

Multikriterielle Bewertung von Produkt-Dienstleistungssystemen zur Steigerung der Energieeffizienz von Druckluftsystemen

Ute Weißfloch



Fraunhofer-Institut für
System- und Innovationsforschung ISI

ISI-Schriftenreihe »Innovationspotenziale«

Ute Weißfloch

Multikriterielle Bewertung von Produkt-Dienstleistungssystemen zur Steigerung der Energieeffizienz von Druckluftsystemen

FRAUNHOFER VERLAG

Kontaktadresse:

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe
Telefon 07 21 68 09 - 0
Telefax 07 21 68 09 - 152
E-Mail info@isi.fraunhofer.de
URL www.isi.fraunhofer.de

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.

ISSN: 1612-7455

ISBN: 978-3-8396-0569-1

Druck: Mediendienstleistungen des
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© by **FRAUNHOFER VERLAG**, 2013

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon 07 11 9 70-25 00
Telefax 07 11 9 70-25 08
E-Mail verlag@fraunhofer.de
URL <http://verlag.fraunhofer.de>

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

Multikriterielle Bewertung von Produkt-Dienstleistungssystemen zur Steigerung der Energieeffizienz von Druckluftsystemen

Dissertation

zur Erlangung des wirtschaftswissenschaftlichen Doktorgrades der Wirtschaftswissen-
schaftlichen Fakultät der Universität Göttingen

vorgelegt von

Ute Weißfloch

aus Neustadt a. d. Aisch

Göttingen, 2013

Erstgutachterin: Prof. Dr. Jutta Geldermann

Zweitgutachter: Prof. Dr. Martin Wietschel

Prüfungsvorsitzende: Prof. Dr. Indre Maurer

Tag der mündlichen Prüfung: 17. April 2013

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	II
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis.....	IX
Abkürzungsverzeichnis	XI
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund und Problemstellung.....	1
1.2 Zielsetzung und Vorgehen	4
2 Energieeffizienz von Druckluftsystemen in der Industrie.....	7
2.1 Bedeutung von Druckluft.....	7
2.2 Einsatzbereiche und Druckluftbedarf	9
2.3 Aufbau der Systeme.....	11
2.3.1 Druckluftverteilung	12
2.3.2 Druckluftaufbereitung	13
2.3.3 Druckluftherzeugung	14
2.4 Akteure entlang des Lebenszyklus eines Druckluftsystems	16
2.5 Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz.....	18
2.6 Betriebswirtschaftliche Hemmnisse für die Umsetzung der Effizienzpotenziale	25
3 Industrielle Produkt-Dienstleistungssysteme.....	31
3.1 Abgrenzung des Begriffs.....	31
3.1.1 Ziele, Vor- und Nachteile von Produkt- Dienstleistungssystemen.....	32
3.1.2 Dimensionen.....	33

3.1.3	Kategorien	37
3.2	Techno-ökonomische Auswirkungen der Produkt-Dienstleistungssysteme	39
3.2.1	Beeinflussung der Lebenszykluskosten	39
3.2.2	Beeinflussung der Energie-/Ressourceneffizienz	43
3.3	Bedeutung industrieller Produkt-Dienstleistungssysteme für Druckluftsysteme	47
3.3.1	Übertragbarkeit der Grundidee	47
3.3.2	Bestehende Produkt-Dienstleistungssysteme in der Drucklufttechnik: Druckluftcontracting	50
3.3.3	Herausforderungen für zukünftige Entwicklungen	55
3.4	Entwicklung von Produkt-Dienstleistungssystemen	57
3.4.1	Bestehende Konzepte	59
3.4.2	Entwicklung eines Ansatzes mit Berücksichtigung der Produkt-Dienstleistungssystem-Dimensionen	61
3.5	Bewertung von Produkt-Dienstleistungssystemen	65
3.5.1	Bestehende Bewertungsansätze	66
3.5.2	Ableitung von Anforderungen	70
4	Multikriterielle Entscheidungsunterstützung für Gruppen	73
4.1	Gruppenentscheidungen	73
4.1.1	Klassen von Mehrpersonenentscheidungen	74
4.1.2	Entscheidungstheoretische Modelle	76
4.2	Multikriterielle Bewertungsmethoden	79
4.2.1	Nutzwertanalyse	81
4.2.2	Analytischer Hierarchieprozess (AHP)/Analytischer Netzwerkprozess (ANP)	82
4.2.3	Multi Attribute Utility Theory (MAUT)	84
4.2.4	ELECTRE	85
4.2.5	PROMETHEE	86
4.3	Auswahl einer geeigneten Methode	89

5	Konzeption des multikriteriellen Bewertungsverfahrens	93
5.1	Konzept zur Gruppenentscheidung mit divergierenden Zielsetzungen der Entscheidungsträger.....	93
5.1.1	Problemstrukturierung	94
5.1.2	Gewichtung.....	95
5.1.3	Modifizierter PROMETHEE-Algorithmus	99
5.2	Sensitivitätsanalysen.....	104
5.2.1	Einigkeit über Optimierungsrichtung.....	106
5.2.2	Konflikt bei Optimierungsrichtung	107
5.3	Softwaretechnische Umsetzung.....	108
6	Anwendung für das Leckagemanagement von Druckluftsystemen	113
6.1	Ausgangssituation des Fallstudienunternehmens.....	113
6.2	Vorauswahl der Alternativen	114
6.2.1	Entwicklungsprozess	115
6.2.2	Ausgewählte Konfigurationen	118
6.3	Vorstellung eines beispielhaften Kundenunternehmens	122
6.4	Bewertungsprozess.....	127
6.4.1	Festlegung der Entscheidungsträger.....	128
6.4.2	Kriterien	129
6.5	Ergebnisse	151
6.5.1	Ranking	158
6.5.2	Sensitivitätsanalysen	166
6.5.3	Diskussion	169
6.6	Handlungsempfehlungen	169
7	Kritische Würdigung und Ausblick.....	173
8	Zusammenfassung	177
	Literaturverzeichnis.....	179

9	Anhang	203
	Informationsquellen für Standardkomponenten	203
	Variation des Kundenswerpunkts	205

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Exemplarisches Übersichtsschema eines Druckluftsystems (in Anlehnung an Hirzel et al. 2012).	12
Abbildung 2.2: Beispielhaftes Lastprofil einer Produktionsstätte (© KAESER KOMPRESSOREN).	15
Abbildung 2.3: Interne und externe Akteure des Druckluftsystems (eigene Darstellung).	17
Abbildung 2.4: Leckageraten im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland (in Anlehnung an Agricola et al. 2005).	21
Abbildung 2.5: Wärmeflussdiagramm eines Kompressors(in Anlehnung an Ruppelt 2003a).	23
Abbildung 3.1: Dimensionen von Geschäftsmodellen (Lay et al. 2010).	35
Abbildung 3.2: Morphologischer Kasten (in Anlehnung an Lay et al. 2003; Lay et al. 2009b).	36
Abbildung 3.3: Kategorien von PSS (in Anlehnung an Tukker 2004).	37
Abbildung 3.4: Ermittlung des zusätzlichen Cashflows (eigene Darstellung).	40
Abbildung 3.5: Anreize bei traditionellen Geschäftsmodellen vs. PSS am Beispiel Chemikalienleasing (in Anlehnung an BiPRO 2010; Reiskin et al. 2000; Stoughton, Votta 2003).	44
Abbildung 3.6: Lebenszykluskosten einer Druckluftanlage (Radgen 2003).	49
Abbildung 3.7: Nutzer von Druckluftcontracting nach Größenklassen (Erhebung <i>Modernisierung der Produktion</i> 2009, Fraunhofer ISI. Eigene Berechnung).	55
Abbildung 3.8: Phasen der Geschäftsmodellentwicklung (Weiterentwicklung auf Basis von Schröter et al. 2008).	62
Abbildung 3.9: Bewertungskonzepte nach Dimension und Perspektive (eigene Darstellung).	66
Abbildung 4.1: Varianten zur Gruppenentscheidung mit PROMETHEE (in Anlehnung an Geldermann 2005).	88
Abbildung 5.1: Ablauf des modifizierten Gruppenbewertungsansatzes nach PROMETHEE (eigene Darstellung).	94
Abbildung 5.2: modifizierter Ansatz im Vergleich zu bestehenden Gruppenbewertungen mittels PROMETHEE (in Anlehnung an Geldermann 2005; Macharis et al. 1998 und eigene Darstellung).	99

Abbildung 5.3: Vordefinierte verallgemeinerte Präferenzfunktionen (in Anlehnung an Brans, Mareschal 2005; Geldermann 2005).	100
Abbildung 5.4: Ausgewählte Eingabemasken des Entscheidungstools.	109
Abbildung 5.5: Darstellung der Ergebnisse der Eingangs- und Ausgangsflüsse der Gruppe und der Entscheidungsträger im Entscheidungstool (fiktives Beispiel).	111
Abbildung 6.1: Varianten des Leckagemanagements (eigene Darstellung).	117
Abbildung 6.2: Ausgestaltungsmöglichkeiten des Leckagemanagements (eigene Darstellung).	121
Abbildung 6.3: Übersicht über das Druckluftsystem im Produktionsbereich 1 (eigene Darstellung).	124
Abbildung 6.4: Übersicht über das Druckluftsystem im Produktionsbereich 2 (eigene Darstellung).	126
Abbildung 6.5: Übersicht über das Druckluftsystem im Produktionsbereich 3 (eigene Darstellung).	127
Abbildung 6.6: Überblick über die Bewertungskriterien (eigene Darstellung).	146
Abbildung 6.7: Relative Stärken und Schwächen der einzelnen Konfigurationen gemäß PROMETHEE I in Abhängigkeit der Entscheidungsträger (Szenario 1) (eigene Darstellung).	152
Abbildung 6.8: Relative Stärken und Schwächen der einzelnen Konfigurationen gemäß PROMETHEE I in Abhängigkeit der Entscheidungsträger (Szenario 2) (eigene Darstellung).	153
Abbildung 6.9: Anteile der Kategorien an den relativen Stärken und Schwächen (Szenario 1) (eigene Darstellung).	155
Abbildung 6.10: Anteile der Kategorien an den relativen Stärken und Schwächen (Szenario 2) (eigene Darstellung).	157
Abbildung 6.11: Ranking der Gruppe (Szenario 1) (eigene Darstellung).	158
Abbildung 6.12: Ranking der Gruppe (Szenario 2) (eigene Darstellung).	159
Abbildung 6.13: Rankingergebnisse für die Gruppe und einzelne Entscheidungsträger nach PROMETHEE II (Szenario 1) (eigene Darstellung).	160
Abbildung 6.14: Rankingergebnisse für die Gruppe und einzelne Entscheidungsträger nach PROMETHEE II (Szenario 2) (eigene Darstellung).	160

Abbildung 6.15: Rankings der einzelnen Entscheidungsträger (Szenario 1) (eigene Darstellung).....	162
Abbildung 6.16: Rankings der einzelnen Entscheidungsträger (Szenario 2) (eigene Darstellung).....	163
Abbildung 6.17: Gruppenergebnisse für unterschiedliche Schwerpunkte des Kunden (Szenario 1) (eigene Darstellung).....	165
Abbildung 6.18: Gruppenergebnisse für unterschiedliche Schwerpunkte des Kunden (Szenario 2) (eigene Darstellung).....	166
Abbildung 6.19: Sensitivitätsanalyse bei konfliktären Zielsetzungen am Beispiel der (Kunden-)Bindung (Szenario 1) (eigene Darstellung).....	167
Abbildung 9.1: Rangfolgen des Kunden (Szenario 1) (eigene Darstellung).....	205
Abbildung 9.2: Rangfolgen des Kunden (Szenario 2) (eigene Darstellung).....	206

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Einsparpotenziale in Druckluftsystemen (Radgen 2003; Radgen, Blaustein 2001).....	18
Tabelle 2.2:	Abhängigkeit der Leckagengröße auf die Druckluftverluste (Feldmann 2003b).....	20
Tabelle 3.1:	Contractingmodelle der führenden Kompressorenhersteller im Jahr 2012 (eigene Darstellung auf Basis der im Text genannten Quellen).....	53
Tabelle 4.1:	Auflistung der MADM-Methoden (in Anlehnung an Götze 2006).	80
Tabelle 4.2:	Guidelines (in Anlehnung an Guitouni, Martel 1998).	89
Tabelle 4.3:	Analyse der MADM-Methoden hinsichtlich der benötigten Anforderungen (eigene Darstellung).	91
Tabelle 5.1:	Illustratives Beispiel für den Einfluss von konfliktären Zielsetzungen auf die Gewichtung (eigene Darstellung).....	98
Tabelle 6.1:	Anteile der Druckluftanwendungen in unterschiedlichen Einsatzgebieten (eigene Darstellung).	124
Tabelle 6.2:	Aufwendungen für Geräte (eigene Darstellung).....	134
Tabelle 6.3:	Aufwendungen für Leckagesuche und –beseitigung (eigene Darstellung).	134
Tabelle 6.4:	relevante Stundensätze (eigene Darstellung).	134
Tabelle 6.5:	Zusammenstellung der wirtschaftlichen Daten (eigene Darstellung).	135
Tabelle 6.6:	Kriterienausprägungen der Kategorie Wirtschaftlichkeit (eigene Darstellung).....	137
Tabelle 6.7:	Möglichkeiten der Leckagereduktion (eigene Darstellung).	139
Tabelle 6.8:	Kriterienausprägungen der Kategorie Technologie (eigene Darstellung).	140
Tabelle 6.9:	Kriterienausprägungen der Kategorie Markt (eigene Darstellung).	141
Tabelle 6.10:	Kriterienausprägungen der Kategorie Risiken (eigene Darstellung).	145
Tabelle 6.11:	Präferenzfunktionen und Schwellenwerte (eigene Darstellung).....	147

Tabelle 6.12:	Gewichtungen der Entscheidungsträger und der Gruppe (eigene Darstellung).....	149
Tabelle 6.13:	Anteile der Kategorien an den relativen Stärken und Schwächen (Szenario 1) (eigene Darstellung).....	156
Tabelle 6.14:	Gewichtungsszenarien für den Kunden (eigene Darstellung).....	164
Tabelle 6.15:	Sensitivitätsanalyse (Szenario 1) (eigene Darstellung).....	167
Tabelle 6.16:	Sensitivitätsanalyse (Szenario 2) (eigene Darstellung).....	168
Tabelle 9.1:	Quellen für die technische und wirtschaftliche Ausgestaltung der Standardkomponenten.....	203

Abkürzungsverzeichnis

AHP	Analytischer Hierarchieprozess
AKL	Automatisches Kleinteilelager
ANP	Analytischer Netzwerkprozess
ELECTRE	ELimination Et Choix Traduisant la REalité
kWh	Kilowattstunden
MADM	Multi-Attribut-Entscheidungen (engl. Multi Attribute Decision Making)
MAUT	Multi-Attributive Nutzentheorie (engl. multi-attribute utility theory)
MCDM	multikriterielle Entscheidungsunterstützung (engl. Multi Criteria Decision Making)
MODM	Multi-Objective Entscheidungen (engl. Multi Objective Decision Making)
OEM	Original Equipment Manufacturer
PROMETHEE	Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations
PSS	Produkt-Dienstleistungssystem(e)
TWh	Terawattstunden

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Problemstellung

Durch steigende Energiepreise, knapper werdende Ressourcen, politische Maßnahmen wie dem CO₂-Emissionshandel und die Möglichkeit zur positiven Außendarstellung als umweltfreundliches Unternehmen gewinnt das Thema Energieeffizienz im Verarbeitenden Gewerbe¹ zunehmend an Bedeutung. In Deutschland wird fast die Hälfte des Stroms in der Industrie verbraucht, gefolgt von den Privathaushalten und Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (AG Energiebilanzen e.V. 2011).

Die Umfrage „Modernisierung der Produktion“ (Schröter et al. 2009) ergab, dass Industriebetriebe schätzen, im Durchschnitt ein Einsparpotenzial von 15 % erreichen zu können, wenn sie durchweg den aktuellen Stand der Technik einsetzen würden. Einige Effizienztechnologien, die in weiten Teilen des Verarbeitenden Gewerbes eingesetzt werden können, wurden auf ihre Verbreitung getestet. Dabei stellte sich heraus, dass die Diffusion der einzelnen Technologien generell, aber auch in den unterschiedlichen Branchen vollkommen unterschiedlich weit vorangeschritten ist (Schröter et al. 2009).

Die größten Einsparpotentiale entfallen auf den Bereich der Elektromotoren, die mit 70 % den größten Teil des industriellen Stromverbrauchs ausmachen. Schwerpunkte der Elektromotoranwendungen sind Druckluftherzeugung, Ventilatoren und Pumpen. Bei all diesen Anwendungen handelt es sich um Querschnittstechnologien, die nicht nur in einer Branche eingesetzt werden, sondern in vielen Wirtschaftszweigen des Verarbeitenden Gewerbes und teilweise darüber hinaus verwendet werden. Allein zur Druckluftherzeugung werden in Deutschland jährlich 14 TWh verbraucht (Baake et al. 2008; Radgen, Blaustein 2001). Für diesen speziellen Anwendungsbereich wird ein durchschnittliches wirtschaftliches Einsparpotenzial von über 30 % ermittelt (Kaya et al. 2002; Radgen, Blaustein 2001).

Gerade in Druckluft nutzenden Unternehmen sollte Energieeffizienz deshalb eine große Rolle spielen. In Druckluftsystemen werden Kompressoren zur Erzeugung von Druckluft mithilfe von Elektromotoren und letztendlich mit Strom betrieben. Dies hat,

¹ Nach der Definition der amtlichen Statistik umfasst das Verarbeitende Gewerbe „die Herstellung von Waren, die nach ihrer Fertigung als Vorleistungsgüter, Investitionsgüter, Verbrauchs- oder Verbrauchsgüter verwendet werden. Dabei wird sowohl die industrielle als auch die handwerkliche Fertigung einbezogen sowie die Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen“ (Destatis 2012b). Gemäß der statistischen Systematik der Wirtschaftszweige in der europäischen Gemeinschaft (NACE Rev. 2), sind dem Verarbeitenden Gewerbe die Abteilungen 10 – 33 zuzuordnen (Statistisches Bundesamt 2008).

zusätzlich zu den im System auftretenden Verlusten durch Motor, Kompressor, Anlauf und Nachlauf, Druckreduzierung etc. innerhalb des Betriebs, durch den geringen Wirkungsgrad der Stromerzeugung entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Druckluft eine sehr geringe Energieausbeute zur Folge. Weitere Einschränkungen in der Effizienz ergeben sich häufig durch zu hoch gewählte Drücke oder eine nicht-optimale Systemauslegung (Kaya et al. 2002; Radgen, Blaustein 2001). Zudem gehört der Betrieb des Druckluftsystems häufig nicht zur Kernkompetenz der jeweiligen Unternehmen, so dass ihm oft wenig Beachtung zukommt und/oder auch nicht selten veraltete Anlagen im Einsatz sind, durch deren Austausch weitere Einsparpotenziale gehoben werden könnten.

Zur Realisierung der Einsparpotenziale sind sowohl technische als auch nicht-technische Maßnahmen denkbar. Technisch wird versucht, die Anlagen so effizient wie möglich auszugestalten, zum einen durch hocheffiziente Komponenten, deren Leistung auf die benötigten Druckluftmengen ausgelegt ist, zum anderen durch die Nutzung der entstehenden Abwärme zur Erwärmung von Räumen oder Brauchwasser. Eine regelmäßige Wartung hilft, das System dauerhaft energieeffizient zu nutzen (Kaya et al. 2002, Yang 2009). Zusätzlich ist eine Abstimmung des gesamten Systems von der Erzeugung über die Aufbereitung und Verteilung bis hin zur Anwendung auf die Bedarfe des Nutzers nötig.

Verschiedene Gründe hemmen jedoch die Durchführung solcher Maßnahmen. Ein wesentlicher Faktor ist die mangelnde Transparenz über den anfallenden Stromverbrauch für Druckluftherzeugung und -aufbereitung, da dieser häufig nur einen kleinen Teil des gesamten Stromverbrauchs ausmacht. Ein Grund dafür ist, dass die Abrechnung der anfallenden Stromkosten in vielen Unternehmen über Gemeinkosten erfolgt, so dass auch keine klare Verantwortlichkeit für potenzielle Einsparungen vorliegt. Durch diese mangelnde Transparenz wird bei der Beschaffung häufig auf die Investitionen geachtet und nicht auf die Betriebskosten, die jedoch bei Druckluftsystemen einen Großteil der Lebenszykluskosten ausmachen. Ein weiterer Punkt ist die Aufteilung der Verantwortung für das Druckluftsystem auf verschiedene Managementbereiche, so dass ein Konsens für ein Thema mit relativ niedriger Priorität nur schwer gefunden werden kann (Radgen 2003; Radgen, Blaustein 2001).

Um diese Barrieren zu überwinden, schlägt Radgen (2003) eine Vielzahl von Maßnahmen wie beispielsweise Werbemaßnahmen, Messkampagnen oder Wettbewerbe vor. Das Angebot von Produkt-Dienstleistungssystemen (engl. Product-service systems; PSS) ist unter dem Stichpunkt „Outsourcingverträge für Druckluftdienstleistungen“ (Radgen 2003, S. 8) ebenfalls in dieser Aufzählung enthalten. PSS sind ein Konzept, das Produkt und Dienstleistung in einer Einheit verbindet und somit eher der

"Verkauf von Nutzen" gegenüber dem traditionellen Geschäftsmodell "Verkauf von Produkten" im Vordergrund steht, was auch als "servicizing" bezeichnet wird (Rothenberg 2007; Toffel 2008). Im Fall der Pneumatiksysteme wäre dies z. B. der Verkauf von Druckluft statt der Anlage. Dabei kann das Know-how und die Erfahrung der Hersteller helfen, die Möglichkeiten der Effizienz weitgehend auszuschöpfen (Hirzel et al. 2012).

Dieser Wandel hin zur "Tertiärisierung" des Verarbeitenden Gewerbes ist durch die Komplexität vieler Produkte begründet (Léo, Phillipe 2001), die auch auf die Druckluftsysteme zutrifft. Die Entwicklung der Wertschöpfungsstufe hin zu wissensintensiven Produkten und Dienstleistungen, die bisher bei vielen Herstellern lediglich eine untergeordnete Rolle spielen, ist notwendig, um wettbewerbsfähig bleiben zu können. Dabei ändert sich die Aufteilung der Risiken, der Verantwortung und der Kosten, die mit der Eigentümerschaft verbunden sind. Die Bezahlung erfolgt nicht mehr für das Produkt, sondern für eine Lösung (Baines et al. 2007). Es sind verschiedene Konfigurationen dieser Aspekte für die konkrete Ausgestaltung möglich. Dies stellt den Anbieter bei der Einführung solcher PSS vor wichtige strategische und taktische Entscheidungen. Anbieter kann ein einzelnes Unternehmen sein, das Kompressoren oder Pneumatikbauteile des Systems herstellt oder eine Kooperation der Hersteller dieser Komponenten. Auch könnte ein unabhängiges Service-Unternehmen ein solches Geschäftsmodell anbieten. An solchen Entscheidungen sollten verschiedene Abteilungen des anbietenden Unternehmens beteiligt sein, die auch unterschiedliche Interessen vertreten und verschiedene Sichtweisen auf das Entscheidungsproblem haben. Ferner sollte auch die Perspektive möglicher Kunden in einen solchen Entscheidungsprozess integriert werden, um die Marktakzeptanz sicherzustellen. Daraus ergeben sich komplexe Entscheidungssituationen, bei denen zum einen Zielkonflikte einer Person durch die Einbindung mehrerer Entscheidungskriterien berücksichtigt werden müssen, aber auch mehrere Entscheidungsträger mit interpersonellen Zielkonflikten.

Ein Beispiel für solch einen Zielkonflikt ergibt sich daraus, dass die Einführung einer bestimmten PSS-Konfiguration zu einer vermehrten Distribution der Druckluftanlagen führen kann, wenn dadurch neue Kunden gewonnen werden können oder es zu Modernisierungen bei bestehenden Kunden kommt. Gleichzeitig kann aber auch das finanzielle Risiko des Anbieters enorm ansteigen, falls dieser z. B. das Eigentum an der Anlage behält und lediglich für die Menge der bereitgestellten Druckluft bezahlt wird. Dieses Risiko beinhaltet sowohl konjunkturelle Schwächen, in denen nicht so viel produziert und somit auch entsprechend weniger Druckluft benötigt wird, als auch die Möglichkeit, dass der Kunde vor dem Amortisationszeitpunkt Insolvenz anmeldet.

Für einen interpersonellen Zielkonflikt sei beispielhaft die Dauer der Vertragslaufzeit erwähnt. Für den Anbieter ist eine lange Vertragslaufzeit wünschenswert, da somit die Kundenbindung erhöht werden kann. Der Kunde jedoch begibt sich damit in eine Abhängigkeit vom Anbieter, die er möglichst gering halten möchte. Aus diesen Beispielen wird deutlich, dass durch den Einbezug mehrerer Kriterien und Entscheidungsträger nicht zwangsläufig eine beste Konfiguration ermittelt werden kann, sondern eine für alle Beteiligten geeignete Kompromisslösung gefunden werden sollte.

1.2 Zielsetzung und Vorgehen

Aus dieser Problemstellung ergibt sich die Frage, welche Konfiguration der PSS eine geeignete Kompromisslösung wäre, um den größtmöglichen Nutzen für Kunde und Anbieter zu generieren. Für diese Fragestellung gibt es bisher in Wissenschaft und Praxis keine zufriedenstellende Lösung, was dazu führt, dass zum einen solche Maßnahmen, die zur Steigerung der Energieeffizienz und dem Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit dienen, nur in sehr geringem Maße Verbreitung finden. Zum anderen können aber auch Anbieter, die aufgrund der mangelnden Methodik eine suboptimale Konfiguration gewählt haben, schlechte Erfahrungen mit einem solchen Angebot machen und deshalb auch die Grundidee wieder verwerfen. Deshalb bedarf es einer Bewertungsmethode, die mehrere Kriterien und verschiedene Entscheidungsträger mit individuellen Prioritäten einbeziehen kann, sowie die dadurch auftretenden Zielkonflikte für die Entscheidungsfindung transparent aufzeigt. Zudem spielt die Gewichtung der einzelnen Entscheidungsträger eine wichtige Rolle, so dass in die Bewertung auch gründliche Sensitivitätsanalysen integriert werden sollten, die ebenso die möglichen Zielkonflikte berücksichtigen können.

Eine Methode, bei der Zielkonflikte berücksichtigt werden können und auch die Prioritäten des Entscheidungsträgers zur Ergebniserzeugung beitragen, ist die multikriterielle Analyse zur Bewertung verschiedener Alternativen. Diese bietet je nach Zielsetzung des Vorhabens verschiedene Methoden. Ziel dieser Arbeit ist es, für die Auswahl einer Kompromisslösung für die passende Konfiguration eines PSS eine geeignete Bewertungsmethode auf Basis der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung zu entwickeln, die es ermöglicht, mehrere Entscheidungsträger in die Entscheidungsfindung mit einzubeziehen sowie die interpersonellen Zielkonflikte transparent aufzuzeigen. Diese Methode soll auch prototypisch in einem Softwaretool umgesetzt werden und anschließend in einer Fallstudie mit einem potenziellen Anbieter exemplarisch Anwendung finden.

Die Arbeit ist in acht Kapitel unterteilt. Nach der Einleitung wird in Kapitel 2 ein Überblick über Druckluftsysteme gegeben. Dabei werden zuerst der Aufbau solcher Systeme

me und die Zuständigkeit unterschiedlicher Akteure für die jeweiligen Bereiche thematisiert. Im Anschluss werden unterschiedliche Anwendungsfelder der Druckluft aufgezeigt. Darauf aufbauend werden verschiedene Energieeffizienzpotenziale erläutert, was in die Frage mündet, weshalb diese Potenziale bisher nur sehr zurückhaltend umgesetzt werden. Dieses Kapitel bietet somit einen Überblick über die Hintergründe des technischen Anteils der bewerteten PSS.

Im dritten Kapitel wird das Konzept der PSS erklärt. Nach einer Begriffsabgrenzung, welche die Zielsetzung und in der Arbeit verwendete Definition von PSS sowie eine mögliche Kategorisierung enthält, erfolgt eine Diskussion, wie techno-ökonomische Faktoren durch PSS beeinflusst werden können. Eine Analyse, inwieweit dieses Konzept auf Druckluftsysteme übertragbar ist und in diesem Bereich auch schon umgesetzt wurde, hilft, den Verbreitungsgrad abzuschätzen und Herausforderungen für zukünftige Entwicklungen zu identifizieren. Anschließend wird ein Konzept zur strategischen Planung und Entwicklung von PSS vorgestellt, das für die Erarbeitung der Alternativen in der Fallstudie dient. Zum Abschluss dieses Kapitels wird skizziert, welche Konzepte zur Bewertung von PSS in der Literatur bereits bestehen und welche Anforderungen für die vorliegende Fragestellung zusätzlich erfüllt sein müssen.

Für die Auswahl eines geeigneten PSS sollen mehrere Entscheidungsträger eingebunden werden. Deshalb werden in Kapitel 4 zu Beginn entscheidungstheoretische Modelle für Gruppenentscheidungen vorgestellt und im Anschluss verschiedene multikriterielle Bewertungsmethoden dahingehend analysiert, ob sie für Entscheidungssituationen mit mehreren Entscheidungsträgern und die Wahl eines passenden Geschäftsmodells geeignet sind.

Darauf aufbauend wird in Kapitel 5 auf Basis der gewählten Methode PROMETHEE ein Entscheidungsunterstützungssystem für die spezifische Fragestellung der PSS im Bereich der Druckluft unter Einbezug von notwendigen Erweiterungen konzipiert. Dabei erfolgt eine Integration von mehreren Entscheidungsträgern zu einem Gruppenentscheidungsprozess, bei dem speziell der Umgang mit interpersonellen Zielkonflikten sowie ein Vorgehen für entsprechende Sensitivitätsanalysen berücksichtigt werden. Diese methodische Weiterentwicklung wird in ein Softwaretool umgesetzt, das ebenfalls in diesem Kapitel erläutert wird.

Anschließend wird die Anwendbarkeit der Bewertungsmethode inklusive Softwaretool im Rahmen einer Fallstudie getestet. Dabei wird zunächst auf die möglichen Konfigurationen von PSS für dieses Fallstudienunternehmen eingegangen. Im Anschluss werden verschiedene Konfigurationen eines beispielhaften Geschäftsmodells multikriteriell be-

wertet und die Ergebnisse diskutiert. Auf Basis dieser Ergebnisse werden allgemeine Handlungsempfehlungen für die Einführung von PSS abgeleitet.

Abschließend erfolgen eine kritische Würdigung der Ergebnisse und ein Ausblick auf Weiterentwicklungsmöglichkeiten des erarbeiteten Bewertungssystems, bevor die Arbeit zusammengefasst wird.

2 **Energieeffizienz von Druckluftsystemen in der Industrie**

Druckluftsysteme besitzen durch ihre hohe Anwendungsbreite und den relativ hohen Energieverbrauch großes Potenzial für Energieeinsparungen. Dies wurde auch von den Experten erkannt, die die besten verfügbaren Technologien in einem Referenzdokument für Energieeffizienz (= „horizontal BREF ENE2“) erstellten (European Commission 2009). Um dieses Potenzial zu erkennen und mögliche Maßnahmen daraus abzuleiten, werden in diesem Kapitel einige Grundlagen zur Drucklufttechnik erläutert. Zunächst wird beschrieben, welche Relevanz der Einsatz von Druckluft für die Industrie besitzt und was die spezifischen Vorteile dieses Mediums sind. Ein Grund für die hohe Verbreitung von Druckluft ist ihre vielfältige Einsetzbarkeit, die im folgenden Abschnitt erläutert wird. Doch um die Druckluft zu den unterschiedlichen Anwendungen zu bringen, bedarf es eines kompletten Druckluftsystems. Der Aufbau eines solchen Systems ist zunächst näher zu betrachten, um daraus ein Verständnis für mögliche Einsparmaßnahmen zu erreichen. Sowohl Effizienzpotenziale für einzelne Bereiche als auch für das gesamte Druckluftsystem werden im Anschluss beschrieben. Die Umsetzung dieser Maßnahmen ist jedoch gering. Deshalb werden mögliche Hemmnisse diskutiert, und abschließend wird ein möglicher Weg aufgezeigt, wie diese Hemmnisse überwunden werden könnten, um eine energieeffiziente Druckluftbereitstellung und -nutzung zu ermöglichen.

2.1 **Bedeutung von Druckluft**

Druckluft ist eine Querschnittstechnologie, die in fast allen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes vertreten ist und auch nahezu in allen Betrieben zum Einsatz kommt. Insgesamt sind in Deutschland etwa 62.000 Druckluftsysteme installiert (Baake et al. 2008), wobei das Verarbeitende Gewerbe ca. 70.000 Betriebe mit mehr als 10 Mitarbeitern umfasst (Destatis 2012a). Die meisten Betriebe haben mindestens zwei Kompressoren im Einsatz und die dort erzeugte Druckluft kann für eine Vielzahl verschiedener Anwendungen verwendet werden (U.S.Department of Energy 2003). Durch die Vielfalt der Anwendungen findet der Einsatz in sehr unterschiedlichen Branchen, von der Herstellung von Lebensmitteln, Kleidung oder Möbeln bis zur Verarbeitung von Rohstoffen zu Metallen, Chemikalien, Papier etc., statt (Saidur et al. 2010). Doch nicht

2 Die Referenzdokumente dienen dazu, Verantwortlichen von Genehmigungsverfahren und Kontrollen nach der Industrieemissionsrichtlinie (engl: Industrial Emissions Directive (IED); ehemals Integrated Pollution Prevention and Control, IPPC) einen Überblick über die besten verfügbaren Technologien zu geben (EU Richtlinie 2010/75/EU 2010; European Commission 2009).

nur in nahezu allen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes, auch in anderen Bereichen wie dem Handwerk, der Landwirtschaft, dem Bergbau oder im Freizeitbereich findet Druckluft Anwendung (BayLfU 2004; U.S.Department of Energy 2003).

Mögliche Alternativtechnologien für Druckluftsysteme sind Hydrauliksysteme sowie elektrische Antriebe. Viele Vorteile der Drucklufttechnik im Vergleich zu diesen Technologien liegen jedoch auf der Hand. So ist Druckluft ein sauberes Medium, das auch in explosionsgeschützten Bereichen gefahrlos angewendet werden kann. Luft ist überall vorhanden und lässt sich komprimiert gut speichern und bei passender Auslegung in einem leakagefreien Netz mit nur geringen Verlusten auch über längere Strecken transportieren. Die Druckluft kann nach der Anwendung als Abluft ins Freie gelassen werden und muss nicht zur Quelle zurückgeführt werden. Außerdem ist sie durch das Vorhandensein von Druckluftanlagen in fast allen Betrieben und geringe Ausfallraten stets verfügbar. Das Druckluftsystem hat einen geringeren Wartungsaufwand und eine höhere Lebensdauer als elektromechanische Aggregate. Zusätzliche Vorteile von druckluftbetriebenen Werkzeugen im Vergleich zu Hydraulik- oder Elektrowerkzeugen liegen in einem geringeren Gewicht, wodurch sie einfacher zu handhaben sind. Außerdem können bei Linearbewegungen hohe Geschwindigkeiten und bei Rotationsbewegungen hohe Drehzahlen erzielt werden und die Werkzeuge sind auch bei Überlast robust (Albrecht 1993; Bierbaum, Hütter 2004; Schönung 2008).

Jedoch ist die Erzeugung der Druckluft sehr energieintensiv. Zusätzlich kommt es innerhalb des Druckluftsystems zu weiteren Verlusten (Baake et al. 2008). Die Angaben für die mechanische Nutzleistung auf Basis der zugeführten elektrischen Energie variieren zwischen 5 % und 19 % (Baake et al. 2008; Berchten, Ritz 2006; Gauchel 2006; Gloor 2000; Kreisel, Jochem 1999; Saidur et al. 2010).

Trotz der hohen Energieverluste ist die Anwendung des Energieträgers Druckluft aufgrund seiner spezifischen Eigenschaften häufig unabdingbar und nicht gleichwertig durch andere Technologien zu ersetzen (Bierbaum, Hütter 2004; Kreisel, Jochem 1999; Sattler 2008). Dadurch ergibt sich ein großer Bedarf an Lösungen, die die Energieeffizienz der Drucklufttechnologie steigern. Gemäß mehreren Studien bestehen für diese Technologie Einsparpotenziale von bis zu 50 %, abhängig von dem aktuellen Zustand des jeweiligen Druckluftsystems (Abdelaziz et al. 2011; Gauchel 2006; Qin, McKane 2008; Radgen 2003; Radgen, Blaustein 2001; U.S.Department of Energy 2003; Yang 2009).

2.2 Einsatzbereiche und Druckluftbedarf

Um die Einsparpotenziale zu identifizieren, sind zunächst die Einsatzbereiche der Druckluft sowie deren Druckluftbedarf zu analysieren. Manuelle, teilautomatisierte sowie vollautomatisierte Prozesse sind übliche Anwendungsfelder der Druckluft. Dabei können sowohl einfache Düsen und Druckluftwerkzeuge wie auch pneumatische Zylinder zum Einsatz kommen, die beispielsweise zum Reinigen, Schrauben oder Transportieren genutzt werden (Ruppelt, Bahr 2000).

Da es sehr viele unterschiedliche Anwendungen für Druckluft gibt, werden verschiedene Oberkategorien der Verwendung der Druckluft gebildet. Diese sind in den industriellen Anwendungen in Arbeits- beziehungsweise Energieluft (Plant air), Aktivluft (Instrument air) und Prozessluft (Process air) unterteilt (Dehli 2002; dena 2010; The Energy Research Institute 2000).

- Die Arbeits- beziehungsweise Energieluft wird für pneumatische Anwendungen³ verwendet, bei denen die in der Druckluft enthaltene Energie mechanische Arbeit verrichtet. Dies sind beispielsweise Maschinen, die über einen Druckluftmotor angetrieben werden, oder auch Druckluftzylinder für die Handhabung. Gerade ein hoher Automatisierungsgrad, der die Konkurrenzfähigkeit deutscher Unternehmen ermöglicht, erfordert einen hohen Anteil an Druckluft in Form von Arbeitsluft (dena 2010; The Energy Research Institute 2000). Auch Druckluftwerkzeuge wie Hämmer oder Schrauber sowie die Steuerung von Ventilen werden der Kategorie der Arbeits- beziehungsweise Energieluft zugeordnet.
- Die Aktivluft dient zum Transport von beispielsweise Schüttgütern oder den Schiffchen bei Webmaschinen sowie zur Luftlagerung (dena 2010). Auch die Zerstäubung des Beschichtungsmaterials bei Oberflächenbehandlungen mittels Druckluft z. B. zur Lackierung wird dem Bereich der Aktivluft zugeordnet (The Energy Research Institute 2000).
- Als Prozessluft wird die Druckluft bezeichnet, die direkt in den Prozess mit eingebunden ist. Beispielhaft seien hier Trocknungs- oder Belüftungsprozesse sowie Kühlanwendungen genannt. In der Lebensmittel- und pharmazeutischen Industrie sowie in der Elektronikbranche finden häufig Prozesse statt, die Prozessluft erfordern (dena 2010; The Energy Research Institute 2000).

³ In neueren Veröffentlichungen wird der Begriff der Pneumatik häufig auf die Antriebs- und Handhabungstechnik im Bereich der Arbeits- beziehungsweise Energieluft eingeschränkt (dena 2010; Hirzel et al. 2012). In einer früheren Veröffentlichung galt die Pneumatik als „die Gesamtheit aller technischen Anwendungen unter Ausnützung der in Druckluft gespeicherten Energie“ (Deppert, Stoll 1982).

- Zusätzlich zu diesen drei Anwendungsgebieten wird häufig auch Vakuum mit Hilfe von Druckluft erzeugt. Mögliche Anwendungen für industrielles Vakuum sind Verpacken, Trocknen, Positionieren, Saugen, Spannen etc. (dena 2010).

Für den Bereich der Arbeitsluft besteht häufig auch die Alternative, diese Anwendungen mit Elektroantrieben zu betreiben. Deshalb sollte der Entscheidung für eine Antriebsart ein sorgfältiger Auswahlprozess vorangestellt sein, wenn sich durch die Druckluftantriebe keine Vorteile bezüglich der Handhabung, Sicherheit o. ä. ergeben (Dehli 2002; Hirzel et al. 2012). Auflistungen mit inadäquaten Druckluftanwendungen wie Kühlen, Mischen oder der Einsatz von nichtregulierten Anwendungen gibt es in vielen Praxisleitfäden (Peltomaa 2010a; The Energy Research Institute 2000; U.S.Department of Energy 2003).

Um den exakten Druckluftbedarf zu ermitteln, ist es wichtig, den benötigten Volumenstrom, den notwendigen Druck und die erforderliche Druckluftqualität der unterschiedlichen Einsatzbereiche zu beurteilen. Die entsprechenden Anforderungen bezüglich Druckniveau, Qualität und Menge wirken sich auf das komplette Druckluftsystem aus (Peltomaa 2010a; The Energy Research Institute 2000; U.S.Department of Energy 2003).

Die verschiedenen Kategorien der Druckluftanwendungen stellen unterschiedliche Anforderungen an die Druckluftqualität. Diese nehmen von der Arbeits- über die Aktiv- bis zur Prozessluft zu. Zusätzlich werden die Erfordernisse bezüglich der Druckluftqualität auch von den Umgebungsbedingungen der jeweiligen Prozesse beeinflusst. Je reiner die Druckluft sein soll, desto höher sind die Kosten für die Aufbereitung (Peltomaa 2010a). Nach ISO 8573-1 sind verschiedene Druckluftqualitätsklassen festgelegt, die den maximal verbleibenden Feststoff-, Wasser- und Ölgehalt in der Druckluft entsprechend definieren. Die drei Größen können unterschiedlichen Klassen angehören. Genaue Angaben zu Partikelanzahl und -größe, Drucktaupunkt⁴ und Ölgehalt, die erfüllt sein müssen, um einer entsprechenden Qualitätsklasse anzugehören, sind der erwähnten ISO-Norm (ISO 8573-1) zu entnehmen.

Der benötigte Volumenstrom ergibt sich aus den durchschnittlichen Druckluftverbräuchen aller Prozesse. Jedoch ist auch das Lastprofil notwendig, um zeitliche Schwankungen der Druckluftnachfrage zu berücksichtigen und somit die Anlage so effizient wie möglich – auch im Teillastbetrieb – zu gestalten. Ein konstantes Level im Lastprofil

⁴ Der Drucktaupunkt gibt die Temperatur an, bei der die komprimierte Luft mit Wasserdampf gesättigt ist, d. h. bei einer weiteren Abkühlung der Luft fällt Kondensat aus.

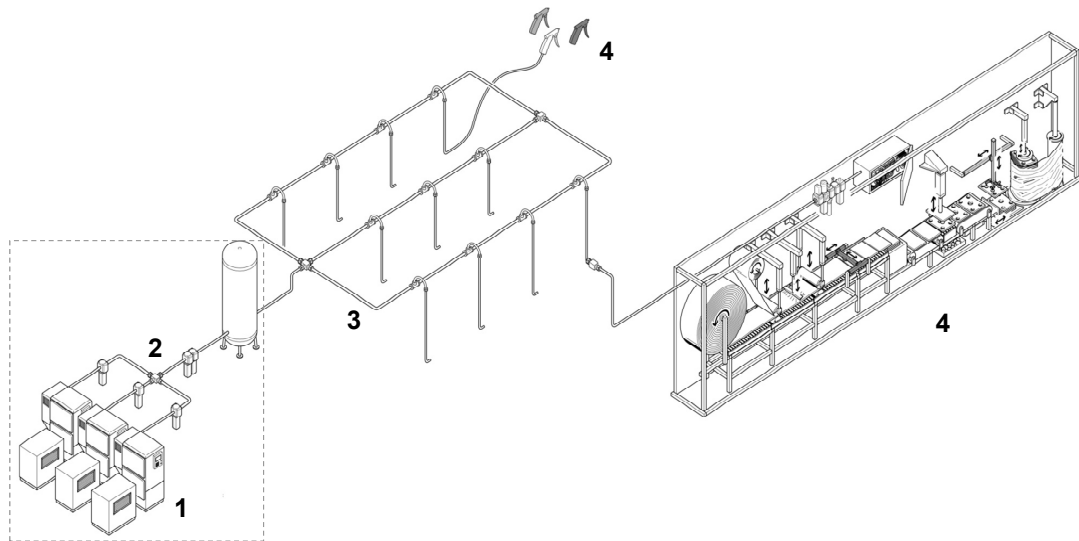
liefern ungesteuerte Anwendungen⁵, die jedoch soweit möglich eliminiert werden sollten, da sie durch die fehlende Steuerung einen sehr hohen Druckluft- und somit Energiebedarf mit sich bringen, selbst wenn ihre Funktion nicht ständig gebraucht wird (Peltomaa 2010a). Um das notwendige Druckniveau zu identifizieren, müssen auftretende Druckabfälle in der Aufbereitung und Verteilung mit betrachtet werden, so dass beim Verbraucher noch das entsprechende Drucklevel geliefert werden kann (The Energy Research Institute 2000). Als Verbraucher werden im Folgenden Maschinen beziehungsweise einzelne Komponenten bezeichnet, die für die Ausübung ihrer Funktionalität Druckluft benötigen.

2.3 Aufbau der Systeme

Ein Druckluftsystem setzt sich aus vier verschiedenen Bereichen zusammen. Für die Identifikation von Einsparpotenzialen können sie einzeln oder integriert betrachtet werden. In beiden Fällen ist es aber notwendig, das Zusammenspiel dieser Bereiche zu verstehen. Abbildung 2.1 zeigt den Aufbau eines exemplarischen Druckluftsystems mittels eines Übersichtsschemas.

Der Druckluftbedarf ergibt sich aus den verschiedenen Anwendungen, die letztendlich den Nutzen der Druckluft generieren. Die Art der Anwendungen bestimmt den Aufbau der vorgelagerten Anlagenbereiche. Die Verteilung der Druckluft zu den verschiedenen Anwendungen erfolgt durch ein Rohrleitungsnetz. Damit die Druckluft die Qualitätsanforderungen der Einsatzbereiche erfüllt, muss sie vorher entsprechend aufbereitet werden. Ganz zu Beginn der Kette steht die Erzeugung der Druckluft, durch die Kompression der Umgebungsluft in ausreichender Menge auf das erforderliche Druckniveau. Häufig findet in einer räumlich getrennten Kompressorstation die zentrale Erzeugung und Aufbereitung der Druckluft statt. Je nach Einsatzbedingungen, kann die Anordnung der Funktionsbereiche aber variieren, so dass beispielsweise bei einzelnen Anwendungen mit abweichenden Bedarfen die Luft dezentral komprimiert und/oder aufbereitet wird (Ruppelt, Bahr 2000). Da die Einsatzbereiche der Druckluftanwendungen bereits in Kap. 2.2 beschrieben wurden, sei hier nur noch erwähnt, dass die verschiedenen Verbraucher wie Werkzeuge und Pneumatikventile und -zylinder betrachtet werden können oder eine Ebene nach oben aggregiert, die Maschinen, in denen diese Komponenten eingebaut sind.

⁵ Ungesteuerte Anwendungen sind beispielsweise Düsen, die kein Ventil vorgeschaltet haben, und somit stetig Druckluft verbrauchen. Eine beispielhafte Anwendung ist die Verwendung von Sperrluft an Maschinen, um vor dem Eindringen von Verunreinigungen zu schützen.



1) Druckluftherzeugung; 2) Druckluftaufbereitung; 3) Druckluftverteilung; 4) Druckluftanwendungen

Abbildung 2.1: Exemplarisches Übersichtsschema eines Druckluftsystems (in Anlehnung an Hirzel et al. 2012).

2.3.1 Druckluftverteilung

Der Funktionsbereich der Druckluftverteilung dient zur Versorgung der Verbraucher mit Druckluft (Feldmann 2003b). Dafür soll diese möglichst effizient transportiert werden. Als Anforderungen an die Druckluftverteilung ergeben sich der Transport von ausreichend Druckluft mit dem erforderlichen Druck und der benötigten Druckluftqualität, so dass alle Verbraucher entsprechend ihrer Bedürfnisse betrieben werden können (Bierbaum, Hütter 2004; European Commission 2009; Radgen, Blaustein 2001; Saidur et al. 2010; Šešljija et al. 2009). Zusätzlich sollte der Betrieb sicher und zuverlässig sein und Wartungsarbeiten am Rohrleitungssystem dürfen nicht das ganze System stilllegen (Bierbaum, Hütter 2004).

Die Druckluftverteilung lässt sich in die Bereiche Haupt-, Verteilungs- und Anschlussleitung unterteilen. Die Hauptleitung verbindet die Kompressoren mit der Verteilungsleitung, während diese den Transport zu den einzelnen Anwendungsbereichen sicherstellt. Diese kann als Stich- oder Ringleitung konzipiert sein, wobei eine Ringleitung diverse Vorteile bietet (Bierbaum, Hütter 2004; The Energy Research Institute 2000). So dient die Ringleitung selbst als zusätzliches Puffervolumen und die Druckluft hat eine kürzere Strecke bis zur Anwendung zurückzulegen, so dass ein geringerer Druckabfall zu verzeichnen ist. Auch Erweiterungen, Änderungen und Reparaturarbeiten lassen sich mit einer Ringleitung besser ermöglichen (Feldmann 2003a). Jedoch wird für eine Ringleitung mehr Material benötigt als bei einer Stichleitung (Bierbaum, Hütter 2004). Letztlich endet die Druckluftverteilung in der Anschlussleitung, die den Verbrau-

cher an das Druckluftnetz anbindet. In diesem Bereich wird auch oder ausschließlich flexibles Material wie z. B. Schläuche für die Leitungen verwendet (Feldmann 2003a).

Des Weiteren ist ein Druckluftspeicher integriert, der zusätzliche Speicherkapazität zur Verfügung stellt und somit für ein stabileres Druckniveau sorgt, da durch die Speicherkapazität Schwankungen im Druck ausgeglichen werden können⁶ (Bierbaum, Hütter 2004; The Energy Research Institute 2000).

2.3.2 Druckluftaufbereitung

Für die Aufbereitung von Druckluft gibt es verschiedene Gründe. Gerade beim Einsatz als Prozessluft spielt die Sicherstellung der Produktqualität eine wichtige Rolle (dena 2010). Doch eine angemessene Druckluftqualität wirkt sich auch auf die zuverlässige Funktionsweise der technischen Anwendung aus und führt somit zu einer geringeren Anzahl an Betriebsstörungen und einem geringeren Wartungsaufwand (Bierbaum, Hütter 2004). Auch wird die gesamte Druckluftanlage durch gut aufbereitete Druckluft weniger beansprucht. Alles in allem hat diese eine längere Nutzungsdauer der Verbraucher und anderer Anlagenkomponenten zur Folge (Bierbaum, Hütter 2004). Nicht zuletzt spielen auch die Themen Arbeitsplatzsicherheit und Umweltschutz eine Rolle (dena 2010).

Die Notwendigkeit der Aufbereitung wird ersichtlich, wenn die Zusammensetzung eines Kubikmeters atmosphärischer Luft betrachtet wird. Darin ist bereits eine große Menge an Verunreinigungen enthalten⁷, die sich bei einer Verdichtung entsprechend vervielfachen. So ist bei einem Überdruck von 7 bar die achtfache Menge an Feuchtigkeit und anderen Verunreinigungen enthalten. Je nach Anforderungen an die Druckluft, müssen diese so reduziert werden, dass sie der entsprechenden Druckluftklasse bezüglich Filtergrad, Ölgehalt sowie Drucktaupunkt entsprechen. Dafür muss die Luft gefiltert und getrocknet werden (Ruppelt 2003b).

Es gibt viele verschiedene Arten von Filtern, die spezielle Funktionen erfüllen. Ausgehend von den Anforderungen, die die Druckluft erfüllen muss und den Arten und Konzentrationen der Verunreinigungen kann der Filterungsprozess festgelegt werden, d. h.

⁶ Gleichzeitig kann der Speicher auch der Aufbereitung zugeordnet werden, da die Luft im Speicher weiter abkühlt, wodurch zusätzliches Wasser abgeschieden werden kann (Bierbaum, Hütter 2004).

⁷ 1m³ atmosphärische Luft enthält 180 Mio. Schmutzpartikel, Wasser in Form von Luftfeuchtigkeit (5-40 g), Öl als Aerosole, unverbrannte Kohlenwasserstoffe und Spuren von Schwermetallen (Peltomaa 2010a; Bierbaum, Hütter 2004)

wie viele Schritte mit welchen Filterelementen wo stattfinden sollen (Šešlija et al. 2009).

Bei der Trocknung können drei verschiedene Funktionsweisen unterschieden werden, die Kondensation, die Sorption und die Diffusion, wobei die beiden erstgenannten am häufigsten vorkommen. Wird keine sehr trockene Luft benötigt, werden meist Kältetrockner eingesetzt, die nach dem Prinzip der Kondensation funktionieren, da diese weniger Energie benötigen als die Adsorptionstrockner (Bierbaum, Hütter 2004; Hochgräfer 2003; Kaeser Kompressoren o. J.; Peltomaa 2010a).

2.3.3 Druckluftherzeugung

Die bei den Anwendungen benötigte Druckluft wird durch Kompressoren produziert. Dabei gibt es zwei verschiedene Kompressortypen, die nach unterschiedlichen Verdichtungsprinzipien funktionieren. Bei dem Verdrängungskompressor gibt es einen geometrisch exakt festgelegten Kompressionsraum, der beispielsweise durch oszillierende Bewegung eines Kolbens oder rotatorische Bewegung zweier Schrauben verkleinert und vergrößert wird. Dieses Prinzip wird vor allem bei geringen Liefermengen und hohem Druckniveau eingesetzt. Der Turbokompressor beruht auf dem Prinzip der dynamischen Verdichtung, bei dem Luft beschleunigt und wieder abgebremst wird. Hauptsächlich findet er bei großen Liefermengen mit niedrigem Druckniveau Anwendung (Bierbaum, Hütter 2004; Ruppelt 2003d).

Ein typisches Druckniveau in der Industrie ist 6 – 10 bar Überdruck, kann jedoch auch höhere Werte von bis zu 400 bar annehmen (Bierbaum, Hütter 2004). Der Volumenstrom variiert stark zwischen einigen Litern bis hin zu mehreren hundert Kubikmetern pro Minute (Peltomaa 2010a). Kommen in einem Betrieb unterschiedliche Bedarfe bezüglich des Druckniveaus auf, bietet es sich an, unterschiedliche Druckbereiche zu definieren, um dann mit adäquaten Verdichtern die jeweiligen Druckniveaus zu decken (Šešlija et al. 2009).

Generell ist die richtige Auswahl der Kompressorentypen wichtig für die Effizienz der Anlage. Dabei gilt es zu beachten, dass der spezifische Energieverbrauch mit dem erforderlichen Volumenstrom variiert.

Auch die Regelung leistet einen entscheidenden Beitrag zur effizienten Handhabung des Druckluftsystems. Sie reguliert die Einschaltzeiten der Druckluftkompressoren so, dass die Anforderungen der Druckluftanwendung erfüllt werden, aber auch die Wechsel zwischen Lastbetrieb, Leerlauf und Stillstand möglichst energieeffizient und ver-

schleißarm gehandhabt werden⁸ (Bierbaum, Hütter 2004; Peltomaa 2010a; Radgen, Blaustein 2001; Šešlija et al. 2009; The Energy Research Institute 2000). Die Herausforderung einer guten Regelung stellt sich hauptsächlich bei komplexen Systemen mit mehreren Kompressoren, die variierende Bedarfe für unterschiedliche Arten von Druckluftverbrauchern zu erfüllen haben (Radgen, Blaustein 2001; Šešlija et al. 2009; The Energy Research Institute 2000). Abbildung 2.2 zeigt ein beispielhaftes Lastprofil einer Produktionsstätte mit Verbundnetz im Dreischichtbetrieb. Dabei werden die Schwankungen des Druckluftbedarfs deutlich sichtbar.

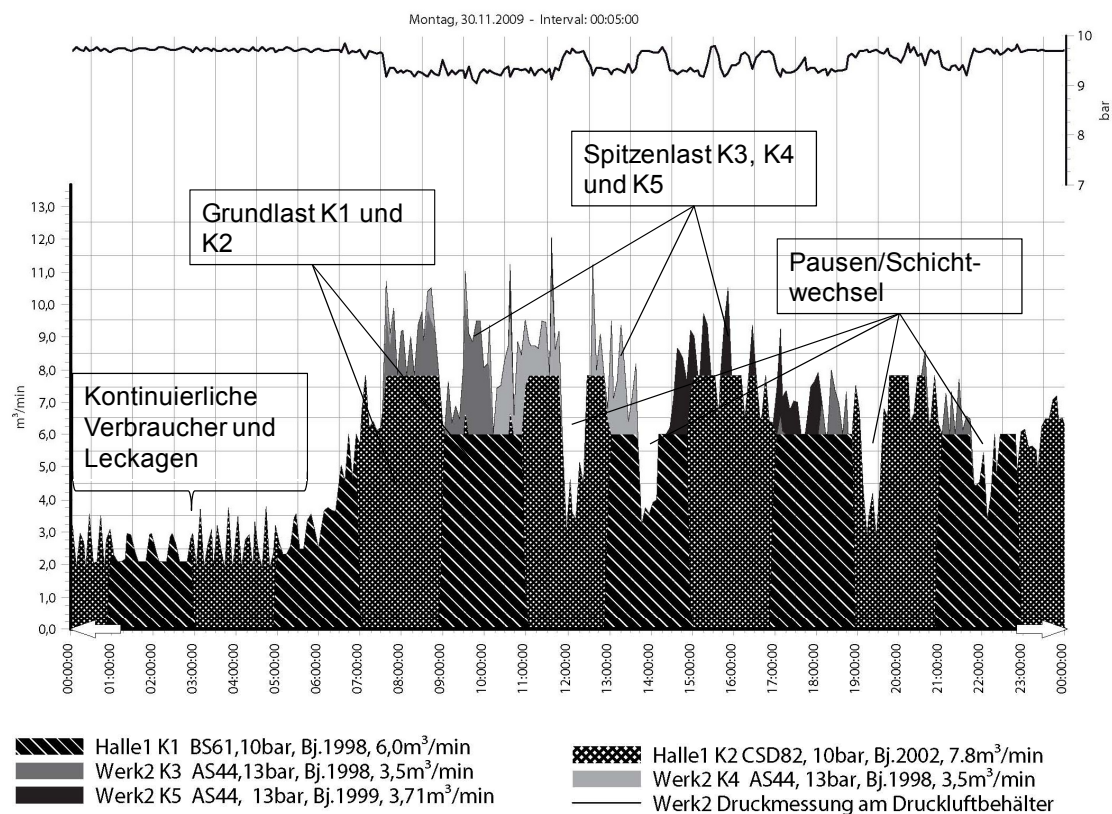


Abbildung 2.2: Beispielhaftes Lastprofil einer Produktionsstätte (© KAESER KOMPRESSOREN).

Bei der Nutzung mehrerer Kompressoren erfolgt normalerweise eine Einteilung der Kompressoren in Grundlast, Mittellast und Spitzenlast, wobei die Grund- und Mittellastkompressoren meist eine konstante Menge an Druckluft liefern, während der Spitzen-

⁸ Hierbei entsteht ein Trade-off. Einerseits werden beim Leerlaufbetrieb noch ca. 30 % der Energie, die für den Lastbetrieb benötigt wird, verbraucht. Andererseits wird durch häufige Motorschaltspiele bei Wechseln zwischen Lastbetrieb oder Leerlauf und Stillstand der Verschleiß erhöht (Bierbaum, Hütter 2004).

lastkompressor in Teillast betrieben werden kann und somit entsprechend der variablen Bedarfe der Verbraucher die Luft komprimiert (Ruppelt 2003e; Ruppelt, Bahr 2000). Eine solche Einteilung ist bei einer zentralen Anordnung der Kompressoren möglich, wie sie in industriellen Anwendungen der Regelfall ist (Ruppelt 2003c). Jedoch kann in manchen Betrieben auch eine dezentrale Bereitstellung der Druckluft vorteilhaft sein, beispielsweise in Kleinbetrieben oder bei unterschiedlichen Druckniveaus (Ruppelt, Bahr 2000).

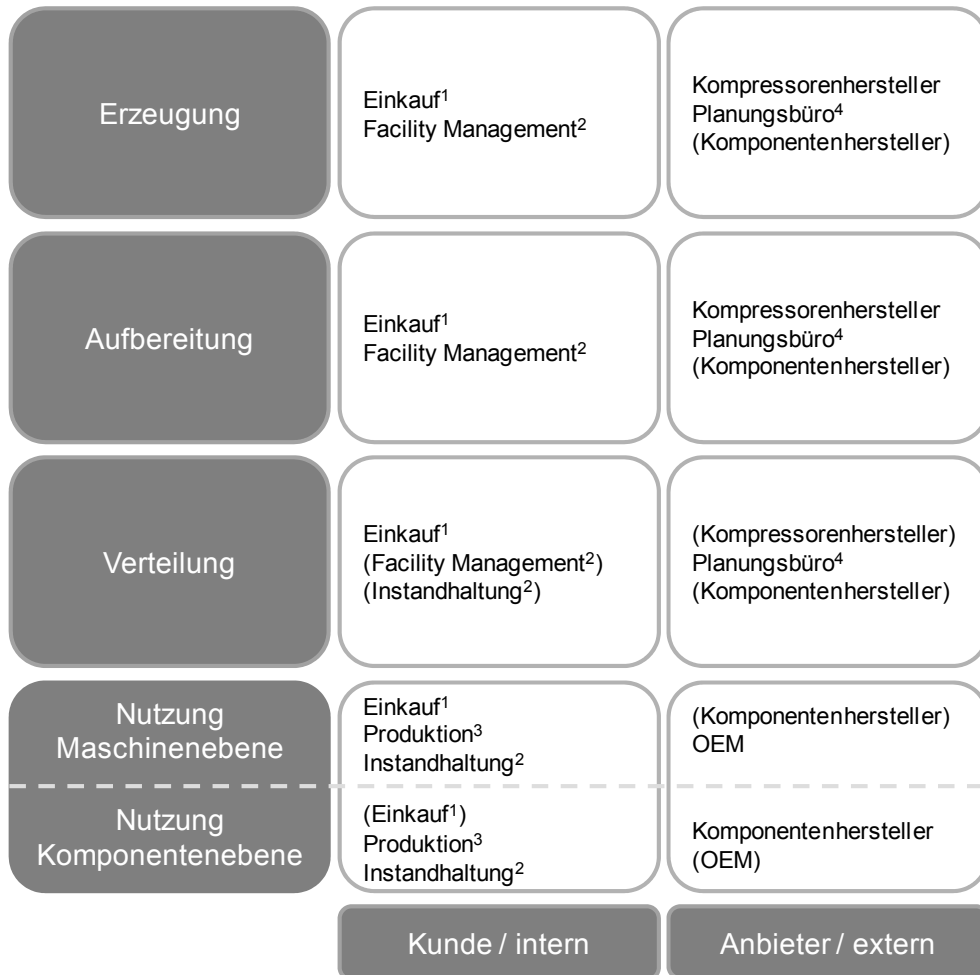
2.4 Akteure entlang des Lebenszyklus eines Druckluftsystems

An der Erstellung, dem Betrieb und der Wartung eines Druckluftsystems sind mehrere Akteure beteiligt, denen verschiedene Verantwortlichkeitsbereiche unterliegen. Dabei kann zwischen internen Akteuren des druckluftnutzenden Unternehmens und externen Akteuren unterschieden werden (Abbildung 2.3).

Auf Anbieterseite können bei der Errichtungsphase der Erzeugung, Aufbereitung und Verteilung sowohl der *Kompressorenhersteller* als auch ein *Planungs-/Ingenieurbüro* beteiligt sein. Zusätzlich spielen hier auch noch *Filterhersteller* und *Hersteller von Armaturen* als Zulieferer eine Rolle, die jedoch normalerweise nicht in direktem Kontakt mit dem Nutzer des Systems stehen. Auch bei einem weiteren Ausbau des Druckluftsystems können diese Akteure beteiligt sein. Bei der Wartung der Kompressorstation (inklusive Aufbereitung) ist von externer Seite nur noch der Kompressorenhersteller aktiv, da dieser die technischen Kompetenzen hierfür besitzt. Durch sogenannte Contractingmodelle⁹ kann der Zuständigkeitsbereich bis hin zum Betrieb der Kompressorstation ausgedehnt werden. In der Verteilung sind nach der Erstellung häufig keine externen Akteure mehr beteiligt. Für die Nutzung auf Komponentenebene ist der *Pneumatikkomponentenhersteller* der Kompetenzträger für Auslegung und Wartung. Da die Nutzung der Komponenten in die Maschinen integriert ist, übernimmt häufig auch ein *Maschinenhersteller (OEM – Original Equipment Manufacturer)* die Auslegung der Komponenten für die Maschinen und steht beim Verkauf in direktem Kontakt mit dem Kunden. Der OEM wird dann wiederum vom Pneumatikkomponentenhersteller beliefert. Die Wartung der Maschinen und Pneumatikkomponenten kann extern sowohl durch den OEM als auch durch den Pneumatikkomponentenhersteller erfolgen. Für Erweiterungen der Anwendungen in einem bestehenden System benötigen diese bei-

⁹ Produkt-Dienstleistungssysteme für die Druckluftbereitstellung. Eine ausführliche Erklärung hierzu erfolgt in Abschnitt 3.3.2

den Akteure auch Know-how für die vorherigen Abschnitte des Druckluftsystems, um beispielsweise notwendige Erweiterungen einzelner Bereiche zu erkennen.



¹ Beschaffung von neuem System und Ersatzteilen

² Wartung, Reparatur während Betriebsphase

³ Nutzung während Betriebsphase

⁴ nur Planung/Auslegung

Abbildung 2.3: Interne und externe Akteure des Druckluftsystems (eigene Darstellung).

Werden die Zuständigkeiten kundenseitig betrachtet, ergeben sich auch hier verschiedene Zuständigkeiten einzelner Abteilungen während des gesamten Lebenszyklus des Druckluftsystems. So ist der Einkauf für die Beschaffung aller Bestandteile des Systems und nötiger Ersatzteile zuständig. Das Facility-Management ist für die Wartung und Reparatur der Kompressorstation und eventuell noch des Verteilnetzes während der Betriebsphase zuständig. Das Gegenstück hierzu auf der Nutzungsebene, sei es auf Komponenten- oder Maschinenebene, ist die Instandhaltungsabteilung, die sich um einfachere Ausfälle kümmert und bei aufwändigeren Reparaturen Kontakt mit dem Ma-

schinen- oder Pneumatikkomponentenhersteller aufnimmt. Für den fachgerechten Betrieb der Maschinen und damit auch der Komponenten ist der Produktionsbereich verantwortlich.

2.5 Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz

Druckluft ist ein sehr energieintensives Medium. Diese Energieintensität kann jedoch durch Einsparpotenziale etwas reduziert werden, die an unterschiedlichen Bereichen des Systems oder auch bereichsübergreifend bestehen. Eine wichtige Voraussetzung, um diese Einsparpotenziale realisieren zu können, ist jedoch, den eigenen Energieverbrauch zu kennen und regelmäßig zu überprüfen. Daraus können dann Einsparpotenziale erkannt werden und entsprechende Maßnahmen geplant und durchgeführt werden (Peltomaa 2010b).

Einen Überblick über mögliche Energieeinsparmaßnahmen und das durchschnittlich zu realisierende Energieeinsparpotenzial gibt Tabelle 2.1 (Radgen, Blaustein 2001). Alle aufgeführten Maßnahmen amortisieren sich nach spätestens 3 Jahren.

Tabelle 2.1: Einsparpotenziale in Druckluftsystemen (Radgen 2003; Radgen, Blaustein 2001).

Energieeinsparmaßnahme	Anwendbarkeit ¹	Effizienzgewinn ²	Gesamtpotenzial ³	Amortisationsdauer in Monaten
Neuanlage oder Ersatzinvestition				
Verbesserte Antriebe (hocheffiziente Motoren)	25 %	2 %	0,5 %	12
Verbesserte Antriebe (drehzahlvariable Antriebe)	25 %	15 %	3,8 %	9
Technische Optimierung des Kompressors	30 %	7 %	2,1 %	18
Einsatz effizienter und übergeordneter Steuerungen	20 %	12 %	2,4 %	6
Wärmerückgewinnung für Nutzung in anderen Funktionen	20 %	20 %	4,0 %	6
Verbesserte Druckluftaufbereitung (Kühlung, Trocknung und Filterung)	10 %	5 %	0,5 %	6
Gesamtanlagenauslegung inkl. Mehrdruckanlagen	50 %	9 %	4,5 %	18
Verminderung der Druckverluste im Verteilsystem	50 %	3 %	1,5 %	12
Optimierung von Druckluftgeräten	5 %	4 %	2 %	18
Anlagenbetrieb und Instandhaltung				
Verminderung der Leckageverluste	80 %	20 %	16 %	6
Häufigerer Filterwechsel	40 %	2 %	0,8 %	18
Summe ⁴			32,9 %	
Legende: ¹ % Druckluftanlagen, in denen diese Maßnahme anwendbar und rentabel ist ² % Energieeinsparungen des jährlichen Energieverbrauchs ³ Einsparungspotenzial = Anwendbarkeit * Effizienzgewinn ⁴ Die gesamten Einsparungen sind kleiner als die Summe der Einsparungen der einzelnen Maßnahmen.				

Einige dieser Maßnahmen werden auch von anderen Autoren aufgegriffen (Abdelaziz et al. 2011; Kaya et al. 2002; Saidur et al. 2010; Yang 2009), zusätzlich wird noch die Verwendung von Ansaugluft von außen vorgeschlagen, da es weniger Energie bedarf, kalte Luft auf ein gewisses Druckniveau zu komprimieren als warme/wärmere Luft (Kaya et al. 2002; Saidur et al. 2010). Darüber hinaus sollte im Kompressorraum und bei den Zwischenkühlern auf Sauberkeit geachtet werden, damit die Druckluftaufbereitung weniger aufwändig wird. Bereits eingangs wurde erwähnt, dass Druckluft aufgrund der hohen Energieintensität nur verwendet werden sollte, wenn sie spezifische Vorteile bringt, d. h. der unangemessene Einsatz von Druckluft sollte minimiert werden (Yang 2009).

Eine Umsetzung all dieser von Radgen, Blaustein (2001) untersuchten Maßnahmen hätte eine durchschnittliche Einsparung von 32,9 %¹⁰ des bisherigen Stromverbrauchs für die Druckluftherzeugung und Aufbereitung zur Folge, die im Einzelfall auch bedeutend höher ausfallen kann. Hochgerechnet auf den gesamtdeutschen Energieverbrauch von 14 TWh für die Druckluftherzeugung wären dies 4,6 TWh beziehungsweise bei einem durchschnittlichen Preis von 0,10 Euro/kWh eine monetäre Einsparung von 460 Mio. Euro. Umgerechnet auf die 62.000 Druckluftanlagen hätte dies pro Druckluft verwendenden Betrieb eine jährliche Einsparung von durchschnittlich 7.420 Euro zur Folge.

Im Folgenden sollen die vier effektivsten Maßnahmen genauer erläutert werden, die in Summe rund 85 % des ermittelten Gesamteinsparpotenzials von ca. einem Drittel ausmachen.

Leckagen reduzieren

Die Minimierung von Leckageverlusten gilt mit 16 % Einsparpotenzial als effektivste Maßnahme, was vielfach in der Literatur aufgegriffen wird (Abdelaziz et al. 2011;; European Commission 2009; Kaya et al. 2002; Saidur et al. 2010; Šešlija et al. 2009; Yang 2009). Dieses Einsparpotenzial entspricht nahezu der Hälfte des Gesamtpotenzials. Diese Maßnahme betrifft das gesamte System und ist besonders wichtig, da Leckagen auch bei Produktionsstillständen beispielsweise nachts oder an den Wochenenden zu Verlusten führen. In der Verteilung treten Leckagen überwiegend an Verbindungen, z. B. Kupplungen, Anschlüsse, Dichtungen etc. und potentiellen Öffnungen wie Ventilen oder Kondensatabscheidern auf (Peltomaa 2010a; U.S.Department of Energy 2004). Hauptsächlich kommen Leckagen im Bereich der Druckluftnutzung vor,

¹⁰ Das Gesamtpotenzial der Einsparungen ist geringer als die Summe der Einzelmaßnahmen, da sie sich gegenseitig beeinflussen.

da es gerade im Bereich der Maschinenanschlüsse beispielsweise durch Vibration und thermische Einflüsse zu undichten Stellen kommt (Feldmann 2003b; Radgen 2004).

Welchen Einfluss bereits kleine Leckagen auf den Energieverbrauch und folglich auch auf die finanziellen Ressourcen haben, wird in Tabelle 2.2 verdeutlicht. Die möglichen Einsparungen steigen exponentiell mit dem Durchmesser der Leckage (Abdelaziz et al. 2011; Kaya et al. 2002; Saidur et al. 2010). Jedoch kann durch die Verminderung von Leckagen nicht nur Energie gespart werden, auch die Kompressorenkapazität und die Betriebszeiten der Kompressoren können reduziert werden. Fällt der Betriebsdruck – z. B. verursacht durch Leckagen – unter ein bestimmtes Minimum, können die Endverbraucher weniger effizient arbeiten und es kann unter Umständen zum Ausfall der gesamten Produktionslinien führen (Šešlija et al. 2009). Auch kann es zu erhöhtem Wartungsaufwand bis hin zur Verkürzung der Lebensdauer des Equipments kommen (Kaya et al. 2002; Saidur et al. 2010).

Tabelle 2.2: Abhängigkeit der Leckagengröße auf die Druckluftverluste (Feldmann 2003b).

Lochdurchmesser [mm]	bei 6 bar _e [l/s]	Energieverlust	
		[kW]	[€] ¹
1	1,238	0,3	158
3	11,14	3,1	1.629
5	30,95	8,3	4.362
10	123,8	33	17.345
¹ bei 8760 Betriebsstunden und 0,06 €/kWh			

Abbildung 2.4 zeigt Leckageraten unterschiedlicher Branchen des Verarbeitenden Gewerbes, die sich an der Messkampagne „Druckluft effizient“ beteiligt haben (Agricola et al. 2005). Dies macht deutlich, dass nicht bestimmte Branchen überwiegend betroffen sind, sondern dass die Leckagerate von der Situation der einzelnen Betriebe abhängt. So ist beispielsweise in der Branche Herstellung von Geräten der Elektrizitätserzeugung ein Betrieb mit einer Leckagerate von fast 80 % vertreten, jedoch liegt die minimale Leckagerate in dieser Branche unter 10 %. Ein solches System kann bereits als „dicht“ bezeichnet werden, da es nicht möglich ist, die Leckagen komplett zu beheben (Feldmann 2003a; Šešlija et al. 2009).

