



**Entwicklung eines Kollaborationsnetzwerkes
zur Optimierung von Produktionskapazitäten durch Organisation
dynamischer Kooperationen, mit prototypischer Umsetzung für die
Druckindustrie**

Sebastian Meiser, M.Sc.

1. Gutachter: **Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kühn**

2. Gutachter: **Prof. Dr. rer. soc. Karl-Heinrich Schmidt**

Arbeit zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften

Bergische Universität Wuppertal

FB E: Elektrotechnik, Informationstechnik, Drucktechnik

10. Mai 2013

Die Dissertation kann wie folgt zitiert werden:

urn:nbn:de:hbz:468-20131205-112138-6

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3Ahbz%3A468-20131205-112138-3>]

Dank

Für die Unterstützung und Betreuung meines Promotionsvorhabens gehört mein Dank in erster Linie Herrn Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kühn. Bei Herrn Prof. Dr. rer. soc. Karl-Heinrich Schmidt möchte ich mich besonders für die Motivation zum Promotionsantritt bedanken.

Meinen Kollegen aus der Druck- und Medientechnologie danke ich für die gute Zusammenarbeit und den gegenseitigen Wissenstransfer. Besonders habe ich meinem Kollegen Helge Hemmer für die Unterstützung während der Prototypentwicklung des hier vorgestellten Kollaborationsnetzwerkes zu danken.

Großer Dank geht an meine Lebensgefährtin Kerstin Lindner, die mich auch während schwieriger Zeiten sehr unterstützt hat.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	1
Kurzfassung.....	2
1. Dynamische Kooperation als Reaktion auf die Marktentwicklung in der Druckindustrie	3
1.1. Kooperation	4
1.2. Marktsituation und Outsourcingverhalten in der Druckindustrie	6
1.3. Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	9
2. E-Business: Der elektronische Geschäftsverkehr	12
2.1. Formen von E-Business	12
2.2. E-Business-Standards und Netzwerkkonzepte	21
3. Konzept des BUW-Outsourcingnetzwerkes	34
3.1. Netzwerkarchitektur und Funktion.....	34
3.2. Positionierung des BUW-Outsourcingnetzwerkes zum Stand der Technik	40
3.3. Modell der für die Matchingprozesse erforderlichen Daten	44
4. Matching und Auswahl von Fertigungsmöglichkeiten	56
4.1. Beispielszenario zur Fremddienstleistersuche.....	59
4.2. Parametersatz zur Suche nach Fertigungsmöglichkeiten	61
4.3. Reduktionsphasen der Fremddienstleistersuche	65
4.4. Angebotseinholung und Auftragsvergabe	76
5. Multikriterielle Entscheidungsfindung	78
5.1. Multikriterielle Entscheidungsfindung.....	78
5.2. Rankingmethoden zur Lösung multikriterieller Problemstellungen.....	81
6. Konzeption und Evaluation der inkrementellen Reduktion	89
6.1. Notwendigkeit der Kandidatenreduktion bei der Fremddienstleistersuche	89
6.2. Entwicklung eines Reduktionsverfahrens auf Basis des Einzelkriterienvergleiches und einer Entscheidungsheuristik	90
6.3. Verfahrensauswahl einer Rastersuche für die Analyse von Reduktionsverfahren.....	102
6.4. Kennzahlenbestimmung zur Bewertung von Reduktionsverfahren für Rankingprozesse	103

6.5.	Notation der Reduktionsverfahren.....	112
6.6.	Verfahrensanalyse zur inkrementellen Reduktion	120
6.7.	Fazit zur Verfahrensentwicklung der inkrementellen Reduktion	163
7.	Prototypische Umsetzung.....	165
7.1.	Fokus und Einschränkungen der Implementierung.....	165
7.2.	Softwareumgebung OpenFred.....	168
7.3.	Umsetzung	169
7.4.	Grenzen, Entwicklungsarbeiten und Einsatzbereiche.....	175
8.	Potentiale und Grenzen.....	177
8.1.	Potentiale und Grenzen des BUW-Outsourcingnetzwerkes	178
8.2.	Potentiale und Grenzen des kriterienbasierten Reduktionskonzeptes	181
8.3.	Fazit	183
	Abkürzungsverzeichnis / Notation.....	185
	Abbildungsverzeichnis.....	188
	Tabellenverzeichnis.....	191
	Anhangsverzeichnis.....	193
	Literaturverzeichnis.....	194

Abstract

The presented network approach for business cooperation deals with the setup and enactment of dynamic partnerships for job oriented production outsourcing. The focus is on the setup phase, more precisely on the search for and proof of suitable service providers. Compared to existing platforms for job outsourcing, the network concept is oriented on an automatic dynamic search.

