsysteme zur Schwingungsreduktion an Werkzeugmaschinen
158 Seiten - ISBN 978-3-8316-4250-2
- 274 **Christian Eschey:** Maschinenspezifische Erhöhung der Prozessfähigkeit in der additiven Fertigung
216 Seiten - ISBN 978-3-8316-4270-0
- 275 **Florian Aull:** Modell zur Ableitung effizienter Implementierungsstrategien für Lean-Production-Methoden
270 Seiten - ISBN 978-3-8316-4283-0
- 276 **Marcus Hennauer:** Entwicklungsbegleitende Prognose der mechatronischen Eigenschaften von Werkzeugmaschinen
214 Seiten - ISBN 978-3-8316-4306-6
- 277 **Alexander Götzfried:** Analyse und Vergleich fertigungstechnischer Prozessketten für Flugzeugtriebwerks-Rotoren
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4310-3
- 278 **Saskia Reinhardt:** Bewertung der Ressourceneffizienz in der Fertigung
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-4317-2
- 279 **Fabian J. Meling:** Methodik für die Rekombination von Anlagentechnik
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-4319-6
- 280 **Jörg Egbers:** Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter entlang des Montageplanungsprozesses
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-4328-8
- 281 **Max von Bredow:** Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit und des Risikos unternehmensübergreifender Wertschöpfungskonfigurationen in der Automobilindustrie
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-4337-0
- 282 **Tobias Philipp:** RFID-gestützte Produktionssteuerungsverfahren für die Herstellung von Bauteilen aus Faserverbundkunststoffen
142 Seiten - ISBN 978-3-8316-4346-2
- 283 **Stefan Rainer Johann Braunreuther:** Untersuchungen zur Lasersicherheit für Materialbearbeitungsanwendungen mit brillanten Laserstrahlquellen
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-4348-6
- 284 **Johannes Pohl:** Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen
202 Seiten - ISBN 978-3-8316-4358-5
- 285 **Mathey Wiesbeck:** Struktur zur Repräsentation von Montagesequenzen für die situationsorientierte Werkerführung
194 Seiten - ISBN 978-3-8316-4369-1
- 286 **Sonja Huber:** In-situ-Legierungsbestimmung beim Laserstrahlschweißen
206 Seiten - ISBN 978-3-8316-4370-7
- 287 **Robert Wiedenmann:** Prozessmodell und Systemtechnik für das lasterunterstützte Fräsen
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4384-4
- 288 **Thomas Irenhauser:** Bewertung der Wirtschaftlichkeit von RFID im Wertschöpfungsnetz
242 Seiten - ISBN 978-3-8316-4404-9