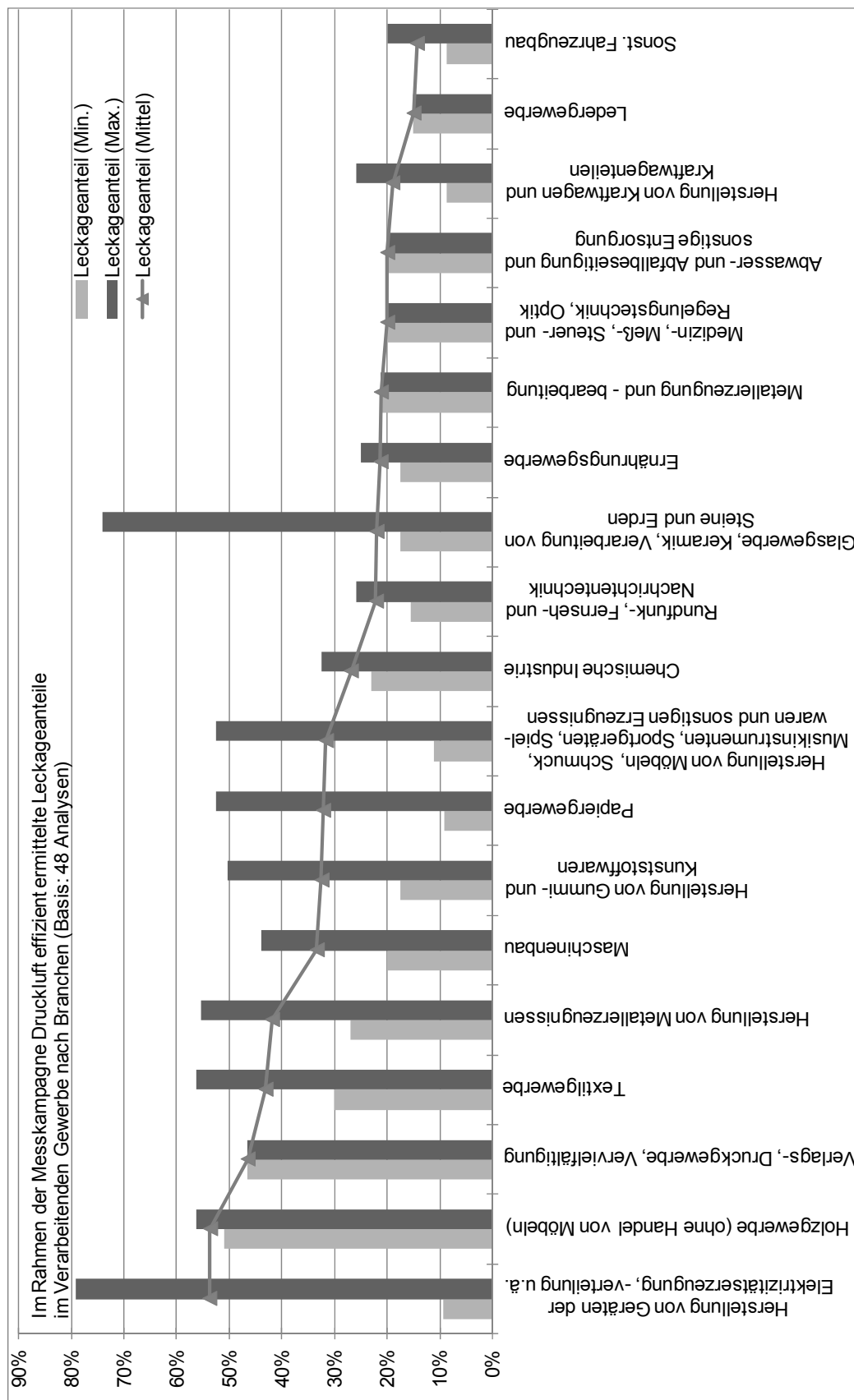


Abbildung 2.4: Leckageraten im Verarbeitenden Gewerbe in Deutschland (in Anlehnung an Agricola et al. 2005).

Gesamtanlagenauslegung

Als zweitwichtigste Maßnahme zur Energieeinsparung mit einem deutlich geringeren Einsparpotenzial von 4,5 % wurde die Gesamtanlagenauslegung ermittelt. Der Name macht bereits deutlich, dass diese Maßnahme das gesamte System betrifft. Wie bereits in Abschnitt 2.2 beschrieben, ist es wichtig, die Auslegung ausgehend vom Bedarf an Druckluft in passender Menge, Qualität und mit entsprechendem Druckniveau zu realisieren. Diese Aufgabe wird komplex, wenn die Verbraucher unterschiedliche oder variierende Bedarfe aufweisen:

- Eine Option, diese unterschiedlichen Bedarfe zu meistern, ist beispielsweise der Ansatz eines Druckluftsystems mit niedrigerem Druckniveau, bei dem jedoch für die Verbraucher, die einen höheren Druck benötigen, „Booster“ verfügbar sind (Radgen, Blaustein 2001).
- Ähnliches gilt für unterschiedliche Druckluftqualität. Auch dort kann die Druckluft zentral auf eine Mindestqualitätsstufe gebracht werden, und für entsprechend anspruchsvollere Anwendungen kann direkt vor Ort ein zusätzlicher Filter eingebaut werden (Radgen, Blaustein 2001).
- Auch sollte die mengenmäßige Dimensionierung der Kompressoranlage den Bedarfen entsprechen, um lange Leerlaufzeiten zu vermeiden, die ebenfalls Energie verbrauchen, ohne dabei Druckluft zu erzeugen (Kreisel, Jochem 1999).

Neben der Abstimmung auf die Bedarfe der einzelnen Verbraucher wird der Energieverbrauch „insbesondere vom Zusammenspiel und der Effizienz aller Komponenten der Druckluftanlage beeinflusst“ (Radgen 2003, S. 2).

Nach einer Schweizer Studie lohnt es sich, den notwendigen Aufwand für eine gute Gesamtanlagenauslegung zu investieren, da sich der Anlagen-Wirkungsgrad damit von durchschnittlich 10 % auf theoretisch über 70 % erhöhen ließe (Gloor 2000).

Wärmerückgewinnung

Das größte Potenzial im Bereich der Druckluftherzeugung besteht in der Möglichkeit der Wärmerückgewinnung. Gemäß den Gesetzen der Thermodynamik wird die gesamte elektrische Energie, die dem Kompressor zugeführt wird, in Wärme umgewandelt, während die Luft komprimiert wird (Bierbaum, Hütter 2004; Radgen, Blaustein 2001; Saidur et al. 2010, Šešlija et al. 2009; U.S.Department of Energy 2003).

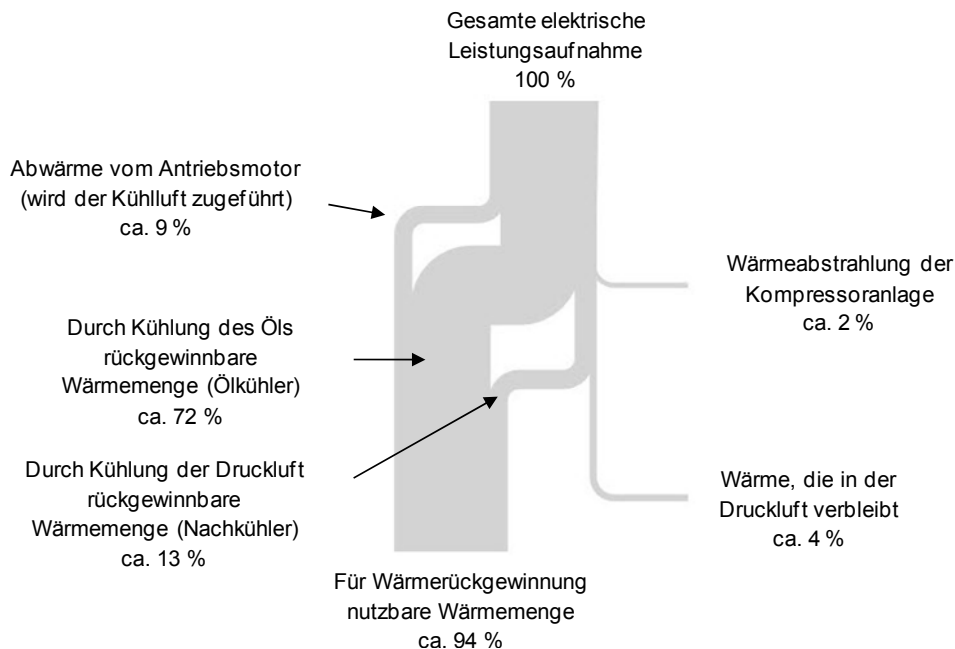


Abbildung 2.5: Wärmeflussdiagramm eines Kompressors (in Anlehnung an Ruppelt 2003a).

Abbildung 2.5 zeigt, wo diese Wärme bei einer öleingespritzten Schraubenkompressoranlage anfällt (Ruppelt 2003a). Die Abbildung verdeutlicht, dass 94 % zentral an der Kompressoranlage auftreten, während 2 % durch Wärmeabstrahlung an die Umgebung abgegeben werden und 4 % in der Druckluft verbleiben. Dies bedeutet, dass der Großteil der Abwärme z. B. für Heizzwecke oder für die Warmwasseraufbereitung verwendet werden kann (Ruppelt 2003a; Ruppelt 2003d; Saidur et al. 2010). Da die zentral anfallende Wärme, unabhängig davon, ob sie rückgewonnen wird oder nicht, abgeführt werden muss, um weiterhin eine effiziente Kompression der Luft zu gewährleisten¹¹, bietet es sich an, diese Wärme anderweitig zu nutzen, sofern es die Rahmenbedingungen des Betriebs zulassen (Druckluft Effizient 2006; Saidur et al. 2010; Šešlija et al. 2009). Abhängig von der Art der Kühlung ändert sich das zur Verfügung stehende Temperaturniveau. Bei luftgekühlten Kompressoren sind Temperaturen zwischen 50 °C und 60 °C möglich, bei Wasserkühlung können bis zu 80 °C erreicht werden (Kreisel, Jochem 1999). Bei anderen Kompressorsystemen ist eine Wärmerückgewinnung ebenfalls möglich, jedoch reduziert sich das zur Verfügung stehende Temperaturniveau und es erhöht sich der Aufwand für die Installation des Wärmetauschers

¹¹ Aufgrund der geringeren Dichte von warmer Luft benötigt deren Kompression auf das gleiche Druckniveau mehr Energie als die Verdichtung kalter Luft (European Commission 2009; Saidur et al. 2010).

(Kreisel, Jochem 1999; Ruppelt 2003a). Die erzielbare Temperatur ist häufig zu niedrig oder die Qualität der warmen Luft zu schlecht, um die Ansprüche des Verarbeitenden Gewerbes hinsichtlich Heizsystem oder Hauptprozesse zu erfüllen (Šešlija et al. 2009). Aus diesem Grund wird die Anwendbarkeit mit 20 % als relativ gering eingestuft (siehe Tabelle 2.1), obwohl in jedem Druckluftsystem Wärme erzeugt wird (Radgen, Blaustein 2001). Dies zeigen auch die Ergebnisse eines Audits in einem vietnamesischen Unternehmen, bei dem kein Bedarf an Warmwasser mit geringem Temperaturlevel oder warmer Luft bei den Produktionsprozessen bestand (Yang 2009).

Drehzahlvariable Antriebe

Als Maßnahme mit dem vierthöchsten Einsparpotenzial wird der Einsatz von drehzahlvariablen Antrieben genannt, was wiederum den Bereich der Druckluftherzeugung entspricht. Drehzahlvariable Antriebe bieten eine Möglichkeit, bei variierendem Druckluftbedarf das System möglichst effizient zu gestalten, da die Kompressoren in solchen Fällen nur wenig unter Volllast betrieben werden, wo sie ihre maximale Effizienz aufweisen können (Saidur et al. 2010). Bei Druckluftsystemen mit mehreren Kompressoren ist es ausreichend, einen mit drehzahlvariablem Antrieb zu integrieren und mittels einer geeigneten Steuerung diesen entsprechend zu regulieren und gemäß dem aktuellen Druckluftbedarf auch die Grund- und Mittellastkompressoren bei Bedarf abzuschalten (Radgen, Blaustein 2001; Šešlija et al. 2009). Durch den Einsatz von drehzahlvariablen Antrieben kann der Druckluftspeicher um ca. 50 % reduziert werden und auch der Leerlaufbetrieb und die dadurch entstehenden Kosten verringern sich (Kreisel, Jochem 1999). Jedoch bleibt anzumerken, dass auch drehzahlgeregelte Antriebe einen optimalen Betriebspunkt haben und nur in einem Bereich von ca. 50 % ihres Leistungsspektrums effizienter arbeiten als normale on/off -Motoren. Außerhalb dieses Bereichs sind auch diese Kompressoren weniger effizient (Peltomaa 2010a; St.Baker 2009). Zudem ist die Verbreitung von drehzahlvariablen Antrieben an den Verkauf von neuen Kompressoren gekoppelt, da der Einbau der Drehzahlregulierung in existierende Maschinen eine Vielzahl technischer Probleme mit sich bringen kann (Radgen, Blaustein 2001).

Weitere Einsparmöglichkeiten entlang der Systembereiche

Im Bereich der Anwendung besteht vor allem die Möglichkeit, die Komponenten durch effizientere zu ersetzen oder die bestehenden Komponenten besser zu nutzen (Šešlija et al. 2009). Auch kann es helfen, die Notwendigkeit des Drucklufteinsatzes für bestimmte Anwendungen zu überdenken und eventuell alternative Lösungen zu implementieren (U.S.Department of Energy 2003).

Für eine energieeffiziente Ausgestaltung der Verteilung ist vor allem der Leitungsquerschnitt von Bedeutung. Dieser wird durch den benötigten Volumenfluss und Betriebsdruck sowie durch die von der Druckluft zurückzulegende Strecke bestimmt. Ist der Leitungsquerschnitt für die entsprechende Druckluftmenge und den benötigten Druck zu klein, kommt es zu Druckabfällen, die mit der Länge des zurückgelegten Weges proportional zunehmen (Bierbaum, Hütter 2004; Feldmann 2003b).

Auch die Aufbereitung sollte auf die Bedarfe in der Druckluftanwendung optimiert sein. Beispielsweise verursacht jeder Filter einen Druckabfall und auch bei den Trocknern gibt es Unterschiede im Energieverbrauch (Šešlija et al. 2009).

Die Druckluftherzeugung bietet neben der Auswahl der Kompressortechnologie und der Regelung noch weitere Möglichkeiten. Beispielsweise können die Antriebe bezüglich ihrer Effizienz noch weiter verbessert werden, was jedoch hauptsächlich für neue Druckluftsysteme interessant ist, da in einen bestehenden Kompressor normalerweise kein neuer Antrieb eingebaut wird (Radgen, Blaustein 2001; Šešlija et al. 2009). Zudem kann nach Durchführung der genannten Maßnahmen eine Anpassung des Druckniveaus Energie und damit auch Geld sparen (Marshall 2010; Peltomaa 2010a).

Die aufgeführten Maßnahmen werden jedoch häufig nicht umgesetzt. Der nachfolgende Abschnitt soll entsprechende Hemmnisse erörtern und mögliche Lösungsansätze vorstellen.

2.6 Betriebswirtschaftliche Hemmnisse für die Umsetzung der Effizienzpotenziale

Es gibt vielfältige Ursachen, warum bestehende Effizienzpotenziale nicht umgesetzt werden. Dabei kann zwischen allgemeinen Hemmnissen, die für alle Energie- und auch Ressourceneffizienzmaßnahmen – also auch für die Steigerung der Energieeffizienz von Druckluftsystemen – in Betracht kommen, und spezifisch auf die Druckluft bezogene Hemmnisse unterschieden werden. Diese Hemmnisse verhindern nicht nur den Kauf von effizienteren Anlagen, sondern auch das Nachrüsten bestehender Anlagen, die Einführung von Monitoringsystemen oder auch die Verbesserung der betrieblichen Praxis (Sorrell et al. 2000; Weber 1997).

Es können verschiedene Perspektiven ausgemacht werden, durch die die Hemmnisse entstehen (Peltomaa 2010b; Sorrell et al. 2000; Weber 1997):

- Wirtschaftliche Hemmnisse
- Verhaltensbezogene Hemmnisse und
- Organisatorische Hemmnisse

Die zuerst genannten wirtschaftlichen Barrieren unterliegen rationalen Gründen, nicht in energieeffiziente Technologien zu investieren und sollten deshalb nicht durch rechtliche Änderungen ausgehebelt werden. Als erstes besteht das Problem der Heterogenität, die besagt, dass eine Technologie, die für den Durchschnitt wirtschaftlich ist, dies nicht zwangsläufig auch für eine individuelle Firma sein muss (Jaffe, Stavins 1994; Radgen 2003). Ist beispielsweise ein drehzahlvariabler Antrieb für Betriebe mit schwankendem Druckluftverbrauch sehr vorteilhaft, verbraucht die Regelung bei Unternehmen mit konstantem Druckluftverbrauch nur zusätzliche Energie.

Ebenso kann das Einsparpotenzial durch versteckte Kosten überschätzt werden. Diese sind nicht in den Anschaffungspreis der Effizienztechnologie beziehungsweise -maßnahme integriert, sondern können durch ein zusätzliches Energiemanagement, den Beschaffungsprozess für die technische Investition oder den Verlust von bisherigen Vorteilen durch die technische Neuerung bezüglich Sicherheit, Arbeitsbedingungen oder Lärm verursacht werden (Peltomaa 2010b, Sorrell et al. 2000).

Auch verschiedene Risiken zählen zu den wirtschaftlichen Hemmnissen. Externe Risiken wie politische und gesamtwirtschaftliche Veränderungen, Geschäftsrisiken, also die Entwicklung des eigenen Unternehmens und der Branche, aber auch technische Risiken bezüglich der Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der neuen Technologie sind für Investitionen in Energieeffizienztechnologien hinderlich (Sorrell et al. 2000).

Auch der mangelnde Zugang zum benötigten Kapital hemmt die Umsetzung von Effizienzmaßnahmen. Zum einen ist der Zugang zu (Fremd-)Kapital – zu einem angemessenen Zinssatz – limitiert und zum anderen priorisieren Unternehmen die Durchführung von Effizienzmaßnahmen bei der internen Budgetierung typischerweise sehr niedrig (Peltomaa 2010b; Sorrell et al. 2000). Halme et al. (2007) können ebenfalls feststellen, dass Verbesserungen bezüglich der Energie- beziehungsweise Ressourceneffizienz nicht stattfinden, wenn Investitionen oder Personalkapazität benötigt werden, selbst wenn die Maßnahmen eine kurze Amortisationsdauer aufweisen. Bei dem Argument über die Zuteilung des Budgets ist jedoch umstritten, ob dies nicht besser den nachfolgenden organisatorischen Hemmnissen zugeordnet werden sollte (Sorrell et al. 2000).

Die nun folgenden Hemmnisse begründen auf einem Markt- oder organisatorischen Versagen (Sorrell et al. 2000). Die Prinzipal-Agent-Theorie behandelt mögliche Schwierigkeiten, die bei Vertragsabschluss zweier Parteien mit unterschiedlichen Zielsetzungen und verschiedenen Informationsständen auftreten können. Diese Umstände können im Bereich der Energieeffizienz zu suboptimalen Lösungen führen (IEA 2007; Peltomaa 2010b). Ungleiche Informationen führen zu der Auswahl von Investitionsgütern, die augenscheinlich besser sind, was durch ein offensichtliches Merkmal wie bei-

spielsweise einen geringeren Preis deutlich wird. Ist es dem Käufer nicht möglich, mit seinen verfügbaren Informationen und seinem Know-how eine höherwertige Qualität wie z. B. einen geringeren Energieverbrauch zu erkennen, wird er in diese – meist höherpreisige – Alternative auch nicht investieren (Peltomaa 2010b; Sorrell et al. 2000).

Gespaltene Anreize führen dazu, dass eine Partei keine Effizienzmaßnahmen umsetzen möchte, wenn letztendlich die andere Partei hauptsächlich von dieser Maßnahme profitieren würde (IEA 2007; Peltomaa 2010b; Sorrell et al. 2000). Ein solcher Konflikt kann zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer auftreten oder intern durch verschiedene Zuständigkeiten und entsprechende Budgets, die in unterschiedlichen Zielsetzungen resultieren (Peltomaa 2010b). So ist für den Einkauf beispielsweise ein günstiger Anschaffungspreis wichtig, während der Produktions- und Instandhaltungsbereich eher die Verwendung von qualitativ hochwertigen Produkten verfolgt, die in der Anschaffung meist teurer sind, über den gesamten Lebenszyklus betrachtet jedoch durchaus günstiger sein können. Diese Differenzen können zum Einsatz eines Druckluftsystems führen, das qualitativ, energetisch oder preislich betrachtet, nicht unbedingt optimal ist. Eine mögliche Lösung für dieses Problem besteht in dem Ansatz, dass die investierende Partei einen Ausgleich von der profitierenden Partei bekommt (Jaffe, Stavins 1994).

Die verhaltensbezogenen Hemmnisse beziehen sich hauptsächlich auf die Entscheidungsfindung und den Umgang mit Informationen. So werden häufig Daumenregeln oder Routinen angewandt, um zufriedenstellende Optionen zu erhalten, statt den Aufwand für eine optimale Auswahl zu betreiben. Dafür würde mehr Zeit benötigt und es müssten zusätzliche Informationen gesammelt und verarbeitet werden (Peltomaa 2010b; Sorrell et al. 2000).

Auch die Informationen zu möglichen Einsparungen sollten in ihrer Form speziell für den Kunden angepasst und einfach verständlich sein. Die Verfügbarkeit der Informationen nahe dem Entscheidungszeitpunkt sowie die Vertrauenswürdigkeit der Informationsquelle sind weitere wichtige Faktoren, um energieeffiziente Lösungen zu verbreiten. Sind diese Voraussetzungen nicht gegeben, beachtet die relevante Zielgruppe die Information nicht, wodurch auch die Umsetzung der Maßnahmen gehemmt wird (Peltomaa 2010b; Sorrell et al. 2000). So mangelt es den Entscheidern für Investitionen in die Drucklufttechnik häufig am Bewusstsein für mögliche Einsparungen. Somit werden die Stromkosten bei den Verantwortlichen für Investitionsentscheidungen selten berücksichtigt, was zum Kauf von im Investitionspreis günstigen Anlagen führt (Radgen 2003; Radgen, Blaustein 2001).

Weitere mögliche verhaltensbezogene Hemmnisse für die Umsetzung von Effizienzmaßnahmen sind eine gewisse Trägheit gegenüber der Einführung neuer Technologien und neuer Verhaltensmuster sowie das Vorhanden- beziehungsweise Nichtvorhandensein von ökologischen Werten, das für oder gegen die Einführung von Energieeffizienztechnologien spricht (Peltomaa 2010b; Sorrell et al. 2000). Zudem obliegt die Verantwortung für potentielle Optimierungsmaßnahmen des Druckluftsystems meist mehreren Managementfunktionen – beispielsweise Herstellung, Wartung, Beschaffung und Finanzierung. Dabei ist es schwer für niederprioritäre Posten wie dem Stromverbrauch, einen Konsens zu erreichen (Radgen 2003; Radgen, Blaustein 2001).

Organisatorisch spricht beispielsweise ein zu geringer Einfluss der für Energieangelegenheiten zuständigen Manager des technischen Bereichs oder der Wartungsabteilung gegen die Umsetzung von Effizienzmaßnahmen (Peltomaa 2010b; Sorrell et al. 2000). Für das Topmanagement ist Energieeffizienz häufig nur ein Nebenaspekt, so dass es für die Umsetzung wichtig wäre, dass Energieeffizienz in der Firmenkultur einen wichtigeren Stellenwert einnimmt (Peltomaa 2010b; Sorrell et al. 2000). Eigene Kostenstellen für größere Stromverbraucher könnten dies erreichen. In der Regel werden die Kosten für die Druckluftherzeugung und Nutzung heutzutage jedoch als Gemeinkosten abgerechnet. Die Aufgabe der Senkung dieser liegt meist nicht im Verantwortungsbereich einer Person, wodurch die Planung und Umsetzung erschwert wird (Radgen 2003; Radgen, Blaustein 2001). Durch die Einbindung in den größeren Posten des gesamten Stromverbrauchs fehlt es auch an Transparenz über die Stromkosten für die Druckluftanlage (Radgen 2003; Radgen, Blaustein 2001).

Ein weiteres organisatorisches Hemmnis ist die mangelnde Expertise um Einsparpotenziale überhaupt zu erkennen. Dieses Argument ist vor allem für Nebenprozesse, wie es die Bereitstellung und Verteilung von Energie normalerweise sind, von hoher Relevanz (Halme et al. 2007). Auch Druckluft wird rein als Betriebsstoff genutzt und gehört nicht zu den Kernkompetenzen der Unternehmen.

Um die aufgeführten Hemmnisse zu überwinden, gibt es keine ideale Lösung. Sorrell et al. (2000) schlagen einen Maßnahmenmix vor, um die Verbreitung von Energieeinsparmaßnahmen zu verstärken, bei dem folgende Punkte beachtet werden sollen:

- Rahmenbedingungen ändern
- Unterstützung bestimmter Technologien
- Unterstützung bestimmter Auslieferungsmechanismen
- Unterstützung bestimmter energieverbrauchender Sektoren
- Unterstützung für eine organisatorische Verbesserung des Energiemanagements

Die Drucklufttechnik ist eine Technologie, die aufgrund ihres hohen Energieeinsparpotenzials eine spezielle Unterstützung benötigen könnte. Dabei ist es vor allem wichtig, eine erhöhte Aufmerksamkeit der Anwender für den Energieverbrauch von Druckluftanlagen zu erreichen, um ein Bewusstsein für die eigentlich einfach umsetzbaren Einsparmaßnahmen zu schaffen. Dies kann durch die Einrichtung einer Kostenstelle für das Druckluftsystem geschehen. Dadurch werden der Stromverbrauch und die anfallenden Stromkosten transparenter und es ist möglich, die Lebenszykluskosten des Druckluftsystems zu betrachten. Auch ist es ratsam, weitere Informationen zu nutzen, beispielsweise durch den Einbezug weiterer Akteure der Wertschöpfungskette. Durch ihr zusätzliches Know-how ist es für sie möglich, Verantwortung für die Effizienzmaßnahmen und die dadurch auftretenden Risiken zu übernehmen, wodurch auch das Schnittstellenproblem der verschiedenen Managementfunktionen reduziert werden kann. Eine Möglichkeit, all diese Aspekte zu vereinen, ist das Angebot von Produkt-Dienstleistungssystemen.

3 Industrielle Produkt-Dienstleistungssysteme

Ein Ansatz zum Beheben des Problems der geringen Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen können, wie bei der Überwindung der Hemmnisse zur Durchführung energieeffizienter Maßnahmen diskutiert, Produkt-Dienstleistungssysteme (PSS) sein. Deshalb soll in diesem Kapitel ein Überblick über das Konzept von PSS sowie deren Einflussmöglichkeiten in Bezug auf Kostensenkung und Energieeffizienzerhöhung gegeben werden. Anschließend wird darauf eingegangen, inwieweit dieses Konzept auf Druckluftsysteme übertragbar ist, in welchen Bereichen es bereits Einzug gehalten hat und wo weitere Möglichkeiten zum Einsatz dieses Konzepts bestehen. Die abschließende Erläuterung von bestehenden Entwicklungsansätzen für PSS zeigt, dass keines dieser Verfahren konkret auf die drei Dimensionen von Geschäftsmodellen eingeht, so dass die Entwicklung eines weiterführenden Ansatzes deutlich wird. Auch die existierenden Bewertungsansätze sind für die vorliegende Fragestellung nicht ausreichend und erfordern eine neue Herangehensweise.

3.1 Abgrenzung des Begriffs

Produkt-Dienstleistungssysteme (engl. Product-service systems) werden seit ca. 20 Jahren erforscht. In diesem Kontext fallen auch Begrifflichkeiten wie „servitization“ (Vandermerwe, Rada 1988), „Performance Contracting“ (Helle 1997; Spath, Demuß 2003), „industrial-product-service systems“ (Mont 2002), „hybrid value creation“ (Velamuri et al. 2011), „dienstleistungsbasierte Geschäftsmodelle“ (Biege 2011) oder weitere Begrifflichkeiten (Lay et al. 2009b). Jedoch gibt es keine einheitliche Definition von PSS, wie die Vielzahl der genannten Begriffe bereits erahnen lässt (Baines et al. 2009a; Baines et al. 2009b; Lay et al. 2009b). In einigen Fällen wird lediglich ein Erlösmodell als Geschäftsmodell interpretiert (Vercalsteren, Geerken 2004), andere Autoren interpretieren Ablaufdiagramme über eine Dienstleistungs-Logistik als solche (Tempelman 2004).

Um die Eigenschaften von PSS diskutieren zu können, erscheint eine Abgrenzung dieses Konzepts vom traditionellen Geschäftsmodell als sinnvoll. Traditionelle Geschäftsmodelle im Business-to-Business-Bereich (B-to-B) zielen darauf ab, eine technische Ausstattung an einen Systembetreiber zu verkaufen. Dabei bezahlt der Systembetreiber die Ausstattung und ist anschließend für die ordnungsgemäße Funktion und einen effizienten Betrieb selbst verantwortlich. Für einige Komponenten wird auf Nachfrage Unterstützung durch eine Drittpartei angeboten, jedoch liegt die Zielsetzung hier nur darin, die Anlage in einem betriebsfähigen Zustand zu halten. Eine allgemeine Optimierung des Systems oder seiner einzelnen Komponenten ist darin nicht enthalten. Wie im

vorherigen Abschnitt 2.6 aufgezeigt, wird die Steigerung der Energieeffizienz in den traditionellen Geschäftsmodellen aus verschiedenen Gründen häufig nicht adressiert.

Für PSS existiert eine Vielzahl an Definitionen (Baines et al. 2007). Eine der ersten Definitionen liefern Goedkoop et al. (1999). Baines et al. (2007, S. 1545) fassen das Verständnis dieser Forschergruppe und damit gleichzeitig die Zielsetzung von PSS wie folgt auf: "A product service-system is a system of products, services, networks of 'players' and supporting infrastructure that continuously strives to be competitive, satisfy customer needs and have a lower environmental impact than traditional business models."

Mit dieser Begriffsabgrenzung sollen zunächst die Ziele und daraus abgeleitet entsprechende Vor- und Nachteile von PSS definiert werden. Anschließend folgt eine Ausführung, welche Dimensionen Geschäftsmodelle ausmachen und wie sich diese bei PSS im Vergleich zu traditionellen Geschäftsmodellen unterscheiden. Daran anschließend soll eine Möglichkeit vorgestellt werden, die dienstleistungsbasierten Geschäftsmodelle nach ihrem Serviceanteil zu kategorisieren.

3.1.1 Ziele, Vor- und Nachteile von Produkt-Dienstleistungssystemen

Die Zielsetzung von PSS ist vielfältig. So spielen neben ökologischen und ökonomischen Faktoren auch Aspekte in Bezug auf Kunden und Wettbewerb eine wichtige Rolle (Biege 2011). Aus betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten ist es erstrebenswert, aus der gemeinsamen Perspektive von Kunde und Anbieter zum einen die Kosten zu reduzieren und zum anderen die Umsätze des Kunden zu steigern, was einen Mehrwert im Vergleich zum traditionellen Geschäftsmodell generiert. Dadurch kann eine Win-win-Situation für Anbieter und Kunde des PSS entstehen (Lay et al. 2009a). Da sowohl die Reduzierung der Auszahlungen, als auch die Erhöhung der Einzahlungen zu diesem Mehrwert beitragen, bietet es sich an, nicht nur die reinen Kosten zu analysieren, sondern den Kapitalwert der unterschiedlichen Lösungen zu vergleichen (Lerch et al. 2010).

Eine weitere Zielsetzung ist es, sich durch den kundenspezifischen Nutzen, den das Angebot von PSS mit sich bringt, von kostengünstigen Wettbewerbern zu differenzieren (Baines et al. 2007; Goedkoop et al. 1999). Auch eröffnen PSS durch die Erschließung neuer Märkte auf wettbewerblicher Ebene neue Absatzmöglichkeiten (Biege 2011; Bullinger 1997).

Zusätzlich soll durch das Angebot von PSS die Kundenbindung gestärkt werden (Bullinger 1997; Oliva, Kallenberg 2003; Vandermerwe, Rada 1988). Dies geschieht

zum einen durch meist längerfristige Vertragslaufzeiten, aber bei Vertragsende auch durch eine erhöhte Kundenzufriedenheit, die eine erfolgreiche Durchführung von Serviceleistungen mit sich bringt (Schweiger 2009). Ein weiterer Aspekt auf Kundenebene ist der durch eine Einbindung in die Betriebsphase erhöhte Einblick in die Kundenprozesse, die dadurch besser verstanden werden können und darauf aufbauend kundenspezifische Lösungen angeboten werden können (Auramo, Ala-Risku 2005; Baines et al. 2009b).

Aus Kundensicht wird mit der Inanspruchnahme von PSS die Möglichkeit verfolgt, sich auf seine Kernkompetenzen zu konzentrieren und die Durchführung von Nebenprozessen extern abzudecken (Auramo, Ala-Risku 2005).

Als Vorteile von PSS werden beispielsweise höhere Margen genannt (Lay, Jung Erceg 2002; Oliva, Kallenberg 2003; Wise, Baumgartner 1999). Eine Studie von Deloitte Research (2006) hat ergeben, dass Dienstleistungen im B-to-B-Bereich um bis zu 75 % profitabler sind als das Geschäft mit der Herstellung von Produkten. Zusätzlich sind die Umsätze, die mit PSS erreicht werden können auch stabiler als Produktumsätze und weniger von konjunkturellen Schwankungen betroffen (Oliva, Kallenberg 2003; Wise, Baumgartner 1999). Zusätzlich entwickeln die Anbieter durch die Erbringung der Dienstleistungen eine spezielle Expertise, die von anderen Akteuren nicht so schnell nachgeahmt werden kann (Gebauer, Friedli 2005; Rese et al. 2009a). Dies führt zu einem langfristigen Wettbewerbsvorteil.

Neben den Vorteilen bringen PSS auch bestimmte Nachteile mit sich. In PSS übernimmt der Anbieter zusätzliche Betriebs- und eventuell Marktrisiken, die im traditionellen Geschäftsmodell beim Kunden liegen (Halme et al. 2007; Lay et al. 2009a). Außerdem muss davon ausgegangen werden, dass es zu einem zusätzlichen Wettbewerb kommt. Die neuen Konkurrenzunternehmen können dabei auch eigene Zulieferer, Händler und Kunden sein (Oliva, Kallenberg 2003). Darüber hinaus gibt es bei der Vertragsgestaltung häufig Schwierigkeiten bei den Verhandlungen zur Finanzierung der Anlage, da Finanzinstitute einer Übernahme von Drittfinanzierung solcher Projekte teilweise sehr abwartend gegenüberstehen (Bertoldi et al. 2006; Vine 2005).

Mit dem Wissen um die Ziele sowie Vor- und Nachteile von PSS, kann im nächsten Abschnitt deren Aufbau näher erläutert werden.

3.1.2 Dimensionen

Bei PSS handelt es sich um neuartige Geschäftsmodelle im Vergleich zum traditionellen Geschäftsmodell des Verkaufs von Produkten. Timmers (1998) legt den Ge-

schäftsmodellen folgende drei Elemente zugrunde (vgl. auch Lehmann-Ortega, Schoettl 2005; Rentmeister, Klein 2003; Stähler 2002):

- „An architecture for the product, service and information flows, including a description of the various business actors and their roles; and
- a description of the potential benefits for the various business actors; and
- a description of the sources of revenues.“ (Timmers 1998, S. 4)

Abbildung 3.1 zeigt mögliche Ausgestaltungen der Elemente für das traditionelle Geschäftsmodell sowie für PSS. Nachfolgend werden die drei Dimensionen Nutzenversprechen („potential benefits“), Wertschöpfungsarchitektur („architecture for the product, service and information flows“) sowie Ertragsmodell („sources of revenues“) im Einzelnen vorgestellt:

- Das Nutzenversprechen beschreibt die Funktionalität, die durch das Geschäftsmodell versprochen wird. Dadurch soll der Wettbewerbsvorteil des Geschäftsmodells erzielt werden (Kleikamp 2002). Dabei ist ein zusätzlicher Nutzen nicht nur auf den Kunden beschränkt; auch Lieferanten oder weitere Partner entlang der Wertschöpfungskette können von den neuen Geschäftsmodellen profitieren (Stähler 2002). Im traditionellen Geschäftsmodell wäre das Nutzenversprechen beispielsweise die Auslieferung eines qualitativ hochwertigen Produkts, das alle technischen Merkmale, die der Kunde bestellt hat, enthält. Statt reiner Produktangebote wie im traditionellen Geschäftsmodell bieten dienstleistungsbasierte Geschäftsmodelle individuelle Lösungen zur Anwendung. Dies wäre beispielsweise die Garantie einer bestimmten Verfügbarkeit einer Anlage.
- Die Wertschöpfungsarchitektur legt die konkrete Ausgestaltung des Geschäftsmodells fest. Diese beinhaltet die Eigentumsverhältnisse und Verfügungsrechte der Anlage, die personellen Zuständigkeiten unterschiedlicher Aufgaben für einen reibungslosen Ablauf der Produktion sowie den Ort, an dem die versprochene Leistung des entsprechenden Geschäftsmodells erbracht wird. Insgesamt sind diese Merkmale so zu wählen, dass das Nutzenversprechen eingehalten werden kann. Im traditionellen Geschäftsmodell ist der Hersteller für die Entwicklung und Produktion der Anlage verantwortlich. Während der Nutzungsphase übernimmt der Kunde die Verantwortung für die Anlage bis zu deren Lebensende, mit Ausnahme der rechtlichen Produktverantwortung des Herstellers. Bei den PSS reicht die Verantwortung des Herstellers bis hin zur Nutzungsphase der Anlage und auch die Nachnutzungsphase kann für ihn noch relevant sein. Dies kann bedeuten, dass der Hersteller die Wartung eigenverantwortlich übernimmt, aber auch der ganze Betrieb der Anlage kann in dessen Verantwortungsbereich fallen. Für eine angemessene Entsorgung oder Zweitnutzung der Anlage kann der Hersteller bei einem ent-

sprechenden Nutzenversprechen ebenfalls verantwortlich sein. Dadurch ist es dem Kunden möglich, sich auf seine Kernkompetenzen zu konzentrieren (Biege 2011; Lay et al. 2009b).

- Das Ertragsmodell legt die Art der Bezahlung fest. Es wird so festgelegt, dass zum einen die Nachfrage angeregt und zum anderen die Wirtschaftlichkeit des Geschäftsmodells gesichert wird (Schröter et al. 2008). Dabei werden verschiedene Zahlungsmodi eingesetzt: Während bei der Abrechnungsart „Pay-for-Equipment“, die für gewöhnlich beim traditionellen Geschäftsmodell Verwendung findet, die Eigentumsrechte auf den Kunden übertragen werden, bleibt der Hersteller in den anderen Fällen meist (vorerst) Eigentümer der Anlage. Dabei sind „Pay-for-Availability“, bei der sich der Preis nach der technischen Verfügbarkeit richtet, „Pay-per-Use“ als Abrechnung pro Zeiteinheit, in der die Anlage genutzt wird, oder eine feste Rate für die Nutzung, die in einem regelmäßigen zeitlichen Abstand anfällt, denkbar. Das „Pay-on-production“-Modell unterscheidet sich am meisten vom traditionellen Geschäftsmodell, wobei der Hersteller oder ein Dienstleister die Leistung eigens produziert und pro fertiggestellter Einheit bezahlt wird (Schröter et al. 2008). Bei dieser Art der Bezahlung sowie beim „Pay-per-use“-Konzept gehen Teile der Marktrisiken des Kunden auf den Hersteller über (Lay et al. 2009a; Meier 2004).

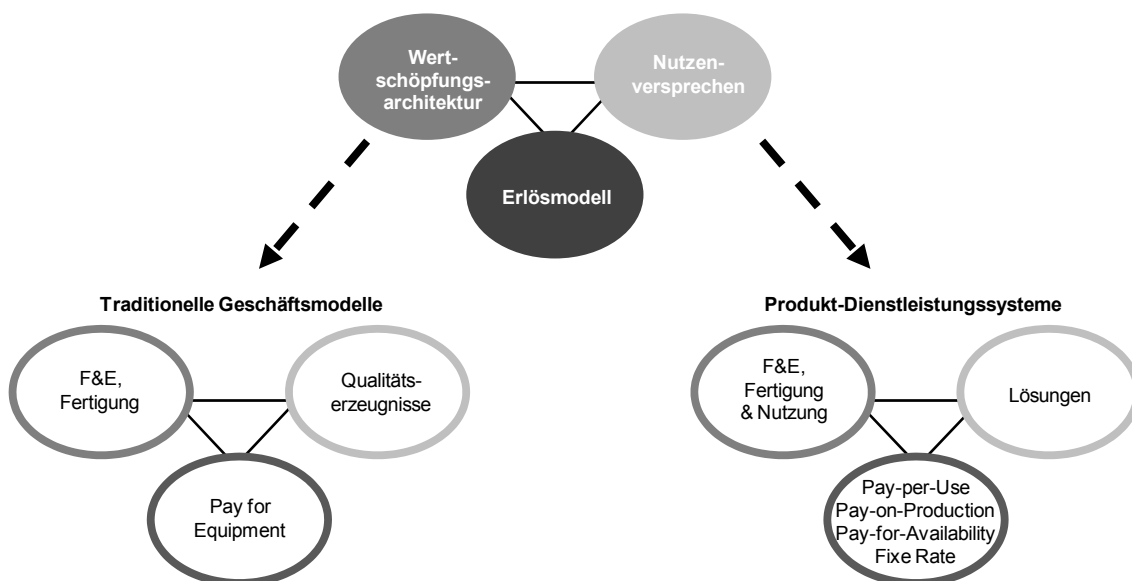


Abbildung 3.1: Dimensionen von Geschäftsmodellen (Lay et al. 2010).

Die Dimensionen beeinflussen sich gegenseitig. Die Verantwortlichkeiten, die in der Wertschöpfungsarchitektur festgelegt werden, müssen mit dem Ertragsmodell abgestimmt werden, damit der Anbieter kein zusätzliches finanzielles Risiko trägt, das durch die Leistung des Kunden beeinflusst wird und nicht kalkulierbar ist. Übernimmt der Anbieter zusätzliches finanzielles Risiko, sollte er dieses durch seine Leistung selbst be-

einflussen oder einen entsprechenden Aufschlag im Ertragsmodell kalkulieren können. Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, ist es ein Ziel von PSS, die Kundenbindung zu erhöhen. Dafür ist die Kundenzufriedenheit ein wichtiger Faktor. Diese kann erreicht werden, wenn das Nutzenversprechen eingehalten wird (Schweiger 2009). Übernimmt der Anbieter die Zuständigkeiten, die es ermöglichen, das Nutzenversprechen zu erfüllen, kann eine hohe Kundenzufriedenheit erreicht werden, so dass es wichtig ist, die Ausgestaltung der drei Dimensionen aufeinander abzustimmen (Ahlert et al. 2001).

Um die dargestellten Ausgestaltungsmöglichkeiten der unterschiedlichen Merkmale bezüglich Wertschöpfungsarchitektur und Ertragsmodell für ein bestimmtes Nutzenversprechen zu verbildlichen, empfiehlt sich die Verwendung eines morphologischen Kastens (Lay et al. 2003). Mit Hilfe von Profilzügen werden die entsprechenden Verantwortlichkeiten und das festgelegte Ertragsmodell als charakteristische Merkmale eines PSS wiedergegeben, womit die Leistungsumfänge abgegrenzt werden können (Schröter et al. 2008).

Merkmale		Gestaltungsmöglichkeiten			
Eigentum	während der Vertragslaufzeit	Anlagenhersteller	Leasing-Bank	Dienstleister als Betreiber	Kunde
	nach der Vertragslaufzeit	Anlagenhersteller	Leasing-Bank	Dienstleister als Betreiber	Kunde
Personal	Produktion	Anlagenhersteller	OEM	Dienstleister	Kunde
	Service	Anlagenhersteller	OEM	Dienstleister	Kunde
Ort des Betriebs		Anlagenhersteller	beim Dienstleister	fence to fence	beim Kunden
Ausschließlichkeit der Nutzung		mehrere Kunden		ein Kunde	
Abrechnung		Pay-on-Production	Pay-per-Use	Pay-for-Availability	feste Rate Pay-for-Equipment

Abbildung 3.2: Morphologischer Kasten (in Anlehnung an Lay et al. 2003; Lay et al. 2009b).

In Abbildung 3.2 ist ein entsprechendes Beispiel eines morphologischen Kastens dargestellt. Dabei entspricht der Profilzug, der ganz rechts gelagert ist, dem traditionellen Geschäftsmodell, während der Profilzug auf der linken Seite das Beispiel eines Betreibermodells darstellt, in dem der Hersteller im Eigentum der Anlage bleibt, die komplette

Verantwortung für die Nutzungsphase derselben übernimmt und nur für den fehlerfreien Output vergütet wird (Biege 2011; Lay et al. 2007; Meier 2004).

3.1.3 Kategorien

Es besteht eine große Vielfalt an PSS. Dazu können in der Literatur verschiedene Typologien gefunden werden (z. B. Lay et al. 2009b; Oliva, Kallenberg 2003). Eine weitverbreitete Untergliederung (z. B. Azarenko et al. 2009; Sundin 2009) wurde von Tukker (2004) eingeführt. Dieser unterscheidet die PSS je nach abgegebenem Nutzenversprechen anhand ihres Dienstleistungsgehalts. In dieser Typologie werden folgende drei Kategorien zwischen reinem Produkt und reiner Dienstleistung unterschieden, wie in Abbildung 3.3 dargestellt (Tukker 2004; Williams 2005):

- Produktorientierte PSS
- Nutzenorientierte PSS
- Ergebnisorientierte PSS

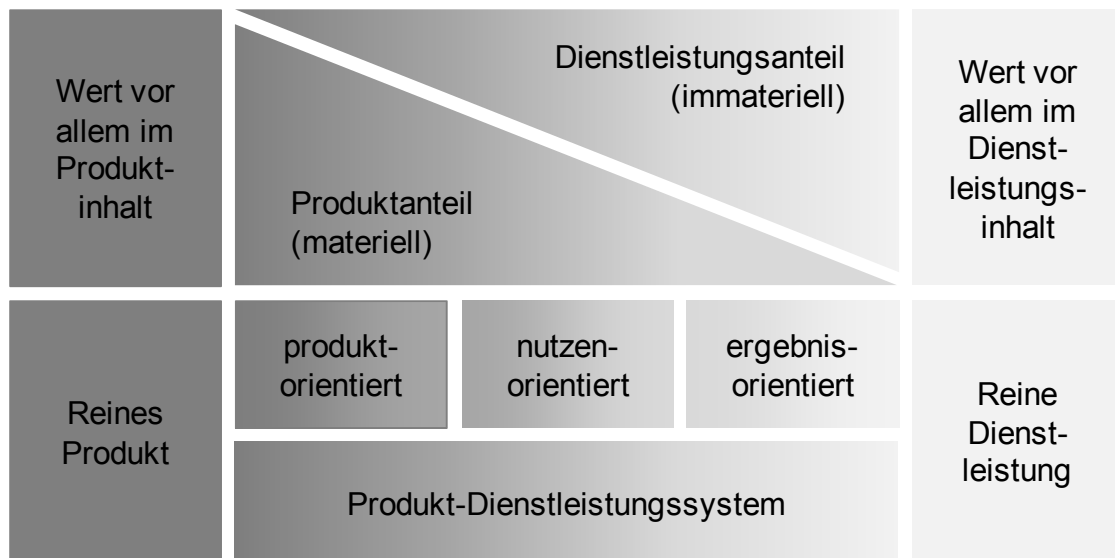


Abbildung 3.3: Kategorien von PSS (in Anlehnung an Tukker 2004).

Die erste Kategorie - die *produktorientierten Produkt-Dienstleistungssysteme* – basiert auf dem traditionellen Geschäftsmodell. Der Produktverkauf steht hier weiterhin im Vordergrund, wobei als Erweiterung noch traditionelle produktbegleitende Dienstleistungen wie Wartung und Reparatur angeboten werden, die nach dem entstandenen Aufwand von Arbeitszeit und benötigtem Material abgerechnet werden (Lay et al. 2009b). Das Nutzenversprechen der produktorientierten Geschäftsmodelle deckt primär die qualitativ hochwertigen Produkte ab, wie bereits für die traditionellen Geschäftsmodelle gezeigt.

Bei den beiden anderen Kategorien verändert sich die Verteilung der Risiken bezüglich technischer beziehungsweise organisatorischer Ausfallzeiten sowie absatzbedingter Stillstände zwischen Kunde und Anbieter (Baines et al. 2007; Lay et al. 2007; Lay et al. 2009a).

Mit *nutzenorientierten Produkt-Dienstleistungssystemen* beabsichtigen deren Anbieter, den Nutzen des Produkts für den Kunden zu erhöhen, anstatt es lediglich zu verkaufen, um damit eine Win-win-Situation erzielen zu können. Dabei wird das Produkt dem Kunden zur Verfügung gestellt, das Eigentum muss aber nicht zwangsläufig zum Kunden übergehen. Wird nicht die komplette Kapazität für einen Kunden benötigt, kann das Produkt auch mit weiteren Kunden geteilt werden. Ein Beispiel für ein nutzenorientiertes PSS wäre, Verfügbarkeitsgarantien an Stelle von Wartungs- und Reparaturverträgen zu verkaufen. Dabei zahlt der Kunde für eine vertraglich festgelegte Mindestverfügbarkeit der Anlage anstatt für den Aufwand für die Wartung. Das finanzielle Risiko von Stillstandszeiten bedingt durch Wartung und Reparatur wird in diesem Geschäftsmodell auf den Anbieter übertragen. Diese Art von Geschäftsmodell ist besonders für Kunden interessant, die eine bedeutend geringere Verfügbarkeit erreichen, als im Rahmen der technischen Möglichkeiten erreichbar wäre (Lay et al. 2009a).

In der Kategorie der *ergebnisorientierten Produkt-Dienstleistungssysteme* wird die Ablieferung eines festgelegten Ergebnisses versprochen. Die Art und Weise, wie dieses Ergebnis erzielt wird, bleibt jedoch dem Anbieter überlassen. Die Verwendung bestimmter Produkte, Komponenten oder Dienstleistungen wird also nicht vertraglich geregelt. Die Bezahlung kann somit auch nicht auf Basis des Equipments erfolgen, es bieten sich „Pay-on-production“-Modelle als Ertragsmodell an. Ähnlich zu den nutzenorientierten PSS übernimmt der Anbieter weitere Risiken, wobei die Ausfallrisiken bei den ergebnisorientierten PSS zusätzlich um Marktrisiken des Kunden ergänzt werden (Baines et al. 2007; Lay et al. 2007; Lay et al. 2009a). Der Kunde zahlt also für die erhaltene Leistung, wobei in diesem Preis eine Kompensation der Risiken enthalten sein sollte. Ein Beispiel für diese Kategorie sind Betreibermodelle, bei denen der Anbieter für den gesamten Lebenszyklus der Anlage von der Produktion über den Betrieb und die Wartung bis hin zur Entsorgung verantwortlich ist (Lay et al. 2009a).

Diese drei Kategorien machen deutlich, dass es zwischen bloßem Produkt und reiner Dienstleistung vielfältige Kombinationsmöglichkeiten von Produkten und Dienstleistungen gibt. Durch einen hohen Anteil der Dienstleistung in diesem Angebot erhöht sich für den Anbieter auch der Einblick in und Einfluss auf die anlagenspezifischen Produktionsprozesse des Kunden. Dadurch können Informationen an die Produktentwicklung gegeben werden, die diese Erfahrungen bei neuen Entwicklungen berücksichtigen kann und somit Innovationen vorantreibt (Lay et al. 2007; Mont 2002).

3.2 Techno-ökonomische Auswirkungen der Produkt-Dienstleistungssysteme

Wie aus der Zielsetzung (3.1.1) hervorgeht, gibt es verschiedene Beweggründe für die Einführung von PSS. Die beiden Hauptgründe, warum diese eingeführt werden sollten, sind zum einen die Möglichkeiten finanziell eine Win-win-Situation für Kunde und Anbieter zu gestalten, und zum anderen wird im Zusammenhang von PSS häufig ein positiver Einfluss auf die Energie- und Materialeffizienz beziehungsweise allgemein auf die Öko-Effizienz diskutiert (z. B. Bartolomeo et al. 2003; Goedkoop et al. 1999; Manzini, Vezzoli 2001; Mont 2002; Rothenberg 2007; Roy 2000; Stahel 1997).

3.2.1 Beeinflussung der Lebenszykluskosten

Um das Potenzial eines Mehrwerts durch die Erbringung eines PSS und damit auch der Möglichkeit zur Win-win-Situation zu erkennen, ist es wichtig, die wirtschaftliche Entscheidungsgrundlage nicht nur auf Investitionen, sondern auf den Kapitalwert über den gesamten Lebenszyklus zu stützen. Im Folgenden werden zuerst die Grundlagen der Lebenszykluskostenanalyse dargestellt, bevor darauf eingegangen wird, in welchen Bereichen PSS die Lebenszykluskosten einer Anlage (positiv) beeinflussen können.

3.2.1.1 Grundlagen der Lebenszykluskostenanalyse

Die Reduktion der Lebenszykluskosten stellt im Rahmen von PSS die Grundlage zur Generierung einer Win-win-Situation dar. Das Konzept der Lebenszykluskostenrechnung wurde Mitte der 60er Jahre für militärische Anwendungen entwickelt und in den 70ern auf andere Anwendungen ausgeweitet (Cole, Sterner 2000). Die Lebenszyklusrechnung zielt darauf ab, sämtliche produktbezogene Kosten von der Entstehung bis zur Entsorgung eines Produkts oder einer Anlage zu bewerten. Dadurch soll eine solide Basis geschaffen werden, um verschiedene (Investitions-)Alternativen zu vergleichen. Hiermit wird eine effektivere Entscheidung möglich, da nicht nur die Investitionen in den Entscheidungsprozess einbezogen werden, sondern auch für die weitere Nutzung anfallende Zahlungen über einen bestimmten Betrachtungszeitraum (Ellram 1993a; Götze 2006). Lebenszykluskosten werden von White und Ostwald (1976) als „the sum of all funds expended in support of the item from its conception and fabrication through its operation to the end of its useful life“ (White, Ostwald 1976, S. 39) definiert. Diese Definition beinhaltet sowohl die materiellen als auch die immateriellen Kosten für das Produkt, die im Laufe des Lebenszyklus anfallen. Somit sind auch Dienstleistungen mit inbegriffen, weshalb sich das Konzept auch gut für die Bewertung von PSS eignet. In der Literatur wurden viele verschiedene Kostenarten identifiziert, um

den gesamten Lebenszyklus abzudecken, wie es die Definition der Lebenszykluskosten erfordert (dena 2010; Fabrycky, Blanchard 1991; Lund 1978; Woodward 1997). Dazu gehören u. a. Entwicklungs- und Herstellungskosten, Anschaffungskosten, Betriebskosten, Wartungs- und Reparaturkosten und Entsorgungskosten. Jedoch lassen sich gerade die Kosten für Wartung und Reparatur ex ante nur schwer bestimmen, wenn keine ausführlichen Daten zu Ausfallhäufigkeiten und -ursachen vorliegen (Bosch et al. 2010; Geißdörfer 2008). Um ein vorhandenes Potenzial für eine Win-win-Situation von PSS zu identifizieren ist es notwendig, sowohl die Lebenszykluskosten des Kunden als auch des Anbieters zu betrachten (Lerch et al. 2010). Die Ermittlung des Mehrwerts eines PSS im Vergleich zum traditionellen Geschäftsmodell erfolgt in vier Schritten (Abbildung 3.4). In einem ersten Schritt werden als Grundlage die Lebenszykluskosten des traditionellen Geschäftsmodells ermittelt. Anschließend werden die für das PSS notwendigen zusätzlichen Investitionen zu diesen Lebenszykluskosten addiert. Als nächstes werden die durch das PSS erzielten Einsparungen in den unterschiedlichen Bereichen des Lebenszyklus bestimmt, wodurch die Lebenszykluskosten des PSS berechnet werden können. Die Differenz dieses Wertes zu den Lebenszykluskosten des traditionellen Geschäftsmodells ergibt den Mehrwert, der in einem letzten Schritt zwischen Kunde und Anbieter verteilt wird.

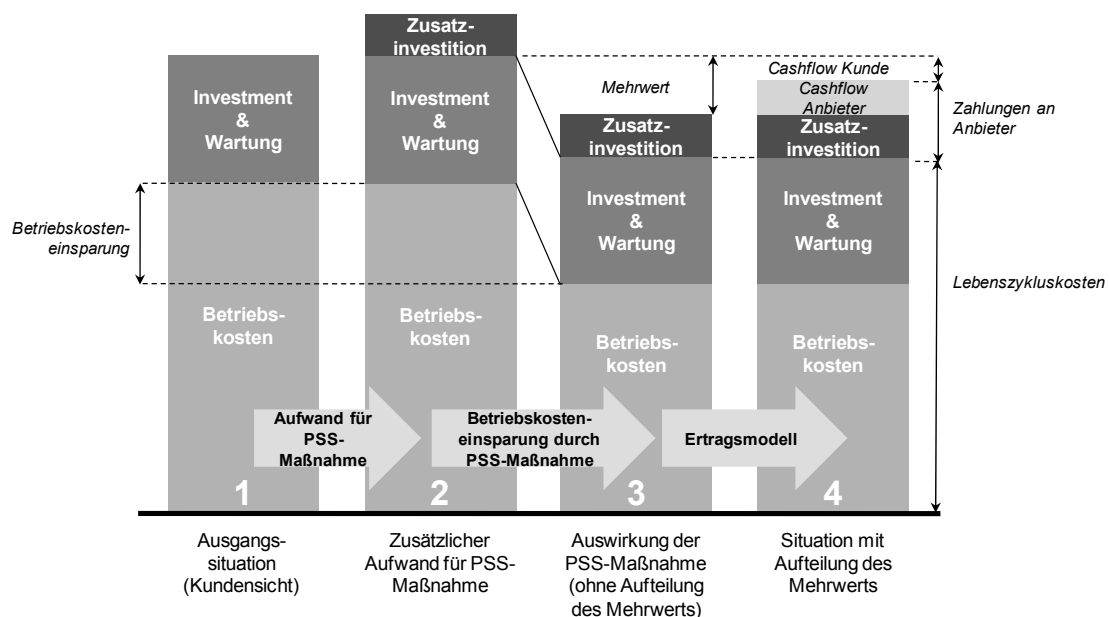


Abbildung 3.4: Ermittlung des zusätzlichen Cashflows (eigene Darstellung).

Trotz der genannten Vorzüge, die die Lebenszykluskostenanalyse bietet, scheinen die mit der Ermittlung verbundenen Schwierigkeiten zu überwiegen, denn das Konzept wird nur bei wenigen Kunden angewendet, wie die Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2009 zeigt. Nur 14,3 % der Industriebetriebe haben Lebenszykluskostenanaly-

sen bis zu dem befragten Zeitpunkt eingesetzt (Schröter, Biege 2012). Mögliche Ursachen hierfür könnten in der Datenverfügbarkeit, der Komplexität, der Unternehmenskultur und in der angemessenen Nutzung und Relevanz dieser Analysen liegen (Ellram 1993b; Ellram, Siferd 1998). Der Mangel an konsistenten und verlässlichen Daten und eine fehlende Standardisierung beziehungsweise Richtlinien für die Anwendung dieses Konzepts führen häufig zu einer Ablehnung dieser Methode. Um den gesamten benötigten Input zu sammeln, muss für die Datenerfassung einige Zeit aufgebracht werden, was zusätzlich die Motivation schmälert, solche Analysen durchzuführen (Ardit, Messiha 1999; Cole, Sterner 2000). Ansätze zur Anwendung der Lebenszykluskostenanalysen sind jedoch auch außerhalb von Investitionsentscheidungen für Anlagen oder PSS in Anwendung. So wird dieses Konzept beispielsweise auch für die Auswahl von verschiedenen Strategien für PSS am Beispiel von Verfügbarkeitsgarantien ein Simulationsmodell auf Basis der Lebenszykluskosten entwickelt (Baumeister 2008).

3.2.1.2 Ansatzpunkte zur Reduzierung der Lebenszykluskosten

Gelingt es, die Lebenszykluskosten ex-post tatsächlich wie ex-ante ermittelt zu reduzieren, wird durch die Aufteilung des prognostizierten Mehrwerts zwischen Anbieter und Kunde die geforderte Win-win-Situation erreicht. Ein möglicher Ansatzpunkt das Mehrwertpotenzial zu identifizieren, ist der von Lay et al. (2009a) vorgestellte Vorschlag, die Arten der möglichen, zu reduzierenden Lebenszykluskosten zu untersuchen. Ein Mehrwert durch PSS kann durch vier verschiedene Ansätze erzielt werden:

- Reduzierung der Betriebskosten
- Reduzierung der Qualitätskosten
- Reduzierung der Wartungs- und Reparaturkosten
- Reduzierung der Investitionen

Die Betriebskosten können reduziert werden, indem die Kapazitätsauslastung erhöht wird, wodurch die fixen Kosten auf eine größere Anzahl an produzierten Teilen verteilt werden. Erreicht werden kann dies durch eine dauerhaft installierte Kapazität beim Kunden, die den durchschnittlichen Bedarf abdeckt. Bei Kapazitätsspitzen werden die zusätzlichen Produkte auf weiteren entweder stationären Anlagen beim Anbieter oder auf mobilen Anlagen beim Kunden gefertigt. Dies setzt jedoch ein Mindestmaß an Flexibilität der genutzten Anlage voraus, so dass darauf unterschiedliche Produkte mit – für Spitzenbedarfe – noch wirtschaftlichem Umrüstaufwand gefertigt werden können. Auch wenn die gewünschte Nutzungsdauer einer Anlage geringer als deren technische Nutzungsdauer ist, kann die kapazitative Auslastung der Anlage erhöht werden, indem diese nachfolgend noch von weiteren Kunden des Anlagenherstellers genutzt wird. Auch in diesem Fall können entweder mobile Anlagen eingesetzt werden, die zu den

Kunden gebracht werden können und für den gewünschten Zeitraum dort eingesetzt werden, oder die entsprechenden Teile werden gemäß den Kundenwünschen auf einer Anlage beim Anbieter gefertigt. Hierfür wird ebenfalls eine entsprechende Flexibilität vorausgesetzt, wobei die Nutzungsdauer länger sein kann, wodurch ein etwas höherer Aufwand für das Umrüsten angemessen sein kann als bei der vorherigen Variante. Genaue Ausgestaltungsvorschläge zu diesen PSS sind bei Lay et al. (2009a) zu finden.

Auch eine kontinuierliche Modernisierung kann als PSS angeboten werden, das darauf abzielt, die Betriebskosten einer Anlage zu reduzieren. Voraussetzung für ein solches Angebot sind eine lange technische Nutzungsdauer, aber dennoch häufige Neuerungen von Anlagen beziehungsweise Anlagenkomponenten, die auf den Markt gebracht werden. Solche Neuerungen erhöhen beispielsweise die Produktivität oder senken den Material- beziehungsweise Energieverbrauch (Lay et al. 2009a).

Die Qualitätskosten können durch eine Verringerung der Ausschuss- und Nacharbeitsquote reduziert werden. Hierfür bieten sich zwei unterschiedliche Konzepte an. Zum einen ist eine temporäre oder langfristige Produktionsunterstützung des Kunden durch Mitarbeiter des Anbieters möglich. Dabei wird eine bestimmte Qualität der gefertigten Produkte festgelegt und nach dem erreichten Ergebnis abgerechnet. Eine weitere Möglichkeit besteht im Angebot von Schulungen, durch die ein bestimmtes Ergebnis garantiert wird (Lay et al. 2009a).

Die Verfügbarkeit einer Anlage kann in einem PSS mit dem Ziel, die Wartungs- und Reparaturkosten zu reduzieren, angeboten werden. Dieses Geschäftsmodell bietet sich besonders an, wenn die Ausbildung oder Kapazität des Kundenpersonals nicht für die Wartung der entsprechenden Anlage ausreicht und es dadurch zu vermeidbaren technischen Stillstandszeiten kommt. Zudem hilft eine zustandsbasierte Wartung in geplanten Stillstandszeiten, die Wartungs- und Reparaturkosten zu reduzieren, indem ungeplante Ausfälle und die damit verbundenen Kosten vermieden werden können (Lay et al. 2009a; Schuh et al. 2007).

Auch die Investitionen können reduziert werden, wenn keine umfassenden Lastenhefte erfüllt werden müssen, die den Einsatz bestimmter Komponenten und Module vorgeben. Garantiert der Anbieter stattdessen die Leistung und Qualität der Anlage, kann er diese kostengünstiger auslegen und durch die entstehende Preisdifferenz sowohl seine Gewinnspanne erhöhen als auch die Anlage günstiger verkaufen. Eine weitere Möglichkeit die Investitionen zu reduzieren ist die Option eines Kapazitätsausbaus, die zu einem Festpreis geboten wird. Dadurch kann ein Sicherheitsaufschlag für zukünftige unsichere Bedarfe vermieden werden und somit eine kleinere Anlage gewählt werden.

Somit kann die Investition geringer ausfallen und die Anlage bei Bedarf um zusätzliche Kapazitäten erweitert werden (Lay et al. 2009a).

Wird durch die Leistungserbringung des PSS auch der Output der Anlage oder die Zahlungsbereitschaft für die erzeugten Produkte z. B. durch qualitative Verbesserungen geändert, sollte auch die Möglichkeit zusätzlicher und entgangener Einzahlungen der Akteure in einem solchen Bewertungsansatz berücksichtigt werden, da auch diese Zahlungsströme Einfluss auf den Kapitalwert der Anlage über den Lebenszyklus haben (Denkena et al. 2007; Lerch et al. 2010).

3.2.2 Beeinflussung der Energie-/Ressourceneffizienz

In der Literatur wird häufig auf positive Auswirkungen von PSS auf die Umwelt hingewiesen (z. B. Baines et al. 2007; Goedkoop et al. 1999; Heiskanen, Jalas 2003; Manzini, Vezzoli 2003; Mont 2002). Ein solcher Nutzen für die Umwelt kann zum einen durch die Verringerung des Energieverbrauchs beziehungsweise Ressourceneinsatzes für die gleiche Produktionsleistung, aber auch durch Recycling von Produkten (z. B. Goedkoop et al. 1999; Manzini, Vezzoli 2003; Mont 2002) und die Verlängerung der Produktlebensdauer (Manzini, Vezzoli 2001; Roy 2000) erreicht werden. Dies kann durch Maßnahmen wie Wartung, Reparatur, Modernisierung und Wiederverwendung/-verwertung erreicht werden, die in unterschiedlicher Art und Weise ausgestaltet sein können. Da die Grundsätze der Materialeffizienz mit gewissen Einschränkungen auch auf die Energieeffizienz übertragen werden können, werden im Folgenden Betrachtungen zu beiden Bereichen berücksichtigt. Neben der Ressourceneinsparung und der dadurch reduzierten Umweltbelastung führen Materialeffizienzservices zusätzlich zu Kosteneinsparungen und neuen Geschäftsoptionen für spezialisierter Dienstleister (Halme et al. 2007).

Einsparungen von Material und Energie werden dadurch erzielt, dass sich die konfliktären Anreize zwischen Kunde und Anbieter, die im traditionellen Geschäftsmodell vorliegen, für PSS ändern. Im Fall des traditionellen Geschäftsmodells möchte der Kunde den Materialverbrauch verringern, der Anbieter jedoch erhöhen, da er nach verkauftem Volumen seines Produkts bezahlt wird. Bei den nutzen- und ergebnisorientierten PSS hingegen haben beide Parteien die Motivation, den Wert der Dienstleistung zu erhöhen, so dass hier keine gegensätzlichen Zielsetzungen mehr vorhanden sind (Abbildung 3.5) (Reiskin et al. 2000).

Dadurch gehen die Verantwortlichkeiten für Einsparmaßnahmen, aber auch die Risiken, die durch deren Umsetzung entstehen, auf den Anbieter über, so dass er dieses Ziel strenger verfolgt. Dadurch steigt auch das Interesse an einer passenden Überwa-

chung und Abrechnung des Verbrauchs, die bei dem Betrieb durch den Kunden meist fehlt (Sorrell 2007). Dies soll eine Entkopplung der Menge an im Prozess verwendetem Material oder verbrauchter Energie und dem wirtschaftlichen Erfolg des Anbieters mit sich bringen (Ligon, Votta 2001; Reiskin et al. 2000). Vor allem in nutzen- und ergebnisorientierten Geschäftsmodellen verspricht diese Entkopplung positive Resultate, da der Dienstleistungsanbieter in diesen Fällen für die Erfüllung der Kundenbedürfnisse bezahlt wird (Tukker 2004). Eine Möglichkeit für den Anbieter zur Erhöhung seines Gewinns ist es, weniger Energie oder Material für die gleiche Produktionsmenge einzusetzen. Einige Geschäftsmodelle beinhalten diese Verpflichtung zur Einsparung des Ressourcenverbrauchs sogar in ihrem Nutzenversprechen, so dass die Einsparungen in direktem Zusammenhang mit der Bezahlung stehen (Halme et al. 2007; Hockerts 1999). Werden diese Ersparnisse zwischen Anbieter und Kunde geteilt, führt dies zur Einflussnahme des Anbieters in die Kundenprozesse. Als Beispiel sei das Chemikalienmanagement oder das Chemikalienleasing genannt, bei dem die Funktion der Chemikalie verkauft und bezahlt wird. Dadurch verfolgen beide Seiten das Ziel einer Reduzierung des Chemikalienverbrauchs in der Kundenfertigung, um Ersparnisse zu erzielen (Geldermann et al. 2009; Joas 2008; Reiskin et al. 2000). Das Chemikalienmanagement beinhaltet neben der effizienten Nutzung zusätzlich Aspekte wie den Einkauf, die interne Logistik und die Entsorgung, wodurch Kundenprozesse wie Beschaffung, Materialmanagement, Produktionstechnik und Abfallmanagement durch den Anbieter beeinflusst werden (Bierma, Waterstraat 1999; Reiskin et al. 2000; Stoughton, Votta 2003).

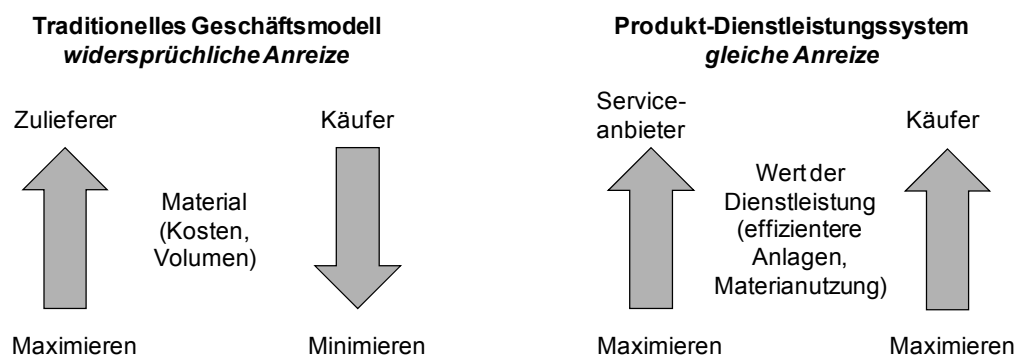


Abbildung 3.5: Anreize bei traditionellen Geschäftsmodellen vs. PSS am Beispiel Chemikalienleasing (in Anlehnung an BiPRO 2010; Reiskin et al. 2000; Stoughton, Votta 2003).

Die Ergebnisse der Befragung *Modernisierung der Produktion* 2009 bestätigen, dass Nutzer von PSS diesen Effekt der gleichgerichteten Anreize durch eine Reduktion ihres Energie- oder Materialverbrauchs erkennen können (Schröter et al. 2010). Der genaue

Anteil ist abhängig von der in Anspruch genommenen Kategorie von PSS. Für die nutzenorientierten Verfügbarkeitsgarantien konnten 15 % der Anwender einen reduzierten Energie- oder Materialverbrauch feststellen. Bei Lebenszykluskostengarantien und Verträgen zur laufenden Optimierung durch technische Anwendungsberatung wurde bei etwa einem Drittel der Unternehmen, die diese in Anspruch nehmen, der Energie- oder Materialverbrauch reduziert. Im Fall der ergebnisorientierten Pay-on-Production-Modelle konnte der Energie- beziehungsweise Materialverbrauch nach Kundenangaben in 31 % der Fälle verringert werden. Und für das Chemikalien-Leasing, das die Reduktion des Chemikalienverbrauchs im Ertragsmodell integriert hat, da für die Funktion und nicht für die verbrauchte Menge der Chemikalie bezahlt wird, stellten über die Hälfte der Nutzer (58 %) einen niedrigeren Material- beziehungsweise Energieverbrauch fest (Schröter et al. 2010).

In sich neu entwickelnden Märkten bieten Energiedienstleistungen, bei denen die erzielten Einsparungen zwischen Kunde und Anbieter in einem bestimmten Verhältnis aufgeteilt werden, zusätzlich die Möglichkeit, die Marktdurchdringung dieser PSS und auch der angewandten Effizienztechnologien voranzutreiben, da der Kunde dabei kein finanzielles Risiko eingeht (Bertoldi et al. 2006). Müsste der Kunde die Investitionen selbst übernehmen, würden sich energieeffiziente Technologien und Dienstleistungen langsamer auf dem Markt verbreiten (Halme et al. 2007). Dies begründet sich dadurch, dass der Umfang der Investitionen für Effizienztechnologien für gewöhnlich höher ist als für Standardlösungen und nur wenige Betriebe ihre Investitionen über den gesamten Lebenszyklus anstatt nur anhand der Höhe des Anschaffungspreises bewerten (Schröter et al. 2009). Jedoch werden bei Energiedienstleistungen die möglichen Effizienzmaßnahmen unter Lebenszyklusaspekten betrachtet und nicht nur auf die notwendigen Investitionen reduziert (Sorrell 2007). Unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten weisen solche Technologien mit höheren Investitionen meist geringere Kosten für den Betrieb und die Wartung auf. Somit liegt das Optimum der Lebenszykluskosten nicht bei den geringsten Investitionen (Woodward 1997). Besonders für Kunden aus kleinen und mittleren Unternehmen können Energiedienstleistungen helfen, deren finanzielle Situation (Liquidität) zu verbessern, da sie dadurch unabhängiger von der Höhe der Investitionen werden (Gruber, Brand 1991). Jedoch werden für Energiedienstleistungen auch komplexe Verträge benötigt (Gruber, Brand 1991), wofür auch entsprechendes Fachpersonal mit ausreichenden Kapazitäten benötigt wird. Über solche Ressourcen verfügen eher große Unternehmen (Schröter et al. 2010), so dass diese vermehrt von der höheren Liquidität und den Energieeinsparungen profitieren können.

Nichtsdestotrotz gibt es nur wenige ressourceneffiziente PSS auf dem Markt (Tukker 2004). Ein Grund hierfür ist, dass die Geschäftsperspektiven dieser Ökoeffizienzdienst-

leistungen nicht sorgfältig analysiert werden, sondern der Fokus auf der technischen Ausgestaltung liegt (Halme et al. 2007). Für technische Innovationen sind ergänzende organisatorische Innovationen jedoch unerlässlich, um den Wandel von produktorientierten hin zu dienstleistungsorientierten Werten zu unterstützen (Bleichwitz 2003). Eine weitere Schwierigkeit für die Einführung von PSS ist die mangelnde Betrachtung der Wirtschaftlichkeit und des immateriellen Marktwerts, die für das Erkennen eines Mehrwerts erforderlich ist (Mont et al. 2006; Tukker 2004). Dieser Zusammenhang besteht allgemein und hat somit auch für ressourceneffiziente PSS Gültigkeit.

Diese Probleme führen dazu, dass Ressourceneffizienzmaßnahmen folgende Rahmenbedingungen erfüllen sollten, damit das Angebot von ressourceneffizienten PSS dem potenziellen Kunden im Gegensatz zur eigenen Durchführung der Maßnahmen oder dem Erhalt des Status-quo als eine geeignete Lösung erscheint (Halme et al. 2007):

- Zum einen sollten die wirtschaftlichen Einsparungen ein großes Potenzial bieten, das zwischen Anbieter und Kunde aufgeteilt werden kann, um eine Win-win-Situation sicherzustellen.
- Weiterhin ist es von Vorteil, wenn die Planung und Implementierung für die Effizienzmaßnahmen sehr umfangreich sind, was die Umsetzung für den Kunden selbst weniger attraktiv macht.
- Zusätzlich verhindern lange Amortisationszeiten von mehr als drei Jahren den Wunsch des Kunden, diese Maßnahme selbst durchzuführen.
- Zuletzt sollte der betrachtete Prozess auch nicht zu den Kernkompetenzen der Kundenfirma gehören, damit die Bereitschaft besteht, die Verantwortung für diesen Prozess aus der Hand zu geben.

PSS können einen entscheidenden positiven Einfluss auf die Ressourceneffizienz haben, jedoch ist dieser nicht per se gegeben (Mont et al. 2006; Tukker 2004). Einerseits können die durch das PSS erzielten Einsparungen zu einem Rebound-Effekt führen (Mont et al. 2006). Doch auch die PSS selbst können sich bezüglich der Ressourceneffizienz problematisch gestalten. Produktorientierte PSS haben allgemein eher geringe Möglichkeiten zur Energieeinsparung und andere Ausgestaltungen können teilweise auch zu einem sorgloseren Umgang mit dem Produkt führen, was den Ressourcenverbrauch sogar noch erhöhen kann. Außerdem ist für die vielversprechendsten ergebnisorientierten PSS die Realisierung häufig sehr risikoreich (Tukker 2004). Deshalb bleibt die Frage, wie PSS genau ausgestaltet sein sollten, um das bestehende Potenzial zu nutzen und sie erfolgreich am Markt zu platzieren. Hierfür ist als weiterer Schritt in Abschnitt 3.4 die Konzeption von PSS zu betrachten. Zunächst soll jedoch analysiert wer-

den, inwieweit sich dieses Konzept im Bereich der Druckluft anwenden lässt und ob es bereits eingesetzt wird.