The network concept is influenced by methods and structures of existing approaches for setup, enactment and monitoring of cooperation activities. The difference to existing concepts lies on the comparison between job requirements and possible manufacturing services.

In this thesis a search in stages is presented that exceeds the usual mapping of process needs and process offers. One assumption that leads to this concept is the high variety of products and manufacturing opportunities in the manufacturing industry. The mapping of all possibilities would be inefficient. Furthermore the manufacturing skills are not the only criteria for decision making in job outsourcing.

First steps of the provider search lead to a preselection of suitable service providers by matching of manufacturing properties and obligatory criteria. In addition a further limitation of candidates by matching of ranking criteria is processed in order to make the proof of free capacities on the providers' systems manageable.

The construction and analysis of reduction methods for multi-criteria-oriented limitation of candidates as well as the selection of the most suitable method regarding to the outsourcing network are the core scientific objects in this thesis.

For practicability verification of the outsourcing network and for reduction analysis execution a prototype implementation for the printing industry will be done.

Kurzfassung

Der hier vorgestellte Ansatz eines Kooperationsnetzwerkes konzentriert sich auf die Gründung und Durchführung dynamischer Unternehmenskooperationen zur auftragsbezogenen Fremdvergabe von Fertigungsaufträgen. Der Schwerpunkt liegt dabei in der Phase des Kooperationsaufbaus, das heißt in der Suche nach und Prüfung sowie Bewertung von externen Fertigungsmöglichkeiten. Im Vergleich zu bestehenden Vergabeplattformen zur Fremdvergabe von Aufträgen setzt das vorgestellte BUW-Outsourcingnetzwerk auf eine möglichst automatisierte dynamische Suche.

In die Konzeption des BUW-Outsourcingnetzwerkes fließen Methoden und Strukturen bestehender Lösungen für den Aufbau, die Durchführung sowie die Kontrolle von Kooperationsbeziehungen ein. Ein wesentlicher konzeptioneller Unterschied besteht in dem Vergleich zwischen den Auftragsanforderungen und den zur Verfügung stehenden Fertigungsmöglichkeiten.

In dieser Arbeit wird eine in mehrere Phasen aufgeteilte Suche nach Fertigungsmöglichkeiten vorgestellt, die über einen üblichen Vergleich zwischen Prozessanforderungen und Prozessangeboten hinausgeht. Eine Grundannahme, die zu der Aufgliederung des Suchprozesses führt, ist das Bestehen einer großen Produktvielfalt sowie einer hohen Flexibilität der Produktfertigung. Ein Vergleich über alle Produktionsmöglichkeiten aller potentiellen Fremddienstleister gilt daher als ineffizient. Außerdem reicht die grundlegende Fertigungseignung in der Regel nicht aus, um den Anforderungskatalog der Fremdvergabe zu beschreiben. Der in mehrere Phasen unterteilte Suchprozess führt zunächst eine Vorselektion der Kandidaten hinsichtlich deren Fertigungseignung sowie obligatorisch zu erfüllenden Kriterien durch. Anschließend wird eine Kandidateneingrenzung anhand rangbildender Kriterien durchgeführt, um die abschließende Prüfung freier Kapazitäten auf den Fremddienstleistersystemen auf ein angemessenes Maß zu beschränken.

Die Aufstellung und Analyse zur kriterienbasierten Kandidateneingrenzung möglicher Reduktionsverfahren sowie die Auswahl des hinsichtlich des BUW-Outsourcingnetzwerkes geeignetsten Verfahrens bilden den wissenschaftlichen Kern dieser Arbeit.

Neben der Konzeptentwicklung des BUW-Outsourcingnetzwerkes erfolgt zur Prüfung der Umsetzbarkeit sowie zur Durchführung der Analysen der Reduktionsverfahren eine prototypische Umsetzung exemplarisch für ein Kooperationsnetzwerk der Druckindustrie.

1. Dynamische Kooperation als Reaktion auf die Marktentwicklung in der Druckindustrie

Unternehmen stehen heute zunehmend unter Konkurrenzdruck, sowohl global, da aufgrund der Globalisierung und der damit verbundenen „Allgegenwärtigkeit“ die Bedeutung von Standortvorteilen sinkt, als auch durch die teilweise vorhandene Verschmelzung von Branchen und Märkten. Diese Situation ist besonders durch die Entwicklungen in der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) geprägt. Hinzukommt, dass heutzutage besonders an Klein- und Mittelbetriebe (KMU), aufgrund der Ausrichtung des Käuferverhaltens in Richtung Komplettanbieter und individuelle Produkte, hohe Flexibilitätsanforderungen gestellt werden.