3.3 Bedeutung industrieller Produkt-Dienstleistungssysteme für Druckluftsysteme

Ziel dieses Unterkapitels ist es, die Themengebiete Druckluftsysteme und PSS zusammenzuführen, um herauszuarbeiten, welche Bedeutung die Zielsetzung dieser Arbeit für das Verarbeitende Gewerbe hat. Dafür wird zunächst dargestellt, inwiefern die Zielsetzungen, Vor- und Nachteile sowie Konzepte zur Lebenszykluskostenreduzierung von PSS für Druckluftsysteme von Relevanz sind. Im Anschluss wird diskutiert, welche in der Theorie bereits bestehenden PSS auch von den führenden Herstellern angeboten werden und wie weit diese bereits bei den Kunden Anwendung finden.

3.3.1 Übertragbarkeit der Grundidee

Die in Abschnitt 3.1.1 erwähnten Ziele der Differenzierung, Kundenbindung, Absatzerweiterung, Innovationsrückkopplung sowie der Erwirtschaftung eines Mehrwerts, die bei der Umsetzung von PSS verfolgt werden, sind auch für Anbieter von Druckluftanlagen relevant. Dabei wurde empfohlen, für die Ermittlung des Mehrwerts den Kapitalwert zu benutzen. Dies ist im Bereich der Druckluft für die Kundenseite nur schwer möglich, da die Druckluft in vielen Produktionsprozessen eingesetzt wird und damit sämtliche Produktionskosten und -erlöse des Kunden betrachtet werden müssten. Dabei ist eine Abgrenzung der Effekte durch das PSS und sonstiger Effekte sehr schwierig. Wird jedoch angenommen, dass sich der Output des Produktionssystems durch die Beeinflussung des zugehörigen Druckluftsystems nicht verändert, ist es ausreichend, die Auszahlungen, die mit dem Druckluftsystem verbunden sind, zu betrachten.

Auch die kundenseitige Zielsetzung, sich den Kernkompetenzen zu widmen und notwendige Nebenprozesse eher an externe Leistungserbringer abzugeben, spricht bei der Nutzung von Druckluftsystemen für die Inanspruchnahme von PSS (Lay et al. 2007).

Die diskutierten Vorteile für den Anbieter, höhere Margen zu erzielen und die Umsätze zu verstetigen, können auch auf Anbieter von PSS für Druckluftsysteme übertragen werden. Jedoch sind die erwähnten Nachteile von PSS für Druckluftsysteme besonders ausgeprägt. Da es sich, wie in Kapitel 2 aufgezeigt, bei Druckluftsystemen um große Anlagen mit unterschiedlichen Bereichen handelt, kann die Übernahme des Betriebsrisikos zusätzlich Bereiche mit einschließen, die durch das Angebot des entsprechenden PSS nicht mit abgedeckt sind. Somit kann der Anbieter diese Bereiche auch

nicht beeinflussen. Aus diesem Grund muss bei der Vertragsgestaltung besonders darauf geachtet werden. Auch die Feststellung, dass sich durch das Angebot von PSS die Wettbewerbssituation ändern kann, und dies vor allem auch eigene Zulieferer und Kunden betreffen kann, ist durch die Vielzahl der Akteure, die an der Bereitstellung eines kompletten Druckluftsystems beteiligt sind (siehe Abschnitt 2.4), hervorzuheben.

Damit sind ähnliche Voraussetzungen wie bei den Herstellern von Investitionsgütern gegeben. Nun ist zu prüfen, ob die dafür vorgestellten Konzepte zur Reduzierung einzelner Kostenarten durch die Bereitstellung von PSS (siehe Abschnitt 3.2.1.2) auch für Druckluftsysteme anwendbar sind.

Die Steigerung der kapazitiven Auslastung eines bestehenden Systems hilft nicht, die Betriebskosten zu senken, da somit – bei gleichem Output – mehr Druckluft erzeugt und verbraucht würde. Jedoch ist bei einer Neuanlage eine bedarfsgerechte Auslegung, die zu einer vollen Auslastung zumindest der Grundlastkompressoren führt, zielführend. Kann ein leistungsschwächerer Kompressor eingesetzt werden, reduzieren sich die fixen Kosten, die auf die erzeugte Menge an Druckluft verteilt werden.

Der technische Fortschritt bei Druckluftsystemen ist nicht so schnell, dass eine kontinuierliche Modernisierung im Abstand von 2 – 3 Jahren angeboten werden könnte. Jedoch sind viele alte Druckluftsysteme im Einsatz, so dass eine Modernisierung das System auf den Stand der Technik bringen kann, um den Energieverbrauch zu reduzieren. Ein anschließender Servicevertrag kann helfen, den Energieverbrauch auf diesem Niveau zu halten. Da die Energiekosten ein Teil der Betriebskosten sind, kann ein solches PSS helfen, diese Kostenart zu reduzieren.

Neben der Verfügbarkeit von Druckluft ist auch deren Qualität in einigen Branchen von herausragender Bedeutung. Ist die Qualität der verwendeten Druckluft zu gering, kann dies dazu führen, dass die Erzeugnisse nicht die erforderlichen Qualitätseigenschaften aufweisen. Beispielsweise führen bei Lackierprozessen Wasser und Öl in der Druckluft zu Blasen im Lack (Ruppelt 2003b). Um dieses Problem zu umgehen, ist die Garantie einer bestimmten Druckluftqualität ein mögliches PSS. Darüber hinaus kann auch eine nicht ausreichende Druckluftversorgung Prozessstörungen zur Folge haben, bei denen abhängig vom Prozess auch Ausschuss anfallen kann.

Für die Reduzierung der Wartungs- und Reparaturkosten wird eine garantierte Verfügbarkeit vorgeschlagen. Dieses PSS bietet sich besonders für Druckluftsysteme an, wenn die Ausbildung des Kundenpersonals nicht für die kostenoptimale Wartung der Druckluftanlage ausreicht. Zudem hilft eine zustandsbasierte Wartung in geplanten Stillstandszeiten im Rahmen solcher Angebote, die Wartungs- und Reparaturkosten zu

reduzieren, indem ungeplante Ausfälle und die damit verbundenen Kosten eines Produktionsstillstands vermieden werden können (Schuh et al. 2007).

Auch die Investitionen können reduziert werden, wenn weniger leistungsstarke Kompressoren eingesetzt werden. Diese werden gemäß dem Druckluftbedarf zum Zeitpunkt der Kaufentscheidung festgelegt. Durch die Zahlung eines Festpreises erhält der Kunde die Option eines kostengünstigen Leistungsausbaus, die bei erhöhtem Druckluftbedarf wahrgenommen werden kann.

Diese Ideen zeigen, dass die Vorschläge zur Reduzierung der Lebenszykluskosten für Investitionsgüter mit Einschränkungen auch auf Druckluftsysteme übertragbar sind. Jedoch sind die Lebenszykluskosten für Druckluftanlagen im Allgemeinen wie in Abbildung 3.6 aufgeteilt. Ein Energiekostenanteil (der gewöhnlich den Betriebskosten zugeordnet wird) von über 70 % ist für Druckluftsysteme allgemein üblich, so dass hier am meisten Potenzial zur Einsparung durch PSS gegeben sein sollte. Dadurch würden nicht nur die Kosten gesenkt, auch die positive ökologische Beeinflussung, die in vielen Definitionen für PSS genannt wird (z. B. Goedkoop et al. 1999; Manzini, Vezzoli 2003; Mont 2002), würde somit in Form von Energieeffizienz realisiert.

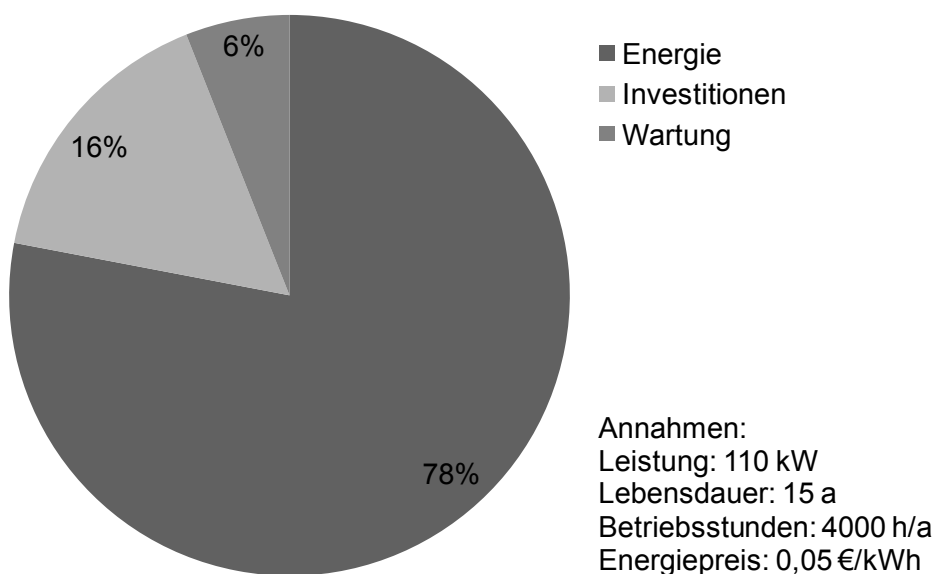


Abbildung 3.6: Lebenszykluskosten einer Druckluftanlage (Radgen 2003).

In Anbetracht der Lebenszykluskosten eines Druckluftsystems wäre das Erreichen bestimmter Energieeinsparungen ohne die Funktionalität des Druckluftsystems dadurch negativ zu beeinflussen ein aussichtsreiches Nutzenversprechen. Dieses Nutzenversprechen wird in der Kompressorenindustrie teilweise bereits durch die sogenannten

Contracting-Modelle bedient – PSS, bei denen der Kunde beispielsweise für den Kubikmeter erzeugter Druckluft bezahlt (Dudda et al. 2002). Wie diese Art der PSS aufgebaut sein kann, welchen Einfluss unterschiedliche Konfigurationen auf die Energieeffizienz haben könnten und wie verbreitet das Angebot solcher Contracting-Modelle unter den führenden Kompressorenherstellern ist, soll im nächsten Abschnitt erläutert werden.

3.3.2 Bestehende Produkt-Dienstleistungssysteme in der Drucklufttechnik: Druckluftcontracting

Im Kontext von Energieeffizienz und Energiebereitstellung werden PSS als Contracting bezeichnet. Anwendung findet Contracting hauptsächlich in Bereichen wie Wärme, Kälte, Beleuchtung oder auch Druckluft. Diese bieten unterschiedliche Ausgestaltungen wie schon in Abbildung 3.1 dargestellt. Dabei können sowohl die organisatorischen Zuständigkeiten variieren, was auch die technische Unterstützung beim Betrieb und der Modernisierung der Anlage mit einschließen kann, es kann aber auch zusätzlich oder ausschließlich die Finanzierung ein wichtiger Aspekt dieser Contracting-Modelle sein (Brown 1988; Geldermann et al. 2009; Helle 1997; Sorrell 2007).

Die Contracting-Modelle lassen sich anhand der deutschen Normung grob in vier verschiedene Modelle unterteilen, die auch auf die Bereitstellung beziehungsweise effizientere Erzeugung von Druckluft übertragbar sind (DIN 8930-5 ; Dudda et al. 2002). Im Abgleich mit den tatsächlich angebotenen PSS der fünf in Europa führenden Hersteller von Schraubenkompressoren Aerzener, Atlas Copco, CompAir, Ingersoll-Rand und Kaeser¹² (Frost & Sullivan 2003) anhand von Internetrecherchen wird deutlich, dass diese vier Grundmodelle in unterschiedlichen Ausgestaltungsvariationen auch tatsächlich auf dem Markt angeboten werden (Tabelle 3.1).

Die erste Variante der Contracting Modelle ist das technische Anlagenmanagement. Dabei handelt es sich um ein produktorientiertes Geschäftsmodell. Hier wird als Nutzenversprechen die größtmögliche Betriebsbereitschaft angeboten, jedoch ohne eine konkrete Verfügbarkeitsgarantie abzugeben. Um diese zu realisieren, ist die Wertschöpfungsarchitektur wie folgt: Der Kunde kauft die Kompressorstation, womit auch das Eigentum an ihn übergeht, jedoch kümmert sich der Anbieter um den Betrieb und die Wartung der Anlage. Das Ertragsmodell entspricht einer fixen Betreiberpauschale. Dieses Contracting-Modell ist besonders für Firmen geeignet, die nicht über die nötige Fachkompetenz zum Betreiben einer Druckluftanlage verfügen, aber das System nicht

¹² In alphabetischer Reihenfolge genannt.

komplett aus der Hand geben wollen (Dudda et al. 2002). Da für den Betrieb selbst kein Bediener notwendig ist, erfolgt dieser Service normalerweise über Teleüberwachung, so dass nur im Störfall und zur regelmäßigen Wartung ein Servicetechniker vor Ort sein muss. Diese Art von PSS bieten alle der fünf führenden Kompressorenhersteller in Form von Full-Service-Wartungsverträgen an (Aerzener Maschinenfabrik 2012b; Atlas Copco 2012; CompAir Werkskundendienst 2012; Ingersoll Rand 2010b; Kaeser Kompressoren 2012a).

Ein gegensätzliches Angebot liefert das Finanzierungscontracting. Bei diesem nutzenorientierten Geschäftsmodell übernimmt der Kompressorenhersteller selbst oder über eine Leasingbank die Finanzierung der Anlage. Das Nutzenversprechen ist eine Bereitstellung der Anlage zur Druckluftherzeugung und -aufbereitung. Der Kunde zahlt zeitabhängige Contractingraten für die Nutzung der Druckluftanlage und ist selbst für deren Betrieb und Wartung verantwortlich (Dudda et al. 2002). Bei Bedarf kann er vom Anbieter Wartungs- oder Reparaturleistungen in Anspruch nehmen, die dann wie im traditionellen Geschäftsmodell nach dem entstandenen Aufwand abgerechnet werden. Dieses PSS bietet sich hauptsächlich für Unternehmen an, die eine neue Kompressorstation oder zusätzliche Kompressoren benötigen, jedoch nicht genügend liquide Mittel zur Verfügung haben. Geschultes Personal im Bereich der Drucklufttechnik ist bei der Zielgruppe vorhanden. Von den führenden Kompressorenherstellern bewirbt niemand ein solches Geschäftsmodell.

Beim Energieliefer-Contracting betreibt der Anbieter die Anlage vor Ort und ist auch ihr Eigentümer. Dabei wird zwischen Kunde und Anbieter ein Intervall für eine bestimmte Abnahmemenge an Druckluft mit einer festgelegten (Mindest-)Qualität vereinbart. Das Nutzenversprechen ist folglich die Bereitstellung von ausreichend und qualitativ passender Druckluft. Die Abrechnung erfolgt normalerweise pro erzeugtem Kubikmeter Druckluft. Da ein Großteil der anfallenden Kosten durch die Energieversorgung entsteht und durch langfristige Verträge eine erhöhte Kundenbindung entstehen kann, haben bei dieser Variante neben den Kompressorenherstellern auch Energieversorgungsunternehmen Interesse daran, als Anbieter aufzutreten. Auch das Angebot durch unabhängige Dienstleister ist denkbar. Je nachdem, wer das Angebot unterbreitet, können die Stromkosten auch vom Anbieter übernommen werden (Lay et al. 2007). Bei diesem Geschäftsmodell hat der Kunde einen gewissen Anreiz, den Druckluftverbrauch – und damit auch den Energieverbrauch – zu senken, da diese Kosten direkt der Druckluftanlage zuzuordnen sind. Abhängig davon, ob eine Mindestabnahmemenge oder ein Grundpreis vereinbart wird, damit der Anbieter seine Fixkosten decken kann, hat der Kunde im Zweifelsfall jedoch keine Motivation, noch bedeutend unter dieser Abnahmemenge zu bleiben. Für den Anbieter ist es ein Ansporn, die Druckluft energieeffizient zu erzeugen, wenn dieser die Stromkosten trägt oder eine Höchstmen-

ge an Stromverbrauch für die Druckluftherzeugung garantiert. Jedoch besteht nach dem Übergabepunkt, an dem der Druckluftverbrauch gemessen wird, für den Anbieter keinerlei weiterer Anreiz zur Einsparung, d. h. bei einer Übergabe nach der Aufbereitung, wie es aufgrund der benötigten Messung zumeist der Fall ist, ist eine effiziente Verteilung und Nutzung nicht mehr im Interesse des Anbieters, so dass beispielsweise die Reduzierung von Leckagen nicht durch ihn forciert wird. Zielgruppe dieses PSS sind Unternehmen, die keine Kernkompetenzen im Bereich Druckluft (mehr) haben. Dieses ergebnisorientierte Geschäftsmodell ist mit 90 % aller Druckluftcontractingverträge am weitesten verbreitet (Dudda et al. 2002). Abgesehen von CompAir bieten alle fünf Unternehmen im Jahr 2012 eine Variante dieses PSS an (Aerzener Maschinenfabrik 2012a; Atlas Copco 2012; Ingersoll Rand 2010a; Kaeser Kompressoren 2012b).

Die ausgeprägteste Form des Contractings ist das Einspar-Contracting. Bei diesem ebenfalls ergebnisorientierten Geschäftsmodell garantiert der Anbieter dem Kunden eine gewisse Einsparung im Vergleich zu seiner bestehenden Anlage. Diese garantierten Einsparungen stellen das Nutzenversprechen des PSS dar und können durch verschiedene Maßnahmen – investiv, organisatorisch, technisch – erzielt werden. Die Höhe der Einsparungen muss im Vorfeld festgelegt werden, da aus ihr die Contractingrate ermittelt wird. Dies kann zu den ersten Schwierigkeiten bei diesem Geschäftsmodell führen, da zum einen der derzeitige Bedarf an Druckluft im Kundenunternehmen festgelegt werden muss, der täglich wechseln kann. Zusätzlich müssen erwägbare Änderungen des Bedarfs durch mögliche Nutzungsänderungen während der Vertragslaufzeit im Vertrag mit berücksichtigt werden. Über die (erzielten) Einsparungen finanziert der Anbieter die Kosten der Verbesserungsmaßnahmen. Entweder erfolgt die Bezahlung über einen kürzeren Zeitraum, in dem der Anbieter die gesamten Einsparungen erhält und der Kunde somit den gleichen Betrag wie vorher für die Druckluft bezahlt oder der Kunde kann von Anfang an einen Teil der Einsparungen einbehalten, dann erfolgt die Abrechnung jedoch über einen längeren Zeitraum (Dudda et al. 2002). Um die angestrebten Einsparungen im Griff zu haben, ist es wichtig, dass der Anbieter die Verantwortung für das komplette Druckluftsystem von Erzeugung, Aufbereitung, Verteilung bis hin zur Nutzung übernimmt und sowohl den Betrieb als auch die Wartung des Druckluftsystems dem Kunden abnimmt. Am Vertragsende findet ein Eigentumsübergang der verbauten Produkte vom Anbieter zum Kunden statt. Dieser kann im Anschluss beispielsweise ein technisches Anlagenmanagement buchen, damit er nach diesem längeren Zeitraum nicht selbst wieder für Betrieb und Wartung verantwortlich ist. Zielgruppe dieser Ausgestaltungsform sind vor allem Kunden mit einem alten beziehungsweise wartungsbedürftigen Druckluftsystem und nicht vorhandenen beziehungsweise geringen Qualifikationen im Bereich Druckluft. Aufgrund der komplexen Vertragsgestaltung ist dieses Geschäftsmodell mit nur 6 % aller Contractingverträge

nur sehr wenig verbreitet (Dudda et al. 2002). Zwar bieten Atlas Copco, CompAir und Ingersoll-Rand Varianten dieses Einsparcontractings an (Atlas Copco 2012; CompAir 2000; CompAir 2012; Weihs, Scherf 2007), jedoch beinhalten nach Anbieterangaben diese unterschiedlichen Formen des Einsparcontractings nur die Druckluftherzeugung und -aufbereitung, womit der Anbieter keinerlei Kontrolle über die Verteilung und Nutzung hat. Dies hat zur Folge, dass er die Einsparungen in diesen Bereichen wenig beeinflussen kann. Auch ist der Anreiz für den Kunden, auf einen geringen Verbrauch zu achten, gering, wenn die Differenz zwischen ursprünglichem und neuem Verbrauch in einem festen Anteil an den Anbieter fließt. Somit muss das Verhalten des Kunden vertraglich abgesichert werden, was sich jedoch nur schwer überprüfen lässt.

Tabelle 3.1: Contractingmodelle der führenden Kompressorenhersteller im Jahr 2012 (eigene Darstellung auf Basis der im Text genannten Quellen).

Hersteller	Art des Druckluftcontractings
Aerzener	Technisches Anlagenmanagement: • Vollwartungsvertrag Optional Energieliefercontracting: • Vollwartungsvertrag mit Vermietung und Bezahlung nach Verbrauch
Atlas Copco	Technisches Anlagenmanagement: • Service Contract: Maschineneigentum beim Kunden Anlehnung an Energieeinsparcontracting: • monatlicher Festpreis: Grundgebühr und Strom vom Kunden bezahlt Energieliefercontracting: • Kubikmeterpreis: sämtliche Kosten enthalten
CompAir	Technisches Anlagenmanagement: • Vollwartungsvertrag Einsparcontracting: • Kosten und Energieeinsparungen nach Leistungsvertrag • optimale Konfiguration des Systems
Ingersoll-Rand	Technisches Anlagenmanagement: • Vollwartungsvertrag Energieliefercontracting: • Kubikmeterpreis: Planung, Aufstellung, Instandhaltung Energieliefer-/ (Einspar-)contracting in Kooperation mit EVU: • maximaler Energieverbrauch pro m³ Druckluft
Kaeser	Technisches Anlagenmanagement: • Vollwartungsvertrag Energieliefercontracting: • Anlage komplett vom Hersteller • Grundgebühr (Betriebskosten + Grundabnahme), Mehrmengenpreis

Wie groß die Nachfrage nach den unterschiedlichen Ausgestaltungen ist, geht aus den Angaben der Anbieter nicht hervor. Eine Studie von Schuh et al. (2006) besagt jedoch, dass sogenannte Betreibermodelle, also ergebnisorientierte Geschäftsmodelle, im Vergleich zu anderen Branchen des Maschinen- und Anlagenbaus im Bereich Kompressoren und Lufttechnik relativ häufig umgesetzt werden.

Die Frage zur Verbreitung von Contractingmodellen wurde in den Fragebogen der Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2009 des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI integriert. Seit 1993 führt das ISI diese Erhebung zur *Modernisierung der Produktion* regelmäßig durch. Sie adressiert Betriebe aller Branchen des Verarbeitenden Gewerbes ab einer Größe von 20 Beschäftigten. Im Jahr 2009 wurden 15.576 zufällig ausgewählte Betriebe¹³ angeschrieben, wovon 1.484 verwertbare Fragebögen zurückgesendet wurden, was einer Rücklaufquote von 10 % entspricht (Jäger, Maloca 2009).

Die Daten dieser Erhebung ergeben, dass 14 % aller deutschen Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes Druckluftcontractinglösungen bei sich einsetzen¹⁴. Im Vergleich zu den anderen PSS – garantierte Lebenszykluskosten (4 %), technische Anwendungsberatung (9 %), Pay-on-Production-Modellen (4 %) und Chemikalienleasing (3 %) – die bei dieser Erhebung abgefragt wurden, ist dies eine signifikant höhere Verbreitung. Lediglich Verfügbarkeitsgarantien wurden mit 16 % noch häufiger nachgefragt (Schröter et al. 2010), wobei dieser Unterschied nicht signifikant ist. Der in selbiger Studie erkennbare Trend, dass größere Unternehmen vermehrt PSS einsetzen (Schröter et al. 2010), bestätigt sich auch für das Druckluftcontracting. Während Betriebe mit weniger als 50 Beschäftigten einen Nutzungsgrad von 12 % haben und mittlere Betriebe mit 14 % genau im Durchschnitt liegen, nutzen große Betriebe mit einer Mitarbeiterzahl ab 250 Beschäftigten zu 18 % diese Konzepte (Abbildung 3.7). Eine mögliche Deutung dieser Zahlen wäre, dass die in größeren Betrieben vermehrt zur Verfügung stehenden Ressourcen, die solche innovativen Konzepte ermöglichen (Schröter et al. 2010), die Vorteile der erhöhten Liquidität (Gruber, Brand 1991) überwiegt. Des Weiteren haben größere Betriebe tendenziell auch einen höheren Druckluftbedarf, wodurch eine kritische Menge für das Angebot von Contractinglösungen erreicht wird. So ist es möglich, dass kleine und mittlere Unternehmen Contracting gar

¹³ Bei dieser Zahl handelt es sich um die bereinigte Nettostichprobe, bei der Betriebe, die nicht mehr zur Zielgruppe gehören, bereits aussortiert wurden.

¹⁴ Mit Berücksichtigung des Stichprobenfehlers liegt die Verbreitung mit 95 %iger Wahrscheinlichkeit im Intervall von 12,1 – 15,7 %.

nicht aktiv angeboten bekommen, sondern dass ihnen nur auf eigene Nachfrage speziell auf ihren Bedarf angepasste Lösungen bereitgestellt werden.

Auch die Verbreitung in den Branchen unterscheidet sich. Bei der Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren sowie in der chemischen Industrie nehmen mit über 19 % überdurchschnittlich viele der Betriebe Druckluftcontracting in Anspruch. Hingegen nutzen nur weniger als 10 % des Textil- und Bekleidungsgewerbes, des Maschinenbaus und der Elektroindustrie solche Konzepte.

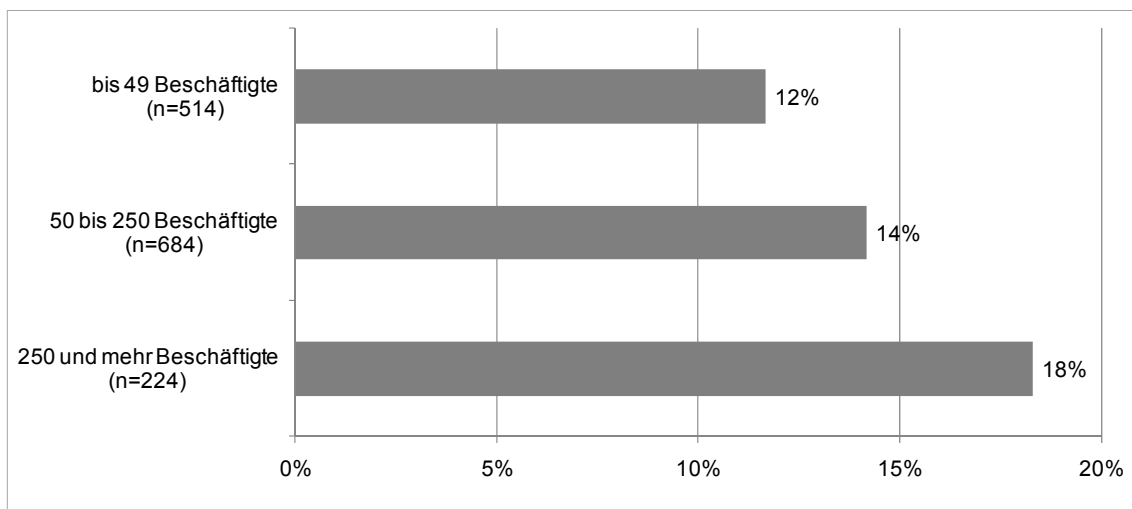


Abbildung 3.7: Nutzer von Druckluftcontracting nach Größenklassen (Erhebung *Modernisierung der Produktion* 2009, Fraunhofer ISI. Eigene Berechnung).

Eine Aufteilung nach unterschiedlichen Contractingarten hat bei dieser Erhebung nicht stattgefunden. Somit ist davon auszugehen, dass die Angaben von Full-Service-Verträgen als technisches Anlagenmanagement in den Betrieben unterschiedlich gehandhabt wurden. Dadurch liefert diese Art des Contractings eventuell einen relativ großen Beitrag zur Verbreitung von Druckluftcontracting. Wird jedoch die Verteilung von Dudda et al. (2002) zugrunde gelegt, ergäbe sich bei der Umrechnung, dass bei 14 % Nutzern von Druckluftcontracting 12,5 % das Energieliefercontracting in Anspruch nehmen, 0,8 % das Energieeinsparcontracting und die restlichen 0,6 % teilen sich auf technisches Anlagenmanagement und Finanzierungscontracting auf.

3.3.3 Herausforderungen für zukünftige Entwicklungen

Wie im vorangehenden Abschnitt erläutert, gibt es bereits PSS, die das Nutzenversprechen der (energieeffizienten) Bereitstellung von Druckluft oder der Druckluffertzeugungs- und -aufbereitungsanlage enthalten. Für zukünftige Entwicklungen von PSS für

Druckluftsysteme zur Steigerung der Energieeffizienz sind jedoch weitere Anforderungen zu erfüllen:

Abschnitt 2.5 hat gezeigt, dass diverse Einsparpotenziale für Druckluftsysteme bestehen, jedoch nicht in jedem System alle Einsparpotenziale vorliegen. Deshalb ist für die Erstellung eines allgemeinen Angebots zu prüfen, welche Einsparmaßnahmen ein weites Anwendungspotenzial haben und letztendlich ist für den einzelnen Kunden anhand seiner individuellen Situation zu analysieren, mit welchen Maßnahmen sein Energieverbrauch wirkungsvoll gesenkt werden kann.

Wie sich in Abschnitt 3.2.1 herausgestellt hat, können sich PSS positiv auf die Lebenszykluskosten und den Energieverbrauch auswirken. Diese Zielsetzungen sollen auch die Grundlage der PSS für Druckluftsysteme darstellen, da die Anwender gerade im Bereich Energieeffizienz Probleme haben, eigenständig Maßnahmen zur Energieeinsparung durchzuführen, wie in Abschnitt 2.6 aufgezeigt wird. Um die Zielsetzung der Energieeffizienz in PSS im Bereich der Druckluft zu erreichen, bietet es sich an, das gesamte System von der Druckluftherzeugung bis zum Verbraucher zu betrachten. Dadurch kann ein übermäßiger Konsum an Druckluft durch Leckagen oder unsachgemäße Handhabung von verschiedenen Druckluftanwendungen vermieden werden, so dass sich der Anbieter auch an den erzielten Energieeinsparungen messen lassen kann, ohne dass Verantwortungsbereich und Abrechnungsgrundlage auseinander driften.

Allerdings ergibt sich mit dieser Anforderung, das gesamte Druckluftsystem betrachten zu wollen, und den Grundlagen aus Abschnitt 2.4, in dem die Akteure, die beim Aufbau und der Nutzung eines Druckluftsystems beteiligt sind, vorgestellt werden, eine weitere Schwierigkeit für die Konzeptionierung und Durchführung von PSS. Durch die Vielzahl der Akteure resultiert die Möglichkeit oder auch Notwendigkeit, mit anderen Akteuren zu kooperieren, um das geforderte Know-how bereitstellen zu können. Ist eine solche Kooperation nicht gewünscht, ist es zunächst auch möglich, lediglich die Bereiche der Verteilung und Nutzung zu betrachten, für die bisher noch keine nutzen- und ergebnisorientierte PSS bekannt sind.

Geht die Initiative beispielsweise vom Komponentenhersteller aus, ist des Weiteren zu bedenken, dass dieser meist keinen direkten Kontakt zum Endkunden hat, sondern der Kundenkontakt über den Maschinenhersteller läuft. Dadurch kann es zum einen schwierig werden, diesen Markt zu erschließen, zum anderen kann auch eine Konkurrenzsituation mit den ursprünglichen Kunden auftreten. Daraus abgeleitet ergibt sich die Anforderung, die Konsequenzen bezogen auf die Marktsituation im Entwicklungsprozess zu berücksichtigen. In dieser Arbeit sollen die Fragen zu der Service-Chain

jedoch nicht näher betrachtet werden. Ausführlich ist diese Thematik z. B. in Kleine et al. (2010) beschrieben.

Um die genannten Anforderungen zu erfüllen, ist es sinnvoll, einen strukturierten Entwicklungsprozess für PSS zu nutzen. Im folgenden Abschnitt werden hierfür bestehende Prozesse analysiert und ein konkretes Vorgehen für diese Arbeit vorgeschlagen.

3.4 Entwicklung von Produkt-Dienstleistungssystemen

In der Produktentwicklung ist ein strukturierter Entwicklungsprozess das übliche Vorgehen (z. B. Ulrich, Eppinger 1995; VDI 2221 1993; Wheelwright, Clark 1992). Auch für die Serviceentwicklung wird in der Literatur in den vergangenen Jahren vermehrt die Einführung eines festgelegten Prozesses, das sogenannte Service Engineering, empfohlen, um einen effizienteren Entwicklungsprozess zu ermöglichen (z. B. Aurich et al. 2006; Bullinger, Scheer 2003b; Burr 2002). Dies umfasst unter anderem eine gesteigerte Qualität, eine verkürzte Time-to-Market und eine bessere Erfüllung der Kundenwünsche (Bullinger, Scheer 2003a). Die meisten dieser Konzepte kommen aus den Bereichen Ingenieurwissenschaften, Betriebswirtschaftslehre und Informatik. Einige können für den Bereich der PSS größtenteils übernommen werden, andere müssen stärker modifiziert werden (Aurich et al. 2010). Werden die beiden Konzepte der Produkt- und Dienstleistungsentwicklung miteinander verglichen, ist der Schritt zur strukturierten Entwicklung von PSS nicht mehr weit. Aurich et al. (2004) erläutern drei verschiedene Produkt-Dienstleistungs-Strategien basierend auf den integrierten Konstruktionsmethodiken für produzierende Unternehmen (Spath, Demuß 2003):

- Die erste Strategie ist haftungsgetrieben. Dabei werden Dienstleistungen nur angeboten, um die garantierte Produktfunktionalität zu erhalten. Der Entwicklungsprozess dieser Dienstleistungen ist sehr intuitiv und auf konkrete Nachfragen des Kunden beschränkt.
- Die funktionsorientierte Strategie hat ihren Fokus immer noch auf dem physischen Produkt, jedoch findet hier auch ein systematischer Dienstleistungsentwicklungsprozess statt, um den Produktnutzen dadurch zu verstärken. Bei diesen beiden Strategien wird von dienstleistenden Produzenten gesprochen.
- Das Ziel der individuellen Kundenlösung verfolgt die nutzungsgestützte Strategie. Firmen, die solche Lösungen entwickeln, werden häufig als produzierende Dienstleister bezeichnet. Um eine auf den Kunden zugeschnittene Lösung zu erreichen, werden die systematischen Produkt- und Dienstleistungsentwicklungsprozesse ineinander integriert. Ein konkretes Vorgehen hierzu von der strategischen Analyse des Systems bis hin zur Vorbereitung der Umsetzung empfehlen z. B. Teece (2010) oder van Halen et al. (2005).

Die in der Literatur diskutierten Konzepte zur Produkt-, Dienstleistungs- oder PSS-Entwicklung weisen teilweise große Unterschiede in ihrer Detailliertheit und dem Umfang der Konzeptentwicklung auf. Einige sind sehr grob strukturiert, reichen dafür von der Ideengeneration über die Entwicklung bis hin zur Auflösung des Konzepts (DIN Fachbericht 75 1998). Andere dagegen spezialisieren sich auf einzelne Phasen der Entwicklung, gehen dort jedoch mehr ins Detail (VDI 2221 1993). Die meisten Ansätze betrachten die Ideenfindung und Entwicklung, ohne die Umsetzung weiter zu berücksichtigen (z. B. Aurich et al. 2006; Emmrich 2005; Maussang et al. 2008). Auf Basis dieser Ansätze wurde für die weitere Arbeit ein Konzept erstellt, das für die Entwicklung von PSS für Investitionsgüter im B-to-B-Bereich angewendet werden kann und seinen Schwerpunkt bei der Festlegung der drei Dimensionen von Geschäftsmodellen setzt. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Investitionsgüter bereits bestehen, also keine vollkommene Neuentwicklung stattfindet, jedoch technische Anpassungen entsprechend der auftretenden Notwendigkeiten an dem Produkt realisiert werden können.

Aurich et al. (2010) stellen drei verschiedene Dienstleistungsentwicklungsmodelle vor. Das *lineare Modell* ist in mehrere Phasen unterteilt und baut auf den vorhergehenden Schritten auf. Es ist nur für Dienstleistungen geringer Komplexität geeignet. Ein weiteres Modell ist das *iterative Modell*, bei dem jederzeit zu den vorhergehenden Schritten zurückgekehrt werden kann, so dass es auch für komplexere Dienstleistungsmodelle geeignet ist, welche auch in dieser Arbeit behandelt werden. Als drittes Modell wird das *Prototyping-Modell* vorgestellt. Hierbei wird innerhalb kurzer Zeit eine Dienstleistung entwickelt und auf den Markt gebracht. Bei den ersten Anwendungen auftretende Schwächen dieser Lösung werden durch eine kontinuierliche Verbesserung in darauffolgenden Phasen verbessert. Auch dieses Modell ist eher für eine geringe Komplexität der Dienstleistungen geeignet.

Der in dieser Arbeit gewählte Ansatz (siehe Abbildung 3.8 auf S. 62) ist hauptsächlich auf das iterative Modell zurückzuführen, jedoch werden auch die Erprobung in einem Prototypen und eventuell notwendige Verbesserungen der erarbeiteten Lösung als sehr wichtig erachtet, da es sich im Gegensatz zum bisherigen Produktgeschäft um einen völlig neuen Ansatz handelt. Die Phasen des konzipierten Entwicklungsprozesses kombinieren verschiedene Ansätze der Literatur aus der Produkt- und Dienstleistungsentwicklung beziehungsweise der Entwicklung von Produkt-Dienstleistungssystemen (Aurich et al. 2006; Emmrich 2005; Morelli 2002; Teece 2010; Ulrich, Eppinger 1995).

3.4.1 Bestehende Konzepte

Im Jahr 1998 wurde eine DIN zum Service Engineering herausgegeben (DIN Fachbericht 75 1998). Diese besagt, dass das „Service Engineering (...) für die systematische Entwicklung und Gestaltung von Dienstleistungen unter Verwendung geeigneter Methoden und Vorgehensweisen [steht]“ (DIN Fachbericht 75 1998, S. 129). Die Norm verfolgt das Ziel, „dem Dienstleistungssektor analoge Entwicklungsinstrumente bereitzustellen wie der Produktion“ (DIN Fachbericht 75 1998, S. 6). Dadurch soll die Dienstleistungsentwicklung vereinfacht und eine Wiederverwendung von existierenden Teillösungen, Methoden und Konzepten gefördert werden (Burr 2002; DIN Fachbericht 75 1998). Dabei wurde eine Fülle an Ansätzen parallel entwickelt, die sich im Ablauf der Modelle unterscheiden (z. B. Bullinger, Scheer 2003a).

Auch für die Entwicklung von PSS bestehen mittlerweile eine Vielzahl von Ansätzen. Manche Ansätze sind ähnlich zum Service Engineering, andere stellen fest, dass für PSS ein anderes Vorgehen notwendig ist. Im Folgenden werden beispielhaft verschiedene Ansätze vorgestellt, auf denen das entwickelte Konzept aufbaut.

Spath, Demuß (2003) verbinden Methoden der integrierten Produktentwicklung und des Service Engineering. Dabei unterscheiden sie Konzepte zur Entwicklung von PSS für dienstleistende Produzenten (d. h. produktorientierte PSS) und für produzierende Dienstleister (d. h. nutzen-/ergebnisorientierte PSS). Für dienstleistende Produzenten findet die Produkt- und Dienstleistungsentwicklung weitestgehend voneinander getrennt in zwei parallelen Strängen statt, jedoch sind diese über das Anforderungsmanagement aneinander gekoppelt. Für produzierende Dienstleister schlagen die Autoren einen hybriden Entwicklungsprozess vor (Spath, Demuß 2003). Bei der Aufgabenklärung werden sowohl die Anforderungen für den materiellen als auch für den immateriellen Anteil des Leistungsbündels berücksichtigt. Für die hybride Produktkonzeption bedarf es der Modellierung von notwendigen Funktionen der Produktkomponenten als auch von Dienstleistungsprinzipien. Im anschließenden entwicklungsspezifischen Komponentenentwurf werden verschiedene konstruktionsspezifische Pflichtenhefte erstellt und parallel abgearbeitet, so dass abschließend ein Gesamtentwurf zur Verfügung steht, der das hybride Produkt beschreibt (Spath, Demuß 2003).

Im Jahr 2005 entwickelten van Halen et al. (2005) einen 5-stufigen Prozess zur Geschäftsmodellentwicklung. Das Konzept soll für die alleinige Durchführung innerhalb eines Unternehmens geeignet sein und bietet eine detaillierte Darstellung des Vorgehens, bei dem unterhalb der Stufen noch zwei Unterebenen den konkreten Ablauf erläutern. Ausgehend von einer strategischen Analyse, bei der die bestehenden Prozesse und Geschäfte analysiert werden, folgt eine Stufe, die hilft, Möglichkeiten entlang

der gesamten Wertschöpfungskette aufzuspüren, um den Mehrwert zu erhöhen. Dabei werden auch schon sich entwickelnde Ideen gesammelt. Diese werden anschließend näher spezifiziert und die vielversprechendsten werden ausgewählt, um sie im nächsten Schritt vom Angebot über das konkrete System bis hin zu den notwendigen Interaktionen detailliert zu planen und die Spezifikationen festzulegen, die für die Einführung nötig sind. Als letzter Schritt erfolgt das Vorbereiten der Einführung, was ein gut dokumentiertes Projektmanagement beinhaltet (van Halen et al. 2005).

Aurich et al. (2004) veröffentlichten ein dreistufiges Konzept, das im weiteren Verlauf von Aurich et al. (2006) in ein 6-Phasen-Konzept erweitert wurde. Dieses startet damit, zuerst die Ansprüche der Kunden zu analysieren, um Ziele zu identifizieren und erste Ideen zu den Dienstleistungsfunktionen zu generieren. Anschließend erfolgen die Festlegung der Zielgruppe sowie eine Machbarkeitsstudie, die sowohl die Wirtschaftlichkeit als auch die technische Machbarkeit beinhaltet. In der folgenden Konzeptentwicklung werden einzelne Lösungen zu Dienstleistungen und benötigten Informationsflüssen erarbeitet, die in der Dienstleistungsmodellierung sinnvoll zusammengeführt werden. Darauf aufbauend werden nötige Planungs- und Qualifikationsmaßnahmen durchgeführt, um eine Realisierung der PSS zu ermöglichen. Wurden alle notwendigen Vorbereitungen durchgeführt, kommt es in einer prototypischen Anwendung zu einer Testphase, in der weitere Verbesserungspotenziale identifiziert und umgesetzt werden können (Aurich et al. 2006). Dieser Ansatz ist sehr auf die Entwicklung der Dienstleistungskomponente, aufbauend auf einem bestehenden Produkt, fokussiert. In einem weiteren Ansatz von Aurich et al. wird vermehrt auf die gegenseitige Beeinflussung von Produkt und Service eingegangen, sowie der kundenspezifische Produktlebenszyklus, der bei der Entwicklung von PSS berücksichtigt werden sollte (Aurich et al. 2009).

Thomas et al. (2008) entwickeln einen Ordnungsrahmen zur Konzipierung von PSS, der in Teilen auf Weber et al. (2004) beziehungsweise Botta (2007) zurückgeht. Es handelt sich hierbei um ein iteratives Modell, das mit der Analyse der Kundenanforderungen beginnt, aus denen im Anschluss Soll-Eigenschaften für das PSS abgeleitet werden. Als nächster Schritt erfolgt eine Synthese der Sach- und Dienstleistungsmerkmale, von denen ausgehend in einer anschließenden Analysephase die Ist-Eigenschaften ermittelt werden. Diese sollten mit den Soll-Eigenschaften weitestgehend übereinstimmen. Ist dies nicht der Fall, muss eine erneute Synthese-Phase mit anschließender Analyse durchgeführt werden. Ist die Soll-Ist-Analyse zufriedenstellend, erfolgt die Durchführung der im PSS versprochenen Leistungen, wobei diese Phase sowohl die Produktion der materiellen Güter als auch die Erbringung der immateriellen Dienstleistungen einschließt. Nach der Durchführung kann der Kunde ein Feedback geben, so dass der gesamte Ablauf von vorne beginnen kann. Damit sind in

diesem Ordnungsrahmen sowohl Neu- als auch Änderungskonstruktionen explizit enthalten (Thomas et al. 2008).

Gemäß Teece (2010) bedarf es vier Schritte um ein wettbewerbsfähiges und nachhaltiges Geschäftsmodell zu entwickeln. Dieser Ansatz hat auch für die Entwicklung von PSS Gültigkeit. In einem ersten Schritt wird der Markt segmentiert und darauf aufbauend für jedes Segment ein Nutzenversprechen erstellt. Daran anschließend gilt es, Mechanismen zu entwickeln und zu implementieren, mit denen der entstehende Mehrwert in jedem Segment genutzt werden kann. Zum Abschluss ist es notwendig, „isolating mechanisms“ (Teece 2010, S. 182) ausfindig zu machen, die eine Nachahmung durch Wettbewerber vermeiden sollen.

Wie aus diesem Abschnitt hervorgeht, bestehen bereits einige unabhängig voneinander entstandene Ansätze zur strategischen Entwicklung von PSS. Jedoch geht aus diesen nicht hervor, wie der Umgang mit unterschiedlichen Lösungsansätzen erfolgt. So erwecken die bestehenden Ansätze den Eindruck, dass beim Durchlaufen eines solchen Entwicklungsprozesses jeweils nur eine mögliche Lösung generiert wird. Doch der Mehrwert des Kunden kann durch unterschiedliche Angebote erhöht werden. Durch die unterschiedlich hohe Übertragung der Risiken kann es sich sogar als vorteilhaft erweisen, mehrere Lösungsmöglichkeiten am Ende des strategischen Entwicklungsprozesses zuzulassen und anschließend auf taktischer Ebene eine kundenspezifische Auswahl des Angebots zu treffen.

3.4.2 Entwicklung eines Ansatzes mit Berücksichtigung der Produkt-Dienstleistungssystem-Dimensionen

Der Ansatz, der als Grundlage dieser Arbeit dient, hat als Ziel, deutlich zu machen, an welchen Stellen des Entwicklungsprozesses welche Dimensionen der PSS festgelegt werden. Er baut auf den vorgestellten bestehenden Vorgehensweisen zur Entwicklung von PSS, aber auch aus übertragenen Ansätzen des Service-Engineerings auf und wurde problemspezifisch angepasst. Beispielsweise werden notwendige Voraussetzungen in dieses Konzept mit einbezogen.



Abbildung 3.8: Phasen der Geschäftsmodellentwicklung (Weiterentwicklung auf Basis von Schröter et al. 2008).

Zu Beginn der Geschäftsmodellentwicklung dient die Analyse der aktuellen Kundensituation (Abbildung 3.8) dazu, Probleme und Verbesserungspotenziale in den für den Anbieter von PSS relevanten Bereichen aufzudecken, wie auch viele Beispiele in der Literatur verdeutlichen (z. B. Aurich et al. 2004; Aurich et al. 2006; Parker, Heapy 2006; Sakao, Shimomura 2007; Teece 2010; Thomas et al. 2008; van Halen et al. 2005). Da nicht alle Kunden die gleichen Verbesserungsbedarfe haben, sollte der Markt in adäquate Zielgruppen segmentiert werden. So ist für einen Teil der Kunden beispielsweise die erreichte Verfügbarkeit einer Anlage problematisch, während andere Qualitätsprobleme oder eine ungleichmäßige Auslastung haben. Für die Segmentierung ist es vorteilhaft, zwischen Problemen, die am dringlichsten behoben werden sollten, und solchen, die ein großes Mehrwertpotenzial bieten, zu unterscheiden. Für die Ermittlung des Mehrwertpotenzials sind zwei Perspektiven zu berücksichtigen. Zum einen ist das Potenzial einer einzelnen Umsetzung zu betrachten, welches die Akzeptanz des Kunden erhöht. Zum anderen ist für den Anbieter auch wichtig zu analysieren, wie verbreitet dieses Problem auf dem Markt ist und somit, wie hoch das Kundenpotenzial des zu entwickelnden PSS ist. Der nachgelagerte Prozess kann für alle Zielgruppen parallel oder aber gesondert durchgeführt werden.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen erfolgt eine Spezifizierung der Ziele (Sakao, Shimomura 2007; Teece 2010; Thomas et al. 2008). Bei der Ausgestaltung des Nutzenversprechens ist vordringlich der Nutzen für den Kunden zu betrachten, da dieser später für die Akzeptanz auf dem Markt und somit für die Verkaufszahlen verantwortlich ist. Dabei ist auch eine qualitative Kosten-Nutzen-Betrachtung hilfreich, um zu entscheiden, welche Kundenbedürfnisse vorrangig zu bearbeiten sind (Aurich et al. 2006). In diesem Schritt kann die Kategorie des PSS noch nicht festgelegt werden, da es durch die nachfolgende Spezifizierung erst möglich ist zu erkennen, ob überhaupt alle Kategorien technisch beziehungsweise organisatorisch realisierbar sind. Aus diesem Grund sollte das Nutzenversprechen zu diesem Zeitpunkt so formuliert werden, dass theoretisch alle drei Kategorien damit abgedeckt werden können. Ist das Problem des

Kunden beispielsweise eine zu hohe Ausfallrate, wäre ein entsprechendes Nutzenversprechen die Erhöhung der Verfügbarkeit. Dieses kann im Angebot als eine regelmäßige Durchführung von Wartungsarbeiten konkretisiert werden, was der produktorientierten Kategorie zuzuordnen wäre. Eine weitere Lösungsmöglichkeit wäre die Garantie einer bestimmten Verfügbarkeit, was unter die nutzenorientierte Kategorie fallen würde.

Nach der Festlegung des Nutzenversprechens kann es häufig notwendig sein, anhand dieser Zielsetzung die Kundenanalyse zu vertiefen, um das Nutzenversprechen weiter präzisieren zu können, so dass zwischen diesen Phasen eine iterative Vorgehensweise möglich ist. Es gibt Ansätze, die diese beiden Schritte in der anderen Reihenfolge (Morelli 2002) oder beide Schritte in einer Phase angehen (Aurich et al. 2006; Fleischer et al. 2008). Bei der integrierten Betrachtung beider Schritte entfällt die Iterationsschleife, die in dem verwendeten Ansatz aufgrund der Herausarbeitung der Dimensionen der PSS auftritt, damit die Entstehung des Nutzenversprechens klar erkennbar ist. Bei einer umgekehrten Abarbeitung dieser beiden Phasen, beginnend mit dem Nutzenversprechen, besteht die Gefahr, dass ein PSS unabhängig von den Kundenbedürfnissen entwickelt wird. Andererseits bietet es auch die Möglichkeit, gezielt das Know-how des Anbieters zu berücksichtigen und in der anschließenden Marktanalyse entsprechende Kundengruppen zu identifizieren, wodurch auch kleinere Nischenmärkte erkannt werden können.

Wurden die Bedürfnisse der Kunden durch das Nutzenversprechen spezifiziert, werden in der dritten Phase Lösungsmöglichkeiten für die verschiedenen Zielgruppen herausgearbeitet, wie das Nutzenversprechen erreicht werden kann (Bullinger, Schreiner 2003; Emmrich 2005; Morelli 2002; Sakao, Shimomura 2007; Teece 2010; van Halen et al. 2005). Dabei werden, entsprechend der unterschiedlichen Problemstellungen, sowohl technische als auch nicht-technische Lösungsmöglichkeiten betrachtet. Ein wesentlicher Punkt hierbei ist, ob die Lösungen mit der aktuellen Technik realisierbar sind oder ob Anforderungen an das Produkt entstehen, die Anpassungen beziehungsweise Neuentwicklungen erfordern. Sind Neuerungen notwendig, kann prozessual entsprechend des „Design-for-Service“-Ansatzes vorgegangen werden (Biege 2011).

Im nächsten Schritt findet die eigentliche Entwicklung des PSS statt. Aufbauend auf den bisher erzielten Ergebnissen werden technische und nicht-technische Maßnahmen so zu einem Gesamtkonzept kombiniert, dass sie den versprochenen Nutzen beim Kunden herstellen können (Aurich et al. 2006; Bullinger, Schreiner 2003; Fleischer et al. 2008; Thomas et al. 2008; van Halen et al. 2005). Dabei ist es wichtig, dass die entsprechenden Module aufeinander abgestimmt sind und sich nicht gegenseitig konkurrieren. Zu berücksichtigen ist, dass manche technische Lösungen andere nicht-technische Maßnahmen bedingen oder umgekehrt. Ist geklärt, welche Produkt-

Dienstleistungsbündel angeboten werden sollen, folgt die Planung der Wertschöpfungsarchitektur. In diesem Schritt werden die Verantwortlichkeiten für beispielsweise Finanzierung, Betrieb, Wartung und Recycling geklärt, wodurch die benötigten Ressourcen von Anbieter und Kunde verdeutlicht werden (Aurich et al. 2006; Fleischer et al. 2008). Auch der Ort, an dem die versprochene Leistung des PSS erbracht werden soll, wird in diesem Schritt geklärt. Das Ertragsmodell sollte nicht unabhängig von der Wertschöpfungsarchitektur festgelegt werden. Bei der Lösungsfindung ist darauf zu achten, dass Risiko und Verantwortung von der gleichen Partei getragen werden (Lay et al. 2007). Das Nutzenversprechen kann oftmals durch verschiedene Maßnahmen(kombinationen) und Wertschöpfungsarchitekturen erfüllt werden. Diese können sich beispielsweise in der oben erwähnten Einteilung der PSS darin unterscheiden, ob sie produkt-, nutzen- oder ergebnisorientiert sind (Tukker 2004). Aber auch unterschiedlich zugeordnete Verantwortlichkeiten für Finanzierung, Betrieb, Wartung und Recycling und ein den veränderten Risiken angepasstes Ertragsmodell stellen weitere Ausgestaltungsmöglichkeiten dar.

Da im vorhergehenden Schritt mehrere Ausgestaltungsmöglichkeiten gefunden werden können, folgt in der nun stattfindenden fünften Phase eine Bewertung und Selektion der verschiedenen Optionen (Emmrich 2005; Thomas et al. 2008; Ulrich, Eppinger 1995). Begründet wird dieser im Vergleich zur Produktentwicklung relativ späte Schritt der Bewertung damit, dass der Investitionsbedarf bei Dienstleistungsinnovationen erst mit der Markteinführung überproportional wächst (Benkenstein, Holtz 2003; Zäpfel 2000). Somit können verschiedene Ausgestaltungen relativ konkret betrachtet werden, bevor ein bestimmtes Modell gewählt wird, wodurch die Qualität der Entscheidung verbessert wird. Die wirtschaftliche Machbarkeit und Nachhaltigkeitsaspekte sind Beispiele, die bei solch einer Bewertung berücksichtigt werden können (Manzini, Vezzoli 2003). Vor allem sollten bei dieser aber auch strategische Aspekte bezüglich der Leistungserstellung einbezogen werden. Zum Beispiel stellt sich die Frage, ob für das Angebot von PSS Kooperationen mit weiteren Stakeholdern eingegangen werden sollen, und falls ja, in welcher Art und welchem Umfang diese stattfinden sollen. Solche Aspekte können trotz der Möglichkeit der wirtschaftlichen Durchführung Ausschlusskriterien bilden. Bei diesem Schritt muss nicht zwangsläufig ein einzelnes PSS ausgewählt werden. Es ist sogar ratsam, eine Reihe von Ausgestaltungsmöglichkeiten zu selektieren, die den strategischen Ansprüchen des Anbieters genügen. Diese können dann je nach Kundenanforderungen modular angeboten werden. Damit kann berücksichtigt werden, dass trotz der anfangs durchgeführten Kundensegmentierung dennoch in jedem Unternehmen unterschiedliche Rahmenbedingungen existieren, auf die durch das modulare Angebot eingegangen werden kann.

Die Auswahl einer konkreten Ausgestaltung des PSS für einen bestimmten Kunden erfolgt im Anschluss zu diesem Entwicklungsprozess auf taktischer Ebene (Zäpfel 2000). Dieser Schritt ist zentrales Thema dieser Arbeit. Dabei handelt es sich um eine Bewertung, deren Anforderungen im nächsten Abschnitt diskutiert werden. Für die erste Realisierung eines PSS bietet es sich an, einen Kunden zu wählen, zu dem bereits ein enges Vertrauensverhältnis besteht, um die Erfahrungen schnell und offen auszutauschen und auf eventuelle Unstimmigkeiten schnell reagieren zu können. Diese Testphase soll dazu dienen, Verbesserungspotenziale zu erkennen und dadurch das PSS zu optimieren (Aurich et al. 2006).

Zusammenfassend kann gemäß diesem Konzept festgestellt werden: „Business modeling is, in this sense, the managerial equivalent of the scientific method – you start with a hypothesis, which you then test in action and revise when necessary” (Magretta 2002, S. 5).

3.5 Bewertung von Produkt-Dienstleistungssystemen

Bei der Bewertung von PSS wird letztendlich entschieden, welche Konfiguration im Vergleich zum traditionellen Geschäftsmodell die größten Vorteile aufweist. Eine solche Bewertung kann aus verschiedenen Perspektiven und mit unterschiedlichen Kriterien durchgeführt werden. So lassen sich die Kunden- und Anbietersicht unterscheiden. Im Hinblick auf Kriterien besteht die Möglichkeit zur einkriteriellen und multikriteriellen Bewertung, wobei eine einkriterielle Bewertung bei den bestehenden Ansätzen normalerweise die Wirtschaftlichkeit berücksichtigt. Abbildung 3.9 gibt einen Überblick über die verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten bei der Bewertung.

Die nachfolgenden Abschnitte liefern zuerst einen Überblick über bestehende Bewertungsansätze für PSS und im Anschluss werden Anforderungen für ein neues Bewertungskonzept abgeleitet, das zentrales Thema dieser Arbeit ist.

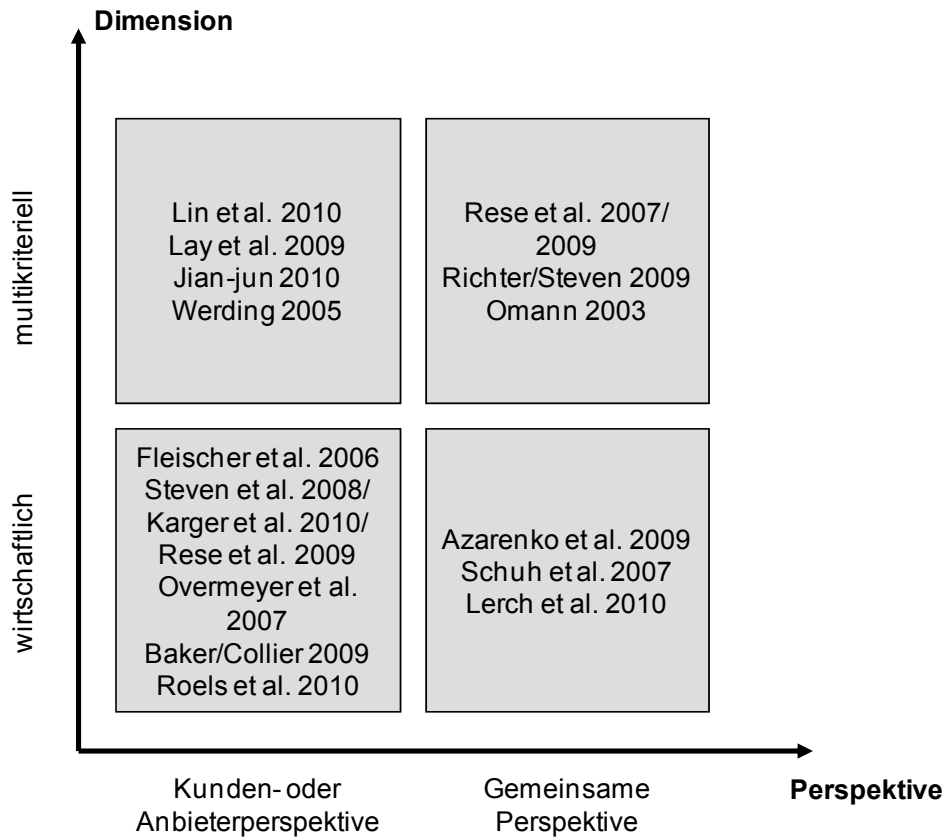


Abbildung 3.9: Bewertungskonzepte nach Dimension und Perspektive (eigene Darstellung).

3.5.1 Bestehende Bewertungsansätze

Eine Vielzahl von Autoren informiert mittlerweile über die Notwendigkeit zur Bewertung von PSS beziehungsweise entwickelt Konzepte hierfür. Zunächst werden einige Ansätze kurz erläutert, die sich auf eine wirtschaftliche Bewertung von PSS beschränken.

Fleischer et al. (2006) berichten über eine notwendige Kostenkalkulation für Verfügbarkeitsgarantien. Dabei sollen sowohl Ausstattung als auch Serviceleistungen sowie deren Beitrag zur Verfügbarkeit berücksichtigt werden. Zusätzlich sind auch mögliche Vertragsstrafen einzubeziehen. Die Kalkulation geschieht nur aus Sicht des Anbieters. Eine IT-technische Umsetzung dieses Kalkulationskonzepts wird von den Autoren aufgrund einer Vielzahl von zu erfassenden Daten als notwendig erachtet, jedoch wird noch kein genaues Konzept vorgestellt. In einer weiteren Veröffentlichung wird zusätzlich noch die Notwendigkeit eines laufenden Controllings herausgestellt, um Plan-/Ist-Abweichungen frühzeitig zu erkennen und gegenzusteuern (Fleischer et al. 2007).

Azarenko et al. (2009) vergleichen die Verläufe der Cashflows von Kunde und Anbieter für produkt-, nutzen- und ergebnisorientierte PSS. Dabei stellen sie fest, dass die Profitabilität dieser drei Alternativen von der Laufzeit abhängt. Wird der Lebenszyklus komplett ausgelastet, ist das ergebnisorientierte PSS am profitabelsten und auch das nutzenorientierte schneidet besser ab als das produktorientierte. Jedoch kommen bei diesen beiden noch weitere Risiken dazu, die auch mit betrachtet werden sollten.

Schuh et al. (2007) schlagen die Verwendung von Lebenszykluskostenmodellen vor, um PSS zu bewerten. Die Modelle umfassen die Kosten von Produkt und Dienstleistungen in der Entstehungs-, Nutzungs- und Ausmusterungsphase. Dabei sind sowohl Kunden- als auch Anbieterperspektive Teil dieses Ansatzes, damit Win-win-Potenziale im Vergleich zur aktuellen Situation aufgedeckt werden können. Jedoch wird nicht genauer dargestellt, wie die genannten Anforderungen an die Modelle „Praktikabilität“, „Korrektheit“ und „Spezifität“ (Schuh et al. 2007, S. 552) erfüllt werden können.

Lerch et al. (2010) nutzen die Kapitalwertmethode auf Lebenszyklusbasis zur wirtschaftlichen Bewertung, damit neben den Auszahlungen auch veränderliche Einzahlungsströme berücksichtigt werden können. Dabei berücksichtigen sie sowohl die Kunden- als auch die Anbietersicht in einer Gesamtberechnung und zeigen auf, wie der entstehende Mehrwert aufgeteilt werden kann, um eine Win-win-Situation zu erzielen.

Eine andere Vorgehensweise schlagen Steven et al. (2008) vor. Mit Hilfe von Realoptionen soll eine wirtschaftliche Bewertung stattfinden. Im Vordergrund steht dabei die Flexibilität, die durch die Langfristigkeit und dadurch entstehende Unsicherheiten von PSS-Verträgen entsteht. Mit Hilfe von Realoptionen soll der Wert und somit das optimale Maß an Flexibilität ermittelt werden. Dieser Wert ist bei der Festlegung der Zahlungsflüsse zu dem Wert des Investitionsobjekts ohne Berücksichtigung von Flexibilität zu addieren, um den Wert des PSS zu ermitteln. Karger et al. (2010)/Rese et al. (2009a) erweitern diesen Ansatz um die Kapitalwertmethode, um so die Zahlungsbereitschaft des Kunden, die dem quantifizierbaren Nutzen entspricht, für ein bestimmtes Angebot zu ermitteln. Aus der Kombination der Kapitalwert- und der Realoptionsmethode, die bei Karger et al. (2010) als „Net option value“ bezeichnet wird, lässt sich der passende Grad an Flexibilität ermitteln.

Overmeyer et al. (2007) stellen eine erweiterte Wirtschaftlichkeitsbewertung von Full-Service-Angeboten vor. Neben den Inputfaktoren wie z. B. Zahlungsströme für technische Modifikationen werden auch nicht-monetäre quantifizierbare und nicht-quantifizierbare Outputpotenziale einbezogen, die über Ursache-Wirkungsbeziehungen und Monte-Carlo-Simulation quantifiziert werden. Das ermittelte Ergebnis entspricht der

Unternehmenswertsteigerung durch die Einführung eines neuen Geschäftsmodells. Dabei wird nur die Anbietersicht abgebildet.

Einen Teilaspekt von PSS bewerten Baker, Collier (2005). Sie berechnen die Höhe von notwendigen Ausgleichszahlungen, wenn Servicegarantien nicht eingehalten werden konnten, um den Kunden zu halten. Dabei handelt es sich im Prinzip um die Monetarisierung qualitativer Kriterien, wobei durch den Verlust von Kunden auch die langfristigen Umsatzzahlen betroffen sind.

Die Entscheidung, welches Ertragsmodell für ein entsprechendes PSS am geeigneten ist, treffen Roels et al. (2010) mit Hilfe der Cobb-Douglas-Funktion. In Abhängigkeit der für diese Funktion benötigten Größen α und β , die für den konkreten Anwendungsfall angeben, ob der Output hauptsächlich von den Bemühungen des Kunden oder des Anbieters abhängig ist, wird entschieden, ob eine aufwandsabhängige, fixe oder erfolgsabhängige Vergütung die optimale Lösung ist.

Die oben genannten Ansätze sind eine Auswahl von wirtschaftlichen Bewertungskonzepten. „In der industriellen Praxis werden [jedoch] jene Kombinationen [Konfigurationen von PSS] verwirklicht, die sowohl ein wirtschaftliches Potenzial aufweisen als auch die Interessen von Auftraggeber und Projektträger befriedigen“ (von Garrel, Dengler 2010, S. 78). Aus dieser Aussage lässt sich ableiten, dass neben den vorgestellten Ansätzen zur wirtschaftlichen Bewertung von PSS auch eine breitere Betrachtung, die die Interessen von Anbieter und Kunde als zusätzliche Bewertungskriterien einbezieht, notwendig ist. Welche Kriterien dies sein könnten, geht aus der Diskussion der Chancen und Risiken sowohl aus Kunden- als auch aus Anbietersicht von Hypko et al. (2009) hervor. Diese Aufstellung zeigt die Relevanz einer multikriteriellen Bewertung von PSS auf. Zu solchen multikriteriellen Bewertungskonzepten gibt es ebenfalls schon verschiedene Ansätze.

Rese et al. (2007; 2009b) haben zur kundenspezifischen Auswahl von hybriden Leistungsbündeln eine Art Kompass entwickelt, der neben dem ermittelten Kapitalwert zusätzlich für unternehmens- und prozessspezifische Treiber des Kunden angibt, ob eine „make“ oder „buy“-Entscheidung vorteilhafter wäre. Nach dieser Bewertung aus Kundensicht erfolgt vom Anbieter eine Eingrenzung auf die technisch und wirtschaftlich machbaren Lösungen. Jedoch werden die unterschiedlichen Kriterien nicht aggregiert, so dass keine beste Variante ausgewählt wird, sondern lediglich die nicht machbaren aussortiert. Wird der Kunde direkt in den Prozess einbezogen, ist auch fraglich, ob es nicht sinnvoller wäre, mit der Eingrenzung auf machbare Lösungen zu beginnen, um diese anschließend aus Kundensicht zu bewerten. Dadurch kann vermieden werden, beim Kunden Begehrlichkeiten zu wecken, die letztendlich nicht erfüllt werden können.

Nicht die Auswahl bestimmter Konfigurationen, sondern die Begleitung während des gesamten Lebenszyklus von PSS haben Richter, Steven (2009) im Fokus. Sie sehen im Angebot von PSS die Notwendigkeit zur Verlagerung vom operativen zum strategischen Controlling. Zum vollständigen Controlling der PSS über den kompletten Lebenszyklus sind verschiedene Controllingbereiche in den Prozess zu integrieren. Methodisch schlagen sie das Instrument der Balanced Scorecard (BSC) vor. Neben den finanziellen sind auch nichtmonetäre Kennzahlen als Frühindikatoren wichtig. Die BSC wird zwar vom Anbieterunternehmen erstellt, jedoch soll sie auch die Kundenperspektive mit abdecken.

Omann (2003) stellt ein neues PSS dem herkömmlichen Angebot in einer multikriteriellen Bewertung bezüglich seiner Nachhaltigkeit gegenüber. Dabei sind mehrere Entscheidungsträger in den Prozess einbezogen, jedoch müssen sie sich in allen Belangen mittels Verhandlungen einigen. Bei jeder Bewertung kann nur eine Alternative vergleichend betrachtet werden. Die Skalen in der Bewertung sind nicht ideal gewählt, da nur eine Kategorie für schlechtere Ergebnisse des PSS gegenüber dem herkömmlichen Angebot zur Verfügung steht, aber drei Kategorien für eine Verbesserung.

Nur die Anbietersicht berücksichtigt das Case-based reasoning zur Strategieauswahl von PSS von Lin et al. (2010). Die Auswahl einer Strategie für neue PSS basiert dabei auf in anderen Anwendungsbereichen bereits existierenden Konzepten mit unterschiedlichen Nutzenversprechen. Durch einen paarweisen Vergleich verschiedener Kriterien wird die Ähnlichkeit des Produkts, für das eine Strategie gewählt werden soll, mit den bestehenden PSS-Strategien der anderen Bereiche ermittelt. Für diese Methodik müssen jedoch viele Daten der für den Vergleich verwendeten PSS gesammelt werden und diese dann paarweise mit den Optionen des geplanten PSS verglichen werden, was einen sehr aufwändigen Prozess darstellt.

Lay et al. (2009a) unterstützen ebenfalls den Anbieter bei der strategischen Auswahl geeigneter PSS für Investitionsgüter. Auf Basis der Zielsetzung, die Lebenszykluskosten durch das Angebot von PSS zu verringern, entwickelten sie unterschiedliche Konzepte, um eine bestimmte Kostenart zu reduzieren. Mit Hilfe mehrerer technischer und ökonomischer Kriterien prüfen sie anhand verschiedener Investitionsgüter mit unterschiedlichen Ausprägungen dieser Kriterien die Vorteilhaftigkeit der vorgeschlagenen PSS. Diese Bewertung erfolgt rein auf qualitativer Basis.

Im Gegensatz zu den anbieterorientierten Ansätzen hilft Jian-jun (2010) den Kunden, das für sie vorteilhafteste PSS auszuwählen. Auf Basis der multikriteriellen Methode TOPSIS werden unterschiedliche Angebote mit dem imaginären idealen Angebot verglichen. Die Abweichungen der einzelnen Kriterien werden pro Alternative aggregiert

und das Angebot mit der geringsten Abweichung vom idealen Angebot wird als beste Option vorgeschlagen.

Auch Werding (2005) entwickelt einen multikriteriellen Bewertungsansatz, um den Kunden bei der Entscheidung über die optimale Bezugsart zu unterstützen. Die Methodik wird in drei Modelle unterteilt. Im Beschreibungsmodell werden die Informationen zu den unterschiedlichen Bezugsarten gesammelt und strukturiert dargestellt. Das Erklärungsmodell stellt die Wirkung der verschiedenen Alternativen auf die unternehmensspezifischen Zielsetzungen dar. Dabei werden die Teilnutzenfunktionen bei kontinuierlichen Skalen der Bewertungskriterien mittels dem aus der Methode MAUT bekannten Medianverfahren bestimmt. Für diskrete Punkteskalen wird ein Direct-Rating-Ansatz gewählt. Abschließend liefert das Entscheidungsmodell die Auswahl der besten Alternative und dementsprechende Handlungsempfehlungen. Für die Entscheidung werden die monetären und die nicht-monetären Teilnutzen zusammengefasst und auf dieser Basis mit Hilfe von Indifferenzlinien die vorteilhafteste Alternative bestimmt.

3.5.2 Ableitung von Anforderungen

Bei diesen Ansätzen bleibt die Entscheidung unberücksichtigt, welche Konfiguration aus einem modularen Angebot, wie es der Entwicklungsansatz in 3.4.2 liefert, bei einem bestimmten Kunden aus beiderlei Perspektiven am vorteilhaftesten ist.

Der Literaturüberblick zeigt auf, dass eine *multikriterielle Bewertung* von PSS relevant ist, da eine Vielzahl von Treibern und Hemmnissen existiert. Somit können die rein wirtschaftlichen Bewertungskonzepte nicht für die Auswahl der Konfiguration übernommen werden. Jedoch können sie helfen, die Ausprägung von wirtschaftlichen Kriterien zu ermitteln.

Bei der multikriteriellen Bewertung von PSS sollte nicht nur auf Basis des wichtigsten Kriteriums entschieden werden, sondern *alle Kriterien berücksichtigt* werden. Dadurch wird sichergestellt, dass die vorhandene Information weitestgehend in den Entscheidungsprozess mit einbezogen wird. Zusätzlich sollten auch die *konkreten Kriterienausprägungen verwendet* werden und nicht auf Basis von Mindestwerten entschieden werden. Dadurch ist eine (partielle) Kompensation schlechter Ausprägungen der Alternativen durch andere positive Merkmale möglich.

Aus der vorliegenden Fragestellung leitet sich ab, dass für die Berücksichtigung der Kunden- und Anbieterperspektive *mindestens zwei Entscheidungsträger* in den Entscheidungsprozess einzubeziehen sind. Für solche Gruppenentscheidungen sind vor allem zwei Anforderungen zu berücksichtigen:

- Zum einen unterscheidet sich bei den verschiedenen Entscheidungsträgern die Wichtigkeit der einzelnen Kriterien, so dass die *Präferenzen aller Entscheidungsträger* über den Einfluss der einzelnen Kriterien auf das Gruppenbewertungsergebnis definiert werden müssen.
- Zum anderen kann es dabei auch bei den einzelnen Kriterien zu Zielkonflikten der Entscheidungsträger kommen, wenn beispielsweise der Anbieter eine möglichst hohe Kundenbindung erreichen möchte, der Kunde jedoch die Abhängigkeit vom Anbieter weitestgehend reduzieren möchte. Solch unterschiedliche Präferenzen sollten auch berücksichtigt und deren Einfluss auf das Gruppenergebnis dargestellt werden können.

In den vorgestellten Ansätzen wird hauptsächlich eine Perspektive, also entweder die des Kunden oder des Anbieters betrachtet. Bei den Ansätzen, die beide Perspektiven mit einbeziehen, werden andere Prozessschritte bewertet. Bei Rese et al. (2009b) findet keine Aggregation statt, so dass hier auch nur eine Vorauswahl wie in dem Entwicklungsprozess aus Abschnitt 3.4 stattfindet, und die Methode somit nicht auf das vorliegende Problem übertragbar ist. Auch die BSC, die für das Controlling von PSS eingesetzt wird (Richter, Steven 2009), kann aufgrund der fehlenden Aggregation der Kennzahlen nicht für die vorliegende Fragestellung angewendet werden. Der Ansatz von Omann (2003) kann aufgrund der bereits genannten Schwächen ebenfalls nicht für das Bewertungsproblem genutzt werden.

Aus diesem Grund gilt es, einen Bewertungsansatz zu entwickeln, der diese Anforderungen berücksichtigt. Da sich die Situation von Kunde und Anbieter durch neue PSS nicht verschlechtern soll, ist als Referenz stets das bisherige Angebot vergleichend in die Bewertung mit einzubeziehen. Zusätzlich sollte die verwendete Methodik für die Entscheidungsträger aus der unternehmerischen Praxis leicht nachvollziehbar sein und keine speziellen Erfordernisse an die softwaretechnische Ausstattung stellen.

Darum werden im nächsten Kapitel mögliche Modelle für Gruppenentscheidungen und für die Fragestellung passfähige multikriterielle Entscheidungsunterstützungsmethoden diskutiert, die sich auch für mehrere Entscheidungsträger eignen.

4 Multikriterielle Entscheidungsunterstützung für Gruppen

Bei der Auswahl einer geeigneten PSS-Konfiguration handelt es sich um ein Entscheidungsproblem, das mehrere Entscheidungsträger und verschiedene Kriterien einbezieht. Aus diesem Grund wird zu Beginn dieses Kapitels auf verschiedene formale Modelle der Gruppenentscheidung eingegangen. Dabei wird eine Auswahl getroffen, welcher Modelltyp sich für eine Fragestellung mit mehreren Zielsetzungen, wie sie bei der Bewertung von PSS vorliegt, am besten eignet.

Im folgenden Abschnitt werden unterschiedliche Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung vorgestellt, mit denen verschiedene Zielsetzungen in den Entscheidungsprozess einbezogen werden können. Diese werden mit ihren Vor- und Nachteilen diskutiert und Möglichkeiten aufgezeigt, diese für einen Gruppenentscheidungsprozess zu verwenden.

Es zeigt sich, dass bisher vorhandene Methoden zur multikriteriellen Entscheidungsunterstützung für Gruppen nicht einwandfrei für die vorliegende Fragestellung eingesetzt werden können. Deshalb wird zunächst eine geeignete Methode als Grundlage ausgewählt, die an die vorliegende Fragestellung angepasst werden kann. Der hierfür notwendige Entwicklungsbedarf wird zum Abschluss des Abschnitts aufgezeigt.

4.1 Gruppenentscheidungen

Wichtige Entscheidungen werden meist in Gruppen getroffen, um von zusätzlichem Expertenwissen zu profitieren und sich die Zustimmung von Betroffenen der Entscheidung zu sichern (Eisenführ, Weber 1999; Jelassi et al. 1990; Manz et al. 2000). Dadurch wird die Qualität durch zusätzliche Ideen und die Nutzbarmachung von speziellem Wissen verbessert und auch die Durchsetzbarkeit der getroffenen Entscheidung wird durch die Beteiligung der Betroffenen am Entscheidungsprozess erleichtert (Eisenführ, Weber 1999; Geldermann 2005).

Durch den Einbezug mehrerer Personen wird der Entscheidungsprozess jedoch auch komplexer. Die Informationslage der Teilnehmer ändert sich im Laufe der Strukturierung, Diskussion oder Verhandlung, was den Entscheidungsträgern helfen kann, ihre vorherrschenden Meinungen zu revidieren. Dies verleiht dem Entscheidungsprozess eine Dynamik, die sich durch wechselnde Anspruchsniveaus, Präferenzen oder Verhandlungstaktiken der Teilnehmer bemerkbar macht (Atherton, French 1999; Eisenführ, Weber 1999; Jelassi et al. 1990).

Weitere Schwierigkeiten können durch die Gruppenzusammensetzung auftreten. So ist ein gewisser Zusammenhalt zielführend. Ist diese sogenannte Kohäsion jedoch zu stark ausgeprägt, kann es zum „Groupthink“ (Janis 1972) kommen, bei dem andere Meinungen ohne Reflexion übernommen werden. Auch Machtdifferenzen können eine offene Diskussion im Keim ersticken, vor allem, wenn die hierarchisch höher gestellten Teilnehmer ihre Meinung gleich zu Beginn bekannt geben. Darüber hinaus können bei Interessenkonflikten die Experten ihren Wissensvorsprung dazu nutzen, präferierte Lösungen übertrieben positiv darzustellen, während andere Alternativen deutlich schlechter beschrieben werden (Eisenführ, Weber 1999).

Zusätzlich sind Gruppenentscheidungsprozesse häufig schlecht strukturiert (Geldermann 2005), dynamisch im Zeitablauf (Atherton, French 1999) und nicht von rationalem Vorgehen geprägt (Hänle 1993). Aus diesen Gründen sind vor allem bei widersprüchlichen Zielsetzungen strukturierte Methoden zur Entscheidungsunterstützung notwendig. Ziel solcher Verfahren ist es primär, die vorhandenen Meinungsunterschiede aufzuzeigen sowie eine für alle Entscheidungsträger akzeptable Kompromisslösung aufzufinden (Geldermann 2005; Weißfloch, Geldermann 2012).

4.1.1 Klassen von Mehrpersonenentscheidungen

Da Mehrpersonenentscheidungen ein vielschichtiges Feld sind, definieren Jelassi et al. (1990) vier unterschiedliche Klassen von Mehrpersonen-Entscheidungssituationen:

- *Individuelle Entscheidung im Gruppensetting:* Für die Entscheidung ist nur eine Person verantwortlich, die jedoch das Wissen von Experten und Beratern, die in den Prozess mit eingebunden sind, für die Entscheidungsfindung nutzt.
- *Hierarchische beziehungsweise bürokratische Entscheidungen:* Hier wird zwischen einem zentralisierten und dezentralisierten Fall unterschieden. Bei ersterem legt der Entscheidungsträger des Top-levels seine Zielvorgaben fest und kann die hierarchisch niedriger gestellte Gruppe vollständig kontrollieren. Im dezentralisierten Fall hat jedes Gruppenmitglied über eine bestimmte Untermenge der Zielvariablen die Kontrolle und ist für diese Entscheidung verantwortlich. Diese dient wiederum als Input für den Höhergestellten (Jelassi et al. 1990; Schneeweiss 2003).
- *Gruppenentscheidung oder Einparteien-Entscheidung:* Bei dieser Klasse partizipiert jeder Teilnehmer an der Entscheidung und trägt somit auch eine Teilverantwortung am Ergebnis des Entscheidungsprozesses. Für gewöhnlich sind sich die Mitglieder über ein übergeordnetes Ziel einig, jedoch können die Meinungen darüber auseinander gehen, wie das Ziel erreicht werden soll. Durch die Gruppe steigt die Möglichkeit einer effektiven Entscheidungsfindung an, jedoch könnte auch jedes Gruppenmitglied die Entscheidung alleine fällen (Gouran 1982).

- *Mehrparteien-Entscheidung beziehungsweise Verhandlung*: Hier treffen mehrere Parteien aufeinander, die jeweils von einem Entscheidungsträger repräsentiert werden. Dieser muss das Ergebnis nur vor seiner Partei verantworten und nicht vor den anderen Teilnehmern. Bei Mehrparteien-Entscheidungen können die Interessen auseinander gehen, da sie andere oder auch gegensätzliche Zielsetzungen haben (Kersten 1996; Lewicki et al. 2003). Auch beeinflussen sich die Verwirklichungen der Zielsetzungen wechselseitig, was zu weiteren Konflikten führt. Diese Konflikte und Wechselwirkungen führen häufig auch zu kalkuliertem Verhalten (Kersten 1996). Um diese Konflikte aufzulösen, sind Verhandlungen notwendig (Jelassi et al. 1990).

Konkret verweisen die Autoren auf den Unterschied zwischen Gruppenentscheidungen und Verhandlungen i.e.S.¹⁵. Bei den Gruppenentscheidungen stehen mehrere Personen einem gemeinsamen Problem gegenüber und sind an einer Lösung interessiert, die zum Wohl der Gruppe beiträgt. Alle Personen sind für das Ergebnis der Entscheidung verantwortlich. Zu dieser Kategorie gehören die Einparteien-Entscheidungen. Bei Gruppenentscheidungen dienen Zugeständnisse der Verbesserung der Gesamtqualität der Entscheidung (Hänle 1993; Jelassi et al. 1990).

Für Verhandlungen gelten diese Annahmen nicht. Bei Verhandlungen kann eine Entscheidung nur mit dem Einverständnis einer anderen Partei getroffen werden, so dass sie der Mehrparteien-Entscheidung zugeordnet werden. In dieser Kategorie werden Zugeständnisse während der Verhandlung erwartet (Hänle 1993; Jelassi et al. 1990).

Generell kann bei Mehrpersonenentscheidungen die Konsolidierung zu unterschiedlichen Phasen des Entscheidungsprozesses stattfinden. Bei der individuellen Entscheidung im Gruppensetting werden bereits die Informationen der beteiligten Personen zusammengefasst und eine einheitliche Präferenz in den Entscheidungsprozess integriert, während für die Einparteien-Entscheidung frühestens eine Konsolidierung der Präferenzen stattfindet. Auch die Durchführung individueller Entscheidungen, die erst im Anschluss konsolidiert werden ist für Einparteien-Entscheidungen denkbar. Diese Art der Konsolidierung wird grundsätzlich auch bei Hierarchischen Entscheidungen und Mehrparteien-Entscheidungen verwendet (Scheubrein 2000).

In der zugrundeliegenden Fragestellung der bestmöglichen Konfiguration eines PSS für einen speziellen Kunden kann keine direkte Zuordnung zu einer der vorgestellten

¹⁵ engl.: „negotiations“; im Gegensatz zu Verhandlungen i.w.S. (engl.: „bargaining“), die auch in Gruppenentscheidungen vorkommen, um eine Kompromisslösung zu erreichen (Hänle 1993).

Klassen erfolgen. Zwar geht es primär um eine Gruppenentscheidung, da angenommen wird, dass das übergeordnete Ziel aller Beteiligten ist, durch den Einsatz von PSS einen Mehrwert zu generieren und somit eine Win-win-Situation für Kunde und Anbieter zu erzeugen. Jedoch sind bei dieser Entscheidung mindestens zwei Parteien eingebunden, die neben diesem gemeinsamen Ziel teilweise auch gegensätzliche Zielsetzungen haben, die bei der Kategorie der Gruppenentscheidung nicht vorkommen. Ist die Entscheidung für eine konkrete Ausgestaltung des PSS beim entsprechenden Kunden gefallen, sind im Anschluss noch Verhandlungen notwendig, um die genaue Aufteilung des erzeugten Mehrwerts zu regeln.

4.1.2 Entscheidungstheoretische Modelle

Die Entscheidungstheorie unterscheidet verschiedene Modelle, die die Realität jeweils vereinfacht darstellen (Bamberg, Coenenberg 1991; Schneeweiß 1991). Notwendige Voraussetzungen für die Eignung eines Modells sind Widerspruchsfreiheit, Realitätsbezug, Nachprüfbarkeit und es müssen Informationen enthalten sein (Bamberg, Coenenberg 1991; Geldermann 2005; Pfingsten 1989).

Dabei können für die zugrunde gelegte Fragestellung die von Jelassi et al. (1990) vorgestellten wirtschaftswissenschaftlichen Entscheidungsmodelle nicht berücksichtigt werden, da dort das ökonomische Prinzip im Vordergrund steht und sie sich auf dieses Kriterium allein beschränken (Gäfgen 1974; Geldermann 2005). Dies ist eine zu starke Vereinfachung für die Bewertung von verschiedenen PSS-Konfigurationen, da auch weitere Kriterien wie beispielsweise unterschiedliche Risikosituationen in die Bewertung mit einbezogen werden sollten. Für multikriterielle Gruppenentscheidungen können prinzipiell folgende entscheidungstheoretische Modelle zur Entscheidungsunterstützung eingesetzt werden (Bui 1987; Cao, Burstein 1999; Geldermann 2005; Jelassi et al. 1990; Vetschera 1990; Zhang 2004).

4.1.2.1 Aggregationsmodelle

Bei multikriteriellen Entscheidungen soll durch einen einzelnen Entscheidungsträger ein Kompromiss zwischen konfliktären Zielsetzungen gefunden werden, wobei die Nutzenfunktionen der einzelnen Zielsetzungen aggregiert werden. Vergleichbar dazu soll bei einer Gruppenentscheidung ein Kompromiss zwischen den individuell unterschiedlichen Meinungen erreicht werden, die zu einer Gesamtnutzenfunktion zusammengefasst werden (Geldermann 2005; Hwang, Lin 1987; Vetschera 1990; Zhang 2004). Diese Kompromisslösung soll die beste Alternative unter Berücksichtigung der individuellen Präferenzen aufzeigen.

Um die Transformation zur Gesamtnutzenfunktion durchführen zu können, sind einige Modellannahmen einzuhalten. Es wird von einem rationalen Verhalten der Entscheidungsträger ausgegangen, denen vollständige Informationen vorliegen. Ihr Verhalten während des gesamten Entscheidungsprozesses ist kohärent und konsistent (Hänle 1993; Kersten 1988; Manz et al. 2000). Dadurch sind die individuellen Nutzenfunktionen der Entscheidungsträger stationär. Somit besteht das Entscheidungsproblem nur noch aus der Bewertung der individuellen Nutzenfunktionen und der Aggregation zu einer Gesamtnutzenfunktion, auf deren Basis die Kompromisslösung ermittelt wird (Hänle 1993; Jelassi et al. 1990). Weitere Verhandlungen sind unter diesen Annahmen nicht notwendig (Jelassi et al. 1990).

Die individuellen Präferenzen können sich durch eine unterschiedliche Gewichtung der Bewertungskriterien unterscheiden (Geldermann 2005). Die Bewertung wird in einer skalaren Form (kardinalen Skala) erfasst, wodurch die Problemstruktur entsprechend eines multikriteriellen Entscheidungsproblems eines einzelnen Entscheidungsträgers aufgebaut ist (Geldermann 2005).

Für die vorliegende Fragestellung sind Aggregationsmodelle geeignet, da von einem gemeinsamen Problemstrukturierungsprozess ausgegangen wird, in dessen Kontext jeder Entscheidungsträger seine individuellen Gewichtungen für die Entscheidungsfindung angibt.

4.1.2.2 Spieltheoretische Modelle

Im Gegensatz zu den Aggregationsmodellen, bei denen versucht wird, durch mathematische Zusammenfassung der individuellen Nutzenfunktionen eine Kompromisslösung zu erarbeiten, soll bei den spieltheoretischen Modellen das Ergebnis der Entscheidung vorhergesagt werden. Diese Art entscheidungstheoretisches Modell basiert auf der durch von Neumann und Morgenstern (1944) formalisierten Spieltheorie sowie diversen Erweiterungen (z. B. Axelrod 1984; Fraser, Hipel 1984).

Spieltheoretische Modelle werden unter den Annahmen angewendet, dass die Zahl und Identität der Entscheidungsträger sowie die verfügbaren Handlungsalternativen und die zugehörigen individuellen Nutzenfunktionen bekannt sind und sich diese während des Prozesses auch nicht verändern (Hänle 1993). Den Entscheidungsträgern wird rationales Handeln unterstellt. Unter diesen Annahmen wird die Auszahlungsmatrix nicht durch die während des Prozesses stattfindende Kommunikation beeinflusst (Hänle 1993).

Im Entscheidungsprozess werden die möglichen Entscheidungen der anderen Teilnehmer explizit mit einbezogen. Diese Berücksichtigung der Aktionen dritter Personen

stellt den Hauptunterschied zu den anderen Gruppenentscheidungsprozessen dar. Spieltheoretische Entscheidungssituationen können in kooperative und nicht-kooperative Situationen unterschieden werden (Schneeweiß 1991).

Für das Verständnis von Verhandlungsprozessen, -strategien und -ergebnissen hat die Erforschung spieltheoretischer Modelle wichtige Erkenntnisse geliefert. Jedoch sind sie durch die strikten Annahmen schlecht anwendbar für multikriterielle Entscheidungsprobleme, da sich die Nutzenfunktionen während des Strukturierungsprozesses häufig erst herausbilden oder nochmals ändern (Geldermann 2005; Hänle 1993; Jelassi et al. 1990). So können beispielsweise bei der Entscheidung für eine bestimmte PSS-Konfiguration zusätzliche Informationen über die wirtschaftliche Situation des entsprechenden Kunden die Präferenzen beziehungsweise Nutzenfunktion des Anbieters verändern, da die wahrgenommenen Risiken dadurch erhöht beziehungsweise reduziert sein können.

4.1.2.3 Taktische Gruppenentscheidungsmodelle

Bei den taktischen Gruppenentscheidungsmodellen steht das Taktieren im Vergleich zum Bewerten im Vordergrund. Wechselnde Verhandlungsstrategien und die Geheimhaltung der eigenen Ziele und Interessen sind wichtige Aspekte taktischer Gruppenentscheidungsmodelle (Hänle 1993).

Sie sind nicht nutzenbasiert, so dass auch die restriktiven Annahmen der beiden zuvor beschriebenen Gruppenentscheidungsmodelle hier keine Gültigkeit finden (Hänle 1993). Dadurch wird die Dynamik eines solchen Verhandlungsprozesses berücksichtigt, die sich durch zusätzliche Informationen der Entscheidungsträger im Laufe des Entscheidungsprozesses auch in einer veränderlichen Nutzenfunktion und zusätzlichen Handlungsalternativen zeigt (Kersten, Szapiro 1986). Dies sind die prägenden Eigenschaften des Verhandlungsprozesses (Hänle 1993).

Aus diesem Grund sind erzielte Entscheidungen beziehungsweise Kompromisse abhängig von Zeit, Kontext und Strategie (Hänle 1993; Jelassi et al. 1990). Eine Vorhersage der Ergebnisse ist somit nicht möglich. Auch Feilschen, Tricks oder Überredung sind Teil der Verhandlungen und das Wissen, welches der Instrumente zu welchem Zeitpunkt einzusetzen ist, bietet Vorteile in der Verhandlungsposition (Jelassi et al. 1990). Zusätzlich kann sich die Verhandlungsposition verbessern, wenn die Zielgrößen der anderen Entscheidungsträger in den Prozess einbezogen werden (Geldermann 2005). Bei den taktischen Gruppenentscheidungsmodellen ist nicht-rationales Verhalten ausdrücklich erlaubt und wichtig für die Verhandlungssituation. Während des Entscheidungsprozesses werden Lerneffekte explizit berücksichtigt (Hänle 1993; Jelassi et al. 1990). Aus diesen Gründen sind taktische Entscheidungsmodelle nicht zur Ergeb-

nisvorhersage oder Verifizierung vergangener Entscheidungen geeignet (Heckathorn 1980). Sie werden in Verhandlungen eingesetzt und dienen dort als Unterstützungswerkzeug für Verhandlungsteilnehmer in laufenden Verhandlungssituationen, um Taktiken zu wählen beziehungsweise die Wahl zu verifizieren (Heckathorn 1980; Jelassi et al. 1990; Kersten, Szapiro 1986; Vetschera 1990).

Während die vorher diskutierten nutzenbasierten Modelle zur Bestimmung einer tragfähigen Kompromisslösung auf Basis der ursprünglichen Angaben dienen, stellen die taktischen Modelle einen iterativen Prozess auf Basis ständig wechselnder Angaben dar (Geldermann 2005). Aus diesem Grund sind die taktischen Modelle nicht für die Fragestellung der Auswahl eines präferierten Geschäftsmodells geeignet. Jedoch können solche Verhandlungen eine Rolle spielen, nachdem sich ein Kunde mit dem Anbieter auf eine bestimmte Konfiguration geeinigt hat. Aspekte wie beispielsweise die Aufteilung des erzielbaren Mehrwerts sind im Anschluss in bilateralen Verhandlungen zu klären, wobei auch geschicktes Taktieren für das Ergebnis relevant ist.

4.2 Multikriterielle Bewertungsmethoden

Bei der vorliegenden Fragestellung handelt es sich um komplexe Entscheidungsprobleme mit mehreren Zielen oder gewünschten Eigenschaften, die teilweise im Konflikt zueinander stehen. Um solche Probleme zu lösen, werden Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung (Multi Criteria Decision Making – MCDM) eingesetzt. Dabei kann zwischen zwei Klassen unterschieden werden, zum einen die Multi-Attribut-Entscheidungen (Multi Attribute Decision Making – MADM) und zum anderen die Multi-Objective-Entscheidungen (Multi Objective Decision Making –MODM) (Zimmermann, Gutsche 1991).

Die MADM-Methoden zeichnen sich durch eine Menge diskreter Alternativen aus, die durch die Anwendung der Methode klassifiziert beziehungsweise geordnet werden. Die Handlungsalternativen sind im Voraus explizit bekannt (Zimmermann, Gutsche 1991).

Im Gegensatz dazu sind bei den MODM-Methoden alle Alternativen zulässig, die bestimmte und exakt definierte Nebenbedingungen erfüllen. Häufig stehen dabei unendlich viele Alternativen zur Auswahl, so dass von einem stetigen Lösungsraum gesprochen wird. Bei diesen Methoden wird (werden) die beste(n) Alternative(n) aus dem Lösungsraum berechnet (Zimmermann, Gutsche 1991).

Da in dieser Arbeit eine Menge von konkreten PSS-Konfigurationen zur Verfügung steht, kann von einer diskreten Menge an Alternativen ausgegangen werden. Deshalb werden im Folgenden nur noch die MADM-Methoden betrachtet. In Tabelle 4.1 sind die wichtigsten und gängigsten MADM-Methoden aufgeführt.

Wichtig für die vorliegende Problemstellung und die Akzeptanz der Ergebnisse sind v. a. folgende vier Kriterien:

- der Entscheidungsträger kann seine Präferenzen angeben,
- alle Kriterien werden berücksichtigt,
- es wird nicht nur auf Basis von Anspruchsniveaus (Mindestwerte, die die Kriterien erreichen müssen) entschieden und
- die Methode ist praxisnah und nachvollziehbar.

Tabelle 4.1: Auflistung der MADM-Methoden (in Anlehnung an Götze 2006).

Analytischer Hierarchieprozess (AHP)/ Analytischer Netzwerkprozess (ANP)	Lineare Zuordnungsmethode
Aspektweise Elimination	MAUT
Disjunktives Vorgehen	Maximin- und Maximax-Strategie
Dominanzstrategie	Nutzwertanalyse
ELECTRE	ORESTE
Konjunktives Vorgehen	Permutationsmethode
Lexikographische Methode	PROMETHEE
Lexikographische Methode mit Halbordnung	TOPSIS

Ist mindestens eines dieser vier Kriterien bei den in Tabelle 4.1 genannten Methoden nicht erfüllt, wird die entsprechende Methode aus der Liste der geeigneten Methoden gestrichen. Auf Basis dieser Vorauswahl bleiben folgende MADM-Methoden bestehen, welche in den nächsten Abschnitten kurz erläutert werden sollen (Walther, Schmidt 2010):

- Nutzwertanalyse
- AHP/ANP
- MAUT
- ELECTRE
- PROMETHEE

Die ersten drei Methoden zählen zur sogenannten amerikanischen Schule. Dabei wird vorausgesetzt, dass der Entscheidungsträger sich des Nutzens der Kriterienausprägung und -gewichtung bewusst ist. Außerdem sind seine Informationen über die Alternativen vollständig und exakt. Durch die vollständige Kompensierbarkeit der Kriterien können Informationsverluste auftreten (Geldermann 1999; Götze 2006; Zimmermann, Gutsche 1991).

Die letzten beiden Methoden – auch Outranking-Verfahren genannt – sind der französischen Schule zuzuordnen. Bei diesen Methoden ist im Gegensatz zur amerikanischen Schule der Informationsbedarf nicht so groß und der Entscheidungsträger muss

sich seinen Präferenzen nicht bewusst sein. Die Ergebnisse werden auf Basis paarweiser Vergleiche zur Entscheidungsunterstützung sortiert, wobei auch Unvergleichbarkeiten auftreten können. Auch werden bei diesen Methoden vollständige Kompensationseffekte vermieden (Geldermann 1999; Geldermann 2005; Roy 1980; Zimmermann, Gutsche 1991).

4.2.1 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse ist ein Verfahren, bei dem die Nutzen einzelner Kriterien entsprechend den subjektiven Präferenzen des Entscheidungsträgers aufaddiert werden (Zangemeister 1976). Dafür muss der Entscheidungsträger Gewichtungsfaktoren w_j für die Kriterien sowie eine Einzelwertfunktion v_j für jedes Kriterium f_j angeben können. Die Einzelwertfunktion wird üblicherweise auf ein $[0;1]$ Intervall normiert und muss so festgelegt werden, dass gleich gute Ausprägungen unterschiedlicher Kriterien etwa gleich hohe Nutzenwerte zugeordnet bekommen. Der Gesamtwert v einer Alternative a_i wird durch die gewichtete Summe der Nutzwerte aller Kriterien mit folgender Funktion berechnet, wobei die beste Alternative den höchsten Wert aufweist (Götze 2006; Keeney, Raiffa 1976; Zangemeister 1976; Keeney, Raiffa 1976; Zimmermann, Gutsche 1991):

$$v(a_i) = \sum_{j=1}^n w_j \times v_j(x_{ij}) \quad (1)$$

Wichtige Voraussetzung für die Nutzwertanalyse ist die Präferenzunabhängigkeit der Kriterien, was bedeutet, dass eine Verbesserung der Ausprägung des Kriteriums i keinen Einfluss auf die Ausprägung eines anderen Kriteriums haben darf. Diese Voraussetzung ist in der Realität nicht immer gegeben (Eisenführ, Weber 1999). Zudem müssen die Kriterien mittels numerischer Werte beschrieben werden können und vergleichbar sein (Hwang, Yoon 1981). Dies macht eine Transformation qualitativer Kriterien in Zahlenwerte auf Verhältnisskalenniveau notwendig, was zu Verzerrungen führen kann (Zimmermann, Gutsche 1991).

Vorteile dieser Methode liegen in der einfachen Durchführbarkeit, dem geringen Rechenaufwand und der guten Interpretierbarkeit. Deshalb wird sie gerne in Unternehmen angewendet (Götze 2006). Das Entscheidungsproblem wird übersichtlich dargestellt und für den Entscheidungsträger nachvollziehbar. Ein weiterer Vorteil liegt in der Möglichkeit, sowohl qualitative als auch quantitative Kriterien betrachten zu können (Götze 2006; Yoon, Hwang 1995).

Jedoch ist das Erstellen der Einzelwertfunktionen auf der normierten Skala aufwändig und sehr subjektiv, da die minimalen beziehungsweise maximalen Werte der Skala für

alle Kriterien den gleichen Nutzen stiften müssen. Aufgrund der geforderten Unabhängigkeit ist der Einsatz von monetären Kriterien nicht geeignet (Götze 2006). Der größte Nachteil dieser Methode ist jedoch die Zusammenfassung zu einem einzigen Wert, was negative Kriterienausprägungen durch positive Ausprägungen anderer Kriterien vollständig kompensiert (Geldermann 1999).

Einsatzmöglichkeiten für Gruppen

Auch für Gruppenentscheidungen bleiben die genannten Nachteile bestehen. Prinzipiell ist die Methode für Gruppen anwendbar, indem die Individualnutzenwerte aggregiert werden, wobei bei Bedarf auch unterschiedliche Stimmanteile der Entscheidungsträger berücksichtigt werden können (Bose et al. 1997; Geldermann 2005; Zhang 2004). Jedoch können dabei die Kompensationseffekte auch zwischen den Personen auftreten (Bose et al. 1997) und es wird vorausgesetzt, dass die Individualnutzenwerte unter den Entscheidungsträgern vergleichbar sind (Iz, Jelassi 1990).

4.2.2 Analytischer Hierarchieprozess (AHP)/Analytischer Netzwerkprozess (ANP)

Der von Saaty entwickelte AHP (Analytischer Hierarchieprozess) (Saaty 1980) kann als eine spezielle Variante der Nutzwertanalyse betrachtet werden, die sich hauptsächlich in der Bestimmung der Gewichtungsfaktoren und der Wertefunktionen unterscheidet (Schneeweiß 1991). Die Methode hilft komplexe Entscheidungssituationen zu strukturieren, da die Ziele hierarchisch gegliedert werden, wodurch die Beziehungen zwischen den Elementen herausgearbeitet werden (Saaty 1990). Mit dieser Grundlage werden Paarvergleiche der Kriterien auf einer Hierarchieebene durchgeführt, die mit Hilfe einer Neun-Punkte-Skala nach Saaty bewertet werden. Die Gewichtungsfaktoren der einzelnen Kriterien werden mit Hilfe der Eigenvektormethode nach Saaty bestimmt. Die abschließende Bewertung der Alternativen findet analog zur Nutzwertanalyse durch die Addition der einzelnen Zielerreichungsgrade unter Berücksichtigung der Gewichtungsfaktoren statt. Die Ergebnisse werden auf Konsistenz hin überprüft (Saaty 1990; Schneeweiß 1991; Zimmermann, Gutsche 1991).

Die Methode ist gut verständlich und wird folglich häufig in der Unternehmenspraxis eingesetzt (Garuti, Sandoval 2005; Geldermann 2005). Auch ist der Vergleich von quantitativen und qualitativen Kriterien möglich, ohne diese auf eine einheitliche Skala bringen zu müssen (Götze 2006; Taslicali, Ercan 2006). Die Verbreitung wird zusätzlich durch die Verfügbarkeit kommerzieller Software zu dieser Methode unterstützt (Ahlert 2003).

Dennoch benötigen die Entscheidungsträger genaue Vorstellungen über den Nutzen und die Gewichtung der einzelnen Kriterien und haben einen hohen Datenermittlungsaufwand zu bewerkstelligen (Götze 2006). Durch die paarweisen Vergleiche ist auch der Rechenaufwand erhöht (Garuti, Sandoval 2005; Geldermann 2005). Auch bei dieser Methode ist die vollständige Kompensierbarkeit der Kriterien nachteilig (Götze 2006). Zudem wird häufig die Ermittlung der Gewichtungsfaktoren über die Saaty'sche Eigenvektormethode kritisiert. Hierfür ist ebenfalls der paarweise Vergleich mittels der Neun-Punkte-Skala nötig, deren Rationalität stark angezweifelt wird, da andere Skalen zu anderen Rangfolgen führen und die Interpretation der einzelnen Werte schwerfällt. Hinzu kommt das Auftreten von sogenannten Rank Reversals¹⁶ (Zimmermann, Gutsche 1991).

Ferner ist es teilweise schwierig, Entscheidungssituationen hierarchisch zu strukturieren. Um dieses Problem zu umgehen, wurde – ebenfalls von Saaty – der ANP (analytische Netzwerkprozess) entwickelt (Saaty 2001). Hier wird keine eindeutige Hierarchie aufgebaut, sondern Cluster innerhalb eines Netzwerkes, womit alle sich gegenseitig beeinflussenden Elemente verbunden werden können. Dadurch wird das Entscheidungsproblem realitätsnäher abgebildet und somit auch die Entwicklungszeit für die Modellierung reduziert (Garuti, Sandoval 2005; Taslicali, Ercan 2006). Durch die gesteigerte Anwendungsfreundlichkeit wird diese Methode bereits vielfach genutzt (Köne, Büke 2007; Sarkis, Sundarraj 2002; Taslicali, Ercan 2006).

Einsatzmöglichkeiten für Gruppen

Saaty (1989) hat zu seinem Ansatz auch zwei unterschiedliche Modelle zur Gruppenentscheidung vorgestellt. Er unterscheidet zwischen einer Konsensabstimmung und einer kombinierten Beurteilung. Bei der Konsensabstimmung findet die Anwendung des AHP mit der gesamten Gruppe statt, die sich über jeden paarweisen Vergleich einigen muss. Bei der kombinierten Beurteilung entsteht das Gruppenergebnis aus individuellen Bewertungen, die durch die Bildung des geometrischen Mittels in der Gruppenentscheidungsmatrix zusammengefasst werden. Eine Mischung dieser beiden Verfahren kann gewählt werden, wenn es bei einzelnen Vergleichen zu größeren Konflikten kommt. Bei beiden Ansätzen muss eine gemeinsame Hierarchie aufgestellt werden. Bei einem weiteren Verfahren werden die individuellen Gesamtbewertungen mit Hilfe des geometrischen Mittels aggregiert, wodurch die Entscheidungsträger auch eine eigene Hierarchie verwenden können (Saaty 2008).

¹⁶ Durch Hinzunehmen von irrelevanten Alternativen zur Auswertung, die von allen bisher betrachteten Alternativen dominiert werden, kann sich auch die Reihenfolge der ursprünglichen Alternativen ändern.

Das geometrische Mittel ist die einzige Möglichkeit, die reziproken Eigenschaften der Matrizen zu erhalten, jedoch werden dadurch auch nicht-Pareto-effiziente Lösungen ermöglicht (Ramanathan, Ganesh 1994; Schauff 2000). Zusätzlich ist es schwierig, eine gemeinsame Kriterienhierarchie für alle Entscheidungsträger aufzubauen, da die Entscheidungsträger eine unterschiedliche Auffassung des Entscheidungsproblems haben können und auch ein gewisser Eigennutz die Anordnung beeinflussen kann (Geldermann 2005; Salo, Hämäläinen 1997). An den methodischen Schwächen des AHP sind im Vergleich zu einzelnen Entscheidungsträgern auch bei Gruppenentscheidungen keine Veränderungen feststellbar.

4.2.3 Multi Attribute Utility Theory (MAUT)

Die MAUT ist im Gegensatz zu den beiden vorherigen Methoden nutzentheoretisch fundiert. Sie baut auf kardinalen Einzelnutzenfunktionen auf, die häufig durch Befragungen nach dem Medianverfahren bestimmt werden. Hierbei wird der Median $z_1^{0,5}$ für ein Kriterium k_1 gesucht, für den der Nutzenzuwachs von der niedrigsten Ausprägung z_1^0 zu diesem Wert genauso groß ist, wie von diesem Wert zu der höchsten Ausprägung z_1^1 . Für die Bestimmung der Gewichtung wird noch ein zweites Kriterium k_2 herangezogen. Die Ausprägung dieses Kriteriums wird variiert bis ein Übergang von z_1^0 zu $z_1^{0,5}$ beziehungsweise von $z_1^{0,5}$ nach z_1^1 mit gleichzeitiger Veränderung des zweiten Kriteriums Δz_2 als gleichwertig betrachtet werden. In weiteren Schritten können diese Intervalle noch unterteilt werden, um so die Einzelnutzenfunktion zu bestimmen (Götze 2006; Keeney, Raiffa 1976; Schneeweiß 1991).

Im Folgenden werden die Gewichtungsfaktoren jeweils auf Basis zweier Kriterien bestimmt, wobei gilt: $|\Delta z_1| \cdot w_1 = |\Delta z_2| \cdot w_2$. Die Summe der Gewichte ergibt 1. Die abschließende Bewertung des Gesamtnutzens erfolgt häufig wie bei der Nutzwertanalyse und dem AHP durch ein additives Modell (Götze 2006).

Die MAUT ist ein nutzentheoretisch fundiertes Verfahren, das immer zu einer stabilen Rangordnung der Alternativen führt. Jedoch stehen dem ein hoher Datenermittlungsaufwand und strenge Anwendungsvoraussetzung wie die Existenz einer schwachen Ordnung, die Substituierbarkeit und die gegenseitige Präferenzunabhängigkeit gegenüber. Diese Voraussetzungen sind nicht in jeder Entscheidungssituation erfüllt und stellen hohe Anforderungen an den Entscheidungsträger (Götze 2006; Keeney, Raiffa 1976; Schneeweiß 1991). Auch bei dieser Methode können quantitative und qualitative Kriterien berücksichtigt werden. Jedoch stellt sich hier, ebenso wie bei der Nutzwertanalyse das Problem, dass die qualitativen Kriterien auf eine Skala gebracht werden müssen, was zum einen sehr willkürlich erfolgen und zum anderen zu Verzerrungen führen kann (Figueira et al. 2009).

Einsatzmöglichkeiten für Gruppen

Wie schon bei der Nutzwertanalyse kann auch bei dieser nutzentheoretisch fundierten Methode ein Mittelwert der individuellen Ergebnisse der Entscheidungsträger gebildet werden. Auch hier besteht die Notwendigkeit der Vergleichbarkeit der Nutzenwerte der einzelnen Entscheidungsträger (Iz, Jelassi 1990). Auf Basis von Sensitivitätsanalysen soll danach versucht werden, mit anschließenden Diskussionen einen möglichst großen Konsens zwischen den Entscheidungsträgern zu finden (Steeb, Johnston 1981).

4.2.4 ELECTRE

Die ELECTRE-Methode (Elimination Et Choix Traduisant la REalité) ist die älteste Out-ranking-Methode, von der sich im Lauf der Zeit mehrere Varianten gebildet haben, mit denen alle drei Entscheidungsarten (Selektieren, Sortieren, Ordnen) durchgeführt werden können (Figueira et al. 2005; Roy 1991). Die ursprüngliche Version ELECTRE I läuft in neun Schritten ab (Hwang, Yoon 1981; Zimmermann, Gutsche 1991). Bei allen Varianten wird untersucht, inwieweit eine Alternative die andere dominiert, wobei hier nicht der klassische Dominanzbegriff mit strikter Präferenz und Indifferenz zum Tragen kommt, sondern auch schwache Präferenzen und Unvergleichbarkeiten berücksichtigt werden, was ein bestimmtes Maß an Widersprüchen und Uneinigkeiten gestattet (Belton, Stewart 2003; Roy 1991). Dadurch ist es auch möglich, unvollständige Informationen in den Entscheidungsprozess mit einzubeziehen. Um diese Analyse durchzuführen, sind sogenannte Konkordanz- und Diskordanzmengen in Anwendung, so dass die Methode auch Konkordanzanalyse genannt wird. Als Ergebnis erhält man eine Menge nichtdominierter Alternativen (Hwang, Yoon 1981; Zimmermann, Gutsche 1991).

Für die Durchführung von ELECTRE muss ein mittlerer Konkordanz- und Diskordanzindex festgelegt werden, was eine Schwachstelle dieser Methode ist, da die Werte willkürlich festgesetzt werden können, jedoch einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse haben (Belton, Stewart 2003; Geldermann 1999; Hwang, Yoon 1981). Darüber hinaus gilt die Methode als wenig transparent und bringt deshalb kein weiteres Verständnis über das Entscheidungsproblem für den Entscheidungsträger (Belton, Stewart 2003). Wie bei allen Methoden mit paarweisem Vergleich ist auch hier die Problematik der Rank Reversals zu benennen (Wang, Triantaphyllou 2008).

Einsatzmöglichkeiten für Gruppen

Auch für ELECTRE gibt es unterschiedliche Ansätze zum Einsatz in Gruppenentscheidungen. Beispielsweise schlägt Bui (1987) im Gruppenentscheidungsprozess Co-oP

u. a. ELECTRE I als Festlegung der Individualpräferenzen vor. Die Aggregation zum Gruppenergebnis erfolgt durch das Aufsummieren der Rangplätze der Alternativen.

Auch für andere ELECTRE-Varianten gibt es Anwendungen für Gruppen. Beispielsweise wird ein Verfahren in zwei Schritten vorgeschlagen (Leyva-López, Fernández-González 2003). Zuerst führt jeder Entscheidungsträger sein individuelles Ranking auf Basis von ELECTRE III durch, um mögliche Konflikte herauszufinden. Dadurch wird eine fuzzy¹⁷ Outrankingrelation gebildet. Diese verwendet im Anschluss ein Supra-Entscheidungsträger, um damit ein endgültiges Gruppenranking zu erzielen.

Ein weiterer Ansatz basierend auf ELECTRE TRI dient hauptsächlich dazu, Unstimmigkeiten zwischen den Entscheidungsträgern herauszustellen. Nach einer individuellen Bewertung durch alle Entscheidungsträger werden die Konfliktpotenziale aufgezeigt, über die sich die Entscheidungsträger in anschließenden Verhandlungen einigen sollen. Geschieht dies nicht, ist mit dieser Methode keine Lösung möglich (Melo, Costa 2008).

Da für die zugrundeliegende Fragestellung eine Anwendung in einem industriellen Betrieb notwendig ist, stellt die Nachvollziehbarkeit der Entscheidungsmethode ein wichtiges Kriterium dar. Diese wird durch die Anwendung als Gruppenentscheidung jedoch nicht besser, da die Festlegung der Konkordanz- und Diskordanzschwellenwerte immer noch als willkürlich bezeichnet werden kann. Aus diesem Grund kommt diese Methode im Folgenden nicht in Betracht.

4.2.5 PROMETHEE

Auch die PROMETHEE-Methode (Preference Ranking Organisation METHOD for Enrichment Evaluations) gehört zu den Outranking-Methoden. Wie bei ELECTRE gibt es auch hier verschiedene Varianten. Charakteristisch für PROMETHEE ist die Zuordnung verallgemeinerter Präferenzfunktionen zu den Kriterien, für die auch Schwellenwerte gesetzt werden können, wodurch nur relevante Unterschiede der Kriterien zu Präferenzentscheidungen führen. Dies ist auch vorteilhaft, wenn die Kriterienausspragungen der Alternativen nur schwer ermittelbar sind (Ruhland 2004). In paarweisen Vergleichen wird der Präferenzindex als Summe der gewichteten Differenzen der ein-

¹⁷ Die Fuzziness oder Unschärfe ist ein Maß für die Stärke der Zugehörigkeit zu einem bestimmten Wert oder einer Ausprägung und wird über eine Zugehörigkeitsfunktion angegeben. Gerade bei linguistischen Attributen bietet die Fuzzylogik eine Möglichkeit, diese zu operationalisieren (Schneeweiß 1991). Unschärfe kann neben der Angabe von Kriterienausspragungen auch bei Präferenzen und Gewichtung auftreten. Einen Überblick über die Einbindung von Fuzzy-Logik in Outranking-Verfahren liefert z. B. Geldermann (1999).

zernen Kriterien bestimmt. Mit Hilfe dieses Index können die Ausgangs- und Eingangsflüsse der einzelnen Alternativen berechnet werden. Je größer der Ausgangsfluss und je kleiner der Eingangsfluss, desto besser ist die entsprechende Alternative. Das Ergebnis der Variante PROMETHEE I ist eine partielle Ordnung, die Präferenzen, Indifferenzen und Unvergleichbarkeiten darstellt, abhängig vom Vergleich der Ausgangs- und der Eingangsflüsse zweier Alternativen (Brans et al. 1984; Brans et al. 1986; Brans, Vincke 1985).

Der Rechenaufwand dieser Methode ist relativ gering (Götze 2006). Durch den Vergleich der Ausgangs- und Eingangsflüsse werden negative Kriterienausprägungen nicht vollständig durch andere positive kompensiert (Zimmermann, Gutsche 1991). Es können sowohl quantitative als auch qualitative Kriterien berücksichtigt werden, wobei die qualitativen Kriterien auf eine Kardinalskala gebracht werden müssen, was deren Berücksichtigung etwas erschwert (Götze 2006). Durch die Darstellung von Unvergleichbarkeiten kann es zu Verletzungen der Transitivität kommen, was in einem gewissen Maße jedoch auch so gewünscht ist, da es die Realität multikriterieller Entscheidungsprobleme abbildet (De Keyser, Peeters 1996; Mareschal et al. 2008; Ruhland 2004). Wie bei allen Methoden, die auf einem paarweisen Vergleich basieren, kann es auch hier durch Hinzufügen oder Weglassen einer Alternative zu Rank Reversals kommen (Geldermann 1999; Mareschal et al. 2008).

Die PROMETHEE-Methode ist durch eine transparente Vorgehensweise zur Problemstrukturierung geeignet und stellt als Ergebnis die Realität mit all ihren Widersprüchen dar, so dass das Ergebnis nur als Entscheidungshilfe dienen kann (Götze 2006). Sie wurden hauptsächlich zum Ordnen entwickelt (Götze 2006).

Einsatzmöglichkeiten für Gruppen

Beim Einsatz von PROMETHEE für Gruppenentscheidungen sind in der Literatur hauptsächlich zwei Ansätze von Macharis et al. (Macharis et al. 1998) diskutiert, die auf Basis einer mathematischen Aggregation funktionieren. Diese wurden auch von anderen Autoren aufgegriffen (Brans, Mareschal 2005; Geldermann 2005; Leyva-López, Fernández-González 2003; Zhang 2004). Die Ansätze sind in drei Phasen unterteilt, wobei die ersten beiden für beide Ansätze gleich sind:

- Phase I: Sammlung der Alternativen und Kriterien
- Phase II: Individuelle Bewertung jedes Entscheidungsträgers
- Phase III: Ermittlung der Gruppenentscheidung

Die Gruppenentscheidung kann auf zwei verschiedene Arten ermittelt werden. Bei der ersten Möglichkeit werden alle von einzelnen Entscheidungsträgern bewerteten Krite-

rien in einer großen Entscheidungsmatrix zusammengefasst, die dann zur Anwendung von PROMETHEE verwendet wird. Dabei werden auch mehrmals genannte Kriterien nicht zusammengefasst, sondern einzeln betrachtet (Geldermann 2005; Macharis et al. 1998).

Die zweite Variante hat als ersten Schritt eine individuelle PROMETHEE-Bewertung durch jeden Entscheidungsträger auf Basis von PROMETHEE II. Auf dieser Basis wird eine erneute PROMETHEE-Bewertung durchgeführt, bei der die Entscheidungsträger als Kriterien angesehen werden, wobei die ermittelten Nettoflüsse jeweils als entsprechende Ausprägungen erfasst werden (Abbildung 4.1) (Geldermann 2005; Macharis et al. 1998).

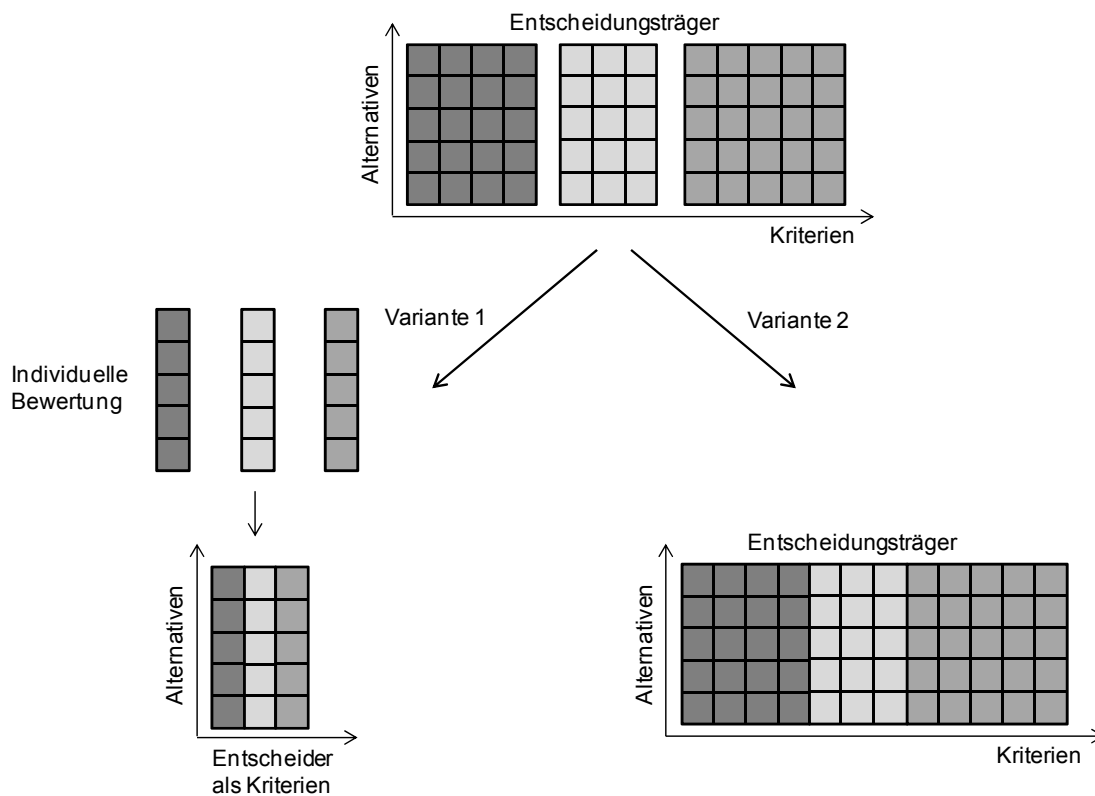


Abbildung 4.1: Varianten zur Gruppenentscheidung mit PROMETHEE (in Anlehnung an Geldermann 2005).

Leyva-López, Fernández-González (2003) vergleichen den von ihnen entwickelten Ansatz zur Gruppenentscheidung auf Basis von ELECTRE (ELECTRE-GD) mit den Ergebnissen der zweiten Variante der PROMETHEE-Gruppenentscheidung. Dabei schlussfolgern sie, dass die Schwachstellen des PROMETHEE-Ansatzes auf den kompensatorischen Effekten der Gruppenentscheidung liegen, wohingegen ELECTRE-

GD Veto-Effekte zulässt, die für eine Einigung in der Gruppe wichtig sind. Jedoch bieten sowohl der PROMETHEE- als auch der ELECTRE-Ansatz keine Möglichkeit, die Auswirkungen von Zielkonflikten der verschiedenen Entscheidungsträger auf das Gruppenergebnis genauer zu analysieren. Deshalb ist es nötig, unabhängig von der gewählten Methode diese den Anforderungen für die Fragestellung entsprechend weiterzuentwickeln.

4.3 Auswahl einer geeigneten Methode

Der vorherige Abschnitt lässt erkennen, dass es eine Vielzahl von MADM-Methoden gibt, die alle ihre Vor- und Nachteile besitzen, so dass keine allgemein beste Methode festgestellt werden kann. Um für die konkrete Problemstellung der Bewertung von PSS eine geeignete Methode auszuwählen, gibt es eine Vielzahl von Auswahlverfahren. Beispielsweise wurden das Model Selection Paradigm von Deason (Deason 1984), der Model Choice Algorithm (Gershon 1981) sowie der Model Selection Process (Teclé 1988) von Al-Shemmeri et al. (1997) aufgrund ihrer relativ einfachen Umsetzbarkeit angewendet. Jedoch sind alle drei dieser Auswahlprozesse relativ aufwändig, da Teile dieses Vorgehens problemspezifisch angepasst werden müssen. Auch sind die entstandenen Ergebnisse weniger gut nachvollziehbar. Ein weiterer Auswahlprozess sind die Tentativ Guidelines (Guitouni, Martel 1998). Dabei werden die zur Wahl stehenden Methoden auf Basis von sieben allgemeingültigen Guidelines (G) mit den Anforderungen des Entscheidungsproblems verglichen (Tabelle 4.2). Dieses Vorgehen ist weniger aufwändig und auch gut nachvollziehbar. Jedoch führen nicht alle dieser Guidelines zur Differenzierung und bei manchen ist es schwierig, Anforderungen des konkreten Entscheidungsproblems zu definieren. Aus diesem Grund werden nur ausgewählte Guidelines berücksichtigt und in Anforderungen an die verwendete Methode umdefiniert.

Tabelle 4.2: Guidelines (in Anlehnung an Guitouni, Martel 1998).

Guideline	Erklärung
G1	Anzahl der Entscheidungsträger
G2	Art der Präferenzangabe des Entscheidungsträgers
G3	Art des Entscheidungsproblems
G4	Verwendung der zur Verfügung stehenden Informationen
G5	Grad der Kompensation
G6	Mathematische Grundlagen und Annahmen für Modellierung
G7	Softwareverfügbarkeit

Nicht unterschieden werden kann z. B. anhand der Anzahl der Entscheidungsträger (G1), da alle der in der Vorauswahl festgelegten Methoden für einen Entscheidungsträger entwickelt, aber bereits auch für Gruppenentscheidungen eingesetzt wurden.

Kommerziell verfügbare Software (G7) ist für die Auswahl ebenfalls nicht relevant, da weitere Entwicklungsbedarfe der Methoden bestehen. Die Weiterentwicklungen stehen folglich in einer bereits existierenden Software nicht zur Verfügung sondern müssen im Rahmen dieser Arbeit erst implementiert werden.

Bei der Bewertung von PSS sind einige Kriterien, wie z. B. die Kundenbindung oder das auftretende Konfliktpotenzial, relevant, die nicht quantitativ gemessen werden können, sondern nur qualitativ angegeben werden können. Daher sollte durch die gewählte Methode eine *Mischung aus quantitativen und qualitativen Kriterien berücksichtigt* (G4) werden können.

Da die Kriterienausprägungen und Präferenzangaben a priori erfolgen, ist es ratsam, *Unsicherheiten und ungenaue Präferenzen* (G2) durch die Methoden wiedergeben zu können. Dies kann direkt in den Bewertungsprozess integriert sein oder im Anschluss mittels Sensitivitätsanalysen stattfinden.

Auch ist es ratsam eine *totale Kompensation zu vermeiden* (G5). Hat eine Alternative eine schlechte Ausprägung bezüglich eines Kriteriums, sollte dies nicht vollständig durch das gute Abschneiden eines anderen Kriteriums ausgeglichen werden. Jedoch sollte bei der Bewertung von PSS eine teilweise Kompensation möglich sein, da sonst ein einzelnes Kriterium über die Güte der Alternative entscheidet. Eine Ausnahme hierbei bilden Veto-Funktionen, die bei mehreren Entscheidungsträgern für Kriterien mit Zielkonflikten sinnvoll sein können. Durch das Vermeiden der totalen Kompensation können Unvergleichbarkeiten zwischen Alternativen auftreten, was im Ergebnis in einer partiellen Präordnung resultiert. Dies bietet die Möglichkeit, die Grenzen der rein mathematischen Entscheidungsunterstützung aufzuzeigen.

Zur Anwendung des Bewertungsinstruments in Unternehmen ist es wichtig, dass der gesamte *Lösungsprozess* und damit auch die Art und Weise der mathematischen Aggregation *verständlich und leicht nachvollziehbar* (G6) ist. Eine hohe Einarbeitungszeit und mangelnde Nachvollziehbarkeit der benötigten Inputdaten und der Ergebnisse führen sonst in der Industrie zu Akzeptanzproblemen.

Bei einer Gruppenentscheidung ist es zudem für die Akzeptanz wichtig, dass die Entscheidungsträger das Gruppenergebnis mit ihren eigenen Präferenzen abgleichen können. Dafür bietet es sich an, eine *Rangfolge zu erstellen* (G3), damit die Ränge der Alternativen eines Entscheidungsträgers mit dem Gruppenergebnis verglichen werden können.

Tabelle 4.3 zeigt, ob für die zur Wahl stehenden Methoden diese Anforderungen erfüllt sind. Aus diesen Erkenntnissen geht hervor, dass PROMETHEE die bestgeeignete

Methode für die zugrundeliegende Fragestellung ist. Dies kommt vor allem durch die einfachere Anwendbarkeit und auch die leichtere Interpretationsmöglichkeit der entsprechenden Ergebnisse zustande (Al-Shemmeri et al. 1997; Queiruga et al. 2008).

Tabelle 4.3: Analyse der MADM-Methoden hinsichtlich der benötigten Anforderungen (eigene Darstellung).

MADM-Methoden	Nutzwert-analyse	AHP & ANP	MAUT	ELECTRE	PROMETHEE
Berücksichtigung qualitativer und quantitativer Kriterien möglich		✓	(✓)	✓	✓
Wiedergabe von Unsicherheiten und ungenauen Präferenzen				✓	✓
Vermeidung totaler Kompensation				✓	✓
Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit des Lösungsprozesses	✓	✓			✓
Erstellung einer Rangfolge		✓		(✓)	✓

Jedoch wurden im Methodenüberblick auch Unzulänglichkeiten aufgeführt. Bei der gewählten Methode PROMETHEE wird in Gruppenentscheidungen nicht klar, bei welchen Kriterien hauptsächlich Konflikte vorliegen und wie sich diese Kriterien letztendlich auf das Bewertungsergebnis auswirken. Gerade für die vorliegende Problemstellung sind dies jedoch wichtige Punkte. Durch die Berücksichtigung der Kundensicht in den Entscheidungsprozess kann es zu widersprüchlichen Zielsetzungen kommen, so dass bei der Bewertung an diesen Punkten Klarheit geschaffen werden sollte. Hierzu sind Weiterentwicklungen der bestehenden Methodik notwendig.

Auch besteht der Vorschlag, positive Aspekte einer Methode in andere Methoden einzuarbeiten (Macharis et al. 2004; Turcksin et al. 2011). Bei der vorliegenden Problemstellung ist es sinnvoll, wegen der Vielzahl an Kriterien auch bei PROMETHEE eine Kriterienhierarchie entsprechend dem AHP zu berücksichtigen. Dadurch kann das Entscheidungsproblem besser strukturiert und übersichtlicher dargestellt werden. Leyva-Lopez, Fernandez-Gonzalez (2003) erkannten die Möglichkeit von Veto-Effekten bei ELECTRE-GD als vorteilhaft für Gruppenentscheidungen. Auch solch ein Effekt kann in die PROMETHEE-Methode eingearbeitet werden.

5 Konzeption des multikriteriellen Bewertungsverfahrens

In diesem Kapitel wird die Konzeption eines multikriteriellen Bewertungsverfahrens vorgestellt, das zur Entscheidungsunterstützung für Gruppen mit divergierenden Zielsetzungen geeignet ist und die im vorherigen Kapitel identifizierten Anforderungen erfüllt. Im ersten Abschnitt werden die Bewertungsmethodik und die Neuerungen durch die aufgezeigten Anforderungen beschrieben. Anschließend wird auf die Thematik der Sensitivitätsanalyse eingegangen, die gerade bei Gruppenentscheidungen eine wichtige Rolle zum Auffinden von Kompromisslösungen spielt. Auch ein Erweiterungsbedarf durch die methodische Weiterentwicklung wird hier erläutert und eine Problemlösung aufgezeigt. Zum Abschluss dieses Kapitels wird eine softwaretechnische Umsetzung vorgestellt, mit der Bewertungen ohne wiederholten Rechenaufwand durchgeführt werden können.

5.1 Konzept zur Gruppenentscheidung mit divergierenden Zielsetzungen der Entscheidungsträger

Der neue Ansatz zur Gruppenentscheidung mittels PROMETHEE basiert auf den in Abschnitt 4.2.5 beschriebenen Ansätzen (Macharis et al. 1998). Die Problemstrukturierung erfolgt wie bei den bestehenden Ansätzen, jedoch werden die Kriterien anschließend konsolidiert. Auf dieser gemeinsamen Basis findet im Anschluss die Bewertung statt (Abbildung 5.1). Dafür ist eine Aggregation der Kriteriengewichtungen der einzelnen Entscheidungsträger nötig. Da im Gewichtungsprozess der hauptsächliche Unterschied dieses neuen Verfahrens liegt, wird zuerst dieser erläutert, bevor anschließend die Auswirkungen auf den Algorithmus der PROMETHEE-Methode zur Aggregation der gesammelten Daten dargestellt werden.

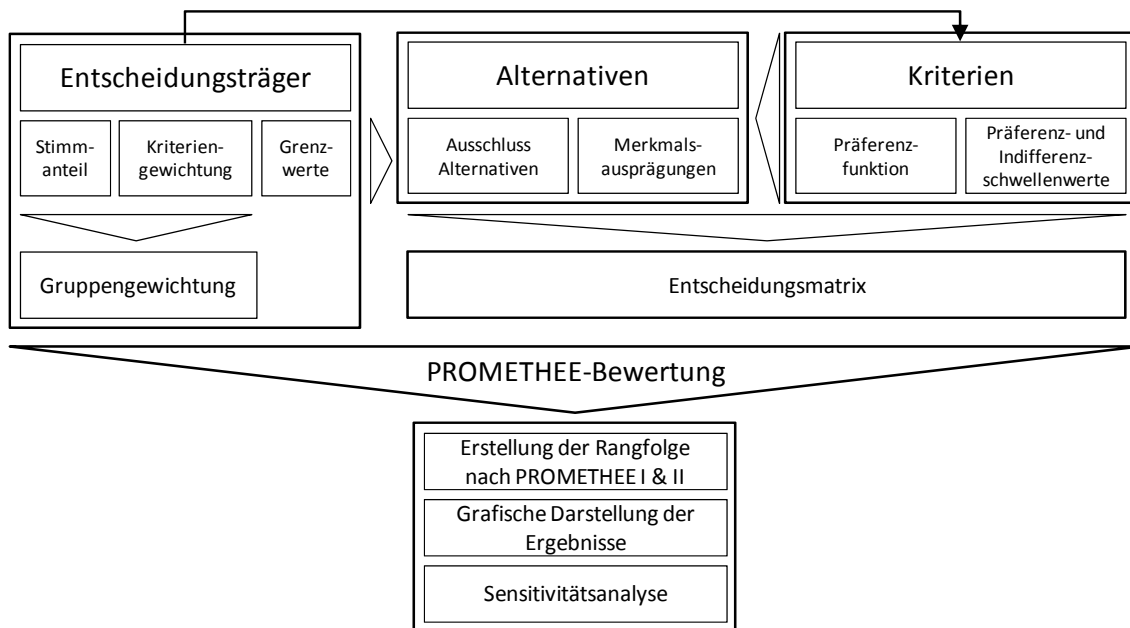


Abbildung 5.1: Ablauf des modifizierten Gruppenbewertungsansatzes nach PROMETHEE (eigene Darstellung).

5.1.1 Problemstrukturierung

Zu Beginn eines Entscheidungsprozesses ist es wichtig, die Zielsetzung klarzustellen. Auf dieser Basis können dann die betroffenen Stakeholder ermittelt werden. Im Anschluss ist zu entscheiden, welche Stakeholdergruppe mit welchem Stimmanteil als Entscheidungsträger Mitspracherecht haben sollte (Belton, Stewart 2003).

Je nach Zielsetzung kann es notwendig sein, die möglichen Alternativen in einem Prozess der Ideengenerierung und -strukturierung zu erarbeiten. Handelt es sich um eine Auswahl aus mehreren Alternativen, sollte entweder von einem Expertengremium oder den identifizierten Entscheidungsträgern ermittelt werden, ob alle und, falls nicht, welche Alternativen in die Entscheidung einbezogen werden sollen (Belton, Stewart 2003).

Daraufhin werden die Bewertungskriterien ausgewählt. Dafür sollten alle Entscheidungsträger eingebunden werden, damit die Bewertung ein realistisches Abbild der individuellen Meinungen geben kann. Haben alle Entscheidungsträger ihre Kriterien gesammelt, sollten in einem Konsolidierungsprozess doppelt vorkommende Kriterien gestrichen werden und bei sehr ähnlichen beziehungsweise sich bedingenden Kriterien eine Einigung getroffen werden, welche Kriterien letztlich in die Bewertung mit eingehen (Belton, Stewart 2003).

Ein weiterer Schritt legt fest, wie mit bestehenden Unsicherheiten umgegangen werden soll. Unsicherheiten bezüglich der Umwelt können beispielsweise durch die Betrachtung

tung unterschiedlicher Szenarien oder durch die Einbeziehung von Kriterien, die bestimmte Risiken abbilden, Berücksichtigung finden (Belton, Stewart 2003). Interne Unsicherheiten wie Kriterienausprägungen der Alternativen können durch den Einsatz von Fuzzy-Zahlen (z. B. Beccali et al. 1998; Doukas et al. 2007; Geldermann et al. 2000) und die Auswahl entsprechender Präferenzfunktionen (Oberschmidt 2010) abgefangen werden. Weitere interne Unsicherheiten z. B. bezüglich der Kriteriengewichtung oder der gewählten Präferenzfunktionen können im Anschluss an die Bewertung durch Sensitivitätsanalysen in die Ergebnisse einbezogen werden (Geldermann et al. 2003; Oberschmidt 2010).

Ist dieser Prozess abgeschlossen, gilt es, eine Entscheidungsmatrix zu generieren. Dabei werden die Ausprägungen der Bewertungskriterien für jede in Frage kommende Alternative in einer Matrix aufgespannt (Zimmermann, Gutsche 1991). Mit diesem Ergebnis erfolgt als nächstes der Gewichtungsprozess.

5.1.2 Gewichtung

Für die Gewichtung der Kriterien stehen verschiedene Methoden zur Auswahl wie z. B. Trade-off, SMART, SWING, Direct Ratio oder Saaty's Eigenvektormethode (z. B. Eisenführ, Weber 1999; Geldermann 1999; Nijkamp et al. 1990; Oberschmidt 2010). Jedoch erwähnen Macharis et al. (2004), dass für PROMETHEE kein besonderer Gewichtungsprozess vorgesehen ist, sondern die Entscheidungsträger imstande sind, eine angemessene Gewichtung durchzuführen, wenn nicht zu viele Kriterien in den Prozess eingebunden sind. Dabei wird die individuell wahrgenommene Wichtigkeit der Kriterien bewertet. Dieser Ansatz wird als Direct Choice bezeichnet (Geldermann 1999). Im modifizierten Ansatz wird von diesem Verfahren ausgegangen. So kann jeder Entscheidungsträger seine persönliche Gewichtung wählen und angeben, ob die Kriterien minimiert oder maximiert werden sollen. Grundsätzlich ist es auch möglich, ein anderes Gewichtungsverfahren extern anzuwenden und die ermittelten Ergebnisse in dieses Verfahren einzubringen.

Für die Gruppenentscheidung werden nun diese Gewichte aggregiert, um anschließend eine Gruppengewichtung für die Durchführung der Bewertung mittels PROMETHEE zur Verfügung zu haben. Ein besonderes Augenmerk soll dabei auf solche Kriterien gelegt werden, bei denen Zielkonflikte bezüglich der Optimierungsrichtung unter den Entscheidungsträgern vorliegen. Folgende Schritte sind für die Ermittlung der Gruppengewichtung vorgesehen:

- Voraussetzung für die faire Durchführung dieser Methode ist, dass die Summe der Gewichtungen der einzelnen Entscheidungsträger jeweils den gleichen Wert hat.

Damit geht die Gewichtung jedes Entscheidungsträgers gemäß seinem Stimmanteil in das Ergebnis mit ein, ohne dass dieser Anteil durch unterschiedliche Gewichtungssummen verfälscht wird. Deshalb werden die Einzelgewichtungen jeweils normiert. Dadurch kann ein strategisches Verhalten bei der Vergabe der Gewichtungsfaktoren zwar nicht vollends verhindert werden, jedoch wird dieses zumindest reduziert, da eine besonders hohe Gewichtung bei einem Kriterium eine niedrigere Gewichtung bei mindestens einem anderen Kriterium zur Folge hat.

- Zuerst wird der individuelle Beitrag der Entscheidungsträger zur Gesamtgewichtung ermittelt. Dabei wird der Stimmanteil v des einzelnen Entscheidungsträgers r , der bei der Problemstrukturierung ermittelt wurde, mit der Gewichtung w dieses Entscheidungsträgers für das entsprechende Kriterium i multipliziert. Zusätzlich wird für Kriterien, die maximiert werden sollen, der Faktor „+1“ in die Rechnung einbezogen. Zu minimierende Kriterien werden mit dem Faktor „-1“ berücksichtigt.

$$w_{t,i}^r = +1 \cdot w_i^r \cdot v^r, \text{ wenn Kriterium } i \text{ maximiert werden soll} \quad (2a)$$

$$w_{t,i}^r = -1 \cdot w_i^r \cdot v^r, \text{ wenn Kriterium } i \text{ minimiert werden soll} \quad (2b)$$

mit $w_{t,i}^r$: individueller Beitrag t zur Gesamtgewichtung des Entscheidungsträgers r für Kriterium i ,

w_i^r : original Gewichtung des Entscheidungsträgers r für Kriterium i und

v^r : Stimmanteil des Entscheidungsträgers r

Dieser Schritt ist besonders für Kriterien mit konfliktären Zielsetzungen wichtig, bei denen ein oder mehrere Entscheidungsträger das Kriterium maximieren wollen, die restlichen Entscheidungsträger jedoch ein Interesse daran haben, dieses Kriterium zu minimieren beziehungsweise umgekehrt.

- Um die Gruppengewichtung zu bestimmen, werden die individuellen Beiträge der Entscheidungsträger aufsummiert (Zhang 2004), wobei die jeweiligen geforderten Vorzeichen für die Maximierung (Gleichung 1a) oder Minimierung (Gleichung 1b) des Kriteriums berücksichtigt werden.

$$w_i^g = \sum_r w_{t,i}^r \quad (3)$$

mit w_i^g : Gewichtung der Gruppe g für Kriterium i

- Das Vorzeichen von w_i^g entscheidet letztendlich, in welche Richtung das Kriterium für die Gruppenentscheidung optimiert werden soll. Ist w_i^g positiv, wird das Kriterium maximiert, bei negativem Vorzeichen wird es minimiert.
- Um eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den individuellen Gewichtungen und den Werten für die Gruppe herzustellen, werden die Absolutbeträge der Gruppen-

gewichtung normiert, damit auch hier die Summe der Einzelgewichte wieder den Wert 1 erreicht.

$$w_{n,i}^g = \frac{|w_i^g|}{\sum_i |w_i^g|} \quad (4)$$

mit $w_{n,i}^g$:normierte Gewichtung der Gruppe g für Kriterium i

- Sind für Kriterien verschiedene Optimierungsrichtungen angegeben, kann jeder Entscheidungsträger einen Grenzwert festlegen, der durch das Kriterium erfüllt werden muss. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, bei konfliktären Zielsetzungen der Entscheidungsträger ein Veto einzulegen. Bei der Zielsetzung der Maximierung des Kriteriums wird ein Minimalwert bestimmt, bei einer geforderten Minimierung ein Maximalwert. Die Minimal- und Maximalwerte sollten einen Zielkorridor aufspannen, wofür der geringste Maximalwert über dem höchsten Minimalwert liegen müsste. Ist dies nicht der Fall, ist es nicht möglich, eine mathematische Entscheidungsunterstützung durchzuführen. Die Entscheidungsträger müssen dann in persönlichen Verhandlungen entscheiden, ob Zugeständnisse gemacht werden können, um einen Konsens zu erzielen oder ob der Entscheidungsprozess hier abgebrochen werden soll. Kann in dieser Weise fortgefahren werden, ist auf die taktischen Gruppenentscheidungsmodelle zu verweisen (Hänle 1993; Kersten, Szapiro 1986; Vetschera 1990). Die hier vorgeschlagene Methodik würde in solch einem Fall an dieser Stelle enden.
- Unter- beziehungsweise Überschreiten einzelne Alternativen die im Zielkorridor für ein bestimmtes Kriterium festgelegten Werte, wird das Veto durchgesetzt und die entsprechende Alternative aus dem weiteren Entscheidungsprozess gestrichen.

Die Auswirkungen dieses Gewichtungsprozesses auf Kriterien mit konfliktären Zielsetzungen werden in Tabelle 5.1 beispielhaft an einem Entscheidungsproblem mit zwei Entscheidungsträgern, die für das Kriterium K1 verschiedene Optimierungsrichtungen gewählt haben, dargestellt. Dabei werden 3 Fälle für zwei Entscheidungsträger (ET) mit gleichem Stimmanteil unterschieden. Bei deutlich unterschiedlicher Gewichtung eines Kriteriums mit konfliktärer Zielsetzung durch beide Entscheidungsträger nimmt das Gruppengewicht zwar ab, jedoch ist das Kriterium noch wichtiger Bestandteil der Bewertung. Sind die Gewichtungen für ein solches Kriterium ähnlich, verliert dieses Kriterium extrem an Bedeutung, die Kriterien, bei denen Einigkeit über die Optimierungsrichtung herrscht treten in den Vordergrund. Ein Sonderfall ist dabei die gleiche Gewichtung, die dazu führt, dass dieses Kriterium im Bewertungsprozess gänzlich wegfällt. Die Kompromisslösung wird mit Hilfe der verbleibenden Kriterien ermittelt.

Tabelle 5.1: Illustratives Beispiel für den Einfluss von konfliktären Zielsetzungen auf die Gewichtung (eigene Darstellung).

Kriterien	ET 1 (50%)		individu- eller Beitrag ET 1	ET 2 (50%)		individu- eller Beitrag ET 2	Gruppen- gewichtung	normierte Gruppen- gewichtung	
unterschiedliche Gewichtung									
K1	Max	0,65	0,325	Min	0,20	-0,100	0,225	Max	0,28
K2	Min	0,10	-0,050	Min	0,50	-0,250	-0,300	Min	0,38
K3	Max	0,25	0,125	Max	0,30	0,150	0,275	Max	0,34
Summe		1	0,40		1	-0,20	0,20		1
ähnliche Gewichtung									
K1	Max	0,65	0,325	Min	0,60	-0,300	0,025	Max	0,06
K2	Min	0,10	-0,050	Min	0,25	-0,125	-0,175	Min	0,44
K3	Max	0,25	0,125	Max	0,15	0,075	0,200	Max	0,50
Summe		1	0,40		1	-0,35	0,05		1
gleiche Gewichtung									
K1	Max	0,65	0,325	Min	0,65	-0,325	0,000	Max	0,00
K2	Min	0,10	-0,050	Min	0,22	-0,109	-0,159	Min	0,46
K3	Max	0,25	0,125	Max	0,13	0,066	0,191	Max	0,54
Summe		1	0,4		1	-0,369	0,031		1

In Abbildung 5.2 werden die Unterschiede bei der Strukturierung des hier vorgestellten modifizierten Ansatzes im Vergleich zu den bestehenden Gruppenbewertungsansätzen nach Macharis et al. (1998) dargestellt. Die Hauptunterschiede bestehen zum einen darin, dass die gemeinsam gewählten Kriterien von allen Entscheidungsträgern bei der Gewichtung berücksichtigt werden müssen, wobei Kriterien auch mit ‚0‘ gewichtet werden können. Zum anderen geht die Gewichtung pro Kriterium aggregiert in die Bewertung mit ein, so dass besser erkannt werden kann, wo Zielkonflikte auftreten und wie diese in die Bewertung mit eingehen, als bei der kumulierten Betrachtung der Entscheidungsträger oder auf Basis von bereits individuell durchgeführten Bewertungen. Dadurch können die Entscheidungsträger zum einen erkennen, in welchen Punkten Uneinigkeit herrscht und prüfen, ob in diesen Bereichen noch nachgebessert werden kann. Zum anderen wird deutlich, dass Kriterien mit konfliktären Zielsetzungen, wenn sie als ähnlich wichtig erachtet werden, für die erzielten Ergebnisse nur von geringer Bedeutung sind beziehungsweise bei unterschiedlicher Gewichtung der Beitrag des Kriteriums entsprechend reduziert wird. Dies könnte dazu beitragen, dass die für die Gruppe gefundene Kompromisslösung eher akzeptiert wird, als bei den bestehenden Ansätzen.

Auf Basis dieses Strukturierungs- und Gewichtungsprozesses kann nun die PROMETHEE-Methode angewendet werden. Der Algorithmus zu dieser Methode unter

Einbezug der aus dem Gewichtungsprozess notwendigen Modifikationen wird im nächsten Abschnitt erklärt.

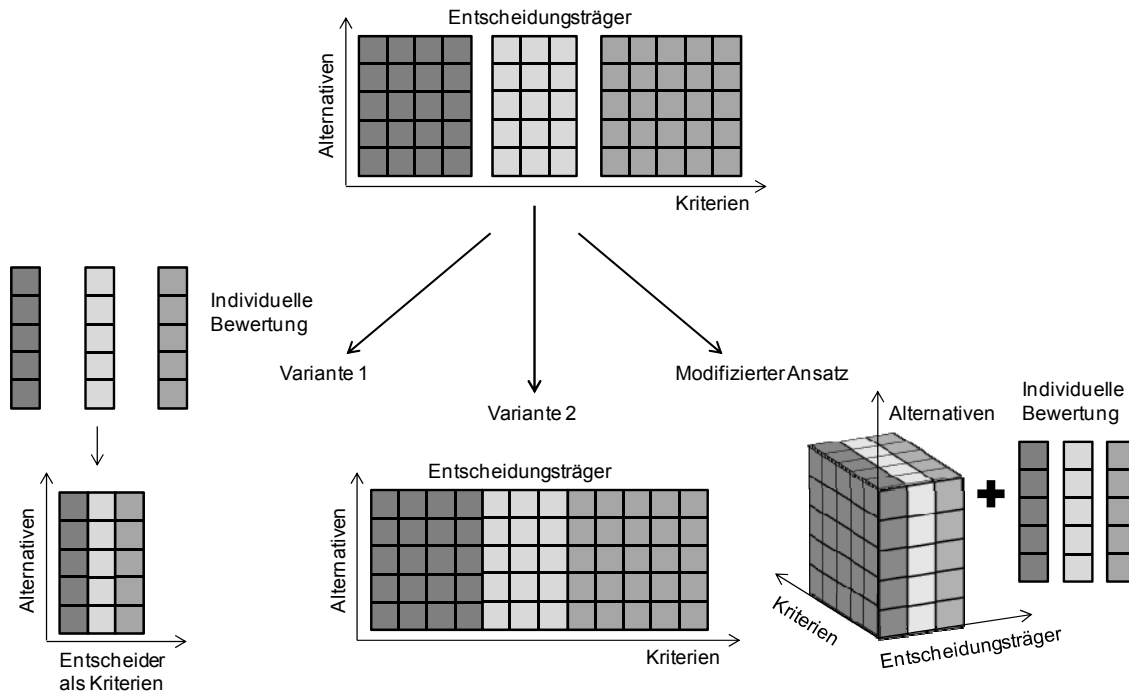


Abbildung 5.2: modifizierter Ansatz im Vergleich zu bestehenden Gruppenbewertungsverfahren mittels PROMETHEE (in Anlehnung an Geldermann 2005; Macharis et al. 1998 und eigene Darstellung).

5.1.3 Modifizierter PROMETHEE-Algorithmus

Aufbauend auf der Entscheidungsmatrix aus dem Problemstrukturierungsprozess sowie den Kriteriengewichtungen der Entscheidungsträger und den aggregierten Werten für die Gruppe folgen noch vier Schritte, bis das Ergebnis in Form eines Rankings vorliegt. Diese sind die Festlegung der Präferenzfunktion, die Berechnung der Outranking-Relation π , die Berechnung der Ausgangs- und Eingangsflüsse sowie die Ermittlung der Rangfolgen für die Gruppe und die Entscheidungsträger. Der modifizierte Ansatz gleicht weitgehend dem originären Algorithmus (Brans et al. 1984; Brans et al. 1986; Brans, Vincke 1985; Götze 2006), weist jedoch an einigen Stellen Besonderheiten auf.

Zuerst werden die Kriterien zu einer Präferenzfunktion verallgemeinert. Jedem Kriterium wird eine separate Präferenzfunktion P zugeordnet, deren Werte zwischen 0 und 1 liegen. Aufgrund dieser Verallgemeinerung ist es möglich, für die einzelnen Kriterien unterschiedliche Einheiten und Skalenniveaus zu berücksichtigen (Oberschmidt 2010). Durch einen paarweisen Vergleich der Alternativen bezüglich jedes Kriteriums werden

die entsprechenden Werte ermittelt. Bei $P(a,b)=0$ liegt Indifferenz zwischen den Alternativen a und b vor. Nimmt die Funktion kleine Werte an, wird a gegenüber b schwach präferiert. Die Präferenz wird umso stärker, je näher die Werte bei 1 liegen. Ist $P(a,b)=1$, wird von einer strikten Präferenz gesprochen (Brans et al. 1984). Diese Art der Präferenzabbildung ist realitätsnäher, als wenn schon bei einem kleinen Unterschied der Kriterienausprägungen von strikter Präferenz ausgegangen wird (Brans, Vincke 1985).

Generell kann jede Funktion mit Werten im Intervall $[0;1]$ gewählt werden, deren x -Werte auf der Differenz der Kriterienausprägungen zweier Alternativen basieren. Jedoch gibt es sechs vordefinierte Präferenzfunktionen, die normalerweise zur Darstellung der Präferenzen der Entscheidungsträger ausreichend sind. Beim modifizierten Gruppenentscheidungsansatz müssen sich alle Entscheidungsträger auf eine Präferenzfunktion einigen. Deshalb ist es gerade hier ratsam, sich auf diese sechs Präferenzfunktionen zu beschränken, um die Diskussion zur Auswahl etwas einzugrenzen. Abbildung 5.3 zeigt die verschiedenen Typen der Präferenzfunktionen. Die Abbildung lässt erkennen, dass außer für Typ 1 noch Schwellenwerte für Indifferenz (q) und/oder die strikte Präferenz (p) beziehungsweise der Wendepunkt (σ) zu definieren sind. Durch die Auswahl der Präferenzfunktion und die dazugehörigen Schwellenwerte ist es auch möglich, Unsicherheiten bezüglich der Kriterienausprägungen zu berücksichtigen (Oberschmidt 2010).

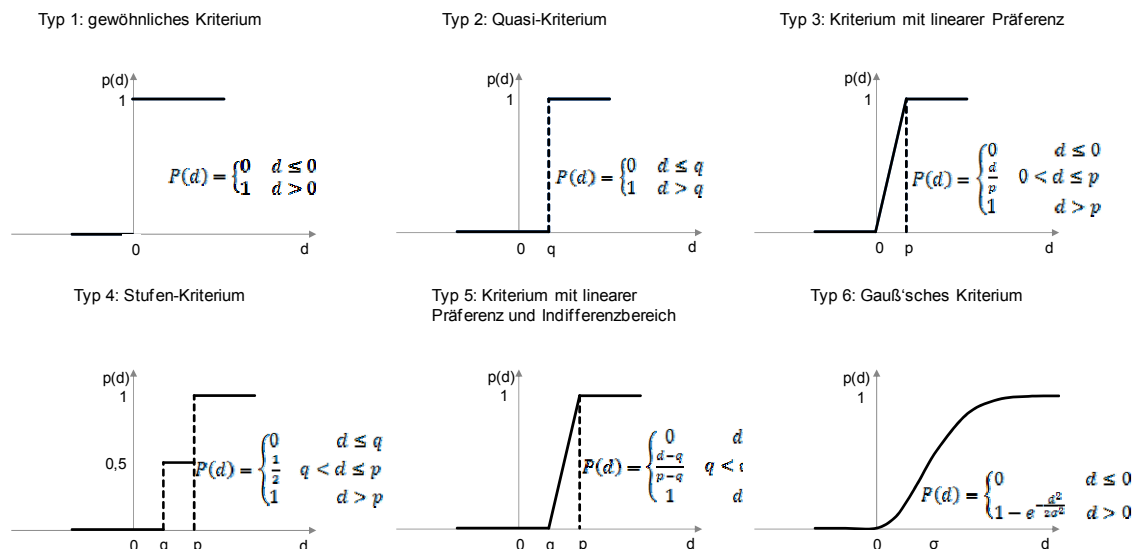


Abbildung 5.3: Vordefinierte verallgemeinerte Präferenzfunktionen (in Anlehnung an Brans, Mareschal 2005; Geldermann 2005).

- *Typ 1 (Gewöhnliches Kriterium)* unterscheidet lediglich zwischen Indifferenz und strikter Präferenz. Durch jede kleinste Differenz zwischen den Kriterienausprägungen

gen ergibt sich eine strikte Präferenz, folglich muss auch kein Schwellenwert festgelegt werden. Dieser Typ wird sehr selten verwendet (Anand, Kodali 2008; Routroy, Kodali 2007), bietet sich aber beispielsweise für Kriterien an, bei deren Ausprägung nur zwischen ‚ja‘ und ‚nein‘ unterschieden werden kann.

- Ähnlich zu diesem verallgemeinerten Kriterium ist *Typ 2 (Quasikriterium)*, jedoch wird hier zusätzlich ein Schwellenwert q für Indifferenz definiert. Das heißt, bei einer Differenz der beiden Alternativen bezüglich dieses Kriteriums unterhalb dieses Schwellenwerts werden sie als indifferent bewertet. Alle Differenzen darüber haben wiederum eine strikte Präferenz zur Folge.
- Bei *Typ 3 (Kriterium mit linearer Präferenz)* steigt die Präferenz mit steigender Differenz an. Es wird ein Schwellenwert p festgelegt, ab dem strikte Präferenz vorliegt.
- *Typ 4 (Stufenkriterium)* leitet sich aus Typ 2 ab. Zusätzlich gibt es hier auch einen Bereich der schwachen Präferenz, der jedoch im Gegensatz zu Typ 3 immer auf gleichem Niveau bleibt. Zu definieren sind der Indifferenzschwellenwert q sowie der Präferenzschwellenwert p . Im Bereich zwischen q und p wird die Alternative mit der besseren Ausprägung schwach präferiert.
- In *Typ 5 (Kriterium mit linearer Präferenz und Indifferenzbereich)* werden Typ 2 und 3 kombiniert. Für kleine Differenzen besteht ein Indifferenzbereich bis zum Schwellenwert q . Danach steigt die Präferenz linear an, bis ab der Differenz p eine absolute Präferenz besteht.
- *Typ 6 (Gauß'sches Kriterium)* weist eine monotone Steigung der Präferenz auf, die jedoch auch für große Differenzen nicht in eine strikte Präferenz übergeht. Der Wendepunkt σ ist vom Entscheidungsträger zu wählen. Dieser Typ wird – wie Typ 1 – selten verwendet (Anand, Kodali 2008; Routroy, Kodali 2007), auch wenn Bewertungen, die auf diesem Typ basieren, relativ robust gegenüber kleineren Änderungen der Eingabedaten sind (Brans et al. 1986; Oberschmidt 2010; Queiruga et al. 2008).

Da sich die Entscheidungsträger innerhalb der Gruppe auf eine Präferenzfunktion und entsprechende Schwellenwerte einigen müssen, ist es ratsam, eine Standardpräferenzfunktion für qualitative Kriterien und eine für quantitative festzulegen. Routroy Kodali (2007) beziehungsweise Anand, Kodali (2008) geben Hinweise darauf, dass Typ 1, 2 und 4 hauptsächlich für qualitative Kriterien Verwendung finden, während 3, 5 und 6 eher bei quantitativen Kriterien in Betracht kommen. Die Einigung kann beispielsweise über einen Mehrheitsbeschluss erfolgen oder ein unabhängiger Moderator, der den gesamten Entscheidungsprozess begleitet, legt die Präferenzfunktionen fest.

Um qualitative Kriterien anhand der Präferenzfunktionen bewerten zu können, müssen sie in kardinale Daten umgewandelt werden. Einen Ansatzpunkt für das Vorgehen liefern Zimmermann, Gutsche (1991) oder auch Routroy, Kodali (2007) und Anand, Ko-

dali (2008). Dabei wird vorgeschlagen, auf Basis einer 10-Punkte-Skala die Werte zuzuordnen. So bekommt die schlechteste Ausprägung „sehr niedrig“ beispielsweise den Wert 0 und die beste Ausprägung „sehr hoch“ den Wert 10. Dazwischen können weitere Werte verteilt werden, z. B. niedrig (3), durchschnittlich (5) und hoch (7). Für diese Zuordnungen ist jedoch zu beachten, dass menschliche Schätzungen auf kardinalen Niveau häufig verzerrt sind. Dabei liefern indirekte Messmethoden, die Relationen in mehreren Vergleichen auf ordinalem Niveau abfragen, aus denen letztendlich Zahlenwerte gebildet werden, bessere Ergebnisse als direkte Messmethoden, bei denen einem bestimmten Merkmal direkt ein numerischer Wert zugewiesen wird (Zimmermann, Gutsche 1991).

Als nächster Schritt wird die Outranking-Relation π berechnet. Sie gibt das Maß der Stärke einer Alternative a_i^* gegenüber a_i unter Berücksichtigung aller Kriterien als paarweisen Vergleich an. Dabei werden die ausgewählten Präferenzfunktionen der einzelnen Kriterien unter Beachtung der ermittelten Gruppengewichtung aufaddiert.

$$\pi^g(a_i^*, a_i) = \sum_{j=1}^n w_{n,j}^g \cdot p_j(a_i^*, a_i) \quad (5)$$

mit π^g : Outranking-Relation der Gruppe

Der gleiche Prozess wird für die einzelnen Entscheidungsträger durchgeführt:

$$\pi^r(a_i^*, a_i) = \sum_{j=1}^n w_i^r \cdot p_j(a_i^*, a_i) \quad (6)$$

mit π^r : Outranking-Relation des Entscheidungsträgers r für $r=1$ bis R , mit R =Anzahl der Entscheidungsträger

$$\pi: A \times A \rightarrow [0; 1] \quad (7)$$

Auch die Werte können wieder wie die Präferenzfunktionen definiert werden; kleine Werte stellen eine schwache Präferenz von a_i^* gegenüber a_i dar, bei großen Werten nahe 1 gilt strikte Präferenz (Brans, Mareschal 2005).

Um die Vergleichbarkeit auf alle Alternativen zu erweitern, werden der Ausgangs- und Eingangsfluss berechnet (Brans et al. 1984). Auch dies erfolgt wieder für die Gruppe und die einzelnen Entscheidungsträger.

- a) Der Ausgangsfluss ist das Maß der relativen Stärke einer Alternative gegenüber allen anderen Alternativen:

$$\Phi^{+,g}(a_{i^*}) = \sum_{i=1}^m \pi^g(a_{i^*}, a_i) \quad (8)$$

und

$$\Phi^{+,r}(a_{i^*}) = \sum_{i=1}^m \pi^r(a_{i^*}, a_i) \quad (9)$$

- b) Der Eingangsfluss ist das Maß der relativen Schwäche einer Alternative gegenüber allen anderen Alternativen:

$$\Phi^{-,g}(a_{i^*}) = \sum_{i=1}^m \pi^g(a_i, a_{i^*}) \quad (10)$$

und

$$\Phi^{-,r}(a_{i^*}) = \sum_{i=1}^m \pi^r(a_i, a_{i^*}) \quad (11)$$

Als letzter Schritt folgt die Auswertung. Dabei werden jeweils nur die Flüsse eines Entscheidungsträgers verglichen und dadurch die Alternativen in eine Rangfolge gebracht. Je höher der Ausgangsfluss beziehungsweise je niedriger der Eingangsfluss, desto mehr wird eine Alternative präferiert. Auf dieser Basis können folgende Präordnungen für die Ausgangsflüsse ermittelt werden (Brans et al. 1984):

$\Phi^+(a_{i^*}) > \Phi^+(a_i) \Rightarrow a_{i^*} P^+ a_i$; a_{i^*} wird gegenüber a_i präferiert,

$\Phi^+(a_{i^*}) = \Phi^+(a_i) \Rightarrow a_{i^*} I^+ a_i$; a_{i^*} und a_i sind indifferent.

Ebenso gelten die Präordnungen für die Eingangsflüsse:

$\Phi^-(a_{i^*}) < \Phi^-(a_i) \Rightarrow a_{i^*} P^- a_i$; a_{i^*} wird gegenüber a_i präferiert,

$\Phi^-(a_{i^*}) = \Phi^-(a_i) \Rightarrow a_{i^*} I^- a_i$; a_{i^*} und a_i sind indifferent.

1. Werden diese Präordnungen kombiniert, kann auf Grundlage von PROMETHEE I eine partielle Präordnung gebildet werden:

a) $a_{i^*} P a_i$ wenn

- i. $a_{i^*} P^+ a_i$ und $a_{i^*} P^- a_i$ oder
- ii. $a_{i^*} P^+ a_i$ und $a_{i^*} I^- a_i$ oder
- iii. $a_{i^*} I^+ a_i$ und $a_{i^*} P^- a_i$

b) $a_{i^*} I a_i$, wenn $a_{i^*} I^+ a_i$ und $a_{i^*} I^- a_i$

c) Für alle anderen Fälle gilt: $a_{i^*} R a_i$, a_{i^*} und a_i sind unvergleichbar.

2. Auf Basis von PROMETHEE II wird zuerst der Nettofluss berechnet:

$$\Phi^{net}(a_{i*}) = \Phi^+(a_{i*}) - \Phi^-(a_{i*}) \quad (12)$$

Auf dieser Grundlage kann eine vollständige Präordnung gebildet werden, Unvergleichbarkeiten sind damit nicht möglich. Somit gilt:

- a) $a_{i*} P a_i$, wenn $\Phi^{net}(a_{i*}) > \Phi^{net}(a_i)$
- b) $a_{i*} I a_i$, wenn $\Phi^{net}(a_{i*}) = \Phi^{net}(a_i)$.

Im Vergleich zu PROMETHEE I kann es bei PROMETHEE II zu Informationsverlusten kommen. Es treten Kompensationseffekte auf, die schlechte Ausprägungen eines Kriteriums durch gute Ausprägungen anderer Kriterien bei einer Alternative ausgleichen (Brans, Mareschal 2005). Somit geht ein wichtiger Vorteil der PROMETHEE-Methode verloren. Aus diesem Grund werden im Folgenden beide Varianten eingesetzt. Damit kann eine vollständige Rangfolge betrachtet werden, aber zusätzlich auch analysiert werden, bei welchen Rängen eine große Kompensation vorliegt.

5.2 Sensitivitätsanalysen

Mit diesem Algorithmus berechnete Ergebnisse beruhen sowohl auf faktischen als auch auf wertenden Daten, wobei letztere von großer Subjektivität geprägt sind. Deshalb wird auch vor einer zu großen „Zahlengläubigkeit“ (Geldermann et al. 2003, S. 127) gewarnt. Bei dem vorliegenden Entscheidungsproblem handelt es sich um eine ex-ante Bewertung von real noch nicht existierenden Alternativen. Dadurch erhöht sich die Unsicherheit der Kriterienausprägungen. Ebenso sind die Gewichtungsfaktoren subjektiv gewählt, jedoch sind sich Entscheidungsträger nicht über die Konsequenzen kleiner Änderungen im Klaren, die mitunter in einer anderen Rangfolge resultieren können (Geldermann et al. 2003; Mareschal 1988). Wie bereits in Abschnitt 5.1.3 erwähnt, können die Unsicherheiten der Kriterienausprägungen über die gewählte Präferenzfunktion und die entsprechenden Schwellenwerte abgemildert werden. Zusätzlich könnten noch Eintrittswahrscheinlichkeiten betrachtet werden, jedoch entsprächen auch die Wahrscheinlichkeitswerte nur subjektiven Werten, wenn keine entsprechenden Wahrscheinlichkeitsverteilungen vorliegen (Oberschmidt 2010). Es wäre auch möglich die gewählten Präferenzfunktionen zu variieren (Geldermann et al. 2003), allerdings sollte stets zwischen dem zusätzlichen Informationsgewinn und der Transparenz und Verständlichkeit sowie der zugrunde liegenden Komplexität abgewogen werden (Oberschmidt 2010).

Für den modifizierten Gruppenbewertungsansatz soll das Hauptaugenmerk der Sensitivitätsanalysen auf der Kriteriengewichtung liegen. Da die Gewichtungsfaktoren für das Gruppenergebnis aus den Gewichtungen aller Entscheidungsträger aggregiert wird, können Zugeständnisse in diesem Bereich durch einzelne Gruppenmitglieder zu besseren Kompromisslösungen führen. Die Sensitivitätsanalyse zeigt auf, bei welchen Kriterien die Änderung der Gewichtungsfaktoren zu solchen Annäherungen führt und wie hoch die Abweichung vom ursprünglichen Wert sein müsste. Hierfür gibt es beispielsweise den Ansatz der Berechnung von Stabilitätsintervallen, wenn die Gewichtung eines Kriteriums *ceteris paribus* variiert wird, ohne dass sich die Rangfolge ändert (Geldermann et al. 2003; Mareschal 1988). Je kleiner das Intervall, desto sensibler reagiert das Entscheidungssystem auf die Veränderung der Gewichtung des Kriteriums. Diese wird häufig auch grafisch dargestellt, wobei die Gewichtung des Kriteriums zwischen 0 und 100 % variiert. Es besteht ein linearer Zusammenhang zwischen der Kriteriengewichtung und dem Bewertungsergebnis Φ^{net} einer Alternative. So kann jede Alternative separat durch eine Gerade im Diagramm der Nettoflüsse gegenüber der Gewichtung dargestellt werden, wobei die Schnittpunkte der Geraden die Grenzen der Stabilitätsintervalle visualisieren (Oberschmidt 2010). Die Berechnung der Gewichtung an den Schnittpunkten w^S ergibt sich aus der Geradengleichung jeder Alternative (Geldermann 2005):

$$\Phi_w^{net}(a_{i^*}) = (\Phi_{100}^{net}(a_{i^*}) - \Phi_0^{net}(a_{i^*})) \cdot w + \Phi_0^{net}(a_{i^*}) \quad (13)$$

für:

$$\Phi_{w^S}^{net}(a_{i^*}) = \Phi_{w^S}^{net}(a_i) \quad (14)$$

$$\Rightarrow w^S = \frac{\Phi_0^{net}(a_{i^*}) - \Phi_0^{net}(a_i)}{(\Phi_{100}^{net}(a_i) - \Phi_0^{net}(a_i)) - (\Phi_{100}^{net}(a_{i^*}) - \Phi_0^{net}(a_{i^*}))} \quad (15)$$

mit

$$\Phi_0^{net}(a_{i^*}) = \frac{\Phi^+(a_{i^*}) - \sum_{i=1}^m w_k \cdot p_k(a_{i^*}; a_i) - (\Phi^-(a_{i^*}) - \sum_{i=1}^m w_k \cdot p_k(a_i; a_{i^*}))}{1 - w_k} \quad (16)$$

und

$$\Phi_{100}^{net}(a_{i^*}) = \sum_{i=1}^m p_k(a_{i^*}; a_i) - \sum_{i=1}^m p_k(a_i; a_{i^*}) \quad (17)$$

Um alle möglichen Schnittpunkte zu berechnen, müsste jede Alternative mit allen anderen verglichen werden. Soll nur das Stabilitätsintervall um die gewählte Gewichtung ermittelt werden, reicht es, jede Alternative nur mit den im Ranking angrenzenden Al-

alternativen zu vergleichen. Das Stabilitätsintervall ist das größte Intervall um die ursprüngliche Gewichtung, in dem keine Rank-Reversals vorkommen. Dafür muss für die untere Grenze des Stabilitätsintervalls das Maximum der Schnittpunkte unterhalb der gewählten Gewichtung berechnet werden. Die obere Grenze ergibt sich aus dem Minimum der zur Verfügung stehenden Schnittpunkte oberhalb der gewählten Gewichtung. Daraus kann der Abstand der aktuellen Gewichtung zu den Intervallgrenzen berechnet werden. Wird die Gewichtung (beispielsweise zum Auffinden einer besseren Kompromisslösung) so verändert, dass die Intervallgrenzen unter- bzw. überschritten werden, ändert sich folglich auch die Rangfolge.

$$w_{min} = \max\{w^S | w^S < w^*\} \quad (18)$$

$$w_{max} = \min\{w^S | w^S > w^*\} \quad (19)$$

Bei dieser Art der Sensitivitätsanalyse wird vorausgesetzt, dass die Optimierungsrichtung die gleiche bleibt. Der modifizierte Ansatz beeinflusst durch die Aggregation der Individualgewichte jedoch auch, ob ein Kriterium maximiert oder minimiert werden soll. Deshalb ist bei der vorgestellten Methodik die Optimierungsrichtung nur dann zwingend die gleiche, wenn sich alle Entscheidungsträger diesbezüglich einig sind. Bei Kriterien, bei denen ein Zielkonflikt der Entscheidungsträger vorliegt, sollte in der Sensitivitätsanalyse auch berücksichtigt werden, wie sich eine Veränderung der Optimierungsrichtung auf das Ergebnis auswirkt. Somit sollte bei solchen Kriterien auch eine Sensitivitätsanalyse bei veränderter Kriteriengewichtung in die entgegengesetzte Optimierungsrichtung durchgeführt werden.

Aus diesen Vorgaben lässt sich ableiten, dass Erweiterungen für die Sensitivitätsanalyse nötig sind, um die neuen Gegebenheiten des modifizierten Ansatzes einzubeziehen. Dabei lassen sich zwei Fälle unterscheiden, die bei den Entwicklungen zu berücksichtigen sind.

5.2.1 Einigkeit über Optimierungsrichtung

Herrscht unter den Entscheidungsträgern Einigkeit über die Optimierungsrichtung, kann die Gruppengewichtung wie oben beschrieben durchgeführt werden. Als Grundlage dient die Gruppengewichtung, die zwischen 0 und 100 % variiert wird.

Zusätzlich ist es sinnvoll anzugeben, in welchem Intervall ein Entscheidungsträger bei der Variation der Einzelgewichtung von 0 bis 100 % die Gruppengewichtung beeinflussen kann, wenn die anderen Entscheidungsträger bei der ursprünglichen Gewichtung bleiben. In solch einem Fall lässt sich nicht der ganze Bereich der Gruppengewichtung

zwischen 0 und 100 % durch einen Entscheidungsträger abdecken. Kann der einzelne Entscheidungsträger die Gruppengewichtung nur innerhalb des Stabilitätsintervalls variieren, ist es für diesen nicht möglich, durch eine Änderung der Präferenzen in Form der Gewichtung die Rangfolge der Gruppenentscheidung zu beeinflussen. Von Relevanz ist diese Angabe vor allem, wenn deutlich wird, dass mit einer geringen Gewichtsänderung der Gruppe beziehungsweise eines Einzelnen eine bessere Kompromisslösung gefunden werden könnte.

5.2.2 Konflikt bei Optimierungsrichtung

Sind sich die Entscheidungsträger nicht einig, in welche Richtung ein bestimmtes Kriterium optimiert werden soll, ist neben der Variation der Gruppengewichtung zwischen 0 und 100 % auch die Optimierungsrichtung für Minimierung und Maximierung des entsprechenden Kriteriums zu betrachten. Da die Gruppengewichtung für den Richtungswechsel der Optimierung 0 sein muss, können die beiden Auswertungen „Variation der Gruppengewichtung bei Minimierung des Kriteriums“ und „Variation der Gruppengewichtung bei Maximierung des Kriteriums“ grafisch aneinandergereiht werden. Jedoch geht die Linearität durch die Veränderung der Optimierungsrichtung verloren, so dass am Wendepunkt ein Knick entsteht, die Funktion ist somit nicht mehr durch eine einzige Gleichung darstellbar.

Auch hier ist es wichtig, das Intervall zu berechnen, das der einzelne Entscheidungsträger beeinflussen kann. Um ein Gesamtbild der Ergebnisse zu erreichen, sollte zusätzlich berechnet werden, bei welcher Gewichtung eines Individuums sich die Optimierungsrichtung umkehrt.

Der Wendepunkt ist dann gegeben, wenn die Gruppengewichtung gleich 0 ist, also der individuelle Beitrag des einen Entscheidungsträgers r^* gleich der Gegenzahl der Summe der individuellen Beiträge aller anderen Entscheidungsträger r ist.

$$w_{t,i}^{r^*} = -1 \cdot \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq r^*}}^l w_{t,i}^r \quad (20)$$

mit l : Anzahl der Entscheidungsträger

$w_{t,i}^{r^*}$: individueller Beitrag zur Gruppengewichtung des Entscheidungsträgers r^* für Kriterium i

Das Ergebnis dieser Gleichung gibt dem Entscheidungsträger r^* die Gewichtung für ein Kriterium i an, ab der die Optimierungsrichtung dieses Kriteriums für die Gruppenentscheidung geändert werden kann.

Die Schnittpunkte zur Bestimmung des Stabilitätsintervalls der Gruppenentscheidung müssen mittels zweier Gleichungen berechnet werden, wobei die entsprechende Geradengleichung für die Minimierung beziehungsweise Maximierung eingesetzt werden muss.

Ist die Rangfolge bis zur Gewichtung ,0' der aktuellen Optimierungsrichtung gleich, reicht das Stabilitätsintervall über den Wendepunkt hinaus. Das Stabilitätsintervall reicht dann bis in den Bereich der umgekehrten Optimierungsrichtung. Innerhalb des Stabilitätsintervalls ist die erhaltene Rangfolge demzufolge unabhängig davon, ob das entsprechende Kriterium minimiert oder maximiert wird.

5.3 Softwaretechnische Umsetzung

Eine softwaretechnische Implementierung eines multikriteriellen Entscheidungsunterstützungssystems bietet die Möglichkeit, wiederholt Berechnungen ohne den entsprechenden Aufwand durchzuführen. Zudem stellt eine systematische Abfrage aller relevanten Daten, die Ergebnis eines Problemstrukturierungsprozesses sein sollten, sicher, dass keine wichtigen Einflussgrößen vergessen werden. Zusätzlich findet durch die Verwendung eines Entscheidungsunterstützungssystems automatisch auch eine Dokumentation statt, die hilft, den Prozess transparent zu gestalten (Eisenführ, Weber 1999; Geldermann 1999). Da die Methodik im Rahmen dieser Arbeit erweitert wurde, ist es jedoch nicht möglich, eine kommerzielle Software, wie beispielsweise Decision Lab (Brans, Mareschal 2005) anzuwenden. Deshalb wird im Rahmen dieser Arbeit ein neues Entscheidungsunterstützungstool entwickelt, das auf einem bestehenden Excel-Tool für die Standardmethodik aufbaut.

Der Schwerpunkt dieser entwickelten Software liegt auf der rechentechnischen Unterstützung. Da eine Problemstrukturierung inhaltlich sehr abhängig von der jeweiligen Fragestellung ist, ist eine persönliche Unterstützung durch einen sogenannten „Facilitator“, der den Entscheidungsträgern hilft, eine passende Auswahl an Alternativen und Bewertungskriterien zu erarbeiten. Dabei dient er in diesem Prozess und bei weiteren Diskussionen als Moderator und unterstützt durch seine Methodenkenntnisse gute Kompromisslösungen in einem effizienten Prozess zu erzielen (Macharis et al. 1998). Welche Größen für den Problemstrukturierungs- und Gewichtungsprozess berücksichtigt werden müssen, wird durch die gezielte Abfrage aller benötigten Daten für eine multikriterielle Entscheidungsunterstützung mittels PROMETHEE deutlich (Abbildung 5.4).

The image displays three sequential input masks from a decision tool:

- Eingabe des Alternativennamens:** A dialog box with a title bar and a close button. It contains a text input field labeled "1. Alternative:". Below the field is a paragraph of instructions: "Bitte geben Sie einen Namen für die 1. Alternative ein und drücken sie danach entweder Return oder die 'Hinzufügen'-Taste, damit Ihre Eingabe übernommen wird. Zum Beenden der Eingabe klicken Sie auf 'Keine weiteren Alternativen'. Ihre letzte Eingabe können Sie mit der 'Zurück'-Taste rückgängig machen. Auf der Zielerreichungsmatrix im Hintergrund können Sie Ihre Eingabe verfolgen." At the bottom are three buttons: "Zurück", "Keine weitere Alternative", and "Hinzufügen".
- Ausprägung von a1 bezüglich k1:** A dialog box with a title bar and a close button. It contains a paragraph of instructions: "Bitte geben Sie die Ausprägung der Alternative a1 bezüglich des Kriteriums k1 ein. Mit der 'Zurück'-Taste können Sie die letzte Eingabe rückgängig machen. Auf der Zielerreichungsmatrix im Hintergrund können Sie Ihre Eingabe verfolgen." To the right of the text is a text input field. At the bottom are two buttons: "Zurück" and "Weiter".
- Gewichten der Kriterien:** A larger dialog box with a title bar and a close button. It has a subtitle "Entscheidungsträger et1" and a "Weiter" button in the top right corner. The main area contains two sections for criteria weighting. The first section, "Kriterium k1", includes a label "Gewichtung des Kriteriums", a text input field with the value "0", and two radio buttons labeled "Maximumkriterium" and "Minimumkriterium". The second section, "Kriterium k2", has the same layout with a text input field showing "0" and the same two radio buttons.

Abbildung 5.4: Ausgewählte Eingabemasken des Entscheidungstools.

Zu Beginn wird erst geklärt, welche Entscheidungsträger überhaupt an der Entscheidung teilnehmen dürfen und welchen Stimmanteil die entsprechenden Entscheidungsträger haben.

Im Anschluss wird die Entscheidungsmatrix erstellt. Dafür werden zuerst die zur Verfügung stehenden Alternativen genannt und im Anschluss die Kriterien, die für die Bewertung eine Rolle spielen. Für die Komplettierung der Entscheidungsmatrix muss nun noch eine Zuordnung der Kriterienausprägungen zu den entsprechenden Alternativen stattfinden.

Daraufhin erfolgt der Gewichtungsprozess. Jeder Entscheidungsträger ist separat aufgefordert, seine persönliche Gewichtung und die Optimierungsrichtung für alle Kriterien anzugeben. In der Software ist, wie bereits erwähnt, nur das Direct Rating – die direkte Angabe der Gewichtung – integriert, bei dem die angegebenen Gewichte im Anschluss zu der Summe 1 normiert werden. Sollen andere Gewichtungsverfahren angewendet werden, müssen diese vorab durchgeführt werden und die Ergebnisse in die Berechnungssoftware übertragen werden.

Sind diese Eingaben erfolgt, überprüft die Software, ob sich bei einzelnen Kriterien die Optimierungsrichtung der Entscheidungsträger unterscheidet. Ist dies der Fall, werden alle Entscheidungsträger nach akzeptablen Grenzwerten gefragt, wie bei der Beschreibung des Gewichtungsprozesses vorgestellt. Mit diesen Angaben kontrolliert die Software, ob eine Lösung theoretisch möglich ist oder ob die Obergrenze für einen Entscheidungsträger unterhalb der Untergrenze eines anderen Entscheidungsträgers liegt. Kann eine Lösung theoretisch gefunden werden, wird für alle Alternativen überprüft, ob die entsprechenden Kriterienausprägungen innerhalb des vorgegebenen Zielkorridors liegen. Wird diese Bedingung von einzelnen Alternativen nicht erfüllt, werden diese aus dem weiteren Lösungsfindungsprozess ausgeschlossen.

Auf dieser Basis wird die Lösung berechnet. Die Ergebnisse werden sowohl numerisch als auch grafisch dargestellt. Dabei werden nicht nur die Resultate der Gruppenentscheidung angegeben, sondern auch die Rangfolgen der einzelnen Entscheidungsträger, um einen Überblick zu bekommen, wie sehr sich die vorgeschlagene Kompromisslösung für die Gruppe von den Ergebnissen der Entscheidungsträger unterscheiden (Abbildung 5.5). Dieser Aspekt kann bereits als Bestandteil der Sensitivitätsanalyse gewertet werden.

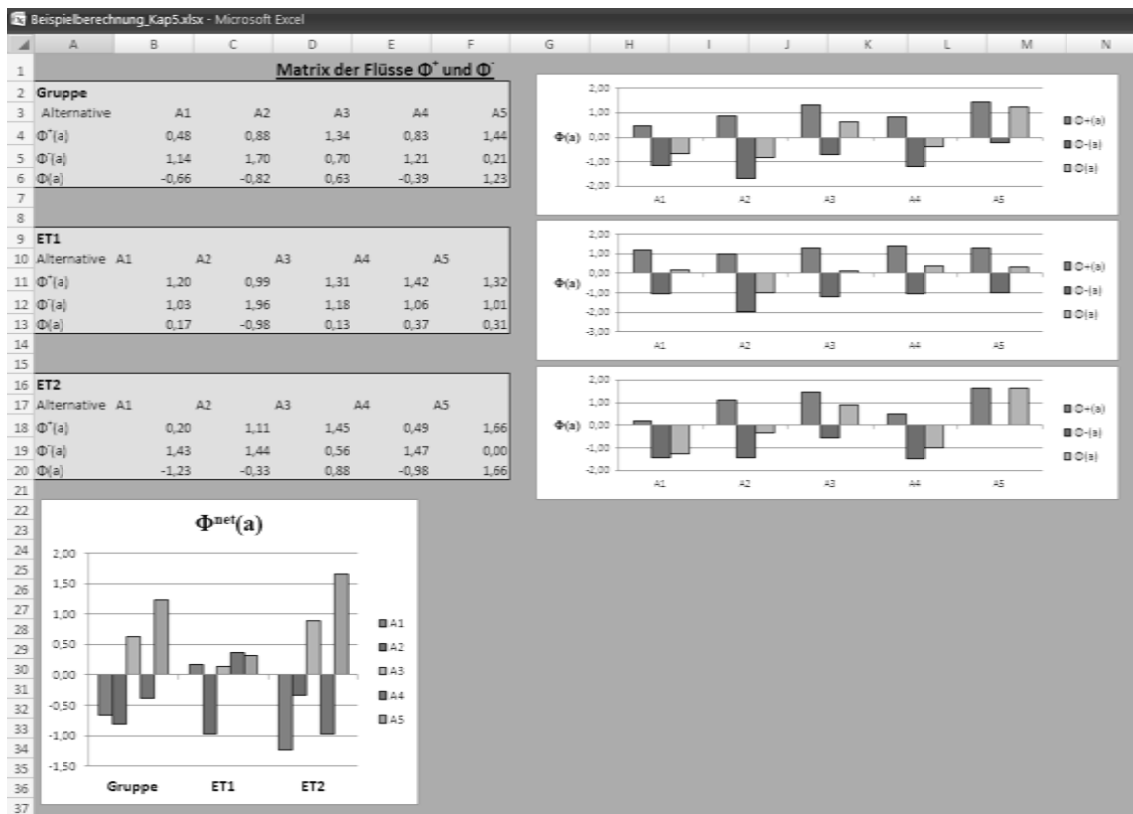


Abbildung 5.5: Darstellung der Ergebnisse der Eingangs- und Ausgangsflüsse der Gruppe und der Entscheidungsträger im Entscheidungstool (fiktives Beispiel).

Zusätzlich werden die Sensitivitäten, wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, getestet. Das heißt, für alle Kriterien werden Stabilitätsintervalle angegeben und eine grafische Darstellung der variablen Gruppengewichtung einzelner Kriterien ceteris paribus erzeugt. Daneben werden die Einflussmöglichkeiten der einzelnen Entscheidungsträger auf die Gruppengewichtung in Form von Intervallen angegeben. Für Kriterien mit konfliktären Zielsetzungen wird – wenn vorhanden – zusätzlich für jeden Entscheidungsträger der Wendepunkt der Optimierungsrichtung angegeben und die Sensitivitätsanalyse wie beschrieben auf die andere Optimierungsrichtung ausgeweitet.

Mithilfe dieser entwickelten Software soll im nachfolgenden Kapitel die Anwendbarkeit der methodischen Erweiterung für die Fragestellung der Auswahl von Geschäftsmodellen zur Steigerung der Energieeffizienz von Druckluftsystemen demonstriert werden.

6 Anwendung für das Leckagemanagement von Druckluftsystemen

In diesem Kapitel wird die Anwendbarkeit der im vorigen Kapitel dargestellten modifizierten Methodik zur Entscheidungsunterstützung für Gruppen im Rahmen einer Fallstudie zur Steigerung der Energieeffizienz von Druckluftsystemen mittels PSS geprüft. Dies geschieht anhand einer Fragestellung zur Auswahl einer PSS-Konfiguration für eine spezifische Kundensituation unter Berücksichtigung der Kunden- und Anbieterperspektive. Eine solche Gruppenentscheidungsunterstützung mit mehreren Zielsetzungen wurde auf solch eine Fragestellung gemäß der Literaturrecherchen (s. Abschnitt 3.5) bisher noch nicht durchgeführt. Für die Darstellung der Fallstudie wird zunächst das Fallstudienunternehmen kurz beschrieben und anschließend auf die konkrete Problemstellung im Fallstudienunternehmen eingegangen. Entlang des Vorgehens von PROMETHEE wird im Anschluss das Problem strukturiert, wobei als erstes eine Vorauswahl der Alternativen, die für die Bewertung zur Verfügung stehen, getroffen wird. Diese Auswahl erfolgt über den in Abschnitt 3.4.2 erarbeiteten Ansatz zur Entwicklung von PSS. An diesem Prozess ist nur das Anbieterunternehmen beteiligt. Anschließend werden die Entscheidungsträger identifiziert, die aus verschiedenen Abteilungen des Anbieterunternehmens und des Kundenunternehmens stammen können. Auch die Auswahl der Bewertungskriterien sowie die Festlegung der Ausprägungen für die zu bewertenden Alternativen gehören zum Problemstrukturierungsprozess. Nach der Festlegung der Präferenzfunktionen für die einzelnen Kriterien in der Gruppe sowie der Gewichtungsfaktoren der Kriterien untereinander durch die einzelnen Entscheidungsträger wird die Bewertung mit Hilfe des modifizierten PROMETHEE-Ansatzes durchgeführt. Die ermittelten Ergebnisse werden zusätzlich den vorgestellten Sensitivitätsanalysen unterzogen. Auf Basis dieser Ergebnisse werden allgemeine Handlungsempfehlungen für die Auswahl von PSS abgeleitet. Um die Anonymität des Fallstudienunternehmens zu wahren und keine Rückschlüsse auf dessen Unternehmensinterna zu ermöglichen, wurden gewisse Daten in geringem Maße, so dass sie noch im branchenüblichen Spektrum liegen, abgewandelt.

6.1 Ausgangssituation des Fallstudienunternehmens

Das Fallstudienunternehmen ist ein weltweit aufgestelltes Unternehmen im Bereich der Automatisierungstechnik mit über 10.000 Beschäftigten. Neben pneumatischen Antrieben hat das Unternehmen auch elektrische Antriebstechnologien im Angebot. Das Produktspektrum reicht von einzelnen Komponenten bis hin zu einbaufertigen Lösungen für die Prozessautomatisierung.

Dem Unternehmen ist es wichtig, die Kunden mit zu den Produkten passenden Dienstleistungen zu unterstützen und bietet deshalb entlang der gesamten Wertschöpfung von Pre-Sales-Services wie z. B. der Auslegung und Dimensionierung der Produkte bis hin zu After-Sales-Services bereits eine Vielzahl an Dienstleistungen an. Auch das Thema der Energieeffizienz wird im Dienstleistungsangebot aufgegriffen und das Bewusstsein für Lebenszykluskosten soll bei den Kunden gestärkt werden. Dadurch können sie die Einsparmöglichkeiten erkennen, die durch höhere Investitionen in eine Energieeffizienztechnologie erzielt werden, wodurch das Unternehmen zusätzliche Umsätze durch energieeffiziente Produkte und effizienzsteigernde Dienstleistungen erwirtschaften kann.

Die Anstrengungen im Bereich der energieeffizienten Dienstleistungen sollen in Zukunft verstärkt werden. Das Angebot von PSS mit Fokus auf die Energieeffizienz dient dazu, den Verbrauch des energieintensiven Mediums Druckluft zu reduzieren und somit die Wettbewerbsfähigkeit der angebotenen Technologie auch in Zeiten von steigenden Energiekosten zu erhalten.

Im Folgenden werden zunächst mögliche PSS-Konfigurationen nach dem Entwicklungsansatz aus Abschnitt 3.4.2 erarbeitet, die im Anschluss mit dem modifizierten PROMETHEE-Ansatz für Gruppenentscheidungen (Kapitel 5) für ein ausgewähltes Kundenunternehmen bewertet werden. Der gesamte dargestellte Prozess wurde durch mehrere Workshops und Interviews mit Teilnehmern aus verschiedenen Bereichen des Fallstudienunternehmens begleitet, um Ideen für Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs, die als PSS angeboten werden könnten sowie für die konkrete Ausgestaltung solcher PSS zu generieren, Daten zu sammeln und beides zu verifizieren.

6.2 Vorauswahl der Alternativen

Um zielgruppenadäquate PSS zu konfigurieren, ist wie in Abbildung 3.8 (Abschnitt 3.4.2) dargestellt, ein mehrstufiger Prozess des Anbieterunternehmens nötig. Dabei wird zunächst eine Analyse der Kundensituation durchgeführt. Damit kann der Markt in verschiedene Kundengruppen mit ähnlichen Problemen segmentiert werden. Auf diesen Erkenntnissen aufbauend erfolgt die Generierung des Nutzenversprechens. Mit welchen technischen und nichttechnischen Maßnahmen dieses erreicht werden kann, wie genau die Zuständigkeiten geregelt sein können und welche Arten der Abrechnung möglich sind, wird in den weiteren Schritten erarbeitet. Abschließend wird selektiert, welche dieser Möglichkeiten für ein konkretes Angebot überhaupt in Betracht gezogen werden. Das Ergebnis ist eine Vorauswahl an PSS-Konfigurationen.

6.2.1 Entwicklungsprozess

Für die Strukturierung der möglichen Kundenunternehmen wurden in einem Workshop die spezifischen Probleme einzelner Unternehmen bezüglich ihres Energieverbrauchs analysiert. Dafür wurden zunächst Kundenunternehmen mit einem hohen Energieverbrauch sowie Rahmenbedingungen und Ursachen auf Basis einer Kartenabfrage identifiziert. Durch einen anschließenden Konsolidierungsprozess mit der gesamten Teilnehmergruppe wurde untersucht, ob in den angeführten Unternehmen auch Rahmenbedingungen vorherrschen, die bei der Abfrage nur für andere Kunden genannt wurden. Diese Daten wurden in einer Matrix aufgespannt und auf dieser Grundlage wurde nach Gemeinsamkeiten der einzelnen Unternehmen in ihren Rahmenbedingungen und Problemen gesucht, wodurch verschiedene Kundengruppen identifiziert werden konnten.

Die aufgrund des möglichen Energieeinsparpotenzials und der Anzahl der zugehörigen Unternehmen vielversprechendste Kundengruppe soll im weiteren Verlauf betrachtet werden. Sie zeichnet sich dadurch aus, dass die zugehörigen Unternehmen für Fragestellungen der Energieeffizienz nicht oder nur unzureichend sensibilisiert sind. Gründe hierfür liegen in der fehlenden Transparenz bezüglich der Kosten und der zu gering ausgeprägten Kompetenz der Verantwortlichen bei der Auslegung und dem Betrieb der Anlagen. Ursachen für solche Situationen wurden bereits in Abschnitt 2.6 diskutiert. Da für die Druckluftversorgung in vielen Fällen keine direkten Verantwortlichkeiten definiert sind und der Druckluftverbrauch zudem häufig nicht als gesonderte Position in der Kostenrechnung ausgewiesen wird, sondern als Gemeinkosten gebucht wird, unterbleibt meist die Realisierung wirtschaftlicher Energieeinsparmaßnahmen (Radgen 2003).

Dabei ist die Kundengruppe nicht auf spezielle Branchen beschränkt. Entscheidend für die Auswahl der Unternehmen ist vor allem, dass sie das Potenzial und die Notwendigkeit zur Optimierung von Druckluftsystemen nicht erkannt haben. Demzufolge findet auch nur eine eingeschränkte oder gar keine Suche nach Einsparmöglichkeiten und einer sich anschließenden Realisierung dieser Potenziale statt. Dies spiegelt das zweite Merkmal dieser Kundengruppe, den geringen Schulungsgrad der Mitarbeiter hinsichtlich einer energieeffizienten Produktion, wider.

Wie bereits in Abschnitt 2.5 erwähnt, könnte allein durch die Reduzierung von Leckagen in 80 % der deutschen Unternehmen – laut Literaturangaben – durchschnittlich 20 % des Stroms für die Druckluftherzeugung und -aufbereitung eingespart werden (Radgen, Blaustein 2001). Viele dieser Unternehmen sind vermutlich der betrachteten Kundengruppe zuzuordnen. Durch die Umsetzung zusätzlicher Maßnahmen wie einer fachgerechten Gesamtanlagenauslegung, dem Einsatz von Wärmerückgewinnung und

drehzahlgeregelten Antrieben könnten weitere Einsparpotenziale erschlossen werden (Radgen, Blaustein 2001).

In dieser Fallstudie soll das Angebot jedoch auf ein Leckagemanagement zur Reduzierung der Druckluftverluste beschränkt werden. Zum einen besteht dabei ein großes Einsparpotenzial. Zum anderen kann dies – längerfristig betrachtet – zu einer Zusammenarbeit mit Anbietern von Einsparcontracting führen, da durch eine regelmäßige Kontrolle und gezielte Verminderung der Leckagen der dadurch bedingte Druckluftverbrauch auf einem konstant niedrigen Niveau gehalten wird und somit die durch das Contracting erzielten Einsparungen besser nachgewiesen werden können. Somit ergibt sich als Nutzenversprechen die Verringerung von Leckagen.

Doch selbst für dieses eine Nutzenversprechen zur Energieeinsparung können den Kunden verschiedene Möglichkeiten der Leistungserbringung angeboten werden. Beispielsweise können die verschiedenen Bereiche des Druckluftsystems unterschieden werden. So kann ein Leckagemanagement nur für die Netzebene, ausschließlich auf Maschinenebene oder für beide Bereiche angeboten werden. Gerade bei der Bearbeitung beider Bereiche bietet sich die Möglichkeit, Kooperationen einzugehen, damit jeder Bereich optimal abgedeckt wird.

Neben dem Bereich kann auch noch die Methode der Leckageortung variiert werden. So können die Leckagen bei einem regelmäßigen Durchgang durch die Produktion mit Hilfe eines Ultraschallgeräts und eines speziellen Prüfgeräts erkannt und geortet werden. Dies wird im Folgenden als Offline-Variante bezeichnet. Eine weitere Möglichkeit zur Detektion besteht über ein Condition-Monitoring-System. Dabei werden an jeder Maschine und an jedem Leitungsstrang (je nach gewünschtem Bereich) Sensoren angebracht, deren ermittelte Werte durch ein übergeordnetes Managementsystem gesammelt werden. Durch die Kontrolle dieser Werte kann erkannt werden, an welchen Maschinen beziehungsweise in welchen Netzabschnitten Leckagen vorhanden sind, die dann mit Hilfe eines Ultraschallgeräts gezielt geortet werden können. Diese Variante wird zukünftig als Online-Variante bezeichnet.

Abbildung 6.1 zeigt die verschiedenen Möglichkeiten, die sich aus der Kombination dieser beiden Variablen ergeben.

Bereich Methode	Netzebene	Maschinenebene
Offline	Variante 5	
	Variante 1 Variante 7	Variante 2 Variante 8
Online	Variante 3	Variante 4
	Variante 6	

Abbildung 6.1: Varianten des Leckagemanagements (eigene Darstellung).

Neben diesen technischen Varianten gibt es auch aus organisatorischer Sicht unterschiedliche Möglichkeiten, wie die Wertschöpfungsarchitektur ausgestaltet sein kann. So kann die Finanzierung der Leckagesuchgeräte und in der Onlinevariante auch der Sensoren und des Managementsystems vom Anbieter, vom Kunden oder einem weiteren Dienstleister getätigt werden, womit auch das Eigentum an den entsprechenden Akteur übergeht. Auch die Zuständigkeiten für die notwendigen Tätigkeiten können zwischen den genannten Akteuren variieren. Dies sind:

- Implementierung der Sensoren und des Managementsystems
- Datenüberwachung der Sensoren
- Wartung und Kalibrierung der Leckagesuchgeräte
- Durchführung der Leckagesuche
- Durchführung der Leckagebehebung

Verschiedene Ertragsmodelle wurden bereits in Abschnitt 3.1.2 vorgestellt. Für das Leckagemanagement kommt neben der Bezahlung für den Aufwand/das Equipment und einer festen Rate vor allem die leistungsorientierte Bezahlung entsprechend der erreichten Energieeinsparung in Frage.

In Abhängigkeit der gewählten Wertschöpfungsarchitektur und des Ertragsmodells ist auch die Vertragslaufzeit zu betrachten. Übernimmt der Anbieter vorab hohe Finanzierungsbeträge, sollten diese auf den Kunden umgelegt werden. Abhängig von dem erzielten Mehrwert und der ausgehandelten Aufteilung desselben, ergibt sich die Empfehlung für eine angemessene Vertragslaufzeit. Besteht die Möglichkeit, die finanzierten Geräte/Sensoren weiterhin zu verwenden, erfolgt die Refinanzierung anteilig entsprechend der möglichen Nutzungsdauer, so dass die Gestaltung der Vertragslaufzeit etwas flexibler gehandhabt werden kann. Ist dies nicht der Fall, muss die komplette Refinanzierung in der Vertragslaufzeit stattfinden.

Aus diesen Möglichkeiten trifft das Fallstudienunternehmen im Folgenden eine Auswahl, welche Konfigurationen aus seiner Sicht generell angeboten werden könnten.

6.2.2 Ausgewählte Konfigurationen

Das Fallstudienunternehmen sieht seine Kernkompetenzen in der Maschinenebene. Deshalb soll sich während dieser Analyse auf diesen Bereich beschränkt werden. Nach Schätzungen der Experten ist dies auch der Bereich, bei dem die überwiegende Anzahl an Leckagen auftritt (vgl. auch Feldmann 2003b; Radgen 2004). Eine Kooperation mit einem weiteren Dienstleister, um das gesamte System abzudecken, lehnt das Fallstudienunternehmen vorerst ab, da die Einführung neuer Geschäftsmodelle zunächst Herausforderung genug ist. Der zusätzliche Abstimmungsaufwand und das Risiko von auftretenden Konflikten mit einem möglichen Kooperationspartner werden in diesem Stadium vom Fallstudienunternehmen nicht gewünscht.

Die Leckageortung ist in der vorliegenden Zielsetzung zentraler Bestandteil der neu entwickelten PSS. Unter Ausschluss von möglichen Kooperationspartnern sollte diese also immer vom Anbieter selbst durchgeführt werden. Doch auch mit diesen Einschränkungen gibt es noch unterschiedliche Ausgestaltungsmöglichkeiten, die für das Angebot bei einem Kunden berücksichtigt werden sollen. Diese Alternativen sowie das traditionelle Geschäftsmodell als Referenzfall werden im Folgenden kurz vorgestellt:

Traditionelles Geschäftsmodell (A0)

Im traditionellen Geschäftsmodell wird von einem durchschnittlichen Druckluftsystem ausgegangen, bei dem keine gezielte Leckagebehebung stattfindet. Der Eigentümer des Systems wartet die Anlage selbst oder gibt die Wartung in Auftrag. Ein Condition-Monitoring-System kommt in diesem Geschäftsmodell nicht zum Einsatz.

Konfiguration 1 (A1)

Bei dieser Geschäftsmodellkonfiguration findet eine Leckagesuche durch das Fallstudienunternehmen statt. Dadurch wird dem Kunden die entsprechende Transparenz in Bezug auf einen unnötigen Druckluftverbrauch geboten. Der Anbieter ist im Eigentum der Leckagesuchgeräte, die auch noch für weitere Kunden genutzt werden können, und kümmert sich auch um die Wartung und Kalibrierung derselben. Ein Mitarbeiter geht zum Kundenunternehmen und übernimmt die Leckagesuche mittels Prüfgerät und Ultraschallgerät. Aufgrund der geringeren Stundensätze der Kundenmitarbeiter wird die Leckagebehebung vom Kunden selbst durchgeführt. Dadurch wird eine weniger professionelle Beseitigung der Leckagen in Kauf genommen, da in dieser Kundengruppe die Kompetenz bezüglich des Druckluftsystems eher gering ausgeprägt ist. Für diese

Konfiguration kommen Ertragsmodelle nach Aufwand beziehungsweise ein einmaliger Festbetrag in Frage. In der folgenden Bewertung wird nur die Bezahlung nach Aufwand berücksichtigt, wodurch die Risiken für diese Konfiguration sehr gering gehalten werden. In diesem Fall handelt es sich um ein produktorientiertes Geschäftsmodell. Eine Abrechnung nach der erreichten Energieeinsparung ist für diese Konfiguration ungünstig, da der Anbieter nicht für die Umsetzung der Zielerreichung verantwortlich ist. Diese Konfiguration beruht auf einer einmaligen Aktion.

Konfiguration 2 (A2)

Diese PSS-Konfiguration ist sehr ähnlich zu Konfiguration 1. Auch hier findet eine Leckagesuche durch den Anbieter statt, der auch Eigentümer der Leckagesuchgeräte ist und sich somit für die Wartung und Kalibrierung verantwortlich zeichnet. Zusätzlich kümmert sich der Anbieter auch um die Leckagebeseitigung, was durch fehlendes Know-how beziehungsweise mangelnde Ressourcen des Kunden begründet werden kann. Bei dieser Konfiguration liegt folglich die gesamte Verantwortung beim Anbieter. Deshalb könnten generell alle drei diskutierten Ertragsmodelle verwendet werden. Für die Bewertung wird die Bezahlung in jährlichen Raten angenommen. Die Rate berechnet sich letztendlich aus dem kalkulierten Aufwand des Anbieters und den geschätzten Einsparungen des Kunden. Bei einer Vertragslaufzeit von 3 Jahren, findet die Leckagesuche und -behebung auf jährlicher Basis statt. Um die festgelegte Höhe der Rate zu rechtfertigen, sollte der Anbieter dem Kunden eine Mindesteinsparung garantieren.

Konfiguration 3 (A3)

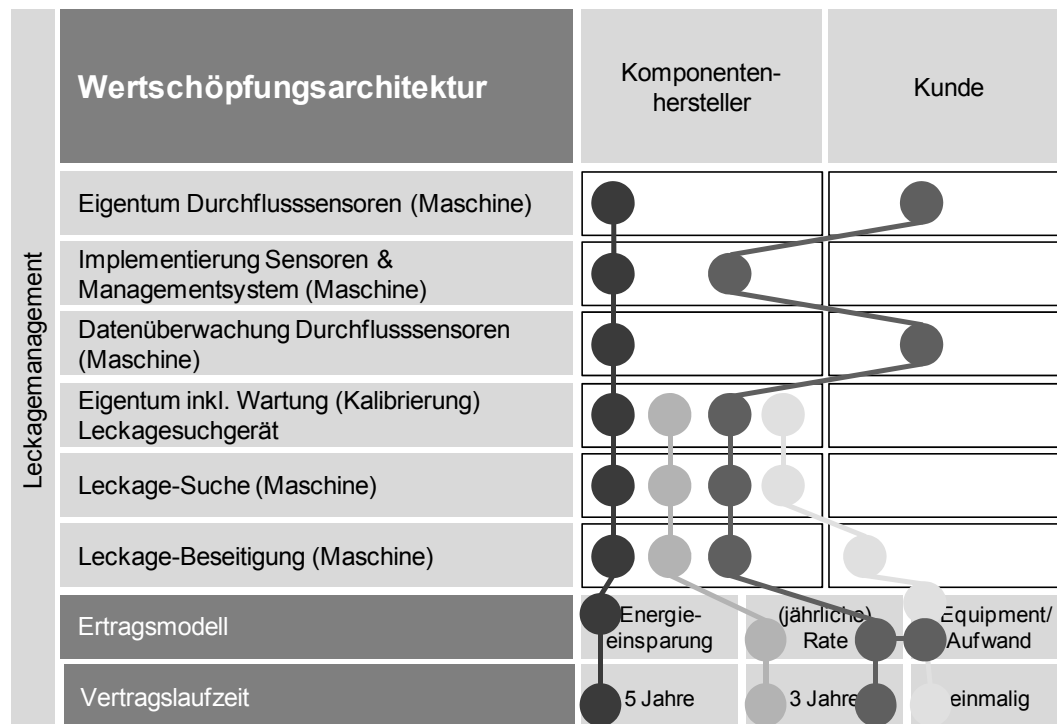
Diese Geschäftsmodellkonfiguration beinhaltet ein Condition-Monitoring-System. Die dafür notwendige Investition in Sensoren und die übergeordnete Software übernimmt in diesem Fall der Kunde, der somit auch das Eigentum daran erwirbt. Da der Zusammenschluss der Sensoren in das Managementsystem komplex ist, übernimmt diese Aufgabe der Anbieter, der in diesem Bereich einen Wissensvorsprung hat. Die Überwachung der Sensoren erfolgt bei dieser Konfiguration durch den Kunden, der bei einem unerwarteten Mehrverbrauch den Anbieter informiert, der dann an der betroffenen Maschine nach Leckagen sucht. Wie bei der vorangehenden Konfiguration erfolgt auch hier die Leckagebehebung durch den Anbieter. Da der Kunde das Eigentum an den Sensoren erwirbt, werden diese zu ihrem Marktpreis verkauft, also erfolgt deren Bezahlung nach dem benötigten Equipment. Die restlichen Aufwendungen des Anbieters werden über eine feste Rate beglichen. Auch hier wird der Kunde eine garantierte Mindesteinsparung fordern, die oberhalb der zu leistenden Rate (sowie dem jährlichen Wertverlust der Sensoren) liegen sollte. Nachdem der Kunde die Datenüberwachung übernimmt, ist der Anbieter bei einer garantierten Mindesteinsparung darauf angewie-

sen, dass der Kunde auftretende Leckagen baldmöglichst meldet. Bei einem Ertragsmodell nach den tatsächlich erzielten Einsparungen würde diese Abhängigkeit zusätzlich vergrößert. Wie bei Konfiguration 2 wird für diese Alternative von einer Vertragslaufzeit von drei Jahren ausgegangen.

Konfiguration 4 (A4)

Auch der vierten Geschäftsmodellkonfiguration liegt ein Condition-Monitoring-System zugrunde. Jedoch bleibt dies im Eigentum des Anbieters. Auch die Überwachung der Verbrauchswerte obliegt dem Anbieter. Bei Auffälligkeiten sucht er die entsprechenden Maschinen nach Leckagen ab und behebt diese. Bei diesem „alles aus einer Hand“-Angebot ist es gut möglich, ein Ertragsmodell nach erzielter Energieeinsparung anzubieten. Diese Abrechnung erfolgt jeweils am Ende einer Abrechnungsperiode, da die Einsparungen, die als Berechnungsgrundlage dienen, über den Zeitraum erst gemessen werden müssen. Da der Anbieter das Eigentum am Condition-Monitoring-System beibehält, ist eine Abrechnung für das Equipment und den zeitlichen Aufwand für diese Konfiguration schlecht möglich. Vertraglich zu klären bleibt, was mit den Sensoren bei Vertragsende geschieht. Diese können in das Eigentum des Kunden übergehen, zu einem gewissen Restbuchwert vom Kunden abgekauft werden oder vom Anbieter wieder aus dem System entfernt und einer zweiten Verwendung zugeführt werden, wenn es zu keiner Verlängerung des Vertrags kommt. Für diese Konfiguration wird eine Vertragslaufzeit von fünf Jahren festgelegt, da dem Anbieter durch das Eigentum an den Sensoren ein hohes finanzielles Risiko entsteht, das durch eine längere Laufzeit etwas abgemildert werden soll.

Die Darstellung dieser Konfigurationen im morphologischen Kasten ist im Vergleich zu den Investitionsgütern (Abschnitt 3.1.2) noch anzupassen (Abbildung 6.2). Da das traditionelle Geschäftsmodell kein Leckagemanagement beinhaltet, kann es bei den sich unterscheidenden Merkmalen auch nicht mit abgebildet werden.



A0: Referenz: kein Leckagemanagement

● A 1: Offline-Leckagemanagement mit Kunde

● A 2: Offline-Leckagemanagement ohne Kunde

● A 3: Online-Leckagemanagement mit Kunde

● A 4: Online-Leckagemanagement ohne Kunde

Abbildung 6.2: Ausgestaltungsmöglichkeiten des Leckagemanagements (eigene Darstellung).

Im Unterschied zu den ersten beiden Konfigurationen sind bei den letzten beiden größere Investitionen zu tätigen, jedoch wird der Suchaufwand dadurch reduziert, dass die Sensoren angeben, bei welcher Maschine die Leckage(n) auftritt(treten) und somit nicht alle Maschinen manuell mit Leckagesuchgeräten geprüft werden müssen. Nach Einschätzung der Experten in den Interviews zur Ermittlung der wirtschaftlichen und technischen Daten dauert es mit Condition-Monitoring durchschnittlich die doppelte Zeit (2 Jahre), bis alle Maschinen einmal mit dem Ultraschallgerät auf Leckagen überprüft werden müssen. Somit reduziert sich der personelle Aufwand um die Hälfte. Zusätzlich werden neu auftretende Leckagen schneller erkannt als ohne Condition-Monitoring, da die Sensoren die Werte kontinuierlich überwachen und nicht wie bei den „offline“-Lösungen die Maschinen nur einmal im Jahr überprüft werden.

Aus der Beschreibung wird ersichtlich, dass die verschiedenen Konfigurationen unterschiedliche Vertragslaufzeiten haben. Für die Bewertung sollen deshalb zwei Szenarien berücksichtigt werden:

- Zum einen wird die Annahme getroffen, dass die entsprechenden Verträge über den gesamten Betrachtungszeitraum von fünf Jahren immer wieder verlängert werden, um die Vorteilhaftigkeit der unterschiedlichen Maßnahmen bei regelmäßiger Durchführung bewerten zu können (Szenario 1).
- In einem weiteren Szenario (Szenario 2) werden die Auswirkungen auf die Vorteilhaftigkeit der Maßnahmen betrachtet, wenn nach der jeweiligen Vertragslaufzeit keine Verlängerung stattfindet. Da der Betrachtungszeitraum aufgrund der Vergleichbarkeit für alle Alternativen gleich sein muss, wird vereinfachend angenommen, dass das System nach Ablauf des Vertrags unmittelbar wieder die Leckagerate des Referenzfalls erreicht. Auch hier wird ein Zeitraum von fünf Jahren betrachtet.

Diese Szenarien beeinflussen die Ergebnisse der techno-ökonomischen Bewertung der betrachteten Alternativen, da der Energieverbrauch und die daraus resultierenden Energiekosten sowie die Vergütung für das PSS von den unterschiedlichen Annahmen betroffen sind und diese Werte auch über den gesamten Betrachtungszeitraum ermittelt werden.

6.3 Vorstellung eines beispielhaften Kundenunternehmens

Aus den möglichen Konfigurationen ergibt sich die Frage, welche Variante für Unternehmen der vorgestellten Kundengruppe für beide Vertragsparteien die beste Lösung ist. Da trotz der Gemeinsamkeiten innerhalb der Kundengruppe auch Unterschiede bezüglich Unternehmensgröße oder beispielsweise Art und Menge der Druckluftnutzung vorliegen, muss aus dem zur Verfügung stehenden Angebot ausgewählt werden, welche Alternative im Einzelfall einem bestimmten Kunden angeboten werden soll. Gerade für strategisch wichtige Kunden sollte vorab bereits selektiert werden, mit welchem Angebot dieser Kunde am besten zufriedenzustellen ist. Doch auch für weniger wichtige Kunden ist eine Auswahl wichtig, da dort vielleicht nicht alle Alternativen angeboten werden sollen, da einzelne eventuell bezogen auf den Kunden zu risikobehaftet sind.

Um die entwickelte Bewertungsmethode auf einen solchen Einzelfall anwenden zu können, wird ein exemplarisches Kundenunternehmen aus dem Maschinenbau vorgestellt, wobei das Hauptaugenmerk auf der Beschreibung des Druckluftsystems liegt. Die Verwendung eines konkreten Anwendungsfalls umfasst zwei wichtige Aspekte:

- Zum einen wurde die Auslegung des Druckluftsystems inklusive der konkreten technischen Ausgestaltung der entsprechenden Komponenten festgelegt. Dabei wurden unterschiedliche Druckluftverbraucher integriert, um ein möglichst breites

Anwendungsspektrum der Druckluftverbraucher zu berücksichtigen. Die Verbraucher unterscheiden sich bezüglich Aspekten wie manueller versus automatisierter Betriebsart, Größe der Komponenten oder Betriebsdauer.

- Zum anderen wurden die zugehörigen Zahlungsströme für alle Systemkomponenten auf Basis der Lebenszykluskosten ermittelt, die Aspekte wie Anschaffung, Energieverbrauch, Wartung und Lebensdauer beinhalten.

Das betrachtete Unternehmen betreibt mehrere Kompressoren in einem Leistungsreich zwischen 20 und 110 kW, was gemäß Literatur Druckluftsysteme in deutschen Betrieben gut widerspiegelt (Lay et al. 2007; Radgen, Blaustein 2001). Werden die US-amerikanischen Durchschnittswerte für die installierte Leistung auf die deutsche Industrie übertragen, handelt es sich bei dem vorhandenen System jedoch bereits um ein überdurchschnittlich großes (U.S.Department of Energy 2001). Dennoch wurde dieses Kundenunternehmen gewählt, da hier die Möglichkeit einer konkreten Untersuchung des Systems bestand. Die Abbildung des Druckluftsystems erfolgte mit Hilfe einer Software zur techno-ökonomischen Bewertung von Druckluftsystemen (Hirzel et al. 2010).

Im Rahmen einer Unternehmensbegehung beim Kundenunternehmen wurde ein Überblick über die Struktur seines Druckluftsystems geschaffen. Gemäß dem 80/20 Prinzip wurde mit akzeptablem Aufwand ein verwertbares Abbild des Systems generiert. Dabei war der Fokus auf das Versorgungssystem gerichtet, da es durch die Vielzahl der Endverbraucher nicht effizient ist, diese komplett zu erfassen. Mit Hilfe der Daten zum Druckluftverbrauch und einem Überblick über die Bestandteile der verschiedenen Produktionsbereiche kann jedoch ein beispielhaftes System nachgebildet werden. Für einige Endanwendungen konnten zusätzlich relevante Größen erfasst werden. Ergänzt wurden die Daten der Begehung durch aggregierte Verbrauchsangaben des Unternehmens. Aus Geheimhaltungsgründen werden im Folgenden nicht die realen, sondern realitätsnahe Werte für den Druckluftverbrauch verwendet. Die einzelnen Endanwendungen und Verbraucher hingegen wurden auf Basis von Annahmen und Expertenschätzungen eingearbeitet. In der verwendeten Software steht eine große Auswahl an Standardkomponenten zur Verfügung, die auf Angaben aus Produktkatalogen und Firmenwebsites basiert (siehe Anhang). Diese wurden für die Modellierung des Druckluftsystems verwendet. Für die einzelnen Funktionsbereiche wurde jeweils eine einheitliche Aufteilung der Anteile für pneumatische Anwendungen, Düsen und Druckluftwerkzeuge gewählt (Tabelle 6.1). Da die Daten auf Annahmen und Expertenschätzungen basieren, würde eine weitere Aufteilung nur eine Scheingenauigkeit vermitteln.

Tabelle 6.1: Anteile der Druckluftanwendungen in unterschiedlichen Einsatzgebieten (eigene Darstellung).

Einsatzbereich	Pneumatische Anwendungen	Düsen/Sperrluft	Druckluftwerkzeuge
Fertigung	20%	10%	70%
Montage	30%	0%	70%
Automatisches Kleinteilelager/ Warenverteilung	100%	0%	0%

Insgesamt hat das Druckluftsystem eine installierte Leistung von 619 kW mit einem Netz von ca. 4,6 km Länge und 70 Maschinen, in denen 2.600 Verbrauchskomponenten verbaut sind. Aus der Differenz der erzeugten Druckluft und dem Verbrauch der Komponenten ergibt sich für das System eine Leckagerate von 28 %. Bezogen auf die Druckluft gliedert sich das Kundenunternehmen in drei größere Produktionsbereiche, die unterschiedliche Anteile an der genutzten Druckluft haben. Ursprünglich aus Einzelnetzen entstanden, unterscheiden sich die Daten im Bereich Verdichtung und Aufbereitung der einzelnen Bereiche. Diese Netze sind jetzt jedoch zu einem großen Verbundsystem zusammengefügt. Im Folgenden werden die Produktionsbereiche mit ihren unterschiedlichen Anwendungen im Einzelnen erläutert.

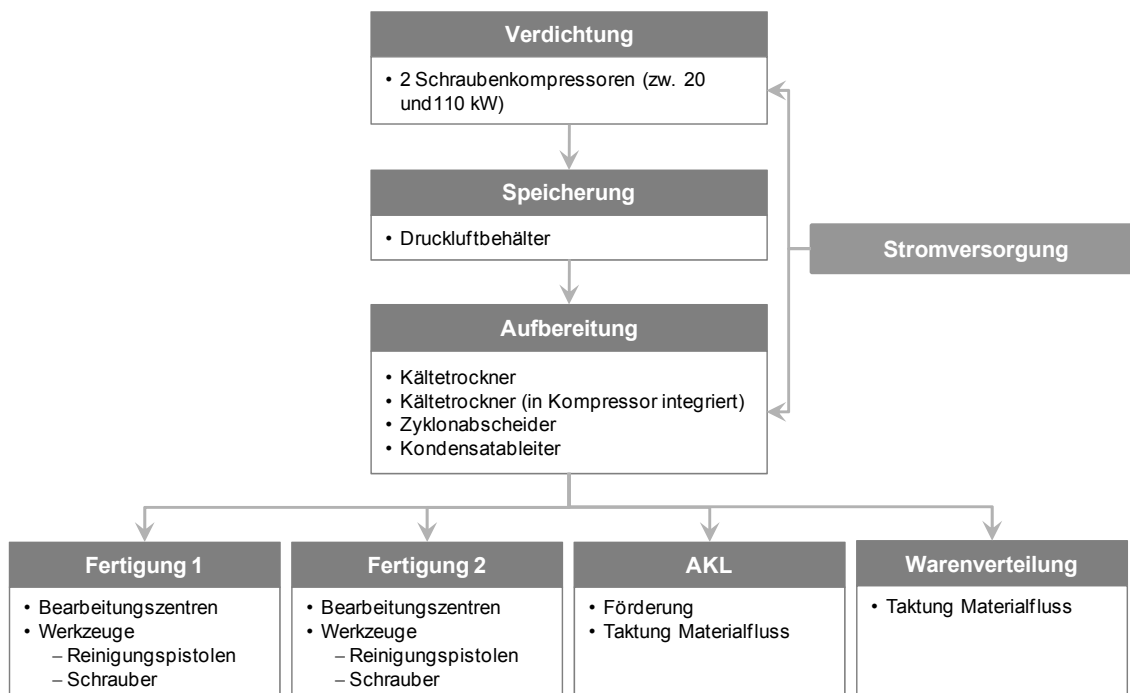


Abbildung 6.3: Übersicht über das Druckluftsystem im Produktionsbereich 1 (eigene Darstellung).

Der Produktionsbereich 1 ist mit 55 % des gesamten Druckluftverbrauchs der größte. Zwei Fertigungseinheiten, eine Warenverteilung und ein Automatisches Kleinteilelager (AKL) bilden diesen Produktionsbereich (Abbildung 6.3). In der Fertigung finden neben manuellen Werkzeugen wie Schrauber oder Reinigungspistolen bei den Handarbeitsplätzen auch Sperrluftdüsen als Bestandteil von vollautomatisierten Bearbeitungszentren ihre Verwendung. Das AKL dient neben der Beschickung der Fertigungslinien beziehungsweise Produktionsstationen vor allem auch als Pufferlager für das Produktionsmaterial. Im Hinblick auf die pneumatischen Anwendungen ist vor allem das Transportsystem, bestehend aus AKL und Warenverteilung, relevant. Für die Fördertechnik des AKL werden sowohl elektrische als auch pneumatische Antriebe eingesetzt. Die Taktung des Materialflusses erfolgt im AKL und in der Warenverteilung mit Hilfe von Druckluftzylindern.

Mit lediglich 15 % der verwendeten Druckluft im Kundenunternehmen hat der Produktionsbereich 2 den geringsten Druckluftverbrauch. Er umfasst eine Fertigung, mehrere Montagearbeitsplätze sowie eine Warenverteilung (Abbildung 6.4). Wie im ersten Produktionsbereich ist die Fertigung wieder mit Bearbeitungszentren und Handarbeitsplätzen mit Druckluftwerkzeugen ausgestattet. Die Montage unterteilt sich in drei Bereiche mit manuellen, semiautomatisierten und vollautomatisierten Anwendungen. Die manuellen Montagearbeitsplätze sind wie die Handarbeitsplätze in der Fertigung mit druckluftbetriebenen Werkzeugen wie Schrauber oder Reinigungspistolen ausgestattet. In der semiautomatisierten Montage werden Teile der Handhabung und Bearbeitung automatisiert durchgeführt. Diese druckluftbetriebenen Prozessschritte sind beispielsweise Zuführung und Positionierung von Werkstücken, Schraubvorgänge und das Positionieren von Schutzvorrichtungen. Im dritten Montagebereich wird eine vollautomatisierte Prüfung der Werkstücke auf Funktionalität und Qualität durchgeführt. Auch hier sind Zuführung und Positionierung wieder relevante Prozessschritte. Zusätzlich kommen hier noch Sortier- und Etikettieraufgaben hinzu. Die Druckluftanwendungen der Warenverteilung sind wieder entsprechend der Beschreibung des ersten Produktionsbereichs.

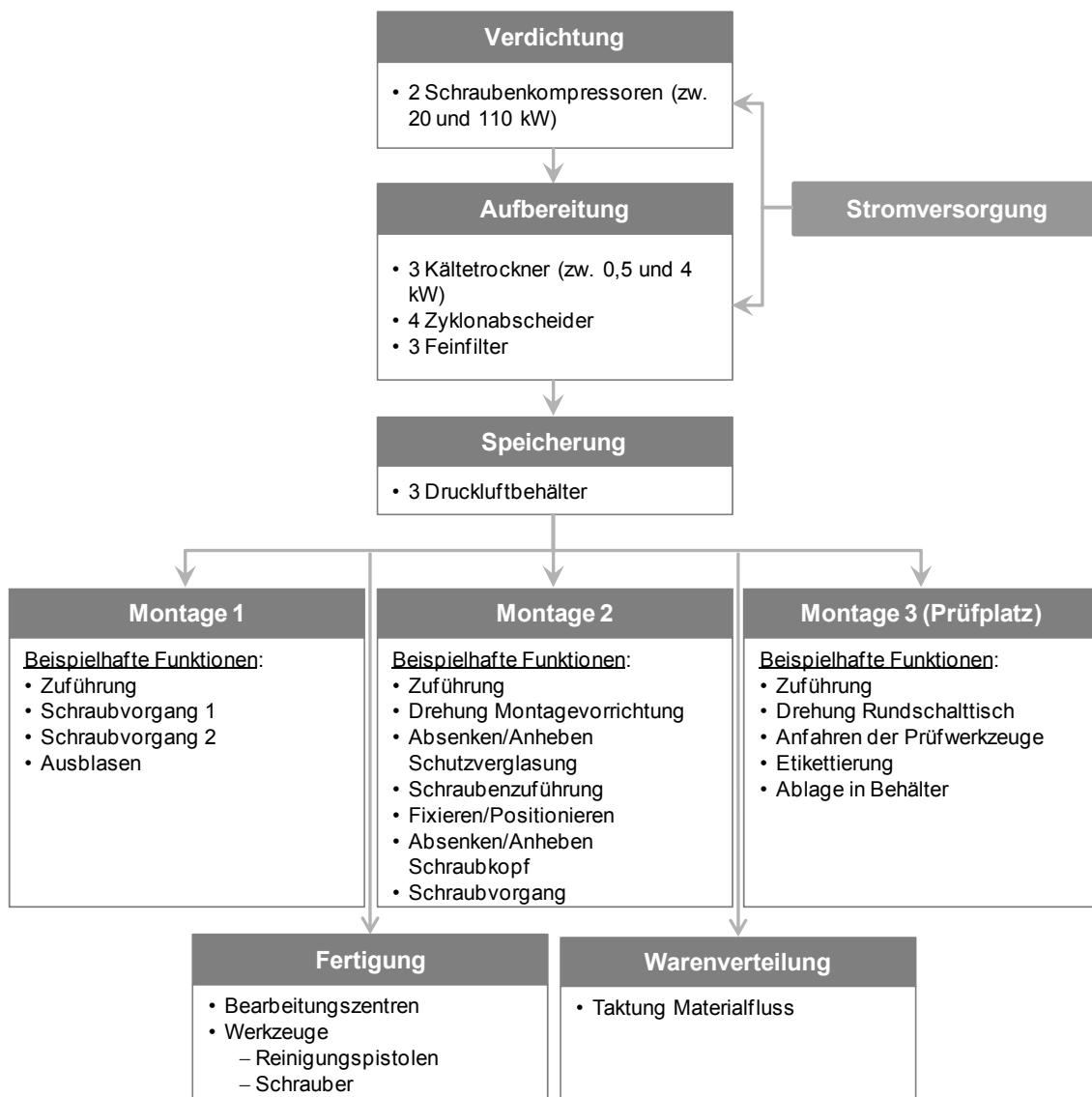


Abbildung 6.4: Übersicht über das Druckluftsystem im Produktionsbereich 2 (eigene Darstellung).

Der Produktionsbereich 3, der die restlichen 30 % der Druckluft verbraucht, beinhaltet wiederum eine Fertigung, ein AKL, mehrere Montagearbeitsplätze und eine Warenverteilung, die analog zu den anderen Produktionsbereichen aufgebaut sind (Abbildung 6.5). In der Fertigung werden hier zusätzlich Werkzeugmaschinen mit Sperrluft-Anwendung eingesetzt.

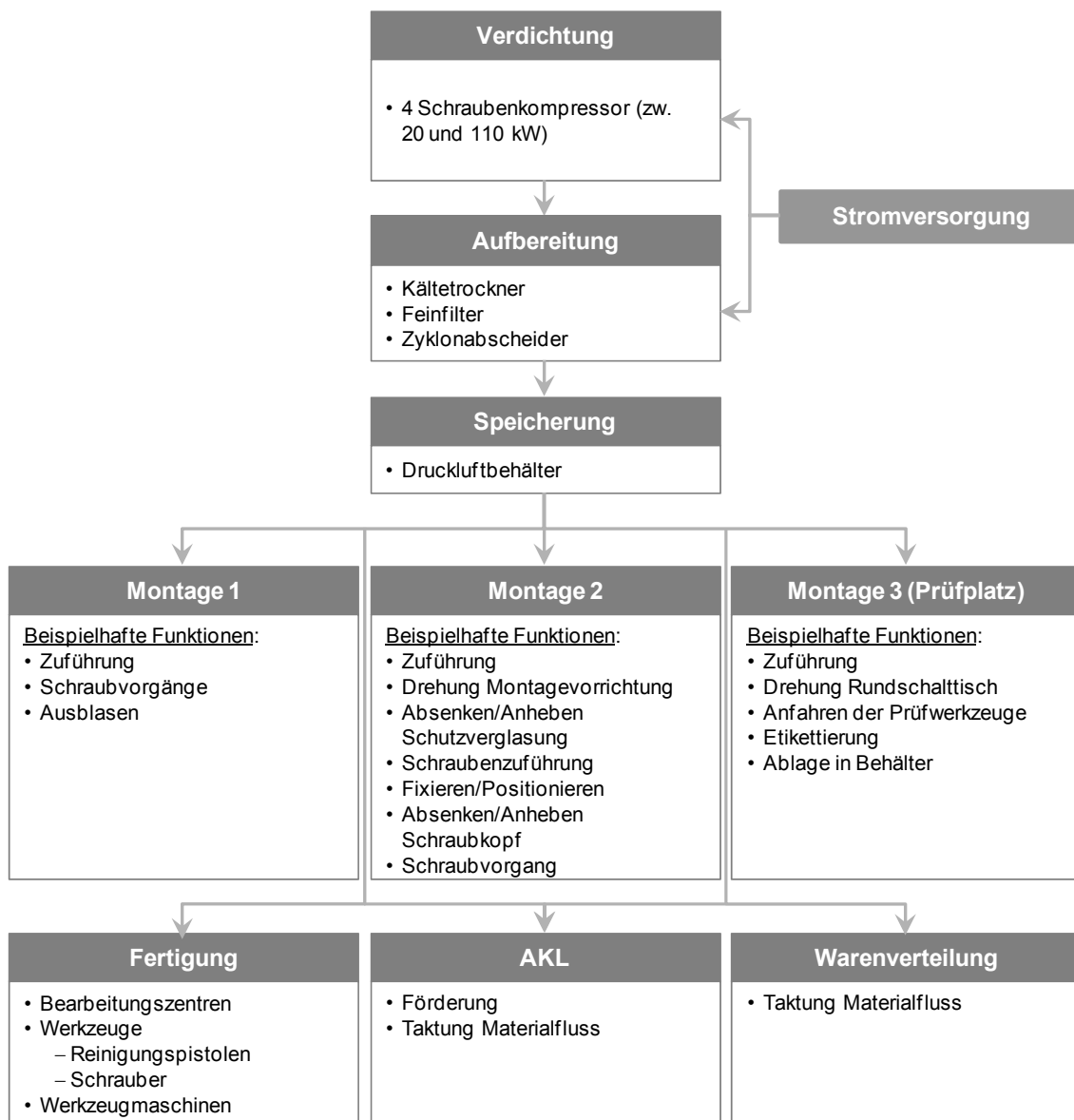


Abbildung 6.5: Übersicht über das Druckluftsystem im Produktionsbereich 3 (eigene Darstellung).

6.4 Bewertungsprozess

Auf Basis dieses beispielhaften Kundenunternehmens soll im folgenden Entscheidungsprozess herausgearbeitet werden, welche PSS-Konfiguration für dessen Bedürfnisse, aber auch für die Interessen des anbietenden Unternehmens die geeignetste Kompromisslösung ist. Dafür wurde im Fallstudienunternehmen ein zweiteiliger Expertenworkshop durchgeführt, an dem Vertreter der Serviceabteilung, des Innovations- und Technologiemanagements sowie der Forschungs- und Entwicklungsabteilung teilnahmen.

Im ersten Teil wurde den Teilnehmern zuerst ein Einblick in die Methode PROMETHEE gegeben, damit die notwendigen Parameter und deren Bedeutung bekannt waren. Anschließend wurden in einer Diskussion die bei der Entscheidung beteiligten Abteilungen im Anbieterunternehmen festgelegt. Für die Kriterienbestimmung wurde bereits eine Liste mit Vorschlägen präsentiert, die dann mittels Kartenabfrage durch die einzelnen Teilnehmer ergänzt wurde. In einem Konsolidierungsprozess wurden ähnliche Kriterien zusammengefasst und als nicht relevant erachtete Kriterien der Vorschlagsliste entnommen.

Der zweite Teil des Workshops diente hauptsächlich der konkreten Datenerfassung. Für die Kriterienausprägungen wurde den Teilnehmern erneut ein Vorschlag unterbreitet, der dann in gemeinsamen Diskussionen angepasst wurde. Im Anschluss wurden die Präferenzfunktionen und die entsprechenden Schwellenwerte gemeinsam festgelegt. Die abschließende Gewichtung der einzelnen Entscheidungsträger sowie die Festlegung der Optimierungsrichtung wurde in Kleingruppen erarbeitet, wobei die Teilnehmer entweder den eigenen Bereich repräsentierten beziehungsweise für den Entscheidungsträger gewichteten, bei dem sie den größten Einblick haben. Auf Basis dieser Daten wurden die Ergebnisse berechnet und den Teilnehmern präsentiert.

6.4.1 Festlegung der Entscheidungsträger

Wie bereits in Kapitel 3 erläutert, ist es bei der Einführung von PSS nicht üblich, dass ein einzelner Entscheidungsträger die Konfiguration bestimmt. Gemäß den Angaben bei dem Expertenworkshop sind bei einer solchen Entscheidung die folgenden drei Akteure beteiligt:

- **Service:** Die Serviceabteilung entwickelt die unterschiedlichen Alternativen und kann die Chancen und Risiken der verschiedenen Ausgestaltungen gut einschätzen. Da der Service nur solche Alternativen in Betracht zieht, die den Vorgaben der Finanzabteilung gemäß der Wirtschaftlichkeit entsprechen, wird dieser Bereich nicht zusätzlich in den Entscheidungsprozess einbezogen.
- **Vertrieb:** Der Vertrieb ist letztlich die Instanz, die dem Kunden das Angebot unterbreitet. Deshalb ist es wichtig, dass die Mitarbeiter dieser Abteilung hinter dem Angebot stehen und es aktiv vermarkten.
- **Kunde:** Letztendlich entscheidet die Gesamtheit der Kunden, ob ein PSS erfolgreich ist oder nicht. Die Kunden müssen den Mehrwert erkennen und das Angebot annehmen. Deshalb ist es wichtig, jedem Kunden eine auf seine Rahmenbedingungen abgestimmte Konfiguration anzubieten. Für den Entscheidungsprozess geben Mitarbeiter, die regelmäßig in Kontakt mit dem Kunden stehen, die Präferen-

zen dieses Unternehmens an, da es schwierig ist, das Kundenunternehmen in den Entscheidungsprozess mit einzubeziehen.

Sind die Entscheidungsträger bekannt, stellt sich noch die Frage, ob es sich um eine demokratische Entscheidung handelt, d. h. alle Entscheidungsträger haben den gleichen Stimmanteil, oder ob sich deren Stimmgewicht unterscheidet. Nach Einschätzung der Expertenrunde ist letzteres der Fall. Service und Kunde haben je einen Stimmanteil von 40 %, auf den Vertrieb entfällt demzufolge noch ein Anteil von 20 %, um die Entscheidung gemäß seiner Präferenz zu beeinflussen.

6.4.2 Kriterien

Im vorhergehenden Abschnitt wurden die Alternativen für die Bewertung vorgestellt. Nun soll festgelegt werden, anhand welcher Kriterien die unterschiedlichen Konfigurationen gegenübergestellt werden sollen. Dafür wird zunächst die Auswahl der Kriterien vorgenommen und es wird auch die jeweilige Ausprägung der unterschiedlichen Alternativen bestimmt. Im Anschluss werden die Präferenzfunktionen und die jeweils benötigten Parameter für die einzelnen Kriterien bestimmt. Abschließend legen die Entscheidungsträger ihre individuelle Gewichtung sowie die Optimierungsrichtung der Kriterien fest.

6.4.2.1 Auswahl und Ausprägungen

PSS werden häufig eingeführt, um die Wirtschaftlichkeit und damit Wettbewerbsfähigkeit sowohl des Anbieters, aber auch des Kunden durch eine gestiegene Produktivität oder reduzierte Betriebskosten zu steigern. Bei der vorliegenden Fragestellung liegt das Hauptaugenmerk auf der Zielsetzung der Steigerung der Energieeffizienz, wodurch die Energiekosten des Kunden reduziert werden können. Jedoch ergeben sich durch ein solches Angebot auch Auswirkungen auf die Marktstruktur, und es entstehen zusätzliche Risiken, die vor der Einführung gründlich überdacht werden sollten. Damit ergeben sich für die Bewertung folgende Kategorien der Kriterien:

- Die Wirtschaftlichkeit der vorgeschlagenen Alternativen
- Technische Veränderungen durch die Durchführung der Maßnahmen
- Auswirkungen auf die Marktstruktur durch das Angebot der Maßnahmen
- Risiken der Durchführung, die den Erfolg und die Wirtschaftlichkeit negativ beeinflussen können

Die Kriterien wurden ebenfalls in dem Workshop mit Vertretern aus den relevanten Abteilungen des Fallstudienunternehmens erarbeitet. Auf Basis einer Literaturrecherche wurden verschiedene Kriterien vorgeschlagen, die durch die Teilnehmer ergänzt

wurden beziehungsweise, wenn sie für die Fragestellung als nicht relevant erachtet wurden, wieder von der Liste genommen wurden. In einer Konsolidierung der gesammelten Kriterien wurden ähnliche Nennungen zu einem Kriterium zusammengefasst und bei Bestehen von großen Abhängigkeiten beschränkten sich die Entscheidungsträger auf ein entsprechendes Kriterium, , damit dieses nicht mehrfach in die Bewertung mit eingeht. Im Folgenden werden die erarbeiteten Kriterien zusammen mit ihrer Ausprägung für die verschiedenen Alternativen vorgestellt.

Für die quantitativen Kriterien können bei der Bestimmung der Ausprägung die tatsächlichen Werte verwendet werden. Bei den qualitativen Kriterien wurden die Ausprägungen anhand einer Skala, deren Enden mit „gering“ und „hoch“ gekennzeichnet waren, durch die Workshopteilnehmer eingeordnet. Im Anschluss wurden die Zuordnungen gemäß den Abständen auf eine Zahlenskala von 0 bis 10 Punkte übertragen (Zimmermann, Gutsche 1991). Entgegen dem Vorschlag aus der Literatur, der dabei nur die Werte ,0‘, ,3‘, ,5‘, ,7‘ und ,10‘ auf Basis einer verbalen Skala berücksichtigt, wurden im Workshop alle ganzzahligen Werte mit einbezogen. Dies begründet sich darin, dass die Ausprägungen grafisch eingeordnet wurden. Somit mussten die Werte keiner verbalen Skala angepasst werden, wodurch die Möglichkeit der Zuordnung aller Werte bestand.

6.4.2.1.1 Wirtschaftlichkeit

Mehrwert

Ein positiver Mehrwert ergibt sich, wenn durch die Energieeinsparungen die Stromkosten stärker sinken, als es an zusätzlichem Aufwand für die Durchführung der Maßnahme bedarf.

Gemäß den in Kapitel 3 beschriebenen Grundlagen der Lebenszykluskostenrechnung sollen auch für diese Bewertung sämtliche im Betrachtungszeitraum anfallenden Zahlungsströme berücksichtigt werden. Für solch eine Vorteilhaftigkeitsberechnung stehen statische und dynamische Modelle zur Auswahl.¹⁸

Speziell zur techno-ökonomischen Bewertung eines Druckluftsystems konnte auf ein bestehendes Modell (Hirzel et al. 2010), das sämtliche Zahlungsströme berücksichtigt, zurückgegriffen werden. Diese Zahlungsströme umfassen Investitionen und Implementierung, benötigte Wartung und Reparatur sowie die Betriebskosten, die hauptsächlich

¹⁸ Einen Überblick hierüber liefert z. B. Götze (2006).

aus dem Energieverbrauch bestehen, der durch eine in das Modell integrierte, ausführliche Hochrechnung ermittelt wird.¹⁹

Es sind einige Annahmen in diesem Modell getroffen, die im Folgenden kurz angeführt sind:

- Die ökonomische Bewertung basiert auf der Annuitäten-Methode.
- Nur Zahlungsströme bezüglich des Druckluftsystems werden berücksichtigt.
- Sind einzelne Komponenten am Ende des Betrachtungszeitraums noch nicht am Ende ihrer Lebensdauer, wird ein Restwert, der linear zur Lebensdauer berechnet wird, als Einzahlung betrachtet.
- Produktionsvolumen und Produktpreis bleiben gleich.

Durch die Wahl der Annuitäten-Methode werden jährliche Werte angegeben, was die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit anschaulicher darstellt, als der Kapitalwert über den gesamten Betrachtungszeitraum. Die Annuität (Ann) berechnet sich wie folgt:

$$Ann(A_i) = \left[-I_0 + \sum_{t=1}^n (Ein_t - Aus_t) \cdot \frac{1}{(1+i)^t} + \frac{Rest_n}{(1+i)^n} \right] \cdot \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} \quad (21)$$

mit I_0 : Investitionen zum Zeitpunkt 0

Ein: Einzahlungen

Aus: Auszahlungen

n : Betrachtungszeitraum

i : kalkulatorischer Zinssatz

Da nur durch das Druckluftsystem verursachte Zahlungsströme betrachtet werden, kommen bei der Berechnung keine Einzahlungen vor ($Ein_t = 0$). Lediglich der Restwert (Rest), der nur zum Ende des Betrachtungszeitraums Berücksichtigung findet, geht als positiver Zahlungsstrom in die Annuität mit ein. Die Auszahlungen setzen sich für alle Lebenszykluskostenphasen aus der Anzahl aller zum Zeitpunkt t benötigter Produkte beziehungsweise in Anspruch genommener Leistungen sowie einem dazugehörigen Verrechnungssatz zusammen. Sie werden für jede einzelne Komponente während des gesamten Lebenszyklus von der Investition und Inbetriebnahme über Auszahlungen für Betrieb, Qualität sowie Wartung und Reparatur bis hin zur Entsorgung berechnet. Zu-

¹⁹ Eine ausführlichere Beschreibung zur Ermittlung des Energieverbrauchs folgt in der Kriterienbeschreibung zum Energieverbrauch.

sätzlich werden Auszahlungen berücksichtigt, die dem Gesamtsystem zugeordnet werden. Dazu gehören u. a. die Planung des Systems, Schulungen und Overheadkosten. Die Summe dieser einzelnen Werte ergibt die gesamten Auszahlungen über den Lebenszyklus des Druckluftsystems (Hirzel et al. 2010).

$$Aus_t = \sum_{k=1}^m z_{t,l} \cdot v \quad (22)$$

mit k : Kategorie der erbrachten Leistungen in allen Lebenszyklusphasen

m : maximale Anzahl aller möglichen Leistungen

$z_{t,l}$: Anzahl der zum Zeitpunkt t in Anspruch genommenen Leistungen der Kategorie l (z. B. Stückzahlen, Stunden, kWh etc.)

v : Verrechnungssatz (z. B. Preis pro Produkt, Stunde, kWh etc.)

Damit ergibt sich für die Berechnung der Annuitäten des Druckluftsystems folgende Gleichung:

$$Ann(A_i) = \left[-I_0 + \sum_{t=1}^n \left(-1 \cdot \sum_{l=1}^m z_{t,l} \cdot v \cdot \frac{1}{(1+i)^t} \right) + \frac{Rest_n}{(1+i)^n} \right] \cdot \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} \quad (23)$$

Für eine vergleichende Betrachtung verschiedener Alternativen ist die Nutzung der Annuitäten jedoch nur möglich, wenn der Betrachtungszeitraum für alle Alternativen gleich ist, da ein höherer Mehrwert für nur ein Jahr je nach Höhe der Differenz eventuell weniger Vorteile bringt als ein geringerer auf Basis von Annuitäten berechneter Mehrwert über einen längeren Zeitraum.

Aus diesem Grund wird der Mehrwert (Mw) nur für Szenario 1 als jährlicher Wert angegeben. Durch die Betrachtung des Restwertes ist es möglich, den Bewertungszeitraum für alle Alternativen gleich zu halten, wenn die Annahme getroffen wird, dass es nach Vertragsende zu einem Anschlussvertrag kommt. Dadurch sind die Werte vergleichbar und der Mehrwert pro Alternative für Szenario 1 (Mw_{S1}) kann als Differenz der Annuitäten der jeweiligen Alternative A_j zu der des Referenzfalls A_0 berechnet werden. Bei Szenario 2 gibt es aufgrund der Annahmen, dass das System bezüglich der Leckagen nach Vertragsende sofort wieder den Zustand des Referenzfalls erreicht, nur während der Vertragslaufzeit einen Mehrwert. Deshalb wurde hier der Mehrwert (Mw_{S2}) mithilfe des Annuitätenfaktors auf den Kapitalwert der jeweiligen Vertragslaufzeit hochgerechnet, damit eine Annuität, die nur über drei Jahre anfällt, nicht mit einer solchen über fünf Jahre verglichen wird.

$$Mw_{S1}(A_j, n) = Ann(A_j, n) - Ann(A_0, n); \text{ für } j = 1 - 4 \quad (24)$$

$$Mw_{S2}(A_j, l) = \left(Ann(A_j, l) - Ann(A_0, l) \right) \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \cdot i}; \text{ für } j = 1 - 4 \quad (25)$$

mit: Mw : Mehrwert

l : Vertragslaufzeit von A_j

Als Rahmenbedingungen wurde ein 2-Schicht-Betrieb mit 220 Arbeitstagen pro Jahr festgelegt, wobei das Druckluftsystem auch außerhalb der Produktionszeiten nicht abgeschaltet wird. Für den Zinssatz der Diskontierung wurde der Wert von 6,3 % übernommen (Elschner et al. 2009, S. 6). Beim Strompreis wurde ein Wert von 9 ct pro kWh angenommen (Eurostat 2012), wobei dieser einer zusätzlichen Teuerungsrate von 0,5 % pro Jahr unterliegt (Lindenberger et al. 2008, S. XX).

Die Auszahlungen für das ursprüngliche Druckluftsystem sind bei den PSS mit Ausnahme der Betriebskosten für Druckluftherzeugung und -aufbereitung bei gleich langem Betrachtungszeitraum identisch. Jedoch werden Angaben zum gesamten System benötigt, um den Energieverbrauch sowie die vorhandenen Leckagen zu ermitteln. Ändert sich der Betrachtungszeitraum, variiert der Restwert des Systems, so dass der Referenzfall zur Ermittlung immer den gleichen Betrachtungszeitraum haben muss. Um das Leckagemanagement erbringen zu können, sind weitere Auszahlungen nötig. In den folgenden Tabellen sind die jeweiligen notwendigen Geräte (Tabelle 6.2) sowie der entstehende Aufwand für die Leckagesuche und -behebung in Form von Material und Personaleinsatz (Tabelle 6.3) sowie die Personalkosten (Tabelle 6.4) dargestellt. Die Daten wurden auf Basis von Interviews innerhalb des Fallstudienunternehmens ermittelt.

Tabelle 6.2: Aufwendungen für Geräte (eigene Darstellung).

Alternative	Geräte	Investitionen	Implementierung	Lebensdauer	Wartungsaufwand
A1, A2, A3, A4	Ultraschallgerät (kann für 20 Kunden parallel verwendet werden)	3.500 € (175 € pro Kunde)	-	5 Jahre	Kalibrierung: 350 €/a; Wartung: 200 €/a (27,50 €/a pro Kunde)
A1, A2	Externes Messgerät (Prüfgerät; kann für 20 Kunden parallel verwendet werden)	4.500 € (225 € pro Kunde)	-	5 Jahre	Kalibrierung: 350 €/a; Wartung: 200 €/a (27,50 €/a pro Kunde)
A3, A4	Sensoren	590 € je Stück (70 Stück)	15 % der Investitionen	10 Jahre	Kalibrierung: 350 €/a
A3, A4	Einbindung in Energiemanagement/ Software	15.000 €	-	Einmalig	1.000 € Aktualisierung, alle 2 Jahre; 540 € Schulung, jährlich

Tabelle 6.3: Aufwendungen für Leckagesuche und –beseitigung (eigene Darstellung).

Alternative	Geräte/ Investitionen	Zeitaufwand	Häufigkeit	Sonstige Aufwendungen
A1	Prüfgerät; Ultraschallgerät	30 min/ Maschine (nur Suche)	jährlich	Pauschale für Beseitigung 1.500 €
A2	Prüfgerät; Ultraschallgerät	30 min/ Maschine (nur Suche)	jährlich	Pauschale für Beseitigung 2.000 €
A3, A4	Sensoren; Ultraschallgerät	30 min/ Maschine (nur Suche)	Alle 2 Jahre	Pauschale für Beseitigung 2.000 €

Tabelle 6.4: relevante Stundensätze (eigene Darstellung).

Stundensätze der Akteure	Von	Typisch (für Studie gewählt)	Bis
Komponentenhersteller	70 €	90 €	130 €
Kunde	40 €	50 €	80 €

Tabelle 6.5 zeigt, welche zusätzlichen wirtschaftlichen Aufwendungen für die einzelnen Konfigurationen nötig sind und wie hoch die möglichen Einsparungen durch einen geringeren Energieverbrauch sind. Die Differenz ergibt den erzielbaren Mehrwert. Dabei ist zu beachten, dass die Angaben für Szenario 1 Annuitäten darstellen, während die Angaben für Szenario 2 auf die gesamte Laufzeit hochgerechnet wurden, da sich diese

unterscheiden. Das eingesetzte Bewertungsmodell berücksichtigt bei den notwendigen Investitionen bereits einen eventuellen Restwert, so dass der Betrag teilweise geringer ausfällt, als die zum Investitionszeitpunkt benötigten liquiden Mittel.

Tabelle 6.5: Zusammenstellung der wirtschaftlichen Daten (eigene Darstellung).

	Alternative 1 Offline mit Kunde	Alternative 2 Offline ohne Kunde	Alternative 3 Online mit Kunde	Alternative 4 Online ohne Kunde
Szenario 1 (kontinuierliche Durchführung der Maßnahmen)¹				
notwendige Investitionen ²	95,74 €	95,74 €	11.357,90 €	11.357,90 €
zusätzlicher Wartungsaufwand	4.705,00 €	5.205,00 €	2.803,99 €	2.803,99 €
sonstige Aufwendungen ³	-	-	1.490,75 €	1.490,75 €
mögliche Einsparungen	20.191,30 €	24.292,14 €	32.100,76 €	32.100,76 €
erzielbarer Mehrwert	15.390,57 €	18.991,41 €	16.448,13 €	16.448,13 €
Szenario 2 (einmalige Durchführung eines Vertrags)⁴				
notwendige Investitionen ²	98,97 €	266,78 €	38.543,27 €	47.455,66 €
zusätzlicher Wartungsaufwand	4.426,15 €	13.836,16 €	7.806,36 €	11.715,65 €
sonstige Aufwendungen ³	-	-	4.139,10 €	6.228,66 €
mögliche Einsparungen	18.817,08 €	64.278,21 €	84.940,19 €	134.123,62 €
erzielbarer Mehrwert	14.291,97 €	50.175,21 €	34.451,43 €	68.723,69 €
¹ Angaben als Annuitäten				
² die verbleibenden Restwerte sind bereits aus den Investitionen herausgerechnet				
³ z. B. Schulungen oder Softwareupdates				
⁴ Angaben als Kapitalwert für die Vertragslaufzeit				

Es zeigt sich, dass Alternative 2 bei Szenario 1 den größten Mehrwert erzielt, während für Szenario 2 Alternative 4 mit der Vertragslaufzeit über den gesamten Betrachtungszeitraum den größten Mehrwert einbringt. Da der Referenzfall die Basis für die Berechnung des Mehrwerts stellt, existiert für ihn unabhängig vom Szenario kein Mehrwert.

Verstetigung der Umsätze

Eine Verstetigung der Umsätze ermöglicht eine bessere Vorausplanung und hilft in wirtschaftlich schwachen Zeiten die Abhängigkeit vom Produktgeschäft etwas zu verringern (Oliva, Kallenberg 2003; Wise, Baumgartner 1999). Durch das Angebot von Dienstleistungen verstetigen sich die Umsätze im Vergleich zum reinen Produktgeschäft, da Dienstleistungen während der Lebensdauer eines Produkts mehrfach in Anspruch genommen werden können. Jedoch ist eine längere Laufzeit vorteilhafter als eine einmalige Dienstleistung. Deshalb bekommt Alternative 1, gemäß der Bestimmung über eine qualitative Skala, wie zu Beginn eingeführt, den Wert 1 zugeordnet. Das Potenzial zur Verstetigung der Umsätze ist zwar vorhanden, hängt jedoch von einer regelmäßigen Beauftragung durch den Kunden ab. Im Vergleich zu Alternative 4

haben die Alternativen 2 und 3 einen kürzeren Zeitraum, über den die Umsätze sicher verteilt werden und zudem sind die zu erwartenden Umsätze geringer. Dies gründet hauptsächlich auf der Tatsache, dass bei Alternative 4 auch Produkte, die ausschließlich für diesen Kunden genutzt werden können, vorab finanziert werden, die dann in den Jahren der Vertragslaufzeit, zumindest entsprechend ihres Wertverlusts, zurückerstattet werden sollten. Auf dieser Basis werden den Alternativen 2 und 3 jeweils die Werte 7 zugeordnet, während Alternative 4 die Ausprägung 10 zugeordnet bekommt. Im Referenzfall besteht die Möglichkeit zur Verstetigung der Umsätze nicht, so dass dieser den Wert 0 annimmt.

Übernahme Finanzierung durch Anbieter

Um die Erbringung der versprochenen Leistung von PSS zu ermöglichen, ist es notwendig, eine entsprechende technische Ausstattung zu haben. Im Fallbeispiel umfasst diese die Leckagesuchgeräte und bei Bedarf die Sensoren. Diese Ausstattung muss vor der Leistungserbringung finanziert werden. Je nach Konfiguration des PSS kann eine höhere oder niedrigere Finanzierung durch den Anbieter geleistet werden. Zumindest bei leistungsabhängigen Ertragsmodellen müssen auch die Serviceleistungen vorab erbracht werden, die dann am Ende einer Abrechnungsperiode entsprechend dem erzielten Ergebnis erstattet werden. Die Höhe der Finanzierung variiert bei den verschiedenen Alternativen. Im Referenzfall ist keine Finanzierung notwendig. Für die beiden Offline-Varianten ist die Finanzierung mit 400 Euro relativ gering im Gegensatz zu der Online-Variante ohne Kundenmitwirkung (62.670 Euro). Bei dieser Alternative werden die gesamten Auszahlungen für die Sensoren vorab vom Anbieter geleistet, die dann mit einer entsprechenden Verzinsung über die gesamte Laufzeit verteilt anteilig zurückerstattet werden. Da die durchschnittliche Lebensdauer der Sensoren länger ist als die Vertragslaufzeit, können diese, wenn keine Vertragsverlängerung stattfindet, von dem Anbieter ausgebaut oder zum entsprechenden Restwert an den Kunden verkauft werden. Diese Option wird für die Fallstudie gewählt. Bei der Online-Variante mit Kundenbeteiligung investiert dieser direkt in die Sensoren, so dass die Finanzierung durch den Anbieter mit 175 Euro sogar noch geringer ausfällt als bei den Offline-Alternativen, da hier ein Gerät zur Lokalisierung der Leckagen weniger benötigt wird. Die Beträge sind, mit Ausnahme von Konfiguration 4, im Vergleich zu den weiteren Aufwendungen zur Leckagebehebung recht gering, da, wie in Tabelle 6.2 ersichtlich, die Annahme getroffen wurde, dass die Leckagesuch- und Prüfgeräte jeweils für mehrere Kunden verwendet werden können, da sie im Gegenteil zu den Sensoren nicht in das System eingebaut werden müssen und somit mobil einsetzbar sind.

Abstimmungsaufwand

Zur Umsetzung der vorgestellten Maßnahmen bedarf es einer gewissen Abstimmung zwischen Kunde und Anbieter, um die Ergebnisse der Leckagesuche weiterzugeben und zu vereinbaren, wann die Serviceanbieter Zugang zum Druckluftsystem bekommen, um die Leckagen zu beheben, sofern dies Bestandteil des Angebots ist. Dieses Kriterium stellt in gewissem Maße einen Teil der Transaktionskosten dar (Biege 2011; Picot 1992; Stanik 2007). Eine exakte Quantifizierung für dieses Kriterium fällt schwer, da hierfür die genaue Dauer der Abstimmungen bekannt sein müsste. Jedoch können die verschiedenen Alternativen untereinander verglichen und auf einer kardinalen Skala eingeordnet werden.

Für den Referenzfall besteht keinerlei Abstimmungsaufwand, folglich wird dieser mit 0 Punkten bewertet. Auch für Alternative 1 ist der Abstimmungsaufwand gering, da nur die Verortung der Leckagen und die Empfehlung zur Behebung weitergegeben werden müssen (1). Bei Alternative 2 liegt mit 5 Punkten ein mittlerer Abstimmungsaufwand vor, da hier auch abgesprochen werden muss, wann dem Anbieter das Druckluftsystem beziehungsweise die einzelnen Maschinen zur Behebung der Leckagen zur Verfügung stehen. Für die anderen beiden Alternativen ist der Abstimmungsaufwand noch höher, da bei Alternative 3 zusätzlich noch die Werte des Condition-Monitoring-Systems an den Anbieter übergeben werden müssen (9) und für Alternative 4 aufgrund des Ertragsmodells auch die Einsparungen in Zusammenarbeit mit dem Kunden ermittelt werden müssen. Deshalb hat diese Alternative den höchsten Wert 10 zugeordnet bekommen.

In der nachfolgenden Tabelle 6.6 sind nochmal alle Kriterienausprägungen des Bereichs Wirtschaftlichkeit übersichtlich dargestellt.

Tabelle 6.6: Kriterienausprägungen der Kategorie Wirtschaftlichkeit (eigene Darstellung).

Kriterium	Skala	Alternative 0 Referenzfall	Alternative 1 Offline mit Kunde	Alternative 2 Offline ohne Kunde	Alternative 3 Online mit Kunde	Alternative 4 Online ohne Kunde
W1 Mehrwert (Szenario 1)	Euro/a	0	15.390,57	18.991,41	16.448,13	16.448,13
W1 Mehrwert (Szenario 2)	Euro	0	14.291,97	50.175,21	34.451,43	68.723,69
W2 Verstetigung der Umsätze	niedrig/hoch	0	1	7	7	10
W3 Übernahme Finanzierung durch Anbieter	Euro	0	400	400	175	62.670
W4 Abstimmungsaufwand	niedrig/hoch	0	1	5	9	10

6.4.2.1.2 Technik

Energieverbrauch

Der Energieverbrauch wurde bereits im Teil Wirtschaftlichkeit bestimmt, um die Stromkosten für den Betrieb des Druckluftsystems zu ermitteln. Daraus lässt sich erkennen, dass durch die Berücksichtigung der Energiekosten eine gewisse Abhängigkeit zwischen den Kriterien Mehrwert und Energieverbrauch besteht. Jedoch spielen beim Mehrwert auch noch andere Einflussgrößen eine Rolle, so dass die Alternative mit dem geringsten Energieverbrauch nicht zwangsläufig auch den höchsten Mehrwert besitzt. Aus diesem Grund und wegen der spezifischen Zielsetzung und dem daraus abgeleiteten Nutzenversprechen, den Energieverbrauch zu reduzieren, soll das Kriterium an dieser Stelle aus technischer Sicht berücksichtigt werden. Der Energieverbrauch wird mit Hilfe des techno-ökonomischen Bewertungsmodells in einem Bottom-up-Ansatz berechnet (Hirzel et al. 2010). Dabei wird auf unterster Ebene ermittelt, wie viel Druckluft die Verbraucher für die Verrichtung ihrer Arbeit benötigen. Zusätzlich werden vorhandene Leckagen sowie Druckabfälle durch kleine Rohrdurchmesser beziehungsweise Filter in der Druckluftaufbereitung einbezogen. Dadurch ergibt sich die Menge an Druckluft, die für das Gesamtsystem bei einem bestimmten Druckniveau erzeugt werden muss. Daraus lässt sich der Stromverbrauch der vorhandenen Druckluftkompressoren sowie der Aufbereitungstechnik ermitteln.

Der Energieverbrauch wird für die Bewertung lediglich als Stromverbrauch berücksichtigt. Theoretisch wäre auch die Menge verbrauchter Druckluft eine passende Größe für dieses Kriterium. Durch die Behebung von Leckagen reduziert sich sowohl die verbrauchte Menge an Druckluft als auch das benötigte Druckniveau, mit dem die Luft bei den Verbrauchern noch mit genügend Druck ankommt. Wie bereits bei der Beschreibung der Alternativen erläutert, können die Leckagen durch die Onlinevarianten schneller erkannt und somit auch schneller behoben werden. Für die Offline-Alternative mit Kundenbeteiligung wird die Annahme getroffen, dass die Kunden die Leckagebehebung nicht mit dem gleichen Erfolg erledigen können wie die Anbieter, da diese viel häufiger eine Leckagebehebung durchführen. In Tabelle 6.7 sind Expertenschätzungen dargestellt, um wie viel Prozent der auf der entsprechenden Ebene durch Leckagen verursachte Druckluftverbrauch bei Durchführung einer der Maßnahmen reduziert werden könnte.

Tabelle 6.7: Möglichkeiten der Leckagereduktion (eigene Darstellung).

Ebene ►	Netz	Maschinen
▼ Suche		
Offline (Kunde)	50%	60%
Offline (Anbieter)	64%	72%
Online	90%	95%

Auf Basis dieser Annahmen reduziert sich der leakagebedingte Druckluftverbrauch durch die Behebung der Leckagen an den Maschinen von 28 % im Referenzfall auf 17 % für Alternative 1. Werden die Leckagen durch den Anbieter behoben, verbleiben für die Offline-Variante (Alternative 2) 14 %, die beiden Online-Varianten verbrauchen nur noch 8 % der Druckluft durch Leckagen. Für den daraus resultierenden Energieverbrauch ergibt sich wie beim Mehrwert eine Abhängigkeit von den Szenarien. Dabei werden die Angaben für Szenario 1 auf jährlicher Basis gemacht, da der durchschnittliche Druckluftverbrauch je Alternative für alle Jahre konstant ist. In Szenario 2 ändert sich der Druckluftverbrauch, wenn der Vertrag ausgelaufen ist und die entsprechende Maßnahme nicht mehr durchgeführt wird. Deshalb werden die Daten für den gesamten Betrachtungszeitraum angegeben. Aufgrund der Annahmen sind die Verbräuche der restlichen Jahre des Betrachtungszeitraums gleich dem jährlichen Verbrauch des Referenzfalls. Die exakten Daten sind in der Übersicht über die Ausprägungen der Technik-kriterien dargestellt (Tabelle 6.8).

Innovationsrückkopplung

Durch das Angebot von Leckagemanagement bekommt der Anbieter Zugang zum Druckluftsystem des Kunden und kann sich so einen genauen Eindruck von der Nutzung der verschiedenen Komponenten machen. Durch diesen Einblick ist es möglich, dass der Anbieter spezifisch auf die vorhandenen Kundenprobleme angepasste Ideen generiert, die bei zukünftigen Produkt- und Dienstleistungsentwicklungen berücksichtigt werden (Lerch 2011). Dabei ist vor allem der Zugang zum Druckluftsystem ausschlaggebend, so dass schon Alternative 1 mit dem Wert 5 bewertet wurde. Kleine Vorteile können sich durch die Behebung der Leckagen noch ergeben, darum wird Alternative 2 mit einem Punkt mehr (6) bewertet. Durch die zusätzliche Nutzung eines Condition-Monitoring-Systems können sich weitere Vorteile ergeben, wobei durch die Kontrolle durch den Kunden (Alternative 3) weniger Informationen beim Anbieter ankommen, als wenn dieser die Kontrolle selbst übernehmen kann (Alternative 4). Deshalb werden die Werte 7 beziehungsweise 8 zugeordnet. Im Referenzfall hat der Anbieter keinen Einblick in das Druckluftsystem des Kunden (0).

Tabelle 6.8: Kriterienausprägungen der Kategorie Technologie (eigene Darstellung).

Kriterium	Skala	Alternative 0 Referenzfall	Alternative 1 Offline mit Kunde	Alternative 2 Offline ohne Kunde	Alternative 3 Online mit Kunde	Alternative 4 Online ohne Kunde
T1 Energieverbrauch (Szenario 1)	kWh/a	1.618.599	1.397.454	1.352.539	1.267.016	1.267.016
T1 Energieverbrauch (Szenario 2)	kWh	8.092.995	7.871.850	7.294.815	7.038.246	6.335.080
T2 Innovationsrück- kopplung	niedrig/hoch	0	5	6	7	8

6.4.2.1.3 Markt

(Kunden-)Bindung

Wie in Kapitel 2 dargestellt, ist häufig noch ein OEM zwischen dem Pneumatikkomponentenhersteller und dem Endkunden, der die Komponenten verwendet, zwischengeschaltet. Durch den Kontakt über das Leckagemanagement kommt es zum erstmaligen beziehungsweise vermehrten Kontakt zwischen Kunde und Anbieter. Dadurch hat der Anbieter die Möglichkeit, den Kunden durch positive Leistungserbringung zu überzeugen und ihn an sich zu binden. Diese Kundenbindung stellt sich für den Anbieter positiv dar und nimmt mit der Länge der Vertragslaufzeit und der Regelmäßigkeit der Kundenbesuche zu. Was für den Anbieter solch positive Auswirkungen hat, kann vom Kunden jedoch eher mit Skepsis betrachtet werden, da dadurch auch seine Abhängigkeit vom Anbieter zunehmen kann (Baines et al. 2009b).

Da der Kunde im Referenzfall bereits Produkte des Anbieters im Einsatz hat, jedoch keine Dienstleistungen in Anspruch nimmt, wird dieser nicht mit 0 bewertet, sondern bekommt eine 1 zugeordnet. Auch Alternative 1 erhöht die Kundenbindung nicht besonders, da es eine einmalige Leistung ist, die für jede Wiederholung neu angefordert werden muss (2). Im Gegensatz dazu haben die Alternativen 2 und 3 eine längere Laufzeit von drei Jahren, jedoch besteht finanziell keine so große Abhängigkeit, da die Leckagesuchgeräte für mehrere Kunden eingesetzt werden können und im Fall von Alternative 3 die Sensoren vom Kunden gekauft werden. Beide Alternativen werden mit 6 bewertet. In Alternative 4 hingegen werden die Sensoren vom Anbieter finanziert, was die Kundenzufriedenheit und damit auch -bindung möglicherweise erhöht, jedoch durch eine noch längere Vertragslaufzeit von fünf Jahren auch die Abhängigkeit des Kunden. Damit ist diese Alternative als hoch (9) in Bezug auf die (Kunden-)Bindung einzustufen (Tabelle 6.9).

Aufkommen von Konkurrenzsituationen

Auch bei diesem Kriterium spielt die Tatsache eine Rolle, dass meist noch ein OEM zwischen Pneumatikkomponentenhersteller und Endkunde geschaltet ist. Dadurch

könnte der Hohheitsbereich des OEMs angegriffen werden, und es kommt zu einer Konkurrenzsituation mit einem Akteur, der bisher ausschließlich Kunde des Komponentenherstellers war (Gebauer et al. 2008; Helander, Möller 2008). Deshalb sollte der Anbieter darauf achten, dass es durch das zusätzliche Angebot von Dienstleistungen an den Endkunden nicht zum Verlust von Kunden im Produktgeschäft kommt.

Dies ist nach Einschätzungen der Experten für die Offline-Varianten nicht zu befürchten, so dass diese den Wert 0 für ein „nein“ zugeordnet bekommen, was auch für den Referenzfall gilt. Das Anbringen eines Condition-Monitoring-Systems könnte eventuell auch ein Angebot eines OEMs sein, folglich werden die Alternativen 3 und 4 mit „ja“ (1) gewertet (Tabelle 6.9).

Absicherung gegenüber Konkurrenz

Für Unternehmen ist es nicht leicht, sich lediglich mit Produkten von der Konkurrenz abzugrenzen (Gebauer, Fleisch 2007). Bei diesen spielen hauptsächlich die Aspekte Qualität oder Preis eine Rolle, da die Funktionalitäten und somit auch das Design vorgegeben sind. Ein differenziertes Dienstleistungsangebot kann jedoch dazu führen, dass das Unternehmen als Anbieter spezieller Dienstleistungen wahrgenommen wird und sich somit von der Konkurrenz abgrenzen kann.

Für den Referenzfall findet keine Absicherung gegenüber der Konkurrenz statt, da dieser lediglich das Produktgeschäft beinhaltet (0). Wird nur eine einmalige Leckagesuche durchgeführt, die auf Basis der entstehenden Kosten abgerechnet wird, ergeben sich auch keine besonderen Möglichkeiten zur Abgrenzung (1). Dies ändert sich mit den mehrjährigen Angeboten zu einem festen Preis. Für Alternative 2 wurden 4 Punkte vergeben, für die Variante mit Condition-Monitoring-System (Alternative 3) wurde die Absicherung aufgrund der niedrigeren durchschnittlichen Leckagen noch geringfügig höher eingeschätzt (5). Durch die Übernahme der Finanzierung durch den Anbieter und das Nutzenversprechen, das wirklich nur für die tatsächlich erzielten Einsparungen bezahlt wird, wird Alternative 4 mit dem Wert 8 eingestuft (Tabelle 6.9).

Tabelle 6.9: Kriterienausprägungen der Kategorie Markt (eigene Darstellung).

Kriterium	Skala	Alternative 0 Referenzfall	Alternative 1 Offline mit Kunde	Alternative 2 Offline ohne Kunde	Alternative 3 Online mit Kunde	Alternative 4 Online ohne Kunde
M1 (Kunden-)Bindung	niedrig/hoch	1	2	6	6	9
M2 Aufkommen von Konkurrenzsituationen	nein/ja	0	0	0	1	1
M3 Absicherung gegenüber Konkurrenz	niedrig/hoch	0	1	4	5	8

6.4.2.1.4 Risiken

Nachweisbarkeit des Nutzenversprechens

Das grundlegende Nutzenversprechen der vorgestellten Alternativen – außer dem Referenzfall – ist die Energieeinsparung. Allerdings variiert das Nutzenversprechen etwas in den Alternativen. So wird in Alternative 1 nur versprochen, dass durch die Maßnahme Energie eingespart werden könnte, während in Alternative 2 und 3 dem Kunden ein Mindestmaß an Einsparung zugesichert wird. In Alternative 4 ist die erzielte Energieeinsparung eine wichtige Größe für die Ermittlung des Preises, der pro eingesparter Kilowattstunde berechnet wird. Hierfür wurde nicht die bisherige 10-Punkte-Skala gewählt, sondern eine Prozentskala, die angibt, mit welcher Genauigkeit die Einsparungen erfasst werden können. Der Referenzfall bezieht sich auf das traditionelle Produktgeschäft, so dass sich das Nutzenversprechen hier auf qualitativ hochwertige Produkte beschränkt (Biege 2011). Somit wurden dieser Alternative 100 % zugeordnet.

Bei Alternative 1 hat der Anbieter keinen Einfluss darauf, ob und wann die Leckagen vom Kunden behoben werden. So kann nur das bestehende Potenzial ermittelt werden, jedoch wird vom Nutzenversprechen her auch keine genaue Angabe gefordert. Die Möglichkeit zur Ermittlung der Höhe der Energieeinsparung wurde hierfür auf 25 % geschätzt. Bei Alternative 2 hat der Anbieter selbst in der Hand, welche Leckagen behoben werden, so dass hier die Nachweisbarkeit mit 50 % höher ist. Jedoch ist auch hier kein Condition-Monitoring-System integriert, das den Verbrauch auch hinterher erfasst, so dass die Einsparungen nur auf Basis der ermittelten Leckagegrößen bestimmt werden können. Alternative 3 und 4 haben ein Condition-Monitoring-System in das Druckluftsystem integriert. Dadurch ist es möglich, die Einsparung besser nachweisen zu können, da der Luftverbrauch kontinuierlich ermittelt wird. Jedoch fällt es trotz des Condition-Monitorings schwer, exakt anzugeben, welche Einsparungen erzielt wurden, da die Produktionsbedingungen nicht immer exakt gleich sind. Werden beispielsweise auf einer Maschine andere Teile gefertigt, ändert sich auch der Luftverbrauch, wodurch die durch eine Leckagebehebung erzielten Einsparungen nicht exakt ermittelt werden können. Bei eigener Kontrolle des Condition-Monitoring-Systems in Alternative 4 fällt die Ermittlung der Einsparung etwas leichter. Deshalb wurde die Nachweisbarkeit für Alternative 3 mit 70 % eingestuft, die für Alternative 4 mit 75 %.

Konfliktpotenzial/Interessenkonflikte

Durch die Veränderung des Geschäftsmodells entstehen Konfliktpotenziale beziehungsweise Interessenkonflikte. Diese können zwischen Kunde und Anbieter oder auch innerbetrieblich auftreten. Als Beispiel hierfür kann zum einen genannt werden, dass gerade eine ergebnisorientierte Abrechnung mehr Konfliktpotenzial birgt als eine rein

produktorientierte, so dass es zu Streit bezüglich der erzielten Ergebnisse kommen könnte²⁰. Zum anderen kann es auch intern beispielsweise zwischen Serviceabteilung und Produktmanagement zu Konflikten kommen. Sind im PSS Produkte mit integriert, wird der damit erzielte Umsatz der Serviceabteilung zugerechnet, wohingegen sie sonst eventuell über das Produktgeschäft verkauft werden könnten und somit dessen Erfolg erhöht würde.

Für den Referenzfall und die Alternativen 1 und 2 ist das Konfliktpotenzial nach Meinung der Experten gering bis nicht vorhanden (Referenzfall: 0; Alternative 1: 1 und Alternative 2: 2). Dies ändert sich jedoch mit dem Einbau der Sensoren, da hier zusätzlich Auseinandersetzungen bezüglich der zur Verfügung gestellten Daten aufkommen können. So wird Alternative 3 ein mittleres Konfliktpotenzial mit 5 Punkten zugeordnet, während bei Alternative 4 die Daten vom Anbieter selbst abgelesen werden und somit die Kontrolle durch den Kunden geringer ausfällt und auch eine ergebnisorientierte Bezahlung stattfindet. Deshalb wird hier das Konfliktpotenzial mit dem Wert 8 noch deutlich höher eingestuft.

Risiko der Nichtdurchführbarkeit/Machbarkeit der Maßnahme

Neben dem allgemeinen Konfliktpotenzial soll zusätzlich explizit das Risiko der Nichtdurchführbarkeit der Maßnahmen betrachtet werden. Da für die Leckagebehebung das Druckluftsystem oder zumindest einzelne Maschinen stillstehen müssen, kann es sein, dass es bedingt durch den Kunden zu Verschiebungen der geplanten Maßnahmen kommt, da auf den entsprechenden Maschinen weiterhin produziert werden soll. Gerade bei ergebnisorientierten Geschäftsmodellen ergibt sich jedoch ein Risiko, wenn die Maßnahme nicht planmäßig durchgeführt werden kann.

Alternative 4 ist ein solches ergebnisorientiertes Geschäftsmodell, bei dem dieses Risiko anhand der qualitativen 10er-Skala den höchsten Wert 10 zugeordnet bekommt. Die beiden Alternativen 2 und 3 tragen auch ein gewisses Risiko in sich, jedoch wird hier nur ein Mindestmaß an Einsparungen angegeben, so dass eine Verschiebung der Maßnahme den Umsatz nicht direkt beeinflusst. Diese beiden Varianten werden mit 4 Punkten bewertet. Bei Alternative 1 ist das Risiko sehr gering (1), da der Kunde die Leckagebehebung selbst durchführt und kein explizites Ergebnis vereinbart wird. Der Referenzfall birgt keinerlei Risiko bezüglich der Durchführbarkeit der Maßnahmen und hat somit den Wert 0.

²⁰ Hier sei auch auf das Problem der Nachweisbarkeit des Nutzenversprechens verwiesen.

Möglichkeit der Vorkalkulation für den Kunden

Um den Erfolg eines Geschäftsmodells sicherstellen zu können, ist es wichtig, vorab schon berechnen zu können, welche Aus- und Einzahlungen durch die Erbringung der Dienstleistung auf die Akteure zukommen. Dies variiert durch die Ausgestaltung der Geschäftsmodelle und ist zudem von den Akteuren abhängig. Auch hier wird die Möglichkeit, das entsprechende Geschäftsmodell vorab zu kalkulieren, in einer 10er-Skala angegeben.

Damit der Kunde entscheiden kann, ob er in ein solches Projekt investieren möchte, sind für ihn zwei Größen wichtig. Diese sind zum einen der finanzielle Aufwand, der damit verbunden ist und zum anderen die Höhe der dadurch erzielbaren Einsparungen. Auch hierfür ist es wichtig, die Leckagerate im Druckluftsystem abschätzen zu können.

Für den Referenzfall entsteht kein zusätzlicher finanzieller Aufwand, da keine Maßnahmen durchgeführt werden, jedoch können auch die Leckagen schwer eingeschätzt werden und sich im Laufe der Zeit erhöhen, so dass die Möglichkeit im Voraus korrekt kalkulieren zu können mit 6 eingeschätzt wird. Die Vorhersagbarkeit der (bleibenden) Leckagen ändert sich für die unterschiedlichen Konfigurationen der PSS. Bei Alternative 1 sollten die Zahlungen für die Leckagesuche gut zu kalkulieren sein. Der Aufwand für die Leckagebehebung kann jedoch variieren und auch die verbleibenden Leckagen sind bei eigener Durchführung des Kunden nicht so sicher abzuschätzen wie bei Erledigung durch den Anbieter. Deshalb wird die Möglichkeit einer exakten Vorkalkulation auf den Wert 7 eingestuft. Die Alternativen 2 und 3 lassen sich gut planen, da der finanzielle Aufwand unabhängig vom Ergebnis ist. Es wird auch ein Mindestmaß an Einsparungen garantiert, so dass sich diese Konfigurationen auf jeden Fall für den Kunden rechnen sollten. Jedoch kann die Höhe nicht exakt vorhergesagt werden. Dies führt zur Festlegung der Vorkalkulation auf den Wert 8. Bei der vierten Konfiguration hängen die Zahlungsströme direkt von der Einsparung ab. Dadurch kann es hier zu leichten Schwierigkeiten bei der Kalkulation kommen. Jedoch sollte der Preis pro eingesparte Kilowattstunde geringer sein, als die dafür anfallenden Stromkosten, so dass der Kunde garantiert eine finanzielle Einsparung erzielt. Dies ermöglicht eine relativ präzise Vorhersage, so dass für diese Konfiguration der Wert 9 gewählt wurde.

Möglichkeit der Vorkalkulation für den Anbieter

Für den Anbieter ist es vor allem wichtig, abschätzen zu können, wie viele Leckagen im System vorhanden sind, um den Aufwand für die Leckagebehebung abschätzen zu können und damit die Geschäftsmodellrate, die den erzielten Umsatz ausmacht, zu bestimmen.

Beim Referenzfall und Alternative 1 ist dies nicht nötig, denn die Vorkalkulation ist zu 100 % möglich, und bekommt somit den Wert 10 zugewiesen. Der entstandene Aufwand entspricht exakt dem erzielten Umsatz inklusive der üblichen Gewinnmarge. Für die Alternativen 2 und 3 muss eine jährliche Rate bestimmt werden. Damit ist zwar der Umsatz exakt kalkulierbar, allerdings beruht der entsprechende Aufwand nur auf Vorabschätzungen, so dass die Möglichkeit zur Vorkalkulation für das Fallstudienunternehmen von den Experten auf ein mittleres Maß geschätzt wurde (5). Für ein nachhaltiges Geschäftsmodell sollte der Aufwand kleiner als der durch die jährlichen Raten erzielte Umsatz sein. Bei Alternative 4 sind weder der Umsatz noch der Aufwand planbar. Der Umsatz steigt mit der erzielten Einsparung, jedoch vergrößert sich dadurch normalerweise auch der entstehende Aufwand. Die Möglichkeit, diese Konfiguration vorab exakt zu kalkulieren, wird auf den Wert 2 eingestuft. Die Ausprägungen zu den Risiken sind in Tabelle 6.10 nochmals dargestellt.

Tabelle 6.10: Kriterienausprägungen der Kategorie Risiken (eigene Darstellung).

Kriterium	Skala	Alternative 0 Referenzfall	Alternative 1 Offline mit Kunde	Alternative 2 Offline ohne Kunde	Alternative 3 Online mit Kunde	Alternative 4 Online ohne Kunde
R1 Nachweisbarkeit des Nutzenversprechens	Prozent	100	25	50	70	75
R2 Konfliktpotenzial/ Interessenkonflikte	niedrig/hoch	0	1	2	5	10
R3 Risiko der Nichtdurchführbarkeit der Maßnahmen	niedrig/hoch	0	1	4	4	10
R4 Möglichkeit der Vorkalkulation für Kunde	schwierig/leicht	6	7	8	8	9
R5 Möglichkeit der Vorkalkulation für Anbieter	schwierig/leicht	10	10	5	5	2

Abbildung 6.6 bietet einen Gesamtüberblick über die Strukturierung der Bewertungskriterien. Diese Strukturierung ist in Abschnitt 6.4.2.3 bei der Durchführung der Kriteriengewichtung entscheidend.

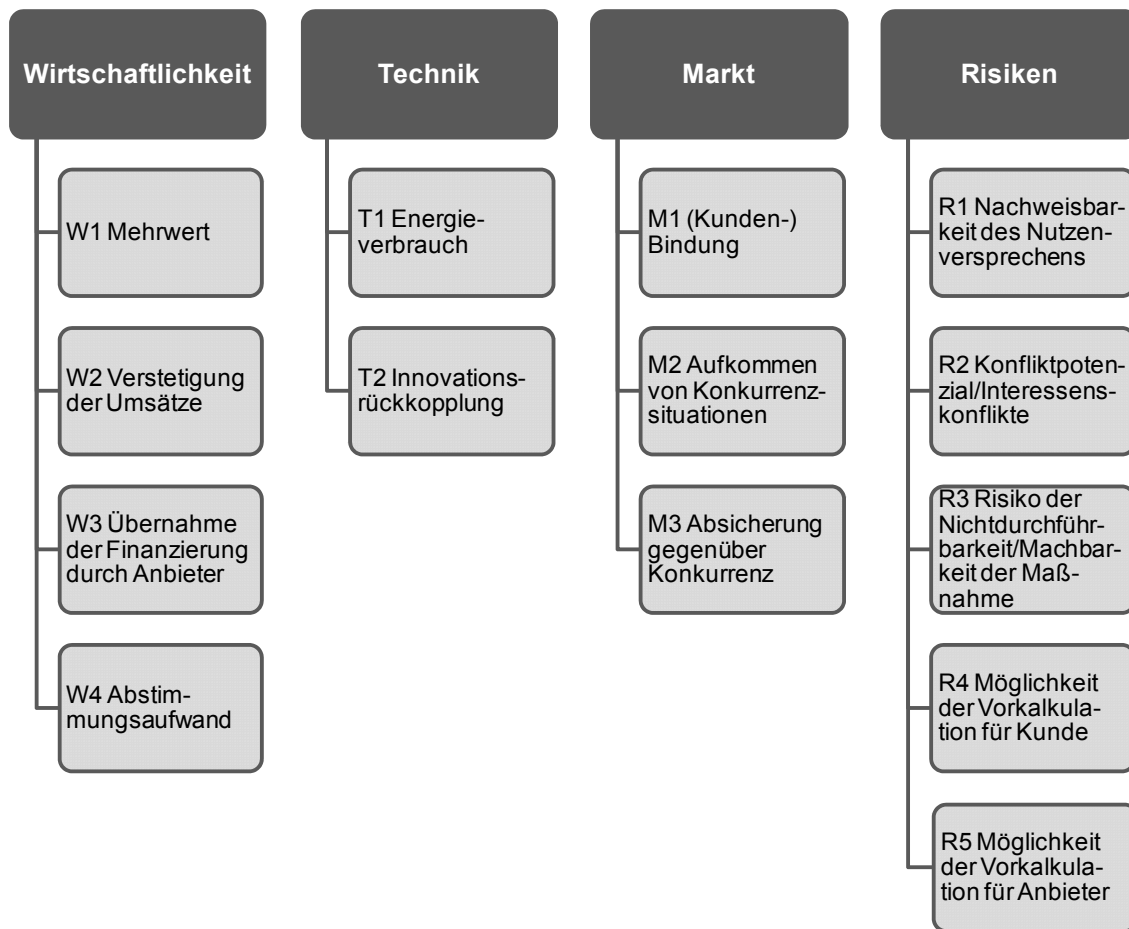


Abbildung 6.6: Überblick über die Bewertungskriterien (eigene Darstellung).

6.4.2.2 Wahl der Präferenzfunktion

Die Entscheidungsträger müssen sich pro Kriterium auf eine Präferenzfunktion einigen. Um diesen Auswahlprozess zu vereinfachen, wurde eine Standardpräferenzfunktion für qualitative und eine für quantitative Kriterien gewählt. Zusätzlich wurde für das einzige „ja/nein-Kriterium“ „Aufkommen von Konkurrenzsituationen“ das gewöhnliche Kriterium (Typ 1) gewählt (Tabelle 6.11).

Den quantitativen Kriterien „Mehrwert“, „Übernahme der Finanzierung durch den Anbieter“ und „Energieverbrauch“ wurde Typ 5 (mit linearer Präferenz und Indifferenzbereich) zugeordnet. Als Indifferenzschwellenwert wurde 5 % des jeweiligen Gesamtvolumens gewählt, eine strikte Präferenz liegt ab 10 % Differenz vor.

Die qualitativen Kriterien anhand der 10-Punkte-Skala sowie die prozentualen Skalen werden mittels Typ 3 bewertet, wobei das Maximum der Skala (10 Punkte beziehungs-

weise 100 %) den Schwellenwert für strikte Präferenz liefern, so dass nur bei der maximal möglichen Differenz eine solche vorliegt.

Tabelle 6.11: Präferenzfunktionen und Schwellenwerte (eigene Darstellung).

Kategorie	Kriterium	Skala	Präferenzfunktion			
			Typ ¹	q ²	p ³	σ ⁴
Wirtschaft	W1 Mehrwert (Szenario 1)	Euro/a	5	1.605	3.210	
	W1 Mehrwert (Szenario 2)	Euro	5	6.706	13.412	
	W2 Verstetigung der Umsätze	niedrig/hoch	3		10	
	W3 Übernahme Finanzierung durch Anbieter	Euro	3		15.872	
	W4 Abstimmungsaufwand	niedrig/hoch	3		10	
Technologie	T1 Energieverbrauch (Szenario 1)	kWh/a	5	80.930	161.860	
	T1 Energieverbrauch (Szenario 2)	kWh	5	404.650	809.300	
	T2 Innovationsrückkopplung	niedrig/hoch	3		10	
Markt	M1 (Kunden-)Bindung	niedrig/hoch	3		10	
	M2 Aufkommen von Konkurrenzsituationen	nein/ja	1			
	M3 Absicherung gegenüber Konkurrenz	niedrig/hoch	3		10	
Risiken	R1 Nachweisbarkeit des Nutzenversprechens	Prozent	3		100	
	R2 Konfliktpotenzial/ Interessenkonflikte	niedrig/hoch	3		10	
	R3 Risiko der Nichtdurchführbarkeit der Maßnahmen	niedrig/hoch	3		10	
	R4 Möglichkeit der Vorkalkulation für Kunde	schwierig/leicht	3		10	
	R5 Möglichkeit der Vorkalkulation für Anbieter	schwierig/leicht	3		10	
¹ Typ 1: Gewöhnliches Kriterium, Typ 2: Quasikriterium, Typ 3: Kriterium mit linearer Präferenz, Typ 4: Stufenkriterium, Typ 5: Kriterium mit linearer Präferenz und Indifferenzbereich, Typ 6: Gauß'sches Kriterium (Brans et al. 1986) ² q: Indifferenzschwellenwert ³ p: Präferenzschwellenwert ⁴ σ: Wendepunkt der Gauß'schen Normalverteilung						

6.4.2.3 Kriteriengewichtung aller Entscheidungsträger

Im anschließenden Gewichtungsverfahren gibt jeder Entscheidungsträger individuell an, wie wichtig welches Kriterium gemäß seinen Präferenzen im Entscheidungsprozess ist. Zusätzlich wird festgelegt, ob ein Kriterium minimiert oder maximiert werden

soll. Bei der Gewichtung im Workshop wurde die Kriterienstruktur wie in Abbildung 6.6 vorgelegt, so dass die Entscheidungsträger zuerst die übergeordneten Ebenen der verschiedenen Kategorien nach Bedeutung staffeln konnten und dann jeweils auf der unteren Ebene die Gewichtung vornehmen konnten. Je Kategorie sollte die Summe der Einzelgewichte 100 % ergeben, wäre dies nicht der Fall, würden sie entsprechend normiert. Zu beachten ist dabei, dass bei einer geringeren Anzahl der Kriterien auf der unteren Ebene die Relevanz im Vergleich zu Knoten mit mehr Kriterien zunimmt, so dass dies schon bei der Gewichtung der Oberpunkte berücksichtigt werden muss (Pöyhönen, Härmäläinen 2000). Letztendlich werden die Gewichtungen der unterschiedlichen Ebenen multipliziert.

Im Folgenden werden die wichtigsten Kriterien der einzelnen Entscheidungsträger diskutiert. Alle weiteren Gewichtungen und die detaillierten Werte können Tabelle 6.12 entnommen werden.

Mit Abstand das bedeutendste Kriterium für die Serviceabteilung ist mit 30 % der erzielbare Mehrwert des PSS. Als weitere relevante Kriterien folgen die Kundenbindung (15 %) und die Verstetigung der Umsätze (12,5 %). Auch die Möglichkeit der Vorkalkulation für das Fallstudienunternehmen aus der Kategorie der Risiken kann mit 10 % Gewichtung noch als relativ wichtig identifiziert werden. Die technischen Aspekte Energieverbrauch und Innovationsrückkopplung spielen für den Service keine Rolle. Dadurch wird klar, dass es zwar als wichtig erachtet wird, die Energieeffizienz des Kunden zu steigern, jedoch nur, wenn dadurch auch die eigene Profitabilität gesteigert werden kann, beispielsweise durch einen Mehrwert, der unter den Akteuren aufgeteilt werden kann, wie es auch bei der allgemeinen Zielsetzung von PSS (3.1) schon angeführt wurde.

Aus Sicht der Vertriebsabteilung sind hauptsächlich die Marktaspekte von Wichtigkeit. Eine hohe Kundenbindung (25 %) sowie die Absicherung gegenüber der Konkurrenz (20 %) sind die bedeutendsten Kriterien für den Vertrieb. Auch die Verstetigung der Umsätze wird als wichtig erachtet. Die technischen Aspekte und die Verringerung der Risiken werden jeweils in Summe nur mit 10 % gewichtet, so dass die Kategorien und damit auch die entsprechenden Kriterien nicht sonderlich ins Gewicht fallen.

Die Workshopteilnehmer, die die Kundenperspektive einnahmen, hielten – wie auch die Serviceabteilung – den Mehrwert mit 25 % für das wichtigste Kriterium. Auch die Übernahme einer Finanzierung durch den Anbieter (15 %) sowie ein geringer Abstimmungsaufwand (10 %) aus der Kategorie der Wirtschaftlichkeit sind weitere wesentliche Kriterien für den Kunden. Im Bereich der Risiken ist es dem Kunden wichtig, vorab den entstehenden Aufwand kalkulieren zu können (12 %) und die Einsparungen auch

tatsächlich nachgewiesen zu bekommen (9 %). Mit weiteren 10 % schlägt die Abhängigkeit vom Anbieter (= Kriterium „(Kunden-)Bindung“) zu Buche. Einige der aufgeführten Kriterien sind nur für das Anbieterunternehmen interessant. Eine Verstetigung der Umsätze des Anbieters ist für den Kunden nicht relevant, genauso wenig wie bei den Marktkriterien das Aufkommen von Konkurrenzsituationen und die Absicherung gegenüber der Konkurrenz seitens der Anbieter. Auch die Möglichkeit zur Vorkalkulation interessiert nur für das Kundenunternehmen selbst und nicht für das Anbieterunternehmen.

Letztlich gilt die Gewichtung des Kunden nur für den konkreten Anwendungsfall. Prinzipiell wäre es möglich, dass andere Kunden mit einem technisch ähnlichen System (Größe, Druckluftverbrauch, Leckagerate usw.) andere Schwerpunkte, beispielsweise eine hohe Unabhängigkeit (geringe Bindung), bei der Gewichtung setzen. Eine solche Veränderung der Schwerpunkte wird in der nachfolgenden Analyse ebenfalls in verschiedenen Gewichtungsszenarien berücksichtigt.

Die Ermittlung der Gruppengewichte erfolgt entsprechend der in Abschnitt 5.1.2 vorgestellten Weiterentwicklung. Die Ergebnisse für alle Kriterien sind in Tabelle 6.12 dargestellt.

Tabelle 6.12: Gewichtungen der Entscheidungsträger und der Gruppe (eigene Darstellung).

	Entscheidungsträger	Stimmanteil	Entscheidungsträger	Stimmanteil	Entscheidungsträger	Stimmanteil		
	Service	40%	Vertrieb	20%	Kunde	40%	Gruppe	
	Gewichtung:	Min/Max	Gewichtung:	Min/Max	Gewichtung:	Min/Max	Gewichtung:	Min/Max
W1 Mehrwert	30,0%	Max	6,0%	Max	25,0%	Max	27,10%	Max
W2 Verstetigung der Umsätze	12,5%	Max	12,0%	Max	0,0%	Max	8,64%	Max
W3 Übernahme Finanzierung durch Anbieter	5,0%	Min	3,0%	Min	15,0%	Max	3,97%	Max
W4 Abstimmungsaufwand	2,5%	Min	9,0%	Min	10,0%	Min	7,94%	Min
T1 Energieverbrauch	0,0%	Min	7,0%	Min	8,0%	Min	5,37%	Min
T2 Innovationsrückkopplung	0,0%	Max	3,0%	Max	2,0%	Min	0,23%	Min
M1 (Kunden-)Bindung	15,0%	Max	25,0%	Max	10,0%	Min	8,18%	Max
M2 Aufkommen von Konkurrenzsituationen	7,5%	Min	5,0%	Min	0,0%	Min	4,67%	Min
M3 Absicherung gegenüber Konkurrenz	7,5%	Max	20,0%	Max	0,0%	Max	8,18%	Max
R1 Nachweisbarkeit des Nutzenversprechens	6,0%	Max	3,0%	Max	9,0%	Max	7,71%	Max
R2 Konfliktpotenzial/ Interessenkonflikte	1,0%	Min	2,0%	Min	6,0%	Min	3,74%	Min
R3 Risiko der Nichtdurchführbarkeit der Maßnahmen	2,0%	Min	2,0%	Min	3,0%	Min	2,80%	Min
R4 Möglichkeit der Vorkalkulation für Kunde	1,0%	Max	1,0%	Max	12,0%	Max	6,31%	Max
R5 Möglichkeit der Vorkalkulation für Anbieter	10,0%	Max	2,0%	Max	0,0%	Max	5,14%	Max

Wie den Hervorhebungen in Tabelle 6.12 zu entnehmen ist, kommt es bei drei Kriterien zu Zielkonflikten hinsichtlich der Optimierungsrichtung der unterschiedlichen Entscheidungsträger. Die beiden Abteilungen des Fallstudienunternehmens sind sich jeweils einig, jedoch möchte der Kunde die Finanzierung durch den Anbieter nach Möglichkeit maximieren, während der Anbieter diese gerne minimieren möchte. Genau anders herum ist es bei den Kriterien der (Kunden-)Bindung, wo der Kunde seine Abhängigkeit gerne so gering wie möglich halten möchte, und der Innovationsrückkopplung, bei der der Kunde dem Anbieter keinen kompletten Einblick in seine Produktion geben möchte, um somit zu verhindern, dass auch Konkurrenzunternehmen ihren Wissensstand erreichen.

Entsprechend der in Abschnitt 5.1.2 eingeführten Methodik müssen für diese drei Kriterien Grenzwerte festgelegt werden, die für den entsprechenden Entscheidungsträger noch tragbar sind, d. h. für zu minimierende Kriterien eine maximale Grenze und umgekehrt. In diesem Fall haben sich die Entscheidungsträger bei den qualitativen Kriterien jeweils für den kompletten Bereich zwischen 0 und 10 ausgesprochen und auch bei der Finanzierung gibt der Kunde an, dass prinzipiell auch ein PSS ohne Finanzierung durch den Anbieter denkbar ist. Die Anbieter setzen ihr Limit bei 50 % des entsprechenden Projektvolumens, wobei für den einheitlichen Grenzwert das höchste Projektvolumen gewählt wurde, was einen Betrag von rund 67.000 Euro ergibt. Die vorab zu tätigenden Investitionen betragen maximal 62.670 €. So werden auch durch dieses Kriterium keine Alternativen ausgeschlossen.

Bei den einzelnen Gewichtungen ist zu erkennen, dass eine hohe Finanzierung durch den Anbieter und eine geringe Innovationsrückkopplung dem Kunden wichtiger sind als eine geringe Finanzierung und hohe Innovationsrückkopplung dem Anbieter. Deshalb wird bei diesen Kriterien die Optimierungsrichtung des Kunden beibehalten. Jedoch ist die Gewichtung für die Gruppe verglichen mit den Werten des Kunden relativ gering. Bei der Innovationsrückkopplung ist der Wert annähernd 0. Hier kommen die unterschiedlichen Stimmanteile der Entscheidungsträger zum Tragen. Zwar ist die Gewichtung des Vertriebs höher als die des Kunden, jedoch ist der Stimmanteil geringer, so dass die Kundengewichtung entsprechend mehr Einfluss hat. Auch die Finanzierung findet mit 4 % bei der Gruppengewichtung im Vergleich zu 15 % der Kundengewichtung keine allzu große Berücksichtigung. Dieser Wert ist jedoch etwas höher, da die Gewichtung der beiden Anbieterabteilungen mit 5 % und 3 % bereits relativ gering ausfiel. Bei der Kunden-Bindung konnten sich die Anbieter durchsetzen, so dass das Kriterium weiterhin maximiert wird. Mit 8 % ist dieses Kriterium auch in der Gruppe noch relativ hoch gewichtet, jedoch im Vergleich zu den Einzelgewichtungen der beiden Anbieterabteilungen deutlich reduziert.

Neben den unterschiedlichen Optimierungsrichtungen bietet auch ein deutlicher Unterschied in der Gewichtung Konfliktpotenzial für die Entscheidungsträger. So legt der Vertrieb im Vergleich zu den anderen Entscheidungsträgern bedeutend mehr Wert auf die Kundenbindung und die Absicherung gegenüber der Konkurrenz, im Gegenzug dazu hat der Mehrwert eine vergleichsweise geringe Bedeutung. Der Service bewertet den Abstimmungsaufwand im Vergleich zu den anderen Entscheidungsträgern, aber auch im Vergleich zu den anderen wirtschaftlichen Kriterien, sehr gering. An den Beispielen der Verstetigung der Umsätze oder auch der Möglichkeit zur Vorkalkulation für den Kunden zeigt sich, dass auch Kriterien, die für einen oder mehrere Entscheidungsträger bedeutungslos sind, letztendlich in der Gruppe geringer gewichtet werden und somit zu Konflikten beitragen können.

6.5 Ergebnisse

Mit Hilfe der ermittelten Daten kann eine Gruppenbewertung mittels der in Kapitel 5 weiterentwickelten PROMETHEE-Methodik durchgeführt werden. Diese Auswertung wurde mit Hilfe eines eigens entwickelten Excel-Tools durchgeführt (s. Abschnitt 5.3). In Abbildung 6.7 sind die relativen Stärken gegenüber den relativen Schwächen für die einzelnen Entscheidungsträger und die Gruppe als Ergebnis der Datenaggregation mit PROMETHEE aufgetragen. Die Alternativen sind umso besser, je weiter sie rechts oben angesiedelt sind, da dann die Stärken sehr ausgeprägt sind, während kaum Schwächen vorhanden sind.²¹ Die einzelnen Entscheidungsträger sind bei dieser Darstellungsform nicht zu unterscheiden, jedoch lässt sich anhand der Darstellung erkennen, ob die verschiedenen Alternativen durch die Entscheidungsträger ähnlich gewichtet wurden. Eine Erläuterung der Rangfolgen der einzelnen Entscheidungsträger folgt in der weiteren Ergebnisdarstellung noch explizit. Alternative 2 weist hier ein besonders gutes Ergebnis hinsichtlich der Eingangsflüsse (Φ^-) auf und auch hinsichtlich der Ausgangsflüsse (Φ^+) ist es zusammen mit Alternative 4 die beste Alternative. Eine weitere Alternative mit geringen Eingangsflüssen ist Alternative 3, die jedoch bei den Ausgangsflüssen schlechtere Ergebnisse zeigt als Alternative 2. In der gleichen Größenordnung der Ausgangsflüsse von Alternative 3 liegen die von Alternative 1 und dem Referenzfall. Alternative 1 hat hinsichtlich der Eingangsflüsse eine etwas größere Variation, so dass Alternative 4 auf der Horizontalen größtenteils zwischen den Punkten von Alternative 1 liegt, also ähnlich hohe Schwächen aufweist. Ein Punkt von Alternative 1 ist vom Eingangsfluss her auf gleichem Niveau wie Alternative 3 angesiedelt. Die Ausgangsflüsse von Alternative 4 sind jedoch für alle Entscheider höher als bei Alter-

²¹ Eine entsprechende Art der Darstellung für unterschiedliche Szenarien wurde auch von Oberschmidt (2010) und Terrados et al. (2009) gewählt.

native 1. Ein Punkt von Alternative 4 weicht bezüglich der Stärken relativ stark von den drei anderen ab, was sich bei einem Abgleich der Daten vor allem durch marktseitige Aspekte wie erhöhte Kundenbindung und Absicherung gegenüber der Konkurrenz entsprechend den Präferenzen des Vertriebs erklären lässt. Der Referenzfall weist für alle Entscheidungsträger größere Schwächen und weitestgehend auch geringere Stärken auf, wobei diese Alternative für den Kunden deutlich besser ist als für die anderen. Dies wird hauptsächlich durch die Wahrnehmung der Marktveränderungen bedingt.

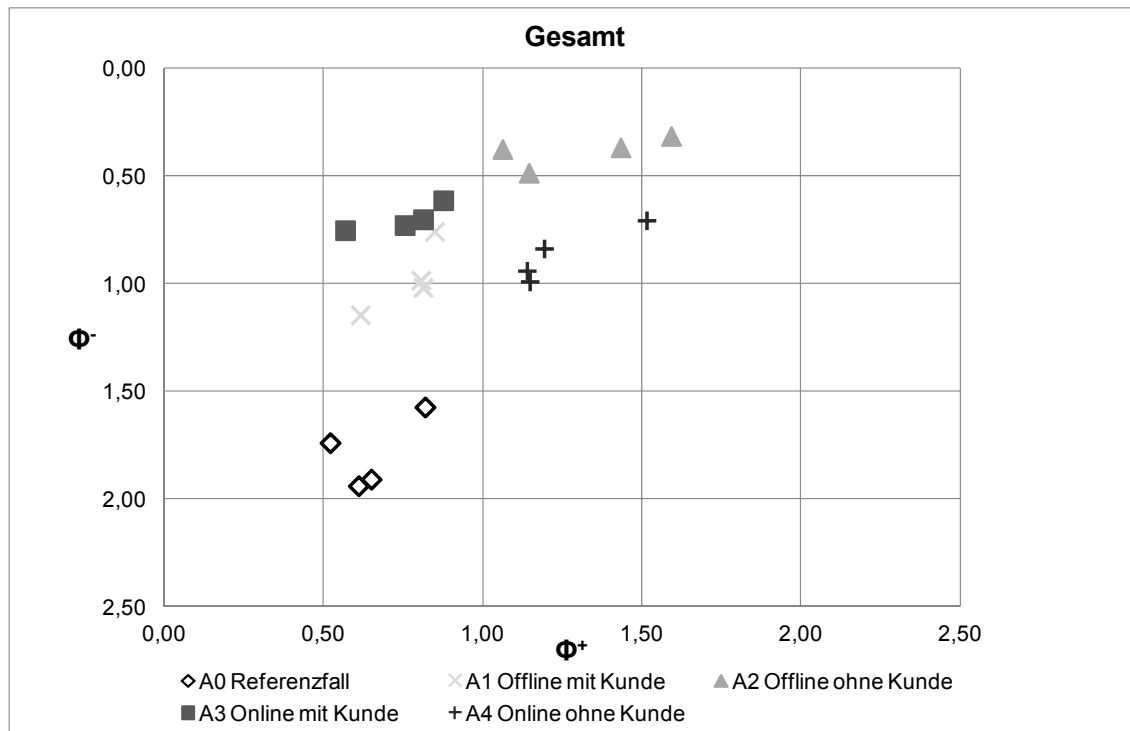


Abbildung 6.7: Relative Stärken und Schwächen der einzelnen Konfigurationen gemäß PROMETHEE I in Abhängigkeit der Entscheidungsträger (Szenario 1) (eigene Darstellung).

In Szenario 2, das sich durch eine nur einmalige Durchführung der Verträge kennzeichnet, ist vor allem die Höhe der Stärken von Alternative 4 auffällig (Abbildung 6.8). Zusätzlich sind auch die relativen Schwächen von Alternative 2 angestiegen, so dass die beiden Alternativen bezüglich dieser Größe in etwa auf dem gleichen Niveau sind. Ein Großteil der Bewertungen von Alternative 3 hat mehr Schwächen als in Szenario 1 und auch als die Alternativen ohne Kundenbeteiligung (Alternative 2 und Alternative 4). Auch bei den Stärken ist diese Alternative mit einer Ausnahme schwächer aufgestellt als die Alternativen 2 und 4. Der Referenzfall hat wieder eine Abweichung in die positive Richtung. Dazwischen ist ein Teil der Bewertungen der Offlinevariante mit Kundenbeteiligung angesiedelt, wobei beide Alternativen eine ähnliche Höhe der Stärken ha-

ben, jedoch die Schwächen von Alternative 1 bis auf die eine Ausnahme des Referenzfalls weniger ausgeprägt sind. Insgesamt lässt sich feststellen, dass die relativen Schwächen bei den Alternativen 1, 2 und 3 in Szenario 2 zunehmen, während die von Alternative 4 und dem Referenzfall gleich bleiben beziehungsweise für manche Entscheidungsträger leicht abnehmen. Bezüglich der Stärken hat vor allem Alternative 4 im Vergleich zu Szenario 1 dazugewonnen und auch bei Alternative 3 sind leichte Verbesserungen zu erkennen. Die restlichen Alternativen bleiben diesbezüglich auf ähnlichem Niveau.

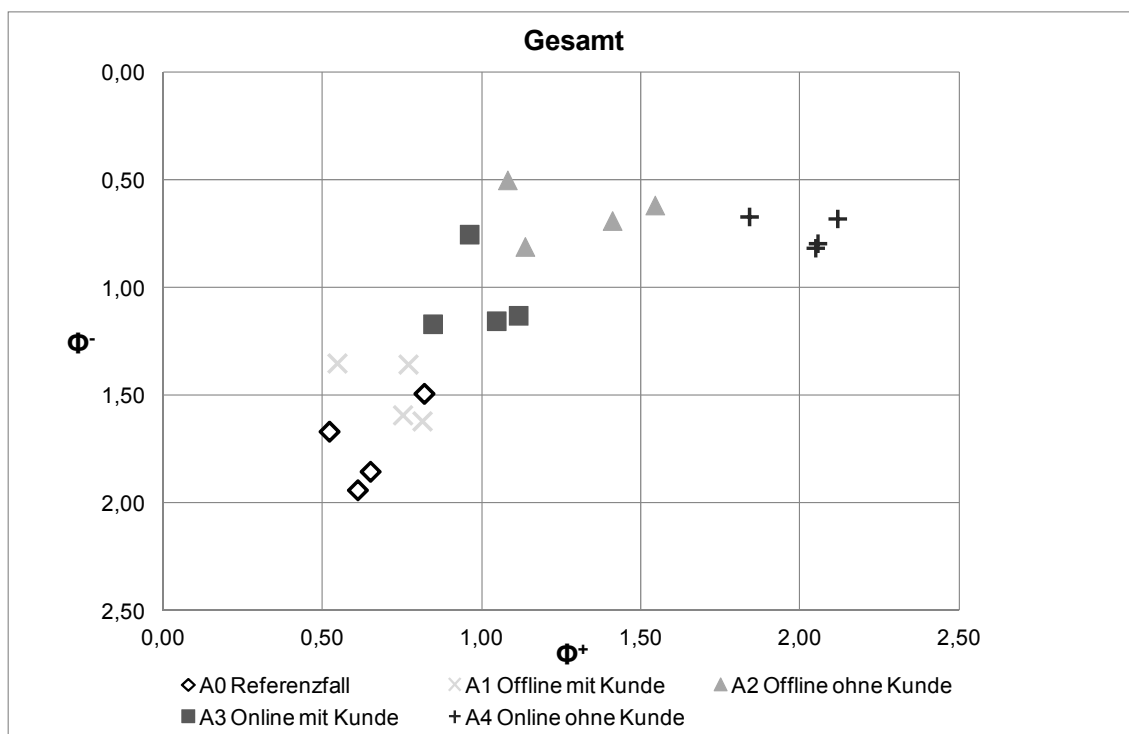


Abbildung 6.8: Relative Stärken und Schwächen der einzelnen Konfigurationen gemäß PROMETHEE I in Abhängigkeit der Entscheidungsträger (Szenario 2) (eigene Darstellung).

Bei einer Analyse der Ergebnisse nach den Kategorien wird deutlich, welche Treiber und Hemmnisse die Ergebnisse hauptsächlich beeinflussen. Dies unterscheidet sich für die einzelnen Entscheidungsträger abhängig von der Wichtigkeit, die sie den einzelnen Kriterien zukommen lassen (= Gewichtung). Die im Folgenden diskutierten Gruppenergebnisse sind grafisch in Abbildung 6.9 wiederzufinden. Die Ergebnisse der einzelnen Entscheidungsträger sowie die exakten Zahlenwerte der Gruppe werden in Tabelle 6.13 dargestellt.

So wird beispielsweise deutlich, dass für den Referenzfall die hauptsächliche Stärke die Vermeidung von Risiken ist. In diesem Fall ist auch die Höhe dieses positiven Bei-

trags mit Ausnahme des Vertriebs annähernd konstant. Beim Vertrieb leistet die Wirtschaftlichkeit den größten Beitrag zu den Stärken. Jedoch sind auch für den Vertrieb die Schwächen der Wirtschaftlichkeit des Referenzfalls den Stärken überlegen. Weit höhere, aber uneinheitliche Werte weisen die Schwächen des Referenzfalls bezüglich der Wirtschaftlichkeit bei den anderen Entscheidungsträgern und der Gruppe auf. Für den Kunden haben die Marktauswirkungen keinerlei negative Einflüsse auf diese Alternative, für die anderen Entscheidungsträger und die Gruppe überwiegen diese jedoch. Auch bezüglich der Technologie weist diese Alternative fast nur Schwächen auf. Die Risiken haben nur einen kleinen Beitrag zu den relativen Schwächen des Referenzfalls.

Bei Alternative 1 liefert die Wirtschaftlichkeit den größten Beitrag zu den Stärken. Mit Ausnahme des Vertriebs liegen alle in einer ähnlichen Größenordnung. Jedoch ist der negative Beitrag der Wirtschaftlichkeit für Service und Vertrieb sowie für die Gruppe größer als der positive. Die Technologie liefert für Vertrieb und Kunde einen relativ geringen Beitrag, sowohl zu den Stärken, als auch zu den Schwächen. Dabei überwiegt der Beitrag zu den Schwächen jeweils minimal. Abgesehen vom Kunden sind die Stärken aufgrund der Vermeidung der Risiken größer als die Schwächen, was bei der Gruppe zu sehr ausgeglichenen Werten führt. Die Beiträge der Marktbeeinflussung variieren zwischen den Entscheidungsträgern, wobei vor allem der Vertrieb große negative Einflüsse dieser Alternative für den Markt sieht, doch auch beim Service überwiegen die Schwächen gegenüber den Stärken.

Die Wirtschaftlichkeit stellt bei Alternative 2 den größten Anteil an den relativen Stärken, wobei der Vertrieb beim Markt den gleichen Anteil hat. Für die anderen Entscheidungsträger sind die Anteile des Marktes an den Stärken geringer bis sehr gering beim Kunden. Mit Ausnahme des Kunden sind die positiven Anteile für die Risiken und die Technologie noch geringer. Bei den Risiken überwiegen die Schwächen leicht, wobei die Stärken und Schwächen für den Kunden diesbezüglich ausgeglichen sind. Auch bei den Auswirkungen auf die Marktsituation für den Kunden dominieren die Schwächen gegenüber den Stärken, da der Kunde hauptsächlich eine höhere Abhängigkeit vom Anbieter zu erwarten hat. Für die sonstigen Entscheidungsträger überwiegen bei den Marktauswirkungen die positiven Aspekte die negativen. Auch bei der Wirtschaftlichkeit und Technologie setzt sich dies fort, so dass insgesamt für alle Entscheidungsträger ein positives Ergebnis ermittelt wird.

Auch bei Alternative 3 liefert die Wirtschaftlichkeit mit Ausnahme des Vertriebs den größten Beitrag zu den relativen Stärken. Der Vertrieb sieht vor allem die Marktauswirkungen sehr positiv, die jedoch gleichzeitig den größten Beitrag zu den Schwächen liefern. Bei der Vermeidung von Risiken sieht er eher geringe Stärken, jedoch sind

auch die Schwächen dabei weniger, so dass netto für alle Entscheidungsträger etwa das gleiche Niveau erreicht wird, wobei die Schwächen beim Service am meisten überwiegen. Die technologischen Auswirkungen sind vor allem bei den Stärken angesiedelt. Nur der Kunde sieht durch die Tatsache der Innovationsrückkopplung auch einen negativen Aspekt in diesem Bereich. Eine weitere Schwäche sind für ihn und den Service die Marktauswirkungen. In Summe sind die Stärken und Schwächen der Gruppe für diese Alternative ausgeglichen, so dass keine bestimmte Kategorie speziell für diese Alternative spricht.

Alternative 4 ist bezüglich der Technologie mit Alternative 3 vergleichbar und auch hier leistet die Wirtschaftlichkeit, mit Ausnahme des Vertriebs, den größten Beitrag für die Stärken. Der Vertrieb sieht wie bei Alternative 3 die meisten Stärken bei den Marktauswirkungen, die Schwächen bezüglich der Wirtschaftlichkeit überwiegen die Stärken sogar minimal. Auch der Service und das Gruppenergebnis sehen bei den Marktauswirkungen mehr Stärken als Schwächen. Einzig der Kunde sieht für diese Kategorie nur Schwächen wegen der hohen Abhängigkeit. Zumindest für den Kunden gibt es auch positive Aspekte hinsichtlich der Vermeidung von Risiken, jedoch sind die negativen Auswirkungen für alle Entscheidungsträger größer.

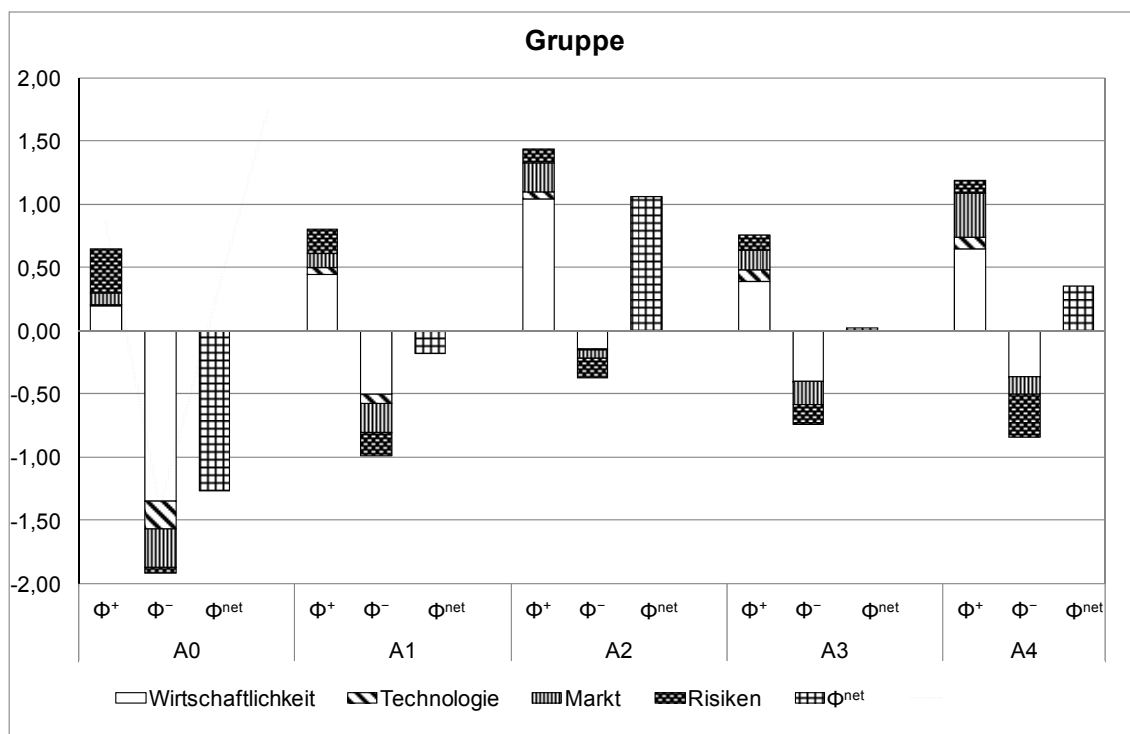


Abbildung 6.9: Anteile der Kategorien an den relativen Stärken und Schwächen (Szenario 1) (eigene Darstellung).

Bei einem Vergleich der verschiedenen Alternativen untereinander am Beispiel des Gruppenergebnisses wird ersichtlich, dass vor allem bei Alternative 2 die Wirtschaftlichkeit einen hohen Beitrag zu den Stärken leistet, wobei auch Alternative 4 noch ca. die Hälfte der positiven Ausgangsflüsse durch die Wirtschaftlichkeit erzielt. Bezüglich der Technologie sind hauptsächlich die Alternativen 3 und 4 positiv hervorzuheben und auch bei den Marktauswirkungen liefert Alternative 4 den höchsten Beitrag zu den Stärken. Am wenigsten Risiken werden durch den Referenzfall eingegangen, aber auch Alternative 1 liefert ein noch leicht positives Ergebnis. Neben den Stärken sind auch die Schwächen beachtenswert. Für die Wirtschaftlichkeit, die Technologie und den Markt sind diese beim Referenzfall am höchsten, am meisten Risiken werden durch Alternative 4 hervorgerufen.

Tabelle 6.13: Anteile der Kategorien an den relativen Stärken und Schwächen (Szenario 1) (eigene Darstellung).

		Service			Vertrieb			Kunde			Gruppe		
		Φ^+	Φ^-	Φ_{net}	Φ^+	Φ^-	Φ_{net}	Φ^+	Φ^-	Φ_{net}	Φ^+	Φ^-	Φ_{net}
A0	Wirtschaftlichkeit	0,12	-1,51		0,26	-0,54		0,25	-1,16		0,20	-1,34	
	Technologie	0,00	0,00		0,00	-0,36		0,05	-0,32		0,01	-0,21	
	Markt	0,15	-0,42		0,10	-0,84		0,19	0,00		0,09	-0,30	
	Risiken	0,34	-0,01		0,16	-0,01		0,33	-0,10		0,35	-0,05	
	Φ_{net}			-1,33			-1,22			-0,76			-1,26
A1	Wirtschaftlichkeit	0,42	-0,57		0,29	-0,32		0,47	-0,41		0,45	-0,50	
	Technologie	0,00	0,00		0,09	-0,10		0,09	-0,11		0,06	-0,07	
	Markt	0,17	-0,33		0,15	-0,66		0,15	-0,01		0,11	-0,24	
	Risiken	0,23	-0,12		0,10	-0,07		0,14	-0,23		0,19	-0,18	
	Φ_{net}			-0,21			-0,53			0,09			-0,18
A2	Wirtschaftlichkeit	1,19	-0,06		0,46	-0,12		0,89	-0,24		1,04	-0,14	
	Technologie	0,00	0,00		0,09	-0,02		0,09	-0,02		0,05	-0,01	
	Markt	0,34	-0,08		0,47	-0,18		0,03	-0,09		0,22	-0,07	
	Risiken	0,07	-0,18		0,05	-0,07		0,14	-0,14		0,11	-0,16	
	Φ_{net}			1,27			0,68			0,66			1,06
A3	Wirtschaftlichkeit	0,52	-0,27		0,26	-0,26		0,26	-0,51		0,39	-0,39	
	Technologie	0,00	0,00		0,15	0,00		0,14	-0,02		0,09	0,00	
	Markt	0,21	-0,29		0,43	-0,29		0,03	-0,09		0,16	-0,19	
	Risiken	0,09	-0,15		0,05	-0,07		0,14	-0,14		0,12	-0,15	
	Φ_{net}			0,11			0,26			-0,19			0,02
A4	Wirtschaftlichkeit	0,61	-0,44		0,36	-0,38		0,85	-0,40		0,65	-0,36	
	Technologie	0,00	0,00		0,16	0,00		0,13	-0,03		0,09	0,00	
	Markt	0,48	-0,23		0,97	-0,15		0,00	-0,21		0,35	-0,14	
	Risiken	0,06	-0,33		0,03	-0,18		0,16	-0,31		0,11	-0,34	
	Φ_{net}			0,16			0,81			0,20			0,35

Durch die Berücksichtigung der unterschiedlichen Vertragslaufzeiten unterscheidet sich Szenario 2 von Szenario 1 nur in zwei Kriterien, die der Wirtschaftlichkeit beziehungsweise der Technologie zugeordnet sind. Dadurch sind die absoluten Beiträge zu den

Stärken und Schwächen des Markts und der Risiken vom Szenario unabhängig. Die variable Laufzeit der Maßnahmen erhöht die Schwächen bezüglich der Wirtschaftlichkeit für die Alternativen 1 bis 3. Zusätzlich nehmen bei Alternative 2 die Stärken leicht ab. Einen positiven Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit mit einer Erhöhung der Stärken zeigt sich bei den Alternativen 3 und 4. Bei letzterer nehmen zusätzlich die Schwächen ab. Mit diesen Veränderungen löst die Online-Variante ohne Kunde (Alternative 4) die Offline-Variante ohne Kunden (Alternative 2) von der besten Position bezüglich der Wirtschaftlichkeit ab und hat mit dieser einen Kategorie mehr Stärken als die Summe der Stärken aller Kategorien der anderen Alternativen (Abbildung 6.10).

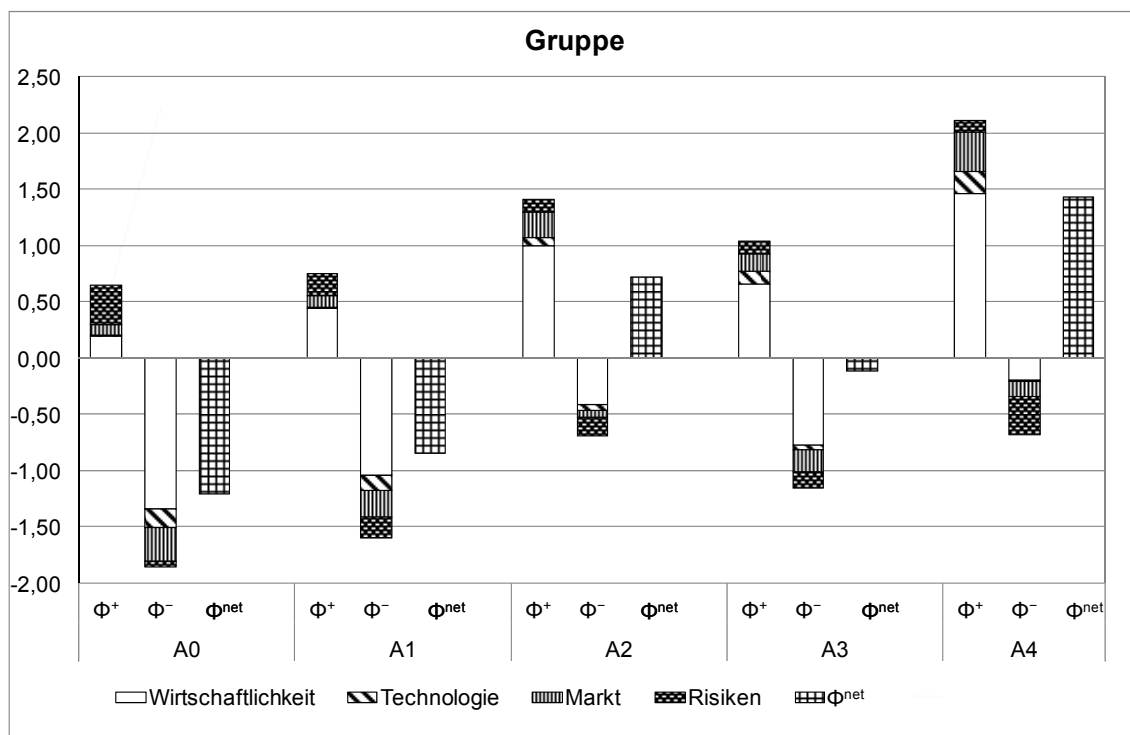


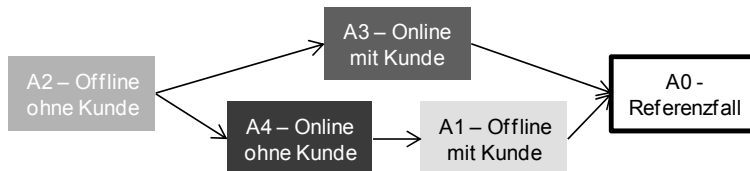
Abbildung 6.10: Anteile der Kategorien an den relativen Stärken und Schwächen (Szenario 2) (eigene Darstellung).

Im Hinblick auf die Technologie sind die beiden Online-Varianten nicht mehr gleichwertig, da durch eine kürzere Laufzeit von Alternative 3 der Energieverbrauch in Summe über den Betrachtungszeitraum höher ausfällt. Zusätzlich kommen die Schwächen der Technologie in Szenario 2 für die Alternativen 1 und 2 stärker zum Tragen als bei Szenario 1 (Abbildung 6.10).

6.5.1 Ranking

Aus Abbildung 6.9 und Abbildung 6.10 kann bereits eine Rangfolge abgelesen werden. Dabei bleibt anzumerken, dass PROMETHEE I die relativen Stärken (Φ^+) und relativen Schwächen (Φ^-) getrennt berücksichtigt, während PROMETHEE II die Bilanz aus Stärken und Schwächen zieht und somit vorhandene Schwächen mit anderen Stärken kompensiert werden können (Φ^{net}). Bei der grafischen Darstellung der Rangfolge werden die Alternativen entsprechend ihrer Eignung angeordnet. Die besten Alternativen sind links, die am wenigsten geeigneten rechts. Sind bei PROMETHEE I zwei Alternativen nicht durch einen Pfeil verbunden, sind diese unvergleichbar, d. h. die Stärken als auch die Schwächen überwiegen bei einer der beiden Alternativen. Es können auch mehrere Alternativen jeweils unvergleichbar sein. Für die Gruppenbewertung von Szenario 1 zeigt Abbildung 6.11 die Ergebnisse.

PROMETHEE I



PROMETHEE II

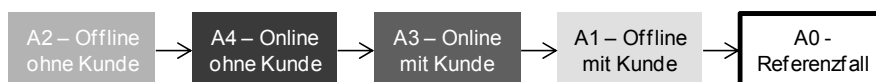


Abbildung 6.11: Ranking der Gruppe (Szenario 1) (eigene Darstellung).

Die Alternative 2 „Offline ohne Kunde“ wird unter gegebenen Umständen von keiner anderen Alternative dominiert und ist somit die beste Alternative, da die relativen Stärken am größten und die relativen Schwächen am geringsten sind.

Die Alternative 3 „Online mit Kunde“ lässt sich mit PROMETHEE I nicht von den Alternativen 4 und 1 („Online ohne Kunde“ und „Offline mit Kunde“) unterscheiden, da bei „Online mit Kunde“ sowohl die relativen Stärken als auch die relativen Schwächen niedriger sind als bei den anderen Alternativen. Betrachtet man den Nettowert von relativer Stärke und Schwäche (PROMETHEE II), ist jedoch die Alternative „Online mit Kunde“ auf Rang drei zwischen der Onlinevariante ohne Kunde (Rang 2) und Alternative 1 (Offline mit Kunde). Der Referenzfall wird von allen Alternativen dominiert und ist somit an letzter Stelle.

PROMETHEE I & II

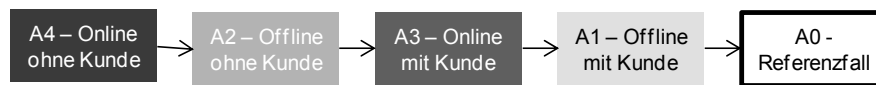


Abbildung 6.12: Ranking der Gruppe (Szenario 2) (eigene Darstellung).

Für die kürzeren Durchführungszeiträume bei Szenario 2 sind die Ränge bei der Ermittlung mittels PROMETHEE I in einer strikten Reihenfolge festgelegt und ergeben somit das gleiche Ergebnis wie mit PROMETHEE II (Abbildung 6.12). Der erste Rang wechselt zu Alternative 4. Damit ist die Maßnahme, die über den längsten Zeitraum durchgeführt wird, die vorteilhafteste. Dies ist dadurch bedingt, dass sie sowohl zum größten Mehrwert als auch zu den höchsten Energieeinsparungen führt. Die anderen Kriterienaussprägungen werden durch den veränderten Durchführungszeitraum nicht verändert. Die bei Szenario 1 bevorzugte Alternative 2 wurde hier auf den zweiten Rang verdrängt, gefolgt von der Onlinevariante mit Kunde. Der Referenzfall ist wieder auf dem letzten Rang angesiedelt, hinter der Alternative „Offline mit Kunde“ auf Rang vier, die nur eine einmalige Leckagebehebung beinhaltet und somit im Vergleich zum Referenzfall nur wenig mehr Stärken aufweisen kann.

Beim Vergleich der beiden Szenarien für PROMETHEE II tauschen nur die ersten beiden Ränge (Alternative 2 und Alternative 4) ihre Reihenfolge, was sich auch schon bei der Diskussion über die Einflüsse der unterschiedlichen Kategorien abgezeichnet hat. Die restlichen Alternativen bleiben für beide Szenarien in der gleichen Rangfolge. Die in Szenario 1 auftretenden Unvergleichbarkeiten bei PROMETHEE I werden mit den geänderten Kriterienaussprägungen in Szenario 2 aufgelöst.

Die Ergebnisse der einzelnen Entscheidungsträger im Vergleich zur Gruppe sind in den folgenden Abbildungen (Abbildung 6.13 und Abbildung 6.14) dargestellt. Die Ergebnisse für die Gruppe zeigen deutlich, dass sich zwar die Platzierungen der letzten drei Alternativen nicht geändert haben, jedoch haben sich die Abstände deutlich verschoben. Auch die Verschiebungen bei den einzelnen Entscheidungsträgern können hier beobachtet werden. Die (teilweise deutliche) Verschlechterung der Alternativen 1, 2 und 3 in Szenario 2 kommt durch die geringeren Energieeinsparungen und den dadurch geringeren Mehrwert wegen der kürzeren Maßnahmendurchführung zustande. Dadurch ist Alternative 4 im Vergleich zu den anderen Alternativen erkennbar besser.

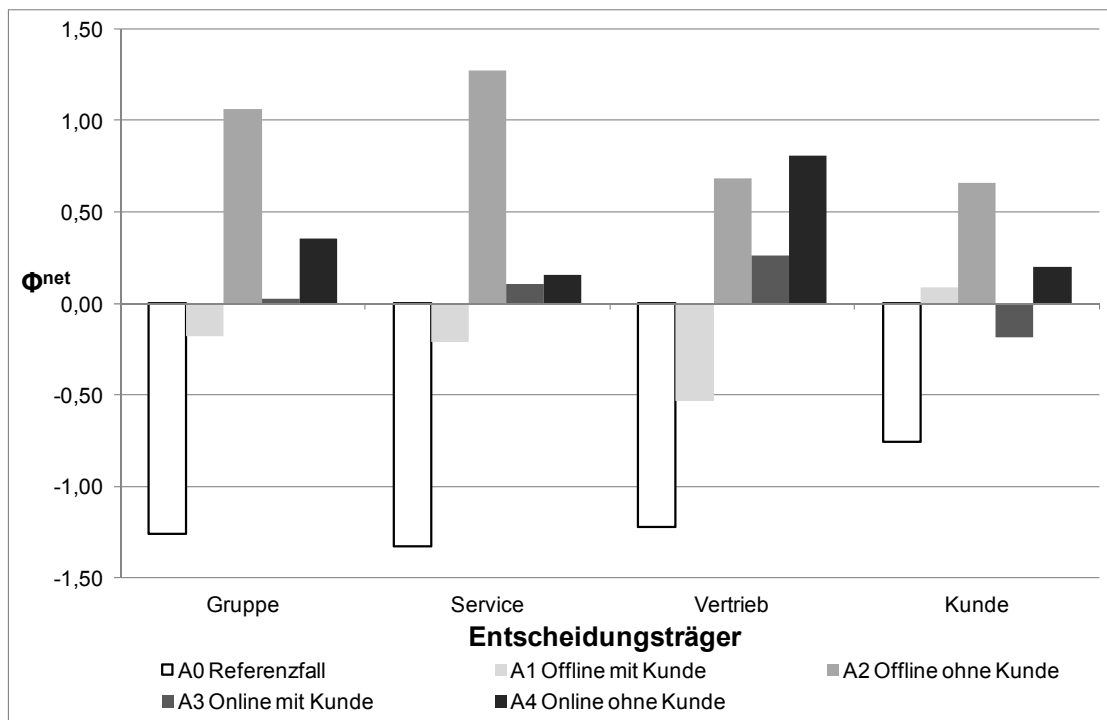


Abbildung 6.13: Rankingergebnisse für die Gruppe und einzelne Entscheidungsträger nach PROMETHEE II (Szenario 1) (eigene Darstellung).

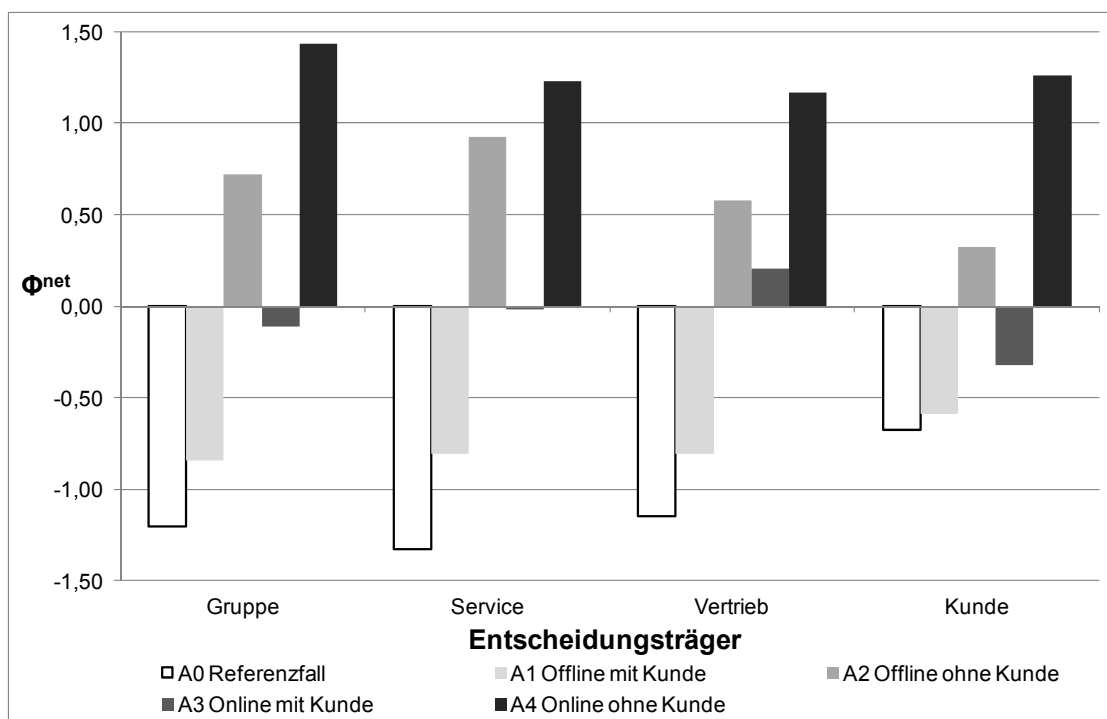


Abbildung 6.14: Rankingergebnisse für die Gruppe und einzelne Entscheidungsträger nach PROMETHEE II (Szenario 2) (eigene Darstellung).

Damit auch die Ergebnisse von PROMETHEE I beobachtet werden können, werden die Rankings der Entscheidungsträger im Einzelnen für beide Szenarien vorgestellt.

Beim Vergleich der Ergebnisse von PROMETHEE I ist für alle drei Entscheidungsträger die Alternative Offline ohne Kunde auch oder ausschließlich auf Rang 1 (Abbildung 6.15). Diese Alternative ist beim Vertrieb unvergleichbar mit der Alternative Online ohne Kunde. Dieses Ergebnis spiegelt sich dementsprechend bei dem Gruppenranking wider, wo Offline ohne Kunde auf Rang 1 ist. Jeder Entscheidungsträger hat nach PROMETHEE I insgesamt eine etwas andere Rangfolge als letztendlich das Gruppenergebnis, wobei die beiden Onlinevarianten bei jedem Entscheidungsträger unvergleichbar sind. Service und Vertrieb sind sich einig, dass die Offlinevariante ohne Kunde auf Rang 4 liegt, gefolgt vom Referenzfall. Beim Kunden ist Alternative 1 auf dem zweiten Rang, jedoch unvergleichbar mit den Alternativen 3 und 4 (die beiden Onlinevarianten). Den letzten Rang hat auch hier der Referenzfall. Somit sind sich die Entscheidungsträger auch bei der Platzierung des Referenzfalls einig, was mit der hintersten Platzierung dieser Alternative in der Gruppenentscheidung übereinstimmt. Daraus lässt sich schließen, dass jede Form des Leckagemanagements sinnvoller ist, als den ursprünglichen Zustand beizubehalten.

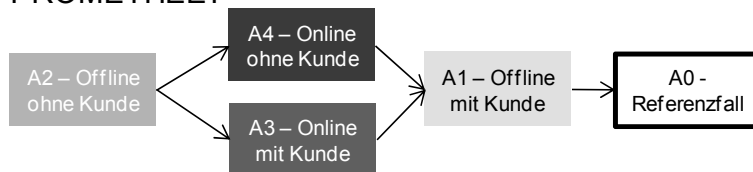
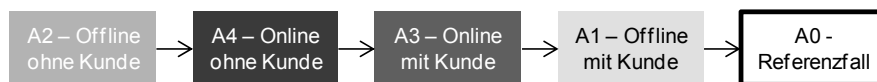
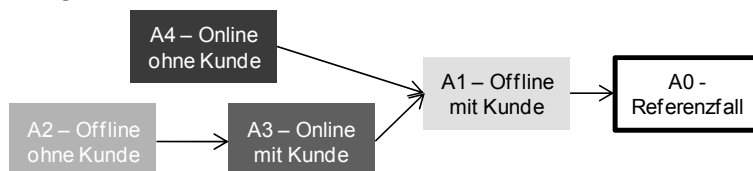
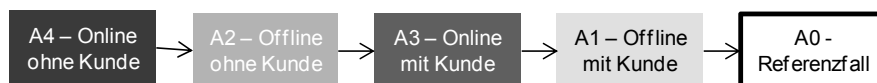
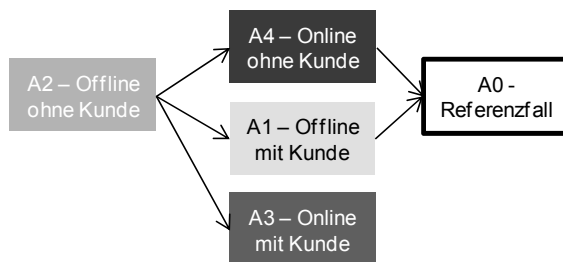
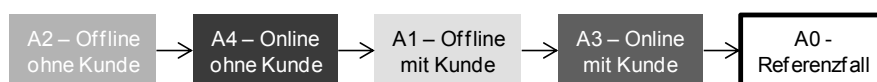
Service**PROMETHEE I****PROMETHEE II****Vertrieb****PROMETHEE I****PROMETHEE II****Kunde****PROMETHEE I****PROMETHEE II**

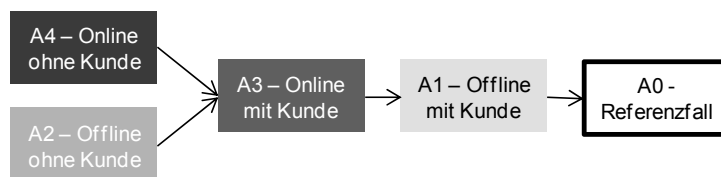
Abbildung 6.15: Rankings der einzelnen Entscheidungsträger (Szenario 1) (eigene Darstellung).

Die Betrachtung der Ergebnisse mittels PROMETHEE II zeigt, dass der Vertrieb die Variante Online ohne Kunde der Variante Offline ohne Kunde vorzieht. Dennoch ist das Ergebnis für die Gruppe auch hier das gleiche, die Offlinevariante wird bevorzugt. Im Sinne eines Gruppenkonsenses ist dies eine vernünftige Lösung, da die Variante beim

Vertrieb direkt auf Rang 2 folgt und der Abstand zwischen beiden Alternativen relativ gering ist. Insgesamt ist die Rangfolge der Serviceabteilung nach PROMETHEE II mit der der Gruppe identisch. Beim Vertrieb sind lediglich die ersten beiden Ränge vertauscht, worauf bereits hingewiesen wurde, und der Kunde hat bei Rang 3 und 4 eine andere Reihenfolge. Aufgrund der weitgehenden Einigkeit bei den Rangfolgen ist das Finden einer Kompromisslösung in diesem Beispiel unproblematisch.

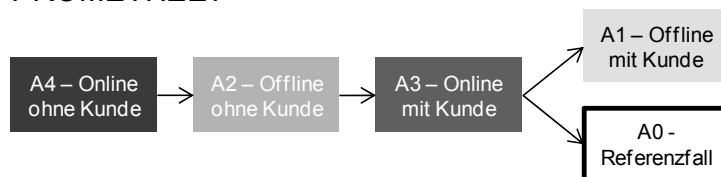
Service, Vertrieb

PROMETHEE I



Kunde

PROMETHEE I



Service, Vertrieb, Kunde

PROMETHEE II

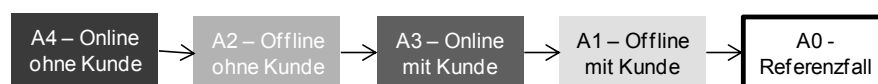


Abbildung 6.16: Rankings der einzelnen Entscheidungsträger (Szenario 2) (eigene Darstellung).

Durch die verschiedenen Vertragslaufzeiten in Szenario 2 kommen Service und Vertrieb zur gleichen Rangfolge. Dabei sind nach PROMETHEE I die auf den beiden ersten Rängen der Gruppe platzierten Alternativen unvergleichbar. Im Anschluss folgen die Variante „Online mit Kunde“ (Alternative 3) und die Offlinevariante mit Kundenbeteiligung (Alternative 1). An letzter Stelle ist bei diesen Entscheidungsträgern wie bei Szenario 1 der Referenzfall. Aus Kundensicht ist Alternative 4 eindeutig die beste Alternative, anschließend folgt die Offlinevariante ohne Kundenbeteiligung. Als dritte Alternative ist wie bei den anderen Entscheidungsträgern auch hier die Onlinevariante mit Kundenbeteiligung, während die beiden anderen Varianten nach Kundeneinschätzung unvergleichbar sind (Abbildung 6.16).

Gemäß PROMETHEE II ergibt sich für alle Entscheidungsträger die gleiche Rangfolge, die auch mit dem Gruppenergebnis übereinstimmt. So sind sich zumindest in kompensierter Darstellung alle drei Entscheidungsträger bei der besten Alternative einig, was die Bildung einer Kompromisslösung für das Gruppenergebnis einfach ermöglicht.

Durch die Variation der Gewichtung des Kunden kann dessen Schwerpunktlegung verändert werden. Neben der originalen Gewichtung, bei der die Wirtschaftlichkeit sehr bedeutend ist, wurden auch Gewichtungen mit Schwerpunkt auf den Energieverbrauch, die Unabhängigkeit beziehungsweise minimale Risiken analysiert (Tabelle 6.14).

Tabelle 6.14: Gewichtungsszenarien für den Kunden (eigene Darstellung).

	original (Schwerpunkt Wirtschaftlichkeit)	Schwerpunkt Energieeffizienz	Schwerpunkt minimale Risiken	Schwerpunkt Unabhängigkeit
W1 Mehrwert	25,0%	15,0%	15,0%	15,0%
W2 Verstetigung der Umsätze	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
W3 Übernahme Finanzierung durch Anbieter	15,0%	9,0%	9,0%	9,0%
W4 Abstimmungsaufwand	10,0%	6,0%	6,0%	6,0%
T1 Energieverbrauch	8,0%	26,0%	8,0%	8,0%
T2 Innovationsrückkopplung	2,0%	4,0%	2,0%	2,0%
M1 (Kunden-)Bindung	10,0%	10,0%	10,0%	30,0%
M2 Aufkommen von Konkurrenzsituationen	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
M3 Absicherung gegenüber Konkurrenz	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
R1 Nachweisbarkeit des Nutzenversprechens	9,0%	9,0%	15,0%	9,0%
R2 Konfliktpotenzial/ Interessenkonflikte	6,0%	6,0%	10,0%	6,0%
R3 Risiko der Nichtdurchführbarkeit der Maßnahmen	3,0%	3,0%	5,0%	3,0%
R4 Möglichkeit der Vorkalkulation für Kunde	12,0%	12,0%	20,0%	12,0%
R5 Möglichkeit der Vorkalkulation für Anbieter	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

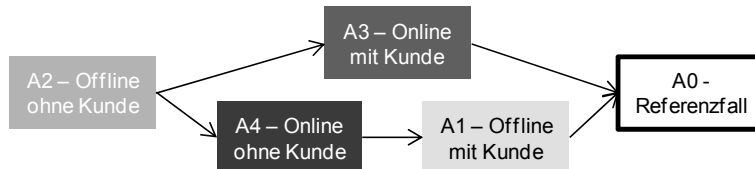
Die Rankings des Kunden verändern sich zwar in Abhängigkeit von der Gewichtung²², jedoch wirkt sich dies nicht bedeutend auf das Gruppenergebnis aus. Für Szenario 1 ändert sich lediglich Alternative 1. Sie wird beim Schwerpunkt Energieeffizienz von Alternative 3 präferiert. Diese beiden Alternativen sind somit nicht mehr unvergleichbar und beim Schwerpunkt auf Unabhängigkeit ist Alternative 1 nicht nur unvergleichbar zu Alternative 3, sondern auch zu Alternative 4 (Abbildung 6.17). Bei diesem Schwerpunkt ist Alternative 1 für den Kunden sogar die beste Alternative. Doch da die für die Gruppe präferierte Offline-Variante ohne Kundenbeteiligung hier an zweiter Stelle kommt, sollte

²² Für die detaillierten Rangfolgen des Kunden s. Anhang.

auch in diesem Fall die Kompromisslösung von allen Beteiligten akzeptiert werden. Die Gruppenergebnisse nach PROMETHEE II sind für alle Schwerpunkte gleich.

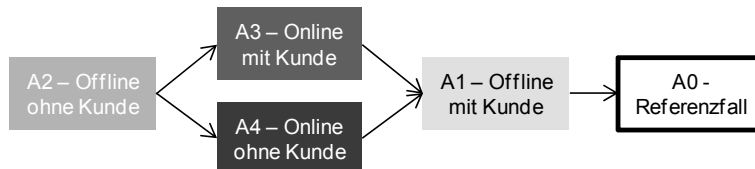
Original (Schwerpunkt Wirtschaftlichkeit) und minimale Risiken

PROMETHEE I



Schwerpunkt Energieeffizienz

PROMETHEE I



Schwerpunkt Unabhängigkeit

PROMETHEE I

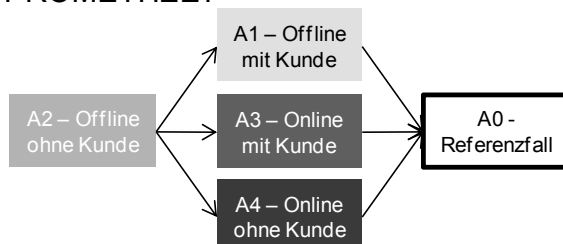
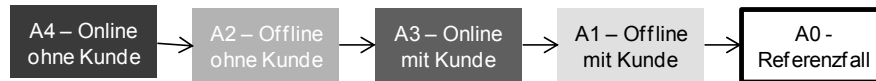


Abbildung 6.17: Gruppenergebnisse für unterschiedliche Schwerpunkte des Kunden (Szenario 1) (eigene Darstellung).

Auch bei Szenario 2 sind die Auswirkungen auf das Gruppenergebnis unbedeutend. Lediglich die Alternativen 2 und 4 sind für die beiden Schwerpunkte minimale Risiken und Unabhängigkeit unvergleichbar (Abbildung 6.18). Doch für die Ergebnisse nach PROMETHEE II wird Alternative 4 wieder gegenüber Alternative 2 präferiert, so dass auch in diesem Szenario alle vollständigen Präordnungen identisch sind. Auch wird die für die Gruppe präferierte Lösung bei allen Schwerpunktlegerungen vom Kunden ebenfalls als solche identifiziert, lediglich die nachfolgenden Ränge variieren.

Original (Schwerpunkt Wirtschaftlichkeit) und Energieeffizienz

PROMETHEE I



Schwerpunkt minimale Risiken und Unabhängigkeit

PROMETHEE I

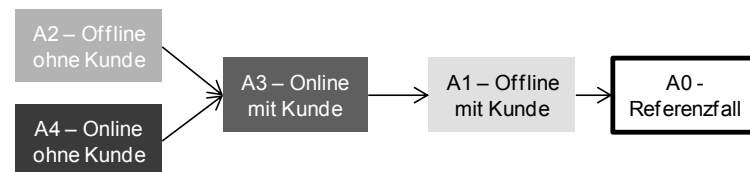


Abbildung 6.18: Gruppenergebnisse für unterschiedliche Schwerpunkte des Kunden (Szenario 2) (eigene Darstellung).

6.5.2 Sensitivitätsanalysen

Die oben gezeigten Ergebnisse haben ausschließlich für die angegebene Gewichtung Gültigkeit. Teilweise können kleine Änderungen der Gewichtung schon Einfluss auf das Ergebnis haben. In der folgenden Tabelle sind deshalb die Stabilitätsintervalle der Gruppengewichtung angegeben, in deren Bereich sich die Ergebnisse nicht ändern (Tabelle 6.15). Bei Kriterien, bei denen die Optimierungsrichtung der Entscheidungsträger nicht einheitlich ist, kann sich das Stabilitätsintervall über die Änderung der Optimierungsrichtung ausdehnen, dies wird mit einem negativen Vorzeichen für die entgegengesetzte Optimierungsrichtung des Kriteriums verdeutlicht (Abbildung 6.19).²³ Die Stabilitätsintervalle werden dadurch berechnet, dass die Gewichtung eines Kriteriums variiert wird, während das Verhältnis der restlichen Gewichtungen konstant bleibt (vgl. Abschnitt 5.2).

²³ Wenn das Kriterium aktuell maximiert wird, entspricht das negative Vorzeichen also der Minimierung und entsprechend anders herum.

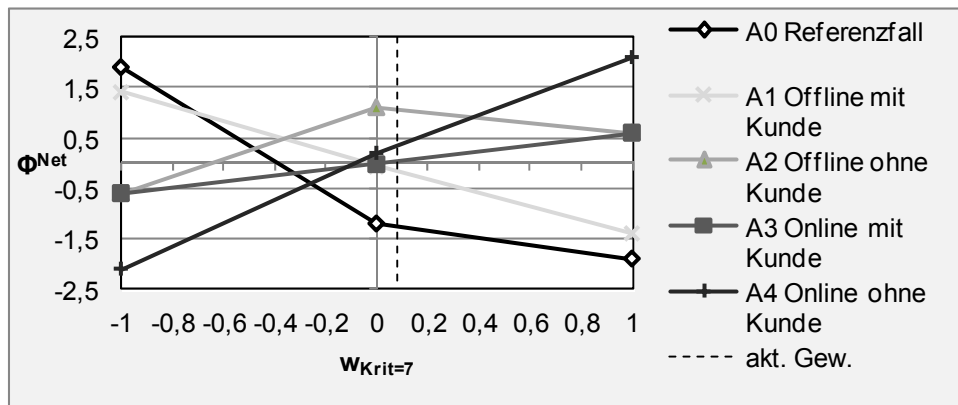


Abbildung 6.19: Sensitivitätsanalyse bei konfliktären Zielsetzungen am Beispiel der (Kunden-)Bindung (Szenario 1) (eigene Darstellung).

Tabelle 6.15: Sensitivitätsanalyse (Szenario 1) (eigene Darstellung).

	aktuelle Gewichtung	Min/Max	untere Stabilitäts-grenze	obere Stabilitäts-grenze	Stabilitäts-intervall	Abstand zur unteren Grenze	Abstand zur oberen Grenze
W1 Mehrwert	27,10%	Max	1,84%	100,00%	98,16%	25,27%	72,90%
W2 Verstetigung der Umsätze	8,64%	Max	1,97%	37,96%	36,00%	6,68%	29,32%
W3 Übernahme Finanzierung durch Anbieter	3,97%	Max	-2,63%	15,98%	18,61%	6,60%	12,01%
W4 Abstimmungsaufwand	7,94%	Min	0,00%	12,42%	12,42%	7,94%	4,48%
T1 Energieverbrauch	5,37%	Min	0,00%	50,36%	50,36%	5,37%	44,99%
T2 Innovationsrückkopplung	0,23%	Min	-41,46%	17,17%	58,62%	41,69%	16,93%
M1 (Kunden-)Bindung	8,18%	Max	-2,18%	37,64%	39,82%	10,35%	29,47%
M2 Aufkommen von Konkurrenzsituationen	4,67%	Min	0,00%	8,42%	8,42%	4,67%	3,74%
M3 Absicherung gegenüber Konkurrenz	8,18%	Max	0,00%	32,20%	32,20%	8,18%	24,03%
R1 Nachweisbarkeit des Nutzenversprechens	7,71%	Max	0,00%	28,35%	28,35%	7,71%	20,64%
R2 Konfliktpotenzial/ Interessenkonflikte	3,74%	Min	0,00%	12,66%	12,66%	3,74%	8,93%
R3 Risiko der Nichtdurchführbarkeit der Maßnahmen	2,80%	Min	0,00%	12,42%	12,42%	2,80%	9,62%
R4 Möglichkeit der Vorkalkulation für Kunde	6,31%	Max	0,00%	61,25%	61,25%	6,31%	54,94%
R5 Möglichkeit der Vorkalkulation für Anbieter	5,14%	Max	0,00%	12,31%	12,31%	5,14%	7,17%

Tabelle 6.15 gibt zusätzlich den Abstand der aktuellen Gewichtung zu den Grenzen des Stabilitätsintervalls an. Optisch hervorgehoben sind die Zellen mit einem Abstand von weniger als 4 %, die somit eine Sensitivität gegenüber der Gewichtung aufweisen. Für einen einzelnen Entscheidungsträger bedeutet dies bereits eine Änderung der Ge-

wichtung um ca. 10 % beziehungsweise 20 % (je nach Stimmanteil).²⁴ Ist die untere Grenze des Stabilitätsintervalls ,0‘ oder die obere Grenze ,100‘, kann das Ergebnis bei gleicher Optimierungsrichtung aller Entscheidungsträger durch Unter- oder Überschreiten der Grenze nicht geändert werden. Dadurch fallen die Kriterien „Konfliktpotenzial/Interessenkonflikte“ sowie „Risiko der Nichtdurchführbarkeit der Maßnahmen“ aus der Menge der instabilen Kriterien heraus. Lediglich das Aufkommen von Konkurrenzsituationen kann somit durch eine Erhöhung der Gewichtung um weniger als 4 Prozentpunkte die Rangfolge der Bewertung verändern. Jedoch tauschen dann die beiden Varianten mit Kundeneinbindung (Alternative 1 und Alternative 3), die in den ursprünglichen Ergebnissen auf Rang 3 und 4 sind, ihre Platzierungen, was für die eigentliche Entscheidung irrelevant ist, da die beste Alternative gefunden werden soll, die dem Kunden angeboten werden kann.

Tabelle 6.16: Sensitivitätsanalyse (Szenario 2) (eigene Darstellung).

	aktuelle Gewichtung	Min/Max	untere Stabilitäts-grenze	obere Stabilitäts-grenze	Stabilitäts-intervall	Abstand zur unteren Grenze	Abstand zur oberen Grenze
W1 Mehrwert	27,10%	Max	10,85%	100,00%	89,15%	16,25%	72,90%
W2 Verstetigung der Umsätze	8,64%	Max	0,00%	100,00%	100,00%	8,64%	91,36%
W3 Übernahme Finanzierung durch Anbieter	3,97%	Max	-9,84%	93,08%	102,92%	13,81%	89,11%
W4 Abstimmungsaufwand	7,94%	Min	0,00%	22,16%	22,16%	7,94%	14,21%
T1 Energieverbrauch	5,37%	Min	0,00%	51,73%	51,73%	5,37%	46,36%
T2 Innovationsrückkopplung	0,23%	Min	-62,42%	12,93%	75,35%	62,65%	12,70%
M1 (Kunden-)Bindung	8,18%	Max	-23,59%	100,00%	123,59%	31,76%	91,82%
M2 Aufkommen von Konkurrenzsituationen	4,67%	Min	0,00%	16,63%	16,63%	4,67%	11,96%
M3 Absicherung gegenüber Konkurrenz	8,18%	Max	0,00%	65,47%	65,47%	8,18%	57,29%
R1 Nachweisbarkeit des Nutzenversprechens	7,71%	Max	0,00%	15,89%	15,89%	7,71%	8,18%
R2 Konfliktpotenzial/ Interessenkonflikte	3,74%	Min	0,00%	18,37%	18,37%	3,74%	14,63%
R3 Risiko der Nichtdurchführbarkeit der Maßnahmen	2,80%	Min	0,00%	21,55%	21,55%	2,80%	18,75%
R4 Möglichkeit der Vorkalkulation für Kunde	6,31%	Max	0,00%	100,00%	100,00%	6,31%	93,69%
R5 Möglichkeit der Vorkalkulation für Anbieter	5,14%	Max	0,00%	26,59%	26,59%	5,14%	21,45%

Bei Szenario 2 ändern sich die Stabilitätsintervalle (Tabelle 6.16). Das „Aufkommen von Konkurrenzsituationen“ ist nun mit 12,0 % relativ stabil. Auch andere Intervalle ändern sich erheblich, jedoch ist kein Kriterium mehr in dem vorab definierten 4 %-

²⁴ Zu den Änderungen kann keine exakte Angabe gemacht werden, da Kriterien mit gegensätzlichen Zielsetzungen nicht additiv in die Gewichtung eingehen.

Intervall. So ist die ermittelte Rangfolge auch bei kleineren Änderungen der Gewichtung recht stabil.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Variation einer einzelnen Gewichtung für beide Szenarien keine bedeutenden Änderungen in der Rangfolge hervorbringt.

6.5.3 Diskussion

Wie die Ergebnisse zeigen, kann eine Änderung der Ausprägungen von nur zwei Kriterien zu einer Änderung der Rangfolge führen. Die Sensitivitätsanalysen lassen jedoch vermuten, dass die Rangfolge bei gleicher Kriterienausprägung dann relativ stabil ist. Jedoch testen die Sensitivitätsanalysen lediglich die Variation der Gewichtung eines einzigen Kriteriums, d. h. bei größeren Verschiebungen in der Gewichtung kann sich das Ergebnis dementsprechend ändern. Wie die Ergebnisse zeigen, liegt der Fokus der Entscheidungsträger weiterhin auf der Wirtschaftlichkeit und insbesondere auf dem Mehrwert, den eine solche Maßnahme erbringen kann. Trotz der Berücksichtigung der weiteren Kriterien zeigt sich hier, dass die Rangfolge nach PROMETHEE II bei der Gruppenentscheidung jeweils gleich der Rangfolge dieses einen Kriteriums ist. Jedoch weisen die Unvergleichbarkeiten bei PROMETHEE I darauf hin, dass neben den höheren Vorteilen, die eine bestimmte Alternative mit sich bringt, auch die Schwächen dieser Alternative höher sind als bei der schlechter platzierten.

6.6 Handlungsempfehlungen

In Anbetracht der geschilderten Ergebnisse sollte das Fallstudienunternehmen nicht zögern, Leckagemanagement aktiv bei seinen Kunden zu vermarkten. Bei Berücksichtigung der Gruppenergebnisse kann weiterhin festgestellt werden, dass ein Komplettangebot jeweils besser ist, als Angebote, bei denen Teile der Maßnahme der Kunde übernimmt. Jedoch sind für diese Aussage Einschränkungen zu machen: Zum einen wurde durch das definierte Cluster vorgegeben, dass das Kundenunternehmen sehr wenig Kompetenz auf dem Gebiet der Drucklufttechnik hat. Aus diesem Grund wurde für die Beseitigung der Leckagen seitens der Kunden auch angenommen, dass diese weniger effektiv abläuft und somit weiterhin mehr Energie verbraucht wird. Zum anderen ist die Gewichtung des Kunden bezüglich der Kundenbindung noch relativ niedrig ausgeprägt. Läge der Fokus des Kunden auf der Unabhängigkeit, spielten die Offline-Alternative mit Kundeneinbindung sowie der Referenzfall eine wichtigere Rolle.

Zusätzlich ist zu prüfen, ob die erhöhten Energieeinsparungen den Aufwand für die Sensoren rechtfertigen. Sobald die Verträge über den gesamten Betrachtungszeitraum verlängert werden, wie es bei Szenario 1 der Fall ist, hat die Offline-Variante einen

größeren Mehrwert, da über die erzielten Einsparungen zuerst die Investitionen refinanziert werden müssen. Dadurch amortisieren sich die Auszahlungen der Onlinevariante trotz höherer Einsparungen deutlich langsamer als bei der Offlinevariante. Da die Sensoren für die Onlinevariante jedoch eine längere Lebensdauer haben als der Betrachtungszeitraum, wäre zu prüfen, ob diese bei einer weiteren Vertragsverlängerung bis zum Ende der Lebensdauer letztendlich einen höheren Mehrwert erzielen würden als die Offline-Variante und, ob sich dadurch auch das Gesamtergebnis der multikriteriellen Bewertung ändert.

Durch Szenario 2 wird deutlich, dass vor allem eine kontinuierliche Überprüfung der Leckagen wichtig ist, wobei die Unterschiede in der Realität weniger gravierend ausfallen werden als in dieser Fallstudie, da die Leckagen nicht sofort wieder den Ursprungszustand erlangen, wenn kein Leckagemanagement mehr durchgeführt wird.

Neben der Höhe der erzielbaren Energieeinsparungen wartet die Onlinevariante ohne Kundenbeteiligung vor allem auch mit höheren Risiken, verglichen mit den anderen Alternativen, auf. Gerade die Vorkalkulation für den Anbieter und das eingegangene Risiko, wenn die Maßnahmen gar nicht oder nicht zeitnah durchgeführt werden können, weil die Anlagenbereiche nicht abgeschaltet werden sollen, aber auch das Konfliktpotenzial insgesamt sind für diese Variante bedeutend höher. Und auch wenn die Nachweisbarkeit des Nutzenversprechens vom Referenzfall abgesehen den höchsten Wert hat, ist es mit einer Genauigkeit von nur 75 % nicht ratsam, die Energieeinsparung als Abrechnungsgrundlage zu wählen. Eine genauere Angabe ist jedoch durch sich täglich ändernde Produktionsbedingungen nicht möglich, ohne durch den Erfassungsaufwand den erzielten Mehrwert zu verbrauchen. Aus diesen Gründen scheint es eher ratsam, die Offlinevariante ohne Kundenbeteiligung anzubieten und durch die gewonnenen Erkenntnisse die Ausgestaltung bei Bedarf noch etwas anzupassen, beispielsweise bezüglich der Vertragslaufzeit.

Diese Arbeit gibt Empfehlungen für eine Industrieanlage mit einer bestimmten Ausgestaltung wieder. Die erzielten Ergebnisse der Bewertung können auf weitere Kundenunternehmen dieser Kundengruppe mit ähnlich aufgebautem Druckluftsystem prinzipiell übertragen werden. Für Kunden mit abweichender Systemgröße beziehungsweise Leckagerate ist eine neue Bewertung durchzuführen, um die Werte der quantitativen Kriterien und die Kriteriengewichtung entsprechend anzupassen. Es kann jedoch angenommen werden, dass für ähnliche Anlagen mit niedrigerer Leckagerate die Empfehlung auch in Richtung Offline-Lösung geht. Sollte die Leckagerate höher sein als in diesem Fallbeispiel, kann erneut geprüft werden, ob in solch einem Fall eine Onlinelösung sinnvoller wäre. Jedoch ändert sich bezüglich der Risiken nichts, so dass even-

tuell auch die Online-Lösung mit Kundenbeteiligung in Betracht gezogen werden könnte.

Außerdem wurde in dem Fallbeispiel von einem (strategisch) sehr wichtigen Kunden ausgegangen. Ist der Kunde von geringerer Bedeutung, kann dies auch Einfluss auf die Gewichtung der Entscheidungsträger auf Anbieterseite haben. Dadurch gewinnt eventuell die Minimierung der Risiken an Bedeutung, dafür ist die Kundenbindung weniger wichtig.

Für die Übertragbarkeit auf weitere potenzielle Anbieter sind zwei Fälle zu unterscheiden. Handelt es sich um einen OEM oder Pneumatikkomponentenhersteller, wären die Kriterienausprägungen vergleichbar zu den ermittelten, so dass bei ähnlichen Ansichten über die Wichtigkeit der Kriterien auch die Ergebnisse übertragbar wären. Möchte jedoch ein unabhängiger Dienstleister ein solches Angebot unterbreiten, würden sich zumindest die Ausprägung beziehungsweise auch die Relevanz der Kriterien „Innovationsrückkopplung“ und „Aufkommen von Konkurrenzsituationen“ ändern, so dass auch bei sonst gleichen Gewichtungen eine Übertragbarkeit der Ergebnisse schwer fällt.

Zusammenfassend lässt sich bei kontinuierlicher Dienstleistungserbringung ein Trend hin zu einem Gesamtangebot des Anbieters ohne Kundenbeteiligung erkennen.

7 Kritische Würdigung und Ausblick

Druckluftsysteme bieten, wie in Abschnitt 2.5 beschrieben, große Energieeinsparpotenziale. Da eine Steigerung der Energieeffizienz nicht nur die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen erhöht, sondern auch die Emission von schädlichen Treibhausgasen reduziert, wurde in der EU-Richtlinie über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen eine Reduzierung des Endenergieverbrauchs von 9 % bis 2016 als Ziel festgelegt (EU Richtlinie 2006/32/EG 2006). Eine Möglichkeit, diese Einsparpotenziale trotz der in Abschnitt 2.6 diskutierten Hemmnisse zu heben, ist das Angebot von PSS. Durch die Generierung von Win-win-Situationen können sowohl Kunde als auch Anbieter von solchen Angeboten profitieren. Auch die Attraktivität der eingesetzten Technologie kann durch einen geringeren Energieverbrauch im Vergleich zu möglichen Alternativtechnologien steigen. Verfolgen PSS das Ziel der Energieeinsparung, wird auch von Energiedienstleistungen gesprochen. Welche Anforderungen von solchen Energiedienstleistungen erfüllt werden sollen, ist in der DIN EN 15900 2010 geregelt. Dazu gehört u. a. eine Analyse zum aktuellen Stand der Energieeffizienz und nach der Durchführung der Maßnahmen eine Verifizierung der Ergebnisse, die beispielsweise auch auf vereinbarten Schätzmethode basieren kann.

Damit ein Unternehmen entscheiden kann, welche möglichen PSS es unter strategischen Gesichtspunkten anbieten möchte, wurde ein Entwicklungskonzept erarbeitet. Es berücksichtigt die aktuelle Kundensituation, von der ausgehend die drei Dimensionen der Geschäftsmodelle für verschiedene Konfigurationen bestimmt werden. Unter Einbeziehung strategischer Aspekte wird aus den möglichen Konfigurationen eine Vorauswahl getroffen. Dieses Konzept hat sich in der durchgeführten Fallstudie bewährt, in der verschiedene Konfigurationen für ein (kontinuierliches) Leckagemanagement entwickelt wurden. Das Konzept selbst, das angibt, in welcher Reihenfolge welche Informationen benötigt werden, ist auch auf andere Branchen übertragbar. Jedoch sind die für diesen Entwicklungsprozess durchzuführenden Workshops an die branchenspezifischen Fragestellungen angepasst werden, so dass kein allgemeingültiges Workshopdesign zur Verfügung steht, sondern stets von Neuem Know-how und Zeit für die Vorbereitung erforderlich sind.

Mit der Auswahl an verschiedenen PSS-Konfigurationen stellt sich die Frage, welche für einen spezifischen Kunden die beste Lösung ist. Diese taktische Fragestellung wird durch mehrere Einflussgrößen bestimmt. Neben der möglichen Energieeinsparung zählen auch die Wirtschaftlichkeit, das Aufkommen von zusätzlichen Risiken sowie Auswirkungen auf die Marktsituation dazu. Um die diskreten Alternativen auf Basis unterschiedlicher Zielsetzungen zu bewerten, bieten sich die Multi-Attribut-Methoden an. Da eine solche Entscheidung nicht alleine gefällt wird, sondern mindestens Kunde

und Anbieter und eventuell dort auch noch verschiedene Abteilungen beteiligt sind, muss die gewählte Methode auch für Gruppenentscheidungen geeignet sein. Schwachstelle der existierenden Ansätze für Gruppenentscheidungen der Multi-Attribut-Methoden ist die fehlende Auseinandersetzung mit Zielkonflikten der Entscheidungsträger.

Aus diesem Grund wurde für die vorliegende Fragestellung ein neuer Gruppenbewertungsansatz entwickelt, der die Möglichkeit bietet, PSS aus der Perspektive unterschiedlicher Entscheidungsträger zu evaluieren und dabei den Einfluss konfliktärer Kriterien auf die Gesamtbewertung klar erkennen lässt. Nachteilig wirkt sich jedoch aus, dass sich alle Entscheidungsträger auf jeweils eine Präferenzfunktion für jedes Kriterium sowie bei qualitativen Kriterien zusätzlich auf deren Ausprägungen einigen müssen. Eine Erweiterung, die auch unterschiedliche Präferenzfunktionen zulässt, wäre denkbar. Auch lässt sich durch die offene Darstellung, wie die Einzelgewichtung die Gruppengewichtung (gerade bei konfliktären Kriterien) beeinflusst, ein strategisches Handeln und Taktieren nicht vollständig ausschließen. In solchen Fällen wäre eine Verknüpfung mit spieltheoretischen Modellen eine Option.

Der vorgestellte Bewertungsansatz beruht auf der ursprünglichen Version von PROMETHEE. Nachdem sich die Anwendbarkeit dieses Ansatzes in der vorliegenden Arbeit bestätigt hat, können bereits bestehende Erweiterungen für PROMETHEE für Einzelentscheider wie die Integration von Fuzzy-Logik (Geldermann 1999) oder das 2-Tupel-Verfahren (Halouani et al. 2009; Herrera, Martinez 2000) auch in diesen Gruppenentscheidungsprozess integriert werden. Zusätzlich ist es auch möglich, dass für einige Kriterien keine maximale oder minimale Ausprägung gewünscht ist, sondern ein bestimmter Zielkorridor. Auch dafür besteht schon ein Verfahren für Einzelentscheider (Geldermann 1999), das im Bedarfsfall für die Gruppenentscheidungen angepasst werden könnte. Jedoch sollten dabei die Anwender nicht außer acht gelassen werden. Ist ihnen die Methode bekannt, können die Erweiterungen leicht berücksichtigt werden. Verwenden sie die Methode jedoch zum ersten Mal, können sie durch einige Erweiterungen leicht überfordert sein, wodurch der Vorteil der Transparenz dieser Methode verloren geht.

Um diese Methode wiederholt ohne weiteren Rechenaufwand einsetzen zu können, wurde ein Excel-Tool entwickelt, das allgemein aufgebaut ist, so dass es für unterschiedlichste Fragestellungen der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung eingesetzt werden kann. Jedoch ist in diesem Tool kein Gewichtungsverfahren integriert, da in der angewendeten Fallstudie mit dem Direct Rating-Verfahren gewichtet wurde. Für andere Anwendungen können jedoch andere, strukturierte Gewichtungsverfahren vorteilhaft sein, so dass sich für weitere Entwicklungen eine Verknüpfung mit dem Instru-

ment „Web-HIPRE“ anbietet, das mehrere solche Gewichtungsverfahren hinterlegt hat (Mustajoki, Hämäläinen 2000).

Für die Anwendung des Tools in der Fallstudie wurden verschiedene Varianten eines (kontinuierlichen) Leckagemanagements für ein beispielhaftes Kundenunternehmen bewertet. Dabei wurden zwei verschiedene Szenarien betrachtet, die sich in der Laufzeit der Alternativen unterscheiden. Für die Ermittlung der quantitativen Daten „Mehrwert“ und „Energieverbrauch“ wurde ein existierendes Abschätzungstool eingesetzt (Hirzel et al. 2010), das mit Hilfe einer Vielzahl hinterlegter Standardkomponenten und/oder der direkten Eingabe einzelner Komponenten ein gesamtes Druckluftsystem abbilden kann. In einer bottom-up-Berechnung wird der Energieverbrauch des Systems ermittelt, so dass nicht nur die direkten Einsparungen einer Maßnahme bestimmt werden können, sondern auch durch die Maßnahmen an anderer Stelle auftretende Verbesserungen berücksichtigt werden. Anhand dieser Ergebnisse zum Energieverbrauch, sowie den (bei den Standardkomponenten bereits hinterlegten) Daten zu Investitionen, Inbetriebnahme, Wartungsbedarf und Lebensdauer, können die Annuitäten für das bestehende System berechnet werden. Unter Berücksichtigung der durch die PSS-Konfigurationen zusätzlich nötigen Auszahlungen und den dadurch erreichten Einsparungen wurde die Differenz als Mehrwert ermittelt. Die weiteren Kriterienausprägungen wurden auf Basis von Experteneinschätzungen festgelegt.

Wie die Ergebnisse zeigen, ist keine generelle Aussage möglich, welche Form des Leckagemanagements am vorteilhaftesten ist. So können variierende Laufzeiten der einzelnen Alternativen, die in den Szenarien abgebildet werden, zu Unterschieden in der Rangfolge führen. Auch von der Größe und den zugrunde liegenden Rahmenbedingungen des betrachteten Systems sind die Ergebnisse abhängig. Deshalb sind für andere Kunden erneute Bewertungen notwendig. Um diese zu erleichtern, wäre es für das Anbieterunternehmen denkbar, eine Datenbank für unterschiedliche Systemgrößen beziehungsweise Leckageraten zu erstellen, die die erforderlichen Aufwendungen und möglichen Einsparungen enthalten, um in weiteren Bewertungen die quantitativen Daten ohne aufwändige Neuberechnungen anpassen zu können. Wichtige Inputfaktoren wären der gesamte Druckluftverbrauch, die Anzahl der im System vorhandenen Maschinen sowie die Betriebsstunden pro Jahr. Diese würden dann verschiedenen Leckageraten gegenübergestellt. Damit kann auch ein Break-even-Punkt für die unterschiedlichen Konfigurationen ermittelt werden, so dass für geringe Leckageraten unwirtschaftliche Alternativen sofort aussortiert werden können. Für die qualitativen Daten ändern sich die Ausprägungen bei gleichen Handlungsalternativen und gleichem Anbieter normalerweise nicht. Möchte ein anderer Anbieter – v. a. ein unabhängiger Dienstleister – eine solche Bewertung durchführen, sollten sowohl die Eingangsdaten

für die Ermittlung des Mehrwerts als auch die qualitativen Daten nochmals kritisch geprüft werden.

Eine weitere zukünftige Entwicklungsmöglichkeit besteht in der Variation der Konfigurationen. Nachdem sich die Bereitstellung der verschiedenen Arten des Leckagemanagements bei mehreren Kunden etabliert hat, könnte das Angebot in Kooperation mit einem weiteren Akteur von der Maschinenebene auf die Gesamtsystemebene ausgedehnt werden. Eine solche Kooperation hat jedoch eine komplexere Vertragsgestaltung zur Folge, da zusätzlich zu den Aspekten zwischen Kunde und Anbieter die Aufteilung der Rechte und Pflichten zwischen den Kooperationspartnern hinzukommt. In einem Kooperationsvertrag oder durch die Gründung eines Joint Ventures können diese Aspekte vorab geklärt werden, wodurch diese Aspekte nicht in jedem Vertrag mit neuen Kunden erneut geklärt werden müssen. Vor allem ist jedoch eine vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen den Kooperationspartnern wichtig, da nicht alle Absprachen in Vertragsform festgehalten werden können (Kleine et al. 2010). Der Abstimmungsaufwand wird in solch einer Konstellation größer und die Nachweisbarkeit des Nutzenversprechens, sofern diese verursachergerecht stattfinden soll, nimmt ab. Doch durch die Berücksichtigung der Leckagen auch auf Netzebene wäre es auch möglich, weitere Einsparungen zu erzielen, so dass möglicherweise ein höherer Mehrwert erzielt würde, von dem alle beteiligten Akteure profitieren könnten.

8 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit behandelt die Fragestellung der Auswahl einer für die entsprechende Kundensituation geeigneten Konfiguration von PSS mit der Zielsetzung, die Energieeffizienz von Druckluftsystemen zu erhöhen. Durch die Betrachtung der industriellen Stromverbräuche sowie einer genauen Erläuterung des Aufbaus, der Anwendungen als auch der Energieeinsparmöglichkeiten von Druckluftsystemen wird die Relevanz dieser Fragestellung herausgearbeitet. Dabei wird deutlich, dass es enorme Einsparpotenziale vor allem durch die Behebung von Leckagen, aber auch bei der Gesamtsystemauslegung, der Wärmerückgewinnung oder dem Einsatz von drehzahlge-regelten Antrieben gibt, die jedoch von den Druckluft nutzenden Unternehmen selten ausgeschöpft werden. Verschiedene Hemmnisse werden diskutiert, die beispielsweise durch das Angebot von PSS abgebaut werden können. Aus diesem Grund beschreibt Kapitel 3 die Grundlagen von PSS. Neben der Begriffsdefinition werden auch Einflüsse auf Lebenszykluskosten sowie den Energieverbrauch dargestellt. Im Anschluss werden bereits bestehende PSS für Druckluftsysteme und existierende Entwicklungs- und Bewertungsansätze aufgezeigt. Daraus wird ein entsprechendes Vorgehen zur strategischen Entwicklung von PSS wie auch Anforderungen für die taktische Bewertung der entwickelten Konfigurationen abgeleitet.

Da es sich um eine Entscheidung handelt, die mehrere Kriterien und die subjektive Bewertung mehrerer Akteure berücksichtigen sollte, werden in Kapitel 3 Grundlagen zur Gruppenentscheidung sowie zu multiattributiven Entscheidungsunterstützungsme-thoden erörtert. Dabei wird PROMETHEE als eine mögliche Methode ausgewählt, die eine totale Kompensation vermeidet, unvollständige Informationen verarbeiten kann und für Unternehmensvertreter leicht nachvollziehbar ist. Zusätzlich ergeben sich durch die Einbindung mehrerer Entscheidungsträger Anforderungen an die Methodik, die ursprünglich für einen einzelnen Entscheidungsträger entwickelt wurde, für die aber auch bereits Ansätze zur Gruppenentscheidung bestehen. Vor allem die klare Strukturiierung und Darstellung von Zielkonflikten bedarf noch weiterer Entwicklungen. Auf Basis dieser Erkenntnisse wird im fünften Kapitel der Gruppenentscheidungsansatz basierend auf dem etablierten Outranking-Verfahren PROMETHEE weiterentwickelt und zusätzlich der Umgang mit den Sensitivitätsanalysen vorgestellt. Vor allem das Gewichtungsverfahren sowie die Berücksichtigung von Zielkonflikten bei der Sensitivitätsanalyse sind Bestandteil dieser Erweiterung. Die ergänzte Methodik wurde aufbauend auf einem bereits existierenden PROMETHEE-Bewertungstool basierend auf Excel weitestmöglich automatisiert, so dass nur die Eingaben zu Entscheidungsträgern, Entscheidungsmatrix und den intra- und interkriteriellen Gewichtungen erfolgen müssen, damit die Bewertungsergebnisse mitsamt den Sensitivitätsanalysen und ausgewählten graphischen Darstellungen generiert werden können.

Im Anschluss wird eine Fallstudie im Bereich der Automatisierungstechnik zur Steigerung der Energieeffizienz von Druckluftsystemen durchgeführt. Zuerst werden verschiedene Konfigurationen eines Leckagemanagements gemäß dem Entwicklungskonzept aus Kapitel 3 erarbeitet. Im Anschluss wird die Anwendbarkeit des entwickelten Algorithmus für Gruppenentscheidungen in einem zweiteiligen Workshop validiert. Dabei werden die verschiedenen Varianten des Leckagemanagements zum einen mittels einer regelmäßigen manuellen Prüfung auf Leckagen, zum anderen durch die Nutzung eines Condition-Monitorings gegenübergestellt und auf der Grundlage eines Druckluftsystems eines beispielhaften Kunden in der Gruppe in zwei Szenarien bewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Szenarien die Rangfolgen beeinflussen und somit keine allgemeingültigen Aussagen bezüglich der vorteilhaftesten Alternative getroffen werden können. Jedoch sind in beiden Szenarien die Unterschiede der Entscheidungsträger sehr gering, so dass die Akzeptanz der ermittelten Kompromisslösung kein Problem darstellen sollte. Die Fallstudie bestätigt die Anwendbarkeit der vorgeschlagenen Methodik sowie die Funktionalität der einzelnen Elemente der Unterstützungssoftware. Weiterhin wird der Einfluss von Kriterien mit unterschiedlichen Zielsetzungen der einzelnen Entscheidungsträger auf das Bewertungsergebnis durch die gewählte Methodik deutlich.

Zum Abschluss liefert Kapitel 7 eine Diskussion der Vorzüge und Schwächen der betrachteten PSS und des neuen Gruppenbewertungsansatzes und gibt Aufschluss über mögliche zukünftige Entwicklungen und weitere Forschungsbedarfe.

Literaturverzeichnis

- Abdelaziz, E.A.; Saidur, R.; Mekhilef, S. (2011): A review on energy saving strategies in industrial sector. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (1), S. 150-168.
- Aerzener Maschinenfabrik (2012a): Mietmaschinen. Online: <http://www.aerzener.de/After-Sales-Service/Mietmaschinen> (Stand: 24.08.2012a).
- Aerzener Maschinenfabrik (2012b): Wartungsverträge. Online: <http://www.aerzener.de/After-Sales-Service/Instandhaltung-und-Reparatur/Wartung/Wartungsvertraege> (Stand: 24.08.2012b).
- AG Energiebilanzen e.V. (2011): Bilanzen 1990 - 2009. Online: <http://ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=63> (Stand: 20.07.2012).
- Agricola, A.-C.; Radgen, P.; Zelinger, M. (2005): Druckluft effizient Abschlussbericht, VDMA Kompressoren Druckluft und Vakuumtechnik (Hrsg.), Frankfurt am Main.
- Ahlert, D.; Backhaus, K.; Meffert, H. (2001): Geschäftsmodelle im E-Business - Modethema oder mehr? In: Absatzwirtschaft, Sonderausgabe Oktober, S. 32-44.
- Ahlert, M. (2003): Einsatz des Analytic Hierarchy Process im Relationship Marketing: Eine Analyse strategischer Optionen bei Dienstleistungsunternehmen, Basler Schriften zum Marketing, Bruhn, M., Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Al-Shemmeri, T.; Al-Kloub, B.; Pearman, A. (1997): Model choice in multicriteria decision aid. In: European Journal of Operational Research, 97 (3), S. 550-560.
- Albrecht, J.E. (1993): Energetischer Vergleich pneumatischer, hydraulischer und elektromechanischer Antriebs- und Werkzeugsysteme, Bundesamt für Konjunkturforschung (BfK) (Hrsg.), Bern: RAVEL.
- Anand, G.; Kodali, R. (2008): Selection of lean manufacturing systems using the PROMETHEE. In: Journal of Modelling in Management, 3 (1), S. 40-70.
- Ardit, D.; Messiha, H.M. (1999): Life cycle cost analysis (LCCA) in municipal organizations. In: Journal of Infrastructure Systems, 5 (1), S. 1-10.
- Atherton, E.; French, S. (1999): Structuring long-term decisions. In: Journal of environmental assessment policy and management, 1 (2), S. 213-228.

- Atlas Copco (2012): Welche Contracting-Varianten sind möglich? Online: http://www.atlascopco.com/dede/Aboutus/incountry/howweareorganized/ACKD_DLC_varianden.aspx (Stand: 24.08.2012).
- Auramo, J.; Ala-Risku, T. (2005): Challenges for going downstream. In: International Journal of Logistics: Research and Applications, 8 (4), S. 333-345.
- Aurich, J.C.; Fuchs, C.; Wagenknecht, C. (2006): Life cycle oriented design of technical Product-Service Systems. In: Journal of Cleaner Production, 14 (17), S. 1480-1494.
- Aurich, J.C.; Fuchs, C.; DeVries, M.F. (2004): An Approach to Life Cycle Oriented Technical Service Design. In: CIRP Annals - Manufacturing Technology, 53 (1), S. 151-154.
- Aurich, J.C.; Mannweiler, C.; Schweitzer, E. (2010): How to design and offer services successfully. In: CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2 (3), S. 136-143.
- Aurich, J.C.; Wolf, N.; Siener, M.; Schweitzer, E. (2009): Configuration of Product-Service Systems. In: Journal of Manufacturing Technology Management, 20 (5), S. 591-605.
- Axelrod, R.M. (1984): The Evolution of Cooperation, New York: Basic Books.
- Azarenko, A.; Roy, R.; Shehab, E.; Tiwari, A. (2009): Technical product-service systems: some implications for the machine tool industry. In: Journal of Manufacturing Technology Management, 20 (5), S. 700-722.
- Baake, E.; Bothe, M.; Doppelbauer, M.; Drubel, O.; de la Haye, R.; Hofmann, W.; Kleimaier, M.; Mertens, A.; Mutschler, P.; Oswald, B.; Petri, E.; Pyc, I.; Raphael, T.; Ponick, B.; Schröppel, W. (2008): Effizienz- und Einsparpotentiale elektrischer Energie in Deutschland - Perspektive bis 2025 und Handlungsbedarf, Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.(VDE) (Hrsg.), Frankfurt am Main.
- Baines, T.; Lightfoot, H.; Peppard, J.; Johnson, M.; Tiwari, A.; Shehab, E.; Swink, M. (2009a): Towards an operations strategy for product-centric servitization. In: International Journal of Operations & Production Management, 29 (5), S. 494-519.
- Baines, T.S.; Lightfoot, H.W.; Evans, S.; Neely, A.; Greenough, R.; Peppard, J.; Roy, R.; Shehab, E.; Braganza, A.; Tiwari, A.; Alcock, J.R.; Angus, J.P.; Bastl, M.; Cousens, A.; Irving, P.; Johnson, M.; Kongston, J.; Lockett, H.; Martinez, V.; Michele, P.; Tranfield, D.; Walton, I.M.; Wilson, H. (2007): State-of-the-art in product-service systems. In: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 221 (10), S. 1543-1552.

- Baines, T.S.; Lightfoot, H.W.; Benedettini, O.; Kay, J.M. (2009b): The servitization of manufacturing: A review of literature and reflection on future challenges. In: *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20 (5), S. 547-567.
- Baker, T.; Collier, D.A. (2005): The Economic Payout Model for Service Guarantees. In: *Decision Sciences*, 36 (2), S. 197-220.
- Bamberg, G.; Coenenberg, A.G. (1991): *Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre*, 6. Auflage, WiSo Kurzlehrbücher: Reihe Betriebswirtschaft, München: Franz Vahlen.
- Bartolomeo, M.; dal Maso, D.; de Jong, P.; Eder, P.; Groenewegen, P.; Hopkinson, P.; James, P.; Nijhuis, L.; Örnings, M.; Scholl, G.; Slob, A.; Zaring, O. (2003): Eco-efficient producer services – what are they, how do they benefit customers and the environment and how likely are they to develop and be extensively utilised? In: *Journal of Cleaner Production*, 11 (8), S. 829-837.
- Baumeister, A. (2008): Lebenszykluskosten alternativer Verfügbarkeitsgarantien im Anlagenbau, Beiträge zur betriebswirtschaftlichen Forschung, Albers, S.; Pellens, B.; Sadowski, D.; Weber, M., Wiesbaden: Gabler Verlag.
- BayLfU (Hrsg.) (2004): Druckluft im Handwerk: Energie sparen - Klima schützen - Kosten senken! Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz.
- Beccali, M.; Cellura, M.; Ardente, D. (1998): Decision making in energy planning: the ELECTRE multicriteria analysis approach compared to a FUZZY-SETS methodology. In: *Energy Conversion and Management*, 39 (16–18), S. 1869-1881.
- Belton, V.; Stewart, J.T. (2003): *Multiple Criteria Decision Analysis - An Integrated Approach*, 2. Auflage. Auflage, Dordrecht (the Netherlands): Kluwer Academic Publishers Group.
- Benkenstein, M.; Holtz, M. (2003): Service Marketing - Neue Geschäfte für den Service erschließen. In: Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W. (Hrsg.): *Service Engineering - Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, S. 283-308.
- Berchten, S.; Ritz, C. (2006): Ersatz von pneumatischen und hydraulischen Antrieben durch Elektroantriebe - Potentialanalyse. Schlussbericht, Bundesamt für Energie Schweiz (Hrsg.), Ittigen, Bern.
- Bertoldi, P.; Rezessy, S.; Vine, E. (2006): Energy service companies in European countries: Current status and a strategy to foster their development. In: *Energy Policy*, 34 (14), S. 1818-1832.
- Biege, S. (2011): *Servicegerechtes Design: Rückwirkungen der Ausgestaltung dienstleistungsbasierter Geschäftsmodelle auf die Auslegung von Investitionsgütern*: Fraunhofer Verlag, Stuttgart.

- Bierbaum, U.; Hütter, J. (2004): Druckluft-Kompendium, 6. Auflage, BOGE Druckluftsysteme (Hrsg.), Bielefeld: Hoppenstedt-Verlag.
- Bierma, T.J.; Waterstraat, F.L. (1999): Cleaner production from chemical suppliers: Understanding shared savings contracts. In: *Journal of Cleaner Production*, 7 (2), S. 145-158.
- BiPRO (Hrsg.) (2010): Chemikalienleasing als Modell zur nachhaltigen Entwicklung mit Prüfprozeduren und Qualitätskriterien anhand von Pilotprojekten in Deutschland. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Bleischwitz, R. (2003): Cognitive and institutional perspectives of eco-efficiency. In: *Ecological Economics*, 46 (3), S. 453-467.
- Bosch, R.; Lay, G.; Lerch, C. (2010): Verfügbarkeitssteigerung durch TCO-Konzepte. In: *wt Werkstattstechnik online*, 100 (7/8), S. 632-637.
- Bose, U.; Davey, A.M.; Olson, D.L. (1997): Multi-attribute utility methods in group decision making: Past applications and potential for inclusion in GDSS. In: *Omega*, 25 (6), S. 691-706.
- Botta, C. (2007): Rahmenkonzept zur Entwicklung von Product-Service Systems, *Product-Service-Systems Engineering*, Lohmar-Köln: EUL-Verlag.
- Brans, J.P.; Mareschal, B.; Vincke, P. (1984): PROMETHEE: A new family of outranking in multicriteria analysis, Brans, J.P. (Hrsg.), *Proceedings of the Tenth International Conference on Operational Research - Washington, D.C., U.S.A., August 6-10, 1984*, Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.
- Brans, J.P.; Vincke, P. (1985): A Preference Ranking Organization Method (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision Making). In: *Management Science*, 31 (6), S. 647-656.
- Brans, J.P.; Vincke, P.; Mareschal, B. (1986): How to select and how to rank Projects: The PROMETHEE Method. In: *European Journal of Operational Research*, 24 (2), S. 228-238.
- Brans, J.-P.; Mareschal, B. (2005): PROMETHEE Methods. In: Figueira, J.R.; Greco, S.; Ehrgott, M. (Hrsg.): *Multiple Criteria Decision Analysis - State of the Art - Surveys (No 78)*. New York: Springer-Verlag, S. 163-195.
- Brown, I. (1988): European energy performance contracting. In: *Energy Policy*, 16 (3), S. 297-301.
- Bui, T.X. (1987): Co-oP: a group decision support system for cooperative multiple criteria group decision making, *Lecture notes in computer science*: Springer-Verlag.

- Bullinger, H.-J. (1997): Dienstleistungen für das 21. Jahrhundert - Trends, Visionen und Perspektiven. In: Bullinger, H.-J. (Hrsg.): Dienstleistungen für das 21. Jahrhundert. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, S. 27-64.
- Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W. (Hrsg.) (2003b): Service Engineering - Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W. (2003a): Service Engineering - Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. In: Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W. (Hrsg.): Service Engineering - Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. Berlin, Heidelberg, S. 3-18.
- Bullinger, H.-J.; Schreiner, P. (2003): Service Engineering - Ein Rahmenkonzept für die systematische Entwicklung von Dienstleistungen. In: Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W. (Hrsg.): Service Engineering - Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 51-82.
- Burr, W. (2002): Service Engineering bei technischen Dienstleistungen, Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.
- Cao, P.P.; Burstein, F.V. (1999): An asynchronous group decision support system study for intelligent multicriteria decision making, Track1, Proceedings of the Thirty-Second Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS 99), Washington DC: IEE Computer Society.
- Cole, R.J.; Sterner, E. (2000): Reconciling theory and practise of life-cycle costing. In: Build Research & Information, 28 (5-6), S. 368-375.
- CompAir (2000): Performance Contracting. Online: <http://www.compair.com.au/pages/airworxservcontracting.html> (Stand: 24.08.2012).
- CompAir (2012): Airworx. Online: <http://www.compair.de/Products/Airworx.aspx> (Stand: 24.08.2012).
- CompAir Werkskundendienst (2012): Originalersatzteile - Mit CompAir auf der sicheren Seite. Online: http://www.compair.de/Contact_Us/05Brochure_Feedback_Form.aspx?OriginatingPage=/Contact_Us/04Aftermarket_and_service.aspx&BrochureUrl=91005-K_334_8-Seiter_Service.pdf (Stand: 24.08.2012).
- De Keyser, W.; Peeters, P. (1996): A note on the use of PROMETHEE multicriteria methods. In: European Journal of Operational Research, 89 (3), S. 457-461.
- Deason, J. (1984): A multi-objective decision support system for water project portfolio selection: University of Virginia.
- Dehli, M. (2002): Energieeinsparpotenziale bei der Druckluftherzeugung. In: Brennstoff-Wärme-Kraft (BWK), 54 (6), S. 57-62.

- Deloitte Research (Hrsg.) (2006): The Service Revolution in Global Manufacturing Industries: Deloitte Development LLC.
- dena (2010): Ratgeber Druckluftsysteme für Industrie und Gewerbe, Deutsche Energie Agentur (dena) - Energiesysteme und Energiedienstleistungen (Hrsg.), Berlin.
- Denkena, B.; Blümel, P.; Lorenzen, L.-E. (2007): Total Benefits of Ownership. In: wt Werkstattstechnik online, 97 (7/8), S. 560-566.
- Deppert, W.; Stoll, K. (1982): Pneumatik in der Verpackungstechnik, Kamprath-Reihe, Würzburg: Vogel Verlag.
- Destatis (2012a): Betriebe (Unternehmensregister-System 95): Deutschland, Jahre, Wirtschaftszweige (Abschnitte), Beschäftigtengrößenklassen. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Online:
https://www.genesis.destatis.de/genesis/online/data;jsessionid=386423A01B161C7D140F2D9C8A2E4C51.tomcat_GO_1_1?operation=abrufabelleBearbeiten&levelindex=1&levelid=1344349216306&auswahloperation=abrufabelleAuspraegungAuswaehlen&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=werteabruf&selectionname=52111-0002&auswahltext=%23Z-01.01.2009%2C01.01.2008&nummer=6&variable=3&name=WZ08U6&werteabruf=Werteabruf (Stand: 07.08.2012a).
- Destatis (2012b): Industrie, Verarbeitendes Gewerbe. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Online:
<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/IndustrieVerarbeitendesGewerbe.html> (Stand: 23.10.2012b).
- DIN 8930-5 (2003): Kälteanlagen und Wärmepumpen - Terminologie - Teil 5: Contracting, DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), Berlin: Beuth-Verlag.
- DIN EN 15900 (2010): Energieeffizienz-Dienstleistungen - Definitionen und Anforderungen, DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), Berlin: Beuth-Verlag.
- DIN Fachbericht 75 (1998): Service-Engineering - Entwicklungsbegleitende Normung (EBN) für Dienstleistungen, Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), Berlin: Beuth-Verlag.
- Doukas, H.C.; Andreas, B.M.; Psarras, J.E. (2007): Multi-criteria decision aid for the formulation of sustainable technological energy priorities using linguistic variables. In: European Journal of Operational Research, 182 (2), S. 844-855.
- Druckluft Effizient (2006): Infoblatt Druckluftherzeugung, Deutsche Energie Agentur (dena); Fraunhofer Institut Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI); VDMA Drucklufttechnik (Hrsg.), Karlsruhe.
- Dudda, C.; Radgen, P.; Schmid, J. (2002): Contracting - Finanzierung - Betreibermodelle - Leitfaden für die Anwendung bei Druckluftanlagen, Karlsruhe: Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung.

- Eisenführ, F.; Weber, M. (1999): Rationales Entscheiden, 3. Auflage, Berlin: Springer-Verlag.
- Ellram, L. (1993a): A Framework for Total Cost of Ownership. In: International Journal of Logistic Management, 4 (2), S. 49-60.
- Ellram, L. (1993b): Total Cost of Ownership: Elements and Implementation. In: Journal of Supply Chain Management, 29 (4), S. 2-11.
- Ellram, L.M.; Siferd, S.P. (1998): Total cost of ownership: A key concept in strategic cost management decisions. In: Journal of Business Logistics, 19 (1), S. 55-84.
- Elschner, C.; Heckemeyer, J.H.; Spengel, C. (2009): Besteuerungsprinzipien und effektive Unternehmenssteuerbelastungen in der Europäischen Union, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH (ZEW) (Hrsg.), Discussion Paper No. 09-034, Mannheim.
- Emmrich, A. (2005): Ein Beitrag zur systematischen Entwicklung produktorientierter Dienstleistungen, Paderborn: Heinz Nixdorf Institut.
- EU Richtlinie 2006/32/EG (2006): RICHTLINIE 2006/32/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen und zur Aufhebung der Richtlinie 93/76/ EWG des Rates. In: Amtsblatt der Europäischen Union, 49 (27.04.2006), S. L114/64-L114/85.
- EU Richtlinie 2010/75/EU (2010): RICHTLINIE 2010/75/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) (Neufassung). In: Amtsblatt der Europäischen Union, 53 (17.12.2010), S. L334/17-L334/119.
- European Commission (Hrsg.) (2009): Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency: European Commission.
- Eurostat (2012): Strompreise für industrielle Verbraucher. (Stand: 02.07.2012).
- Fabrycky, W.J.; Blanchard, B.S. (1991): Life-Cycle cost and economic analysis, Prentice Hall International Series in Industrial and Systems Engineering, New Jersey: Prentice Hall.
- Feldmann, K.-H. (2003a): Das optimale Druckluftnetz. In: Feldmann, K.-H. (Hrsg.): Optimale Druckluftverteilung: So spart man Energie und Kosten in Druckluftverteilungsnetzen. Renningen: Expert Verlag, S. 1-72.
- Feldmann, K.-H. (2003b): Druckluftverteilung. In: Erwin Ruppelt (Hrsg.): Druckluft-Handbuch. Essen: Vulkan Verlag, S. 243-297.

- Figueira, J.R.; Greco, S.; Roy, B. (2009): ELECTRE methods with interaction between criteria: An extension of the concordance index. In: *European Journal of Operational Research*, 199 (2), S. 478-495.
- Figueira, J.R.; Mousseau, V.; Roy, B. (2005): ELECTRE Methods. In: Figueira, J.R.; Greco, S.; Ehrgott, M. (Hrsg.): *Multiple Criteria Decision Analysis - State of the Art - Surveys* (No 78). New York: Springer-Verlag, S. 133-162.
- Fleischer, J.; Meier, H.; Kaiser, U.; Krings, R.; Niggeschmidt, S. (2008): Verfügbarkeitsoptimale Dienstleistungskonfiguration - Bewertung und Konfiguration von Dienstleistungsangeboten in der hybriden Wertschöpfungskette. In: *wt Werkstattstechnik online*, 98 (7/8), S. 601-606.
- Fleischer, J.; Niggeschmidt, S.; Rühl, J. (2006): Einfluss von Serviceleistungen auf die Verfügbarkeit produktionstechnischer Anlagen. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)*, 101 (10), S. 561-565.
- Fleischer, J.; Rühl, J.; Niggeschmidt, S.; Ladenburger, R. (2007): Leistungskalkulation hybrider Produkte. In: *wt Werkstattstechnik online*, 97 (7/8), S. 526-532.
- Fraser, N.M.; Hipel, K.W. (1984): *Conflict analysis: models and resolutions*, North-Holland series in system science and engineering: North-Holland.
- Frost & Sullivan (2003): *European Industrial Air Compressors Market*, B013-12, London: Frost & Sullivan.
- Gäfgen, G. (1974): *Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung: Untersuchungen zur Logik und Bedeutung des rationalen Handelns*, 3. Auflage, Tübingen: Mohr Siebeck.
- Garuti, C.; Sandoval, M. (2005): Comparing AHP and ANP shiftwork models: Hierarchy simplicity v/s network connectivity, *Proceedings of the 8th international Symposium on the Analytical Hierarchy Process*, Honolulu (Hawaii).
- Gauchel, W. (2006): Energiesparende Pneumatik - Konstruktive sowie schaltungs- und regelungstechnische Ansätze. In: *Ölhydraulik und Pneumatik (Ö + P)* (1), S. 33-39.
- Gebauer, H.; Fleisch, E. (2007): Managing sustainable service improvements in manufacturing companies. In: *Kybernetes*, 36 (5/6), S. 583-595.
- Gebauer, H.; Friedli, T. (2005): Behavioral implications of the transition process from products to services. In: *Journal of Business & Industrial Marketing*, 20 (2), S. 70-78.
- Gebauer, H.; Krempf, R.; Fleisch, E. (2008): Exploring the effect of cognitive biases on customer support services. In: *Creativity and Innovation Management*, 17 (1), S. 58-70.

- Geißdörfer, K. (2008): Total Cost of Ownership (TCO) und Life Cycle Costing (LCC) - Einsatz und Modelle: Ein Vergleich zwischen Deutschland und USA, Controlling und Management, Gleich, R.; Wald, A., Berlin: LIT Verlag.
- Geldermann, J.; Zhang, K.; Rentz, O. (2003): Sensitivitätsanalysen für das Outranking-Verfahren PROMETHEE. In: Habenicht, W.; Scheubrein, B.; Scheubrein, R. (Hrsg.): Multicriteria- und Fuzzy-Systeme in Theorie und Praxis - Lösungsansätze für Entscheidungsprobleme mit komplexen Zielsystemen. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, S. 127-151.
- Geldermann, J. (1999): Entwicklung eines multikriteriellen Entscheidungsunterstützungssystems zur integrierten Technikbewertung, Düsseldorf: Universität Karlsruhe (TH).
- Geldermann, J. (2005): Mehrzielentscheidungen in der industriellen Produktion, Universität Karlsruhe: Universität Karlsruhe - Fakultät für Wirtschaftswissenschaften.
- Geldermann, J.; Daub, A.; Hesse, M. (2009): Chemical Leasing as a Model for sustainable development, Research Paper Nr. 9: Schwerpunkt Unternehmensführung, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Georg-August-Universität Göttingen (Hrsg.), Göttingen.
- Geldermann, J.; Spengler, T.; Rentz, O. (2000): Fuzzy outranking for environmental assessment. Case study: iron and steel making industry. In: Fuzzy Sets and Systems, 115 (1), S. 45-65.
- Gershon, M.E. (1981): Model choice in multi-objective decision making in natural resource systems: University of Arizona.
- Gloor, R. (2000): Energieeinsparungen bei Druckluftanlagen in der Schweiz, Forschungsbericht - Projektnummer 33 564, Sufers (Schweiz): Schweizer Bundesamt für Energie - Programm Elektrizität.
- Goedkoop, M.; van Halen, C.; te Riele, H.; Rommens, P. (1999): Product Service systems, Ecological and Economic Basics.
- Götze, U. (2006): Investitionsrechnung: Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben, 5. Auflage, Berlin: Springer-Verlag.
- Gouran, D.S. (1982): Making decisions in groups: choices and consequences: Scott, Foresman.
- Gruber, E.; Brand, M. (1991): Promoting energy conservation in small and medium-sized companies. In: Energy Policy, 19 (3), S. 279-287.
- Guitouni, A.; Martel, J.M. (1998): Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. In: European Journal of Operational Research, 109 (2), S. 501-521.

- Halme, M.; Anttonen, M.; Kuisma, M.; Kontoniemi, N.; Heino, E. (2007): Business models for material efficiency services: Conceptualization and application. In: *Ecological Economics*, 63 (1), S. 126-137.
- Halouani, N.; Chabchoub, H.; Martel, J.-M. (2009): PROMETHEE-MD-2T method for project selection. In: *European Journal of Operational Research*, 195, S. 841-849.
- Hänle, M. (1993): Systeme zur Unterstützung von Gruppenentscheidungen: Konzeption und Implementation eines Prototypen, Reihe Wirtschaftsinformatik, Bergisch-Gladbach [u.a.]: Josef Eul Verlag.
- Heckathorn, D. (1980): A unified model for bargaining and conflict. In: *Behavioral Science*, 25 (4), S. 261-284.
- Heiskanen, E.; Jalas, M. (2003): Can Services Lead To Radical Eco-Efficiency Improvements? - A Review Of The Debate And Evidence. In: *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 10 (4), S. 186-198.
- Helander, A.; Möller, K. (2008): System supplier's roles from equipment supplier to performance provider. In: *Journal of Business & Industrial Marketing*, 23 (8), S. 577-585.
- Helle, C. (1997): On energy efficiency-related product strategies - illustrated and analysed using contracting approaches in Germany as an example. In: *Utilities Policy*, 6 (4), S. 75-85.
- Herrera, F.; Martinez, L. (2000): An approach for combining linguistic and numerical information based on 2-tuple fuzzy representation model in decision making. In: *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 8 (5), S. 539-562.
- Hirzel, S.; Elsland, R.; Weissfloch, U.; Schroeter, M.; Barth, J.P. (2010): Compressed Air Systems: A Techno-economic Evaluation Approach, Sustainable Production for Resource Efficiency and Ecomobility: International Chemnitz Manufacturing Colloquium ICMC 2010 - Proceedings, Neugebauer, R. (Hrsg.), Reports from the IWU, Chemnitz: Verlag Wissenschaftliche Scripten.
- Hirzel, S.; Köpschall, M.; Hülsmann, S.; Neumann, R.; Ohmer, M.; Hobusch, G.; Ruppelt, E.; Doll, M.; Krichel, S.; Sawodny, O.; Elsland, R.; Schröter, M.; Weißfloch, U.; Blank, F.; Ngyuen, Q.K.; Roth-Stielow, J. (2012): EnEffAH. Energieeffizienz in der Produktion im Bereich Antriebs- und Handhabungstechnik : Grundlagen und Maßnahmen: EnEffAH-Projektkonsortium.
- Hochgräfer, N. (2003): Druckluft-Trocknung. In: Erwin Ruppelt (Hrsg.): *Druckluft-Handbuch*. Essen: Vulkan Verlag, S. 176-194.

- Hockerts, K. (1999): Innovation of eco-efficient services: Increasing the efficiency of products and services. In: Charter, M.; Polonsky, J. (Hrsg.): Greener marketing: A global perspective on greening marketing practice. Sheffield: Greenleaf Publishing, S. 95-108.
- Hwang, C.L.; Lin, M.J. (1987): Group decision making under multiple criteria: methods and applications, Lecture notes in economics and mathematical systems, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Hwang, C.L.; Yoon, K. (1981): Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications: A State-of-the-Art Survey, Berlin: Springer-Verlag.
- Hypko, P.; Tilebein, M.; Gleich, R. (2009): Performance Contracting as a Win-Win-Strategy in the manufacturing industry - A comprehension overview of benefits and risks for providers and customers, Brown, S.W.; Edvardsson, B.; Johnston, B.; Stauss, B. (Hrsg.), Proceedings der Quism Conference 2009 "Moving Forward with Service Quality", Wolfsburg.
- IEA (2007): Mind the Gap - Quantifying Principal-Agent Problems in Energy Efficiency, OECD; IEA (Hrsg.), Paris Cedex.
- Ingersoll Rand (2010a): Betriebskosten senken, Produktionssicherheit erhöhen, ohne zu investieren? Online: <http://kompressoren.ingersollrand.de/druckluft-contracting/page.html> (Stand: 24.08.2012a).
- Ingersoll Rand (2010b): Instandhaltung & Garantie. Online: <http://kompressoren.ingersollrand.de/produkte/service/instandhaltung-garantie/page.html> (Stand: 24.08.2012b).
- ISO 8573-1 (2010): Compressed air - Part 1: Contaminants and purity classes, International Organization for Standardization (Hrsg.), Berlin: Beuth-Verlag.
- Iz, P.; Jelassi, M.T. (1990): An interactive group decision aid for multiobjective problems: An empirical assessment. In: Omega, 18 (6), S. 595-604.
- Jaffe, A.B.; Stavins, R.N. (1994): The energy-efficiency gap: What does it mean? In: Energy Policy, 22 (10), S. 804-810.
- Jäger, A.; Maloca, S. (2009): Dokumentation der Umfrage *Modernisierung der Produktion* 2009 des Fraunhofer Instituts für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Janis, I.L. (1972): Victims of groupthink: a psychological study of foreign-policy decisions and fiascoes: Houghton, Mifflin.
- Jelassi, T.; Kersten, G.; Zionts, S. (1990): An introduction to group decision and negotiation support, INSEAD working paper Nr. 90/20/TM, Fontainebleau: INSEAD.

- Jian-jun, M. (2010): Evaluation and Selection Model of Product Service Provider Based on Ideal Point Method, International Conference on System Science, Engineering Design and Manufacturing Informatization.
- Joas, R. (2008): The Concept of Chemical Leasing. In: Jakl, T.; Schwager, P. (Hrsg.): Chemical Leasing Goes Global - Selling Services Instead of Barrels: A WinWin Business Model for Environment and Industry. Wien: Springer-Verlag, S. 17-26.
- Kaeser Kompressoren (o. J.): Drucklufttechnik: Grundlagen, Tipps und Anregungen, Weidhausen: Schneider Printmedien.
- Kaeser Kompressoren (2012a): Full-Service - Rundum sorglos. Online: <http://www.kaeser.de/services/kundendienst/full-service/default.asp> (Stand: 24.08.2012a).
- Kaeser Kompressoren (2012b): SIGMA AIR UTILITY nur die Druckluft kaufen. Online: <http://www.kaeser.de/produkte/contracting/default.asp> (Stand: 24.08.2012b).
- Karger, M.; Richter, A.; Sadek, T.; Strotmann, W.-C. (2010): Flexibility of Industrial Product Service Systems - An Assessment Based on Concept Modelling, Steven, M. (Hrsg.), Arbeitsbericht Nr. 8, Bochum: Lehrstuhl für Produktionswirtschaft; Ruhruniversität Bochum.
- Kaya, D.; Phelan, P.; Chau, D.; Sarac, H.I. (2002): Energy conservation in compressed-air systems. In: International Journal of Energy Research, 26 (9), S. 837-849.
- Keeney, R.L.; Raiffa, H. (1976): Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs, Wiley series in probability and mathematical statistics, Bradley, R.A.; Hunter, J.S.; Kendall, D.G.; Watson Geoffrey S., New York: John Wiley & Sons.
- Kersten, G.E. (1996): Support for Group Decisions and Negotiations - An Overview. InterNeg Research. Online: http://www.iiasa.ac.at/Research/DAS/interneg/research/misc/intro_gdn.html (Stand: 29.05.2012).
- Kersten, G.; Szapiro, T. (1986): Generalized approach to modeling negotiations. In: European Journal of Operational Research, 26 (1), S. 142-149.
- Kersten, G.E. (1988): A procedure for negotiating efficient and non-efficient compromises. In: Decision Support Systems, 4 (2), S. 167-177.
- Kleikamp, C. (2002): Performance Contracting auf Industriegütermärkten, Gierl, H.; Helm, R. (Hrsg.), Lohmar/Köln: Josef Eul Verlag.

- Kleine, O.; Schneider, R.; Bollhöfer, E.; Buschak, D.; Schirrmeister, E.; Gerber, M.; Hesse, F.; Kühbauch, P.; Seinschedt, F. (2010): *Service Chain Management in der Industrie : Ein Leitfaden zur Planung kooperativer, industrieller Dienstleistungen*, Frankfurt am Main: VDMA-Verlag.
- Köne, A.C.; Büke, T. (2007): An Analytical Network Process (ANP) evaluation of alternative fuels for electricity generation in Turkey. In: *Energy Policy*, 35 (10), S. 5220-5228.
- Kreisel, K.; Jochem, E. (1999): Druckluft rationell erzeugen und nutzen. In: Radgen, P.; Jochem, E. (Hrsg.): *Energie effizient nutzen - Schwerpunkt Strom. Modellvorhaben und Fachartikel*. Karlsruhe: Fraunhofer ISI, S. 70-78.
- Lay, G.; Biege, S.; Buschak, D.; Copani, G.; Marvulli, S. (2010): Early Stage Assessment of Service-Based Business Concepts. In: Sakao, T.; Larsson, T.; Lindahl, M. (Hrsg.): *Industrial Product-Service Systems (IPS2) - Proceedings of the 2nd CIRP IPS2 Conference*. Linköping Univ., Linköping, S. 253-260.
- Lay, G.; Jung Erceg, P. (2002): Elemente einer Strategieentwicklung für produktbegleitende Dienstleistungen in der Industrie. In: Lay, G.; Jung Erceg, P. (Hrsg.): *Produktbegleitende Dienstleistungen: Konzepte und Beispiele erfolgreicher Strategieentwicklung*. Berlin: Springer-Verlag, S. 5-68.
- Lay, G.; Kinkel, S.; Ostertag, K.; Radgen, P.; Reinhard, M.; Schneider, R.; Schröter, M.; Toussaint, D.; Vieweg, H.-G. (2007): *Betreibermodelle für Investitionsgüter: Verbreitung, Chancen und Risiken, Erfolgsfaktoren*, Lay, G. (Hrsg.), ISI-Schriftenreihe "Innovationspotenziale", Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Lay, G.; Meier, H.; Schramm, J.; Werding, A. (2003): Betreiben statt Verkaufen - Stand und Perspektiven neuer Geschäftsmodelle für den Maschinen- und Anlagenbau. In: *Industrie Management*, 2003 (4), S. 9-13.
- Lay, G.; Schröter, M.; Armbruster, H. (2009a): TCO als Ausgangspunkt für die Entwicklung dienstleistungsbasierter Geschäftsmodelle in der Investitionsgüterindustrie. In: Schweiger, S. (Hrsg.): *Total Cost of Ownership im Maschinen- und Anlagenbau*. Wiesbaden: Gabler, S. 153-179.
- Lay, G.; Schröter, M.; Biege, S. (2009b): Service-based business concepts: A typology for business-to-business markets. In: *European Management Journal*, 27 (6), S. 442-455.
- Lehmann-Ortega, L.; Schoettl, J.-M. (2005): From Buzzword to managerial tool: The role of Business Models in strategic Innovation, CLADEA, Santiago de Chile, Chile.
- Léo, P.-Y.; Phillipe, J. (2001): Offer of Services by Goods Exporters: Strategic and Marketing Dimensions. In: *The Service Industries Journal*, 21 (2), S. 91-116.

- Lerch, C.; Weissfloch, U.; Kinkel, S. (2010): Surplus of service-based business models - the integration of multiple perspectives for assessing win-win potentials. In: International Journal of Services Operations and Informatics, 5 (4), S. 400-417.
- Lerch, C.M. (2011): Industrial Services as a Source of Product and Service Innovations - An Approach with Strategic Implications. Copenhagen Business School. Online: http://druid8.sit.aau.dk/acc_papers/fy990lltubqlgaokd68evxftbbci.pdf (Stand: 03.09.2012).
- Lewicki, R.J.; Barry, B.; Saunders, D.M.; Minton John W. (2003): Negotiation, 4. Auflage, International edition: McGraw-Hill Higher Education, Boston et al.: McGraw-Hill/Irwin.
- Leyva-López, J.C.; Fernández-González, E. (2003): A new method for group decision support based on ELECTRE III methodology. In: European Journal of Operational Research, 148 (1), S. 14-27.
- Ligon, P.; Votta, T. (2001): Strategic contracting increases waste prevention and materials recycling. In: Resource Recycling, S. 38-44.
- Lin, K.-H.; Shih, L.-H.; Lu, S.-S.; Lin, Y.-T. (2010): Strategy selection for product service systems using case-based reasoning. In: African Journal of Business Management, 4 (6), S. 987-994.
- Lindenberger, D.; Bartels, M.; Borggrefe, F.; Bothe, D.; Wissen, R.; Hillebrand, B.; Buttermann, H.G.; Bleul, M. (2008): Studie: Energiewirtschaftliches Gesamtkonzept 2030, Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft - BDEW - e.V. (Hrsg.), Frankfurt am Main: VWEW Energieverlag.
- Lund, R.T. (1978): Life-cycle costing: A business and societal instrument. In: Management Review, 67 (4), S. 17-23.
- Macharis, C.; Brans, J.-P.; Mareschal, B. (1998): The GDSS Promethee procedure. In: Journal of Decision Systems, 7, S. 283-307.
- Macharis, C.; Springael, J.; De Brucker, K.; Verbeke, A. (2004): PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis: Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. In: European Journal of Operational Research, 153 (2), S. 307-317.
- Magretta, J. (2002): Why Business Models Matter. In: Harvard Business Review, 80 (5), S. 86-92.
- Manz, K.; Dahmen, A.; Hoffmann, L. (2000): Entscheidungstheorie, 2. Auflage, Kompaktstudium Wirtschaftswissenschaften, München: Vahlen.
- Manzini, E.; Vezzoli, C. (2003): A strategic design approach to develop sustainable product service systems: examples taken from the 'environmentally friendly innovation' Italian prize. In: Journal of Cleaner Production, 11, S. 851-857.

- Manzini, E.; Vezzoli, C. (2001): Product-Service Systems and Sustainability: Opportunities for sustainable solutions: United Nations Environment Programme (UNEP) Paris.
- Mareschal, B. (1988): Weight stability intervals in multicriteria decision aid. In: European Journal of Operational Research, 33 (1), S. 54-64.
- Mareschal, B.; De Smet, Y.; Nemery, P. (2008): Rank Reversals in the PROMETHEE II Method: Some New Results, The IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Singapore: IEEE.
- Marshall, R. (2010): Optimizing Pneumatic Systems for Extra Savings. Online: <http://www.compressedairchallenge.org/library/articles/2010-10-CABP.pdf> (Stand: 02.07.2012).
- Maussang, N.; Zwolinski, P.; Brissaud, D. (2008): Evaluation of Product-Service Systems During Early Design Phase, Mitsuishi, M.; Ueda, K.; Kimura, F. (Hrsg.), Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier: The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems, Tokyo, Japan: Springer.
- Meier, H. (2004): Service im globalen Umfeld. Innovative Ansätze einer zukunftsorientierten Dienstleistungsgestaltung. In: Meier, H. (Hrsg.): Dienstleistungsorientierte Geschäftsmodelle im Maschinen- und Anlagenbau. Vom Basisangebot bis zum Betreibermodell. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 3-13.
- Melo, P.; Costa, J.P. (2008): A Prototype System for Exploring Disagreement in Group Decision, Proceedings of the 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS 2008), Hawaii.
- Mont, O. (2002): Clarifying the concept of product-service system. In: Journal of Cleaner Production, 10 (3), S. 237-245.
- Mont, O.; Dalhammer, C.; Jacobsson, N. (2006): A new business model for baby prams based on leasing and product remanufacturing. In: Journal of Cleaner Production, 14 (17), S. 1509-1518.
- Morelli, N. (2002): Designing product/service systems. A methodological exploration. In: Design Issues, 18 (3), S. 3-17.
- Mustajoki, J.; Härmäläinen, R.P. (2000): Web-HIPRE: Global decision support by value tree and AHP analysis. In: INFOR, 38 (3), S. 208-220.
- Nijkamp, P.; Rietveld, P.; Voogd, H. (1990): Multicriteria evaluation in physical planning, Contributions to economic analysis, Tinbergen, J.; Jorgenson, D.W.; Waelbroeck, J., Amsterdam: North-Holland.
- Oberschmidt, J. (2010): Multikriterielle Bewertung von Technologien zur Bereitstellung von Strom und Wärme, Stuttgart: Fraunhofer Verlag.

- Oliva, R.; Kallenberg, R. (2003): Managing the transition from products to services. In: International Journal of Service Industry Management, 14 (2), S. 160-172.
- Omann, I. (2003): Product Service Systems and their Impacts on Sustainable Development. A multi-criteria evaluation for Austrian companies., Frontiers 2 „European applications in ecological economics“, Tenerife.
- Overmeyer, L.; Altmann, D.; Gille, C. (2007): Mit technischen Innovationen auf dem Weg zum Full-Service Angebot. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF), 102 (12), S. 825-829.
- Parker, S.; Heapy, J. (2006): The Journey to the Interface. How public service design can connect users to reform, London: demos, S. 1-118.
- Peltomaa, P. (2010a): The basics of industrial compressed air systems. Enersize Ltd. Online: http://www.enersize.com/upload/publications/enersize_casee_part2.pdf.
- Peltomaa, P. (2010b): The basics of industrial energy efficiency. Enersize Ltd. Online: http://www.enersize.com/upload/publications/enersize_casee_part1.pdf.
- Pfingsten, A. (1989): Mikroökonomik, Berlin u.a.: Springer-Verlag.
- Picot, A. (1992): Marktorientierte Gestaltung der Leistungstiefe. In: Reichwald, R. (Hrsg.): Marktnahe Produktion: Lean Production- Leistungstiefe- Time- to- Market- Vernetzung- Qualifikation. Wiesbaden: Gabler, S. 104-124.
- Pöyhönen, M.; Härmäläinen, R.P. (2000): There is hope in attribute weighting. In: INFOR, 38 (3), S. 272-282.
- Qin, H.; McKane, A. (2008): Improving energy efficiency of Compressed Air System based on System Audit. Lawrence Berkeley National Laboratory. Online: <http://escholarship.org/uc/item/13w7f2fc>.
- Queiruga, D.; Walther, G.; Gonzáles-Benito, J.; Spengler, T. (2008): Evaluation of sites for the location of WEEE recycling plants in Spain. In: Waste Management, 28 (1), S. 181-190.
- Radgen, P. (2003): Bedeutung der Druckluftanwendung für Wettbewerbsfähigkeit, Energieverbrauch und CO₂-Emission. In: Ruppelt, E. (Hrsg.): Druckluft-Handbuch. Essen: Vulkan Verlag, S. 1-11.
- Radgen, P. (2004): Compressed Air System Audits and Benchmarking : Results from the German Compressed Air Campaign "Druckluft effizient" - Proceedings of the 3rd European Congress on the "Economics and Management of Energy in Industry", Reis, A. (Hrsg.), Proceedings of the 3rd European Congress on the "Economics and Management of Energy in Industry": CENERTEC - Centro de Energia e Tecnologia, Rio Tinto, Portugal.

- Radgen, P.; Blaustein, E. (Hrsg.) (2001): Compressed Air Systems in the European Union - Energy, Emissions, Savings Potential and Policy Actions. Stuttgart: LOG_X Verlag GmbH.
- Ramanathan, R.; Ganesh, L.S. (1994): Group preference aggregation methods employed in AHP: An evaluation and an intrinsic process for deriving members' weightages. In: European Journal of Operational Research, 79 (2), S. 249-265.
- Reiskin, E.D.; Johnson, J.K.; Votta, T.J. (2000): Servicizing the Chemical Supply Chain. In: Journal of Industrial Ecology, 3 (2&3), S. 19-31.
- Rentmeister, J.; Klein, S. (2003): Geschäftsmodelle - ein Modebegriff auf der Waagschale. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Ergänzungsheft 1/2003, S. 17-30.
- Rese, M.; Karger, M.; Strotmann, W.-C. (2007): Welche hybriden Leistungsbündel für welche Kunden ? - Eine die Marktseiten integrierende Betrachtung. In: wt Werkstattstechnik online, 97 (7/8), S. 533-537.
- Rese, M.; Karger, M.; Strotmann, W.-C. (2009a): The dynamics of Industrial Product Service Systems (IPS2) - using the Net Present Value Approach and Real Options Approach to improve life cycle management. In: CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 1 (4), S. 279-286.
- Rese, M.; Strotmann, W.-C.; Karger, M. (2009b): Which industrial product service system fits best? Evaluating flexible alternatives based on customers' preference drivers. In: Journal of Manufacturing Technology Management, 20 (5), S. 640-653.
- Richter, A.; Steven, M. (2009): Controlling-Aspekte industrieller Produkt-Service Systeme. In: wt Werkstattstechnik online, 99 (7/8), S. 558-563.
- Roels, G.; Karmarkar, U.S.; Carr, S. (2010): Contracting for Collaborative Services. In: Management Science, 56 (5), S. 849-863.
- Rothenberg, S. (2007): Sustainability through servicizing. In: Sloan Management Review, 43 (2), S. 82-92.
- Routroy, S.; Kodali, R. (2007): Promethee II for Selection of Carrier in Supply Chain. In: The ICFAI Journal of Supply Chain Management, 4 (1), S. 29-39.
- Roy, B. (1980): Selektieren, Sortieren und Ordnen mit Hilfe von Prävalenzrelationen: Neue Ansätze auf dem Gebiet der Entscheidungshilfe für Multikriteriaprobleme. In: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 1980 (32), S. 465-497.
- Roy, B. (1991): The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. In: Theory and Decision, 31 (1), S. 49-73.
- Roy, R. (2000): Sustainable product-service systems. In: Futures, 32 (3-4), S. 289-299.

- Ruhland, A. (2004): Entscheidungsunterstützung zur Auswahl von Verfahren der Trinkwasseraufbereitung an den Beispielen Arsenentfernung und zentrale Enthärtung, Berlin: Technische Universität Berlin, Fakultät III - Prozesswissenschaften.
- Ruppelt, E. (2003a): Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer Druckluftherzeugung. In: Erwin Ruppelt (Hrsg.): Druckluft-Handbuch. Essen: Vulkan Verlag, S. 477-500.
- Ruppelt, E. (2003b): Druckluftaufbereitung. In: Ruppelt, E. (Hrsg.): Druckluft-Handbuch. Essen: Vulkan Verlag, S. 159-176.
- Ruppelt, E. (2003c): Druckluftherzeugung. In: Feldmann, K.-H. (Hrsg.): Optimale Druckluftverteilung: So spart man Energie und Kosten in Druckluftverteilungsnetzen. Renningen: Expert Verlag, S. 73-123.
- Ruppelt, E. (2003d): Druckluftherzeugung. In: Ruppelt, E. (Hrsg.): Druckluft-Handbuch. Essen: Vulkan Verlag, S. 145-157.
- Ruppelt, E. (2003e): Planung einer Kompressorstation. In: Erwin Ruppelt (Hrsg.): Druckluft-Handbuch. Essen: Vulkan Verlag, S. 1-11.
- Ruppelt, E.; Bahr, M. (2000): Taschenbuch Drucklufttechnik, 4. Auflage, Essen: Vulkan Verlag.
- Saaty, T.L. (1980): The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority Setting, Resource Allocation, New York: McGraw-Hill International Book Co.
- Saaty, T.L. (1990): How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. In: European Journal of Operational Research, 48 (1), S. 9-26.
- Saaty, T.L. (2001): Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process : the Organization and Prioritization of Complexity, 2. Auflage, Analytic hierarchy process series, Pittsburgh: Rws Publications.
- Saaty, T. (2008): Decision making with the analytic hierarchy process. In: International Journal of Services Sciences, 1 (1), S. 83-98.
- Saaty, T.L. (1989): Group decision making and the AHP. In: Golden, B.L.; Edward, A.W.; Harker, P.T. (Hrsg.): The Analytic Hierarchy Process: Applications and Studies. Heidelberg: Springer-Verlag, S. 59-67.
- Saidur, R.; Rahim, N.A.; Hasanuzzaman, M. (2010): A review on compressed-air energy use and energy savings. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, S. 1135-1153.
- Sakao, T.; Shimomura, Y. (2007): Service Engineering: a novel engineering discipline for producers to increase value combining service and product. In: Journal of Cleaner Production, 15 (6), S. 590-604.

- Salo, A.A.; Hämäläinen, R.P. (1997): On the measurement of preferences in the analytic hierarchy process. In: Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 6 (6), S. 309-319.
- Sarkis, J.; Sundarraj, R.P. (2002): Managerial issues in locating a spare-parts hub for Digital Equipment Corporation. In: Production & Inventory Management Journal, 43 (1/2), S. 47-54.
- Sattler, P. (2008): Energieeffiziente Druckluftanwendung, Stadt Wien, MA 27, EU-Strategie und Wirtschaftsentwicklung (Hrsg.), Wien.
- Schauff, M. (2000): Die Computerunterstützung konsensorientierter Gruppenentscheidungen, Köln: Jörg Saborowski Verlag.
- Scheubrein, R. (2000): Computerunterstützte Gruppenentscheidungen, Informationsmanagement und Computer Aided Team, Krcmar, H., Wiesbaden: Gabler-Verlag und Deutscher Universitäts-Verlag.
- Schneeweiß, C. (1991): Planung 1: Systemanalytische und entscheidungstheoretische Grundlagen, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Schneeweiss, C. (2003): Distributed Decision Making, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Schönung, F. (2008): Kontinuierliche, bewegliche Druckluftzuführungen an Montagelinien, Wissenschaftliche Berichte des Instituts für Fördertechnik und Logistiksysteme der Universität Karlsruhe (TH), Band 71, Furmans, K., Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe.
- Schröter, M.; Biege, S. (Hrsg.) (2012): Chancen für die nachhaltige Entwicklung durch neue hybride Wertschöpfungskonzepte: im Erscheinen.
- Schröter, M.; Biege, S.; Lerch, C. (2008): Dienstleistungsbasierte Geschäftsmodelle für die Montage. In: Witte, K.-W.; Vielhaber, W. (Hrsg.): Lebenszyklusoptimierte Montage: Modulare Systeme und neue Geschäftsmodelle. Aachen: Shaker Verlag.
- Schröter, M.; Buschak, D.; Jäger, A. (2010): Nutzen statt Produkte kaufen - Verbreitung und Effekte neuer Produkt-Dienstleistungs-Konzepte im deutschen Verarbeitenden Gewerbe, Modernisierung der Produktion Nr. 53, Karlsruhe: Fraunhofer Insitut für System- und Innovationsforschung.
- Schröter, M.; Weißfloch, U.; Buschak, D. (2009): Energieeffizienz in der Produktion - Wunsch oder Wirklichkeit? Energieeinsparpotenziale und Verbreitungsgrad energieeffizienter Techniken, Modernisierung der Produktion Nr. 51, Karlsruhe: Fraunhofer Insitut für System- und Innovationsforschung.
- Schuh, G.; Klotzbach, C.; Gaus, F. (2007): Lebenszykluskostenbasierte Servicemodelle. In: wt Werkstattstechnik online, 97 (7/8), S. 550-554.

- Schuh, G.; Sauer, A.; Schmidt, C.; Schöning, M.; Spille, J. (2006): Erfolg mit Betreibermodellen - Studie im Maschinen- und Anlagenbau, FIR/WZL (Hrsg.).
- Schweiger, S. (2009): Nachhaltige Wettbewerbsvorteile für Anbieter und Nutzer von Maschinen/Anlagen durch Lebenszykluskostenoptimierung schaffen. In: Schweiger, S. (Hrsg.): Total Cost of Ownership im Maschinen- und Anlagenbau. Wiesbaden: Gabler, S. 15-34.
- Šešlija, D.; Stojiljkovic, M.; Golubovic, Z.; Blagojevic, V.; Dudic, S. (2009): Identification of the possibilities for increasing energy efficiency in the compressed air systems. In: Mechanical Engineering, 7 (1), S. 37-60.
- Sorrell, S. (2007): The economics of energy service contracts. In: Energy Policy, 35 (10), S. 507-521.
- Sorrell, S.; Schleich, J.; Scott, S.; O'Malley, E.; Trace, F.; Böde, U.; Köwener, D.; Mannsbart, W.; Ostertag, K.; Radgen, P. (2000): Reducing Barriers to Energy Efficiency in Private and Public Organisations. Final Report, European Commission: Non Nuclear Energy Programme: Joule III, JOS3CT970022: University of Sussex - SPRU, Brighton.
- Spath, D.; Demuß, L. (2003): Entwicklung hybrider Produkte - Gestaltung materieller und immaterieller Leistungsbündel. In: Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W. (Hrsg.): Service Engineering - Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 467-506.
- St.Baker, Q. (2009): The compressor myth. In: Process and control engineering, 62 (3), S. 20.
- Stahel, W.R. (1997): The service economy: wealth without resource consumption? In: The Royal Society, 355 (1728), S. 1309-1319.
- Stähler, P. (2002): Geschäftsmodelle in der digitalen Ökonomie- Merkmale, Strategien und Auswirkungen, Köln-Lohmar: Josef Eul Verlag.
- Stanik, M. (2007): Kooperative Full-Service Strategien, Schriften zur Unternehmensplanung Band 76, Bea, F.X.; Kötzle, A.; Zahn, E., Frankfurt a. Main: Perer Lang.
- Statistisches Bundesamt (2008): Klassifikation der Wirtschaftszweige - Mit Erläuterungen. Wiesbaden. Online: https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftsklassifikationen/klassifikationwz2008_erl.pdf?__blob=publicationFile (Stand: 23.10.2012).
- Steeb, R.; Johnston, S.C. (1981): A Computer-Based Interactive System for Group Decisionmaking. In: IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, SMC-11 (8), S. 544-552.

- Steven, M.; Welp, E.G.; Richter, A.; Sadek, T. (2008): Verfügbarkeitsorientierte Geschäftsmodelle und Flexibilität industrieller Produkt-Service Systeme. In: wt Werkstattstechnik online, 98 (7/8), S. 587-592.
- Stoughton, M.; Votta, T. (2003): Implementing service-based chemical procurement: lessons and results. In: Journal of Cleaner Production, 11 (8), S. 839-849.
- Sundin, E. (2009): Life-Cycle Perspectives of Product/Service- Systems: In Design Theory. In: Sakao, T.; Lindahl, M. (Hrsg.): Introduction to Product/Service-System Design. London: Springer-Verlag, S. 31-49.
- Taslicali, A.K.; Ercan, S. (2006): The analytic hierarchy & the analytic network processes in multicriteria decision making: a comparative study. In: Journal of Aeronautics and Space Technologies, 2 (4), S. 55-65.
- Tecle, A. (1988): Choice of multicriteria decision making techniques for watershed management, Tucson, Arizona: University of Arizona.
- Teece, D.J. (2010): Business Models, Business Strategy and Innovation. In: Long range planning, 43 (2-3), S. 172-194.
- Tempelman, E. (2004): Product Services in the need area 'Food', SusProNet-TNO/Kathalys-01, SusProNet Report, Sustainable Product-Service co-design Network.
- Terrados, J.; Almonacid, G.; Perez-Higueras, P. (2009): Proposal for a combined methodology for renewable energy planning. Application to a Spanish region. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13 (8), S. 2022-2030.
- The Energy Research Institute (2000): How to save energy and money in compressed air systems, 3E Strategy Series, The Energy Research Institute. Department of Mechanical Engineering, U.o.C.T., Cape Town: The Energy Research Institute.
- Thomas, O.; Walter, P.; Loos, P. (2008): Product-Service Systems: Konstruktion und Anwendung einer Entwicklungsmethodik. In: Wirtschaftsinformatik, 50 (3), S. 208-219.
- Timmers, P. (1998): Business Models for Electronic Markets. In: Electronic Markets, 8 (2), S. 3-8.
- Toffel, M.W. (2008): Contracting for Servicizing, Harvard Business School Technology & Operations Mgt. Unit Research Paper Nr. 08-063, Boston.
- Tukker, A. (2004): Eight Types Of Product-Service Systems: Eight Ways To Sustainability? Experiences from SusProNet. In: Business Strategy and the Environment, 13 (4), S. 246-260.

- Turcksin, L.; Bernardini, A.; Macharis, C. (2011): A combined AHP-PROMETHEE approach for selecting the most appropriate policy scenario to stimulate a clean vehicle fleet. In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 20, S. 954-965.
- U.S.Department of Energy (Hrsg.) (2001): *Assessment of the Market for Compressed Air Efficiency Services*. Washington D.C.: Office of Industrial Technologies, Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S.Department of Energy.
- U.S.Department of Energy (2003): *Improving Compressed Air System Performance - A Sourcebook for Industry, Energy Efficiency and Renewable Energy*, Washington D.C.
- U.S.Department of Energy (2004): *Energy Tips Compressed Air: Compressed Air Tip Sheet #3*. Online:
http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_deployment/pdfs/compressed_air3.pdf (Stand: 03.07.2012).
- Ulrich, K.T.; Eppinger, S.D. (1995): *Product design and development, Management and organization series*, USA: McGraw-Hill.
- van Halen, C.; Velozzi, C.; Wimmer, R. (2005): *Methodology for Product Service System Innovation - how to develop clean, clever and competitive strategies in companies*, Assen: Koninklijke Van Gorcum.
- Vandermerwe, S.; Rada, J. (1988): *Servitization of Business: Adding Value by Adding Services*. In: *European Management Journal*, 6 (4), S. 314-324.
- VDI 2221 (1993): *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*, VDI-Fachbereich Produktentwicklung und Mechatronik, Düsseldorf: VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung.
- Velamuri, V.K.; Neyer, A.-K.; Möslin, K.M. (2011): Hybrid value creation: A systematic review of an evolving research area. In: *Journal für Betriebswirtschaft*, 61 (1), S. 3-31.
- Vercalsteren, A.; Geerken, T. (2004): *Product Services in the Need Area 'Households'*, Suspronet - Vito - 01, SusProNet Report - Sustainable Product-Service co-design Network.
- Vetschera, R. (1990): Group decision and negotiation support - A methodological survey. In: *OR Spektrum*, 12, S. 67-77.
- Vine, E. (2005): An international survey of the energy service company (ESCO) industry. In: *Energy Policy*, 33 (5), S. 691-704.
- von Garrel, J.; Dengler, T. (2010): Typologie Industrieller Betreibermodelle. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)*, 105, S. 73-79.

- Von Neumann, J.; Morgenstern, O. (1944): Theory of games and economic behavior, Princeton, New Jersey: Princeton university press.
- Walther, G.; Schmidt, K. (2010): Methodenwahl zur Analyse von Wertschöpfungs- und Standortstrukturentscheidungen vor dem Hintergrund der Problemstellung Produktpiraterie: Unveröffentlichter Projektbericht.
- Wang, X.; Triantaphyllou, E. (2008): Ranking irregularities when evaluating alternatives by using some ELECTRE methods. In: Omega, 36 (1), S. 45-63.
- Weber, C.; Steinbach, M.; Botta, C.; Deubel, T. (2004): Modelling of Product-Service Systems (PSS) Based on the PDD Approach, Proceedings of the 8th International Design Conference DESIGN 2004, Marjanovic D., Dubrovnic.
- Weber, L. (1997): Some reflections on barriers to the efficient use of energy. In: Energy Policy, 25 (10), S. 833-835.
- Weihs, D.; Scherf, S. (2007): Eine runde Sache - Druckluftcontracting in der Räderproduktion. Mülheim: Ingersoll Rand. Online: [http://kompressoren.ingersollrand.de/fileadmin/Brochures/Sonderdruck Contracting_DLT%201_07.pdf](http://kompressoren.ingersollrand.de/fileadmin/Brochures/Sonderdruck_Contracting_DLT%201_07.pdf) (Stand: 24.08.2012).
- Weißfloch, U.; Geldermann, J. (2012): Dealing with Conflicting Targets by Using Group Decision Making within PROMETHEE. In: Operations Research Proceedings 2011. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 115-120.
- Werding, A. (2005): Bewertung von Betreibermodellen in Produktionsbetrieben, 2005. Auflage, Aachen: Shaker Verlag.
- Wheelwright, S.C.; Clark, K.B. (1992): Revolutionizing Product Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality, New York: Free Press.
- White, G.E.; Ostwald, P.H. (1976): Life Cycle Costing. In: Management Accounting, 57 (7), S. 39-42.
- Williams, A. (2005): The Strategic Management of Product Service Systems, The Centre For Business Relationships, Accountability, Sustainability and Society Working Paper Series Nr. 28, Cardiff: BRASS Centre.
- Wise, R.; Baumgartner, P. (1999): Go Downstream - The New Profit Imperative in Manufacturing. In: Harvard Business Review, Jg. 1999 (5), S. 133-141.
- Woodward, D.G. (1997): Life Cycle costing - theory, information acquisition and application. In: International Journal of Project Management, 15 (6), S. 335-344.
- Yang, M. (2009): Air compressor efficiency in a Vietnamese enterprise. In: Energy Policy, 37 (6), S. 2327-2337.

- Yoon, K.P.; Hwang, C.-L. (1995): Multiple Attribute Decision Making: An Introduction, Quantitative Applications in the Social Sciences, Lewis-Beck, M.S., Iowa City, Iowa: Sage Publications.
- Zangemeister, C. (1976): Nutzwertanalyse in der Systemtechnik: eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen, 4. Auflage. Auflage, München: Wittemann.
- Zäpfel, G. (2000): Taktisches Produktions-Management, 2. Auflage, Internationale Standardlehrbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, München: Oldenbourg.
- Zhang, K. (2004): Entwicklung eines integrierten multikriteriellen Entscheidungsunterstützungssystems für Gruppen, Aachen: Shaker Verlag.
- Zimmermann, H.J.; Gutsche, L. (1991): Multi-Criteria Analyse: Einführung in die Theorie der Entscheidungen bei Mehrfachzielsetzungen, Berlin: Springer-Verlag.

9 Anhang

Informationsquellen für Standardkomponenten

Tabelle 9.1: Quellen für die technische und wirtschaftliche Ausgestaltung der Standardkomponenten.

Kategorie	Information über	Quelle
_Gesamt	div. Komponenten	http://www.esska.de
_Gesamt	div. Komponenten	http://www.prematic.ch
_Gesamt	div. Komponenten	http://www.ultra-shop.com
_Gesamt	div. Komponenten	KDT - Preiskatalog Verbraucher 2010
_Gesamt	div. Komponenten	Landefeld - Pneumatik-Atlas
Anwendung	Ausblaspistolen	Flowtechnology Katalog - Ausblaspistolen
Anwendung	Ausblaspistolen	Landefeld - Dokumentation Ausblaspistolen-Düsen u. Zubehör
Anwendung	Blaspistolen	CEJN - Pneumatikprodukte
Anwendung	Druckluftbehälter	http://www.esska.de/esska_de_s/druckluftbehaelter.html
Anwendung	Düsen	Druckluft Kompendium
Anwendung	Düsen	EXAIR Price List 2011
Anwendung	Düsen	http://eputec.exair.com/airnozzlesandjets/anpage.php
Anwendung	Düsen	Landefeld - Dokumentation Ausblaspistolen-Düsen u. Zubehör
Anwendung	Düsen	Lechler - Pneumatikdüsen
Anwendung	Düsen	Sprayin Systems - Druckluft Blasdüsen und Zubehör
Anwendung	Farbspritzpistole	Flowtechnology Katalog - Farbspritzpistolen
Anwendung	Filter	http://www.esska.de/esska_de_s/druckluft-filter.html
Anwendung	Hebeausrüstung	Ingersoll Rand Katalog - Industrielle Hebeausrüstung
Anwendung	Hebezüge	Druckluft-Katalog Yokota
Anwendung	Kompressoren	http://www.esska.de/esska_de_s/kompressoren.html
Anwendung	Trockner	http://www.esska.de/esska_de_s/drucklufttrockner.html
Anwendung	Vakuumtechnik	http://flowtechnology.net/index_du.php
Anwendung	Ventile	http://flowtechnology.net/index_du.php
Anwendung	Werkzeuge	AGRE - Druckluftwerkzeuge 2011
Anwendung	Werkzeuge	AGRE - Preisliste 2010
Anwendung	Werkzeuge	aircraft Drucklufttechnik Produktkatalog
Anwendung	Werkzeuge	Atlas Copo - Handbuch der Drucklufttechnik
Anwendung	Werkzeuge	ChicagoPneumatic (CP) - Power Tools Katalog
Anwendung	Werkzeuge	Druckluft-Katalog Yokota
Anwendung	Werkzeuge	Flowtechnology Katalog - Druckluftwerkzeuge AIRPRO
Anwendung	Werkzeuge	Flowtechnology Katalog - Druckluftwerkzeuge CP
Anwendung	Werkzeuge	HAZET - Pneumatik-Werkzeuge
Anwendung	Werkzeuge	http://flowtechnology.net/index_du.php
Anwendung	Werkzeuge	http://www.druckluftwerkzeug.biz
Anwendung	Werkzeuge	http://www.holz-metall.info/shop1/kategorie334.htm
Anwendung	Werkzeuge	http://www.mercateo.com/c/656-19/Druckluftwerkzeuge.html

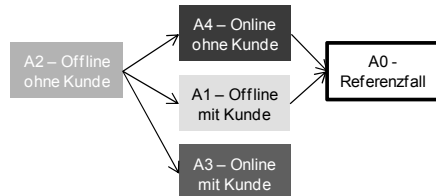
Tabelle 9.1: Fortsetzung

Kategorie	Information über	Quelle
Anwendung	Werkzeuge	http://www.tec-kstools.eu/index.php/cat/c4_DRUCKLUFT-AKKU.html
Anwendung	Werkzeuge	http://www.vitolon.de
Anwendung	Werkzeuge	Ingersoll Rand - Guide to the selection & installation of CAS
Anwendung	Werkzeuge	KAESER - Druckluft Seminar Handbuch
Anwendung	Werkzeuge	PRO-Werkzeuge Hauptkatalog
Anwendung	Wkz./Industrie	Ingersoll Rand Katalog - Industrie-Werkzeuge
Anwendung	Wkz./Montage	Ingersoll Rand Katalog - Montage-Werkzeuge
Anwendung	Zylinder	http://flowtechnology.net/index_du.php
Anwendung	Zylinder	http://www.esska.de/esska_de_s/druckluftzylinder.html
Anwendung	Zylinder	Unimatic Drucklufttechnik Hamburg - ZYLINDER
Aufbereitung	Druckluftbehälter	AGRE - Drucklufttechnik (DL-Aufbereitung und Zubehör)
Aufbereitung	Filter	AGRE - Drucklufttechnik (DL-Aufbereitung und Zubehör)
Aufbereitung	Filter	aircraft Drucklufttechnik Produktkatalog
Aufbereitung	Filter	Filter- und Trocknertechnik GmbH - Preiskatalog 2011
Aufbereitung	Filter	Filter- und Trocknertechnik GmbH - Produktkatalog 2010
Aufbereitung	Filter	http://flowtechnology.net/index_du.php
Aufbereitung	Filter	http://www.boge.de/artikel/Produkte/Aufbereitung.jsp?msf=200,200
Aufbereitung	Filter	http://www.filtershop.biz/index.php?cat=c94_Zander-Filterelemente-fuer-Zander-Filterelemente-fuer.html
Aufbereitung	Filter	KAESER - Filter, Zyklonabscheider
Aufbereitung	Kältetrockner	BOGE - Kältetrockner (DS-Baureihe)
Aufbereitung	Kältetrockner	Donaldson - Buran Kältetrockner
Aufbereitung	Trockner	AGRE - Drucklufttechnik (DL-Aufbereitung und Zubehör)
Aufbereitung	Trockner	aircraft Drucklufttechnik Produktkatalog
Aufbereitung	Trockner	Donaldson - Buran Kältetrockner
Aufbereitung	Trockner	Filter- und Trocknertechnik GmbH - Preiskatalog 2011
Aufbereitung	Trockner	Filter- und Trocknertechnik GmbH - Produktkatalog 2010
Aufbereitung	Trockner	http://www.boge.de/artikel/Produkte/Aufbereitung.jsp?msf=200,200
Aufbereitung	Zyklonabscheider	KAESER - Filter, Zyklonabscheider
Speicherung	Druckluftspeicher	http://www.boge.de/artikel/Produkte/Aufbereitung.jsp?msf=200,200
Verdichtung	Kompressoren	AGRE - Preisliste 2010
Verdichtung	Kompressoren	aircraft Drucklufttechnik Produktkatalog
Verdichtung	Kompressoren	Druckluft 2000 - gebrauchte Kompressoren, Trockner, Zubehör
Verdichtung	Kompressoren	http://www.boge.de/artikel/Produkte/Aufbereitung.jsp?msf=200,200
Verdichtung	Kompressoren	KAESER compressors AIRTOWER Series
Verteilung	Kupplungen	CEJN - Pneumatikprodukte
Verteilung	Rohrleitungen	AGRE - Preisliste 2010
Verteilung	Rohrleitungen	aircraft Drucklufttechnik Produktkatalog
Verteilung	Rohrleitungen	http://flowtechnology.net/index_du.php
Verteilung	Rohrsysteme	Buderus Kap.7 - Rohrsysteme, Rohre, Rohrverbindungen
Verteilung	Schläuche	CEJN - Pneumatikprodukte
Verteilung	Schläuche	http://flowtechnology.net/index_du.php

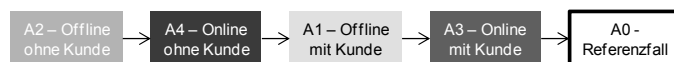
Variation des Kundenswerpunkts

Original (Schwerpunkt Wirtschaftlichkeit)

PROMETHEE I

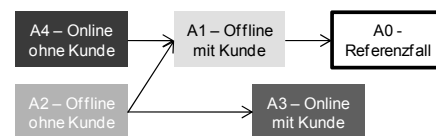


PROMETHEE II

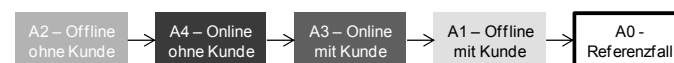


Schwerpunkt Energieeffizienz

PROMETHEE I

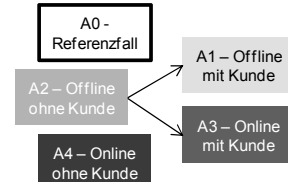


PROMETHEE II

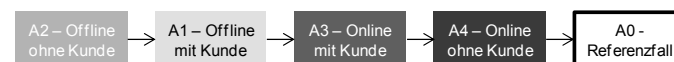


Schwerpunkt minimale Risiken

PROMETHEE I

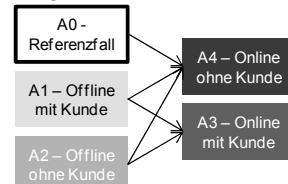


PROMETHEE II



Schwerpunkt Unabhängigkeit

PROMETHEE I



PROMETHEE II

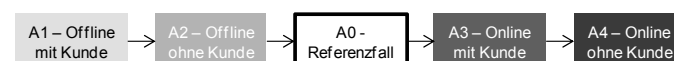


Abbildung 9.1: Rangfolgen des Kunden (Szenario 1) (eigene Darstellung).

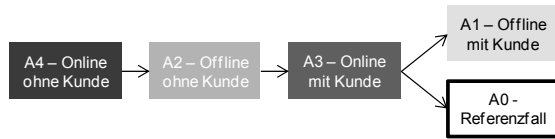
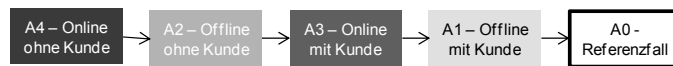
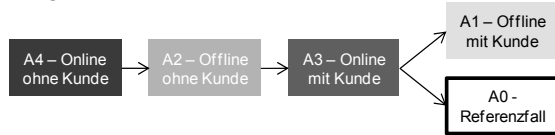
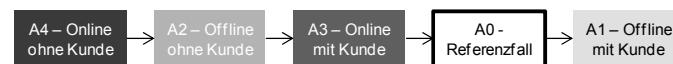
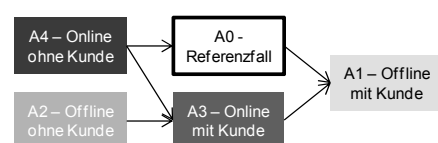
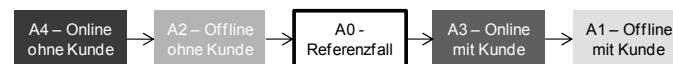
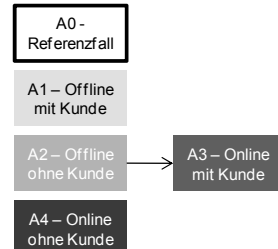
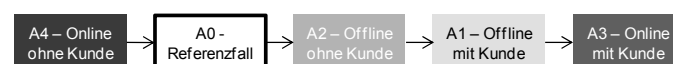
Original (Schwerpunkt Wirtschaftlichkeit)**PROMETHEE I****PROMETHEE II****Schwerpunkt Energieeffizienz****PROMETHEE I****PROMETHEE II****Schwerpunkt minimale Risiken****PROMETHEE I****PROMETHEE II****Schwerpunkt Unabhängigkeit****PROMETHEE I****PROMETHEE II**

Abbildung 9.2: Rangfolgen des Kunden (Szenario 2) (eigene Darstellung).

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, wie für eine Auswahl unterschiedlicher Produkt-Dienstleistungssysteme für Druckluftsysteme eine geeignete Kompromisslösung für Kunde und Anbieter in einem gemeinsamen Bewertungsansatz ermittelt werden kann. Nach einem Literaturüberblick wird ein geeigneter Entwicklungsansatz für Produkt-Dienstleistungssysteme aufgezeigt und eine Methode zur gemeinsamen Bewertung durch Kunde und Anbieter entwickelt. Diese beiden Ansätze werden in einer anschließenden Fallstudie zur Steigerung der Energieeffizienz von Druckluftsystemen getestet.

Das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI analysiert Entstehung und Auswirkungen von Innovationen. Es erforscht die kurz- und langfristigen Entwicklungen von Innovationsprozessen und die gesellschaftlichen Auswirkungen neuer Technologien und Dienstleistungen. Auf dieser Grundlage stellt es seinen Auftraggebern aus Wirtschaft, Politik und Wissenschaft Handlungsempfehlungen und Perspektiven für wichtige Entscheidungen zur Verfügung. Seine Expertise liegt in der breiten wissenschaftlichen Kompetenz sowie einem interdisziplinären und systemischen Forschungsansatz.



FRAUNHOFER VERLAG

ISBN 978-3-8396-0569-1



9 783839 605691