Abbildung 1-1 liefert einen branchenunabhängigen Überblick über die Herausforderungen, mit denen heutige Unternehmen konfrontiert werden, und führt Innovationsstrategien auf, mit denen diesen Herausforderungen entgegengetreten werden kann.

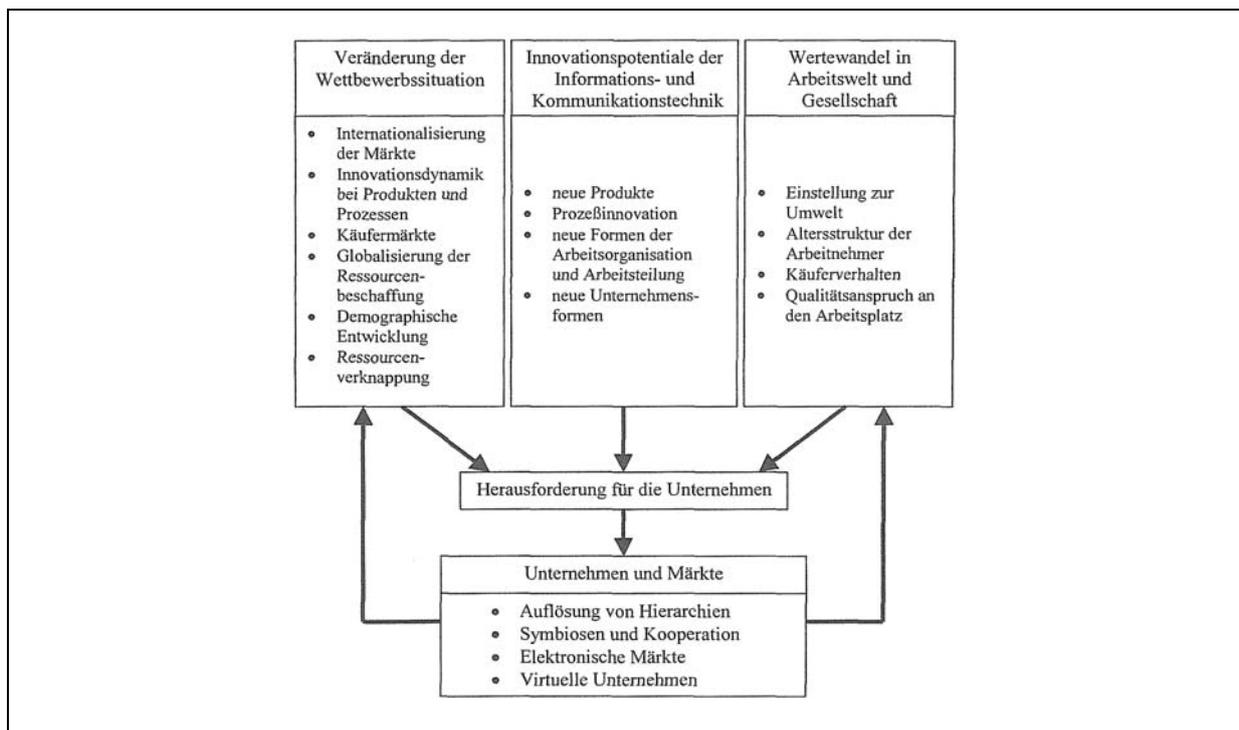


Abbildung 1-1: Innovationspotentiale, Wettbewerbssituation und Innovationsstrategien [Pic03, S. 3]

Marktprozesse werden zunehmend beschleunigt und die relevanten Marktstrukturen der KMU werden komplexer und verdichten sich, so dass heute hohe Reaktionsfähigkeit, Flexibilität und hohes Qualitätsniveau wichtige Wettbewerbskriterien sind [Bor06, S. 1 u. Bec07, S. 4].

Eine Entwicklung, die einige der „neuen“ Marktanforderungen bedient, ist der in den letzten Jahren rapide stattgefundenen Anstieg der Nutzung von E-Business-Anwendungen. Diese haben in Form von Web-to-Print sowie Vergabe- und Auktionsplattformen längst auch Einzug in die Druckindustrie gefunden.

1.1. Kooperation

„**Wo die Großen fusionieren, müssen die Kleinen kooperieren**“ [Bec07, S. 4]. Um sich gegen große Unternehmen auf lange Sicht behaupten zu können, ist eine effiziente Kooperation der KMU und damit auch der verbreitete Einsatz von E-Business-Netzwerken unumgänglich. Wettbewerbe zwischen Unternehmen werden sich in Richtung Wettbewerbe zwischen Unternehmensnetzwerken verlagern [vgl. auch Kut08 u. Sys06]. Warnecke schrieb bereits 1997: „[...] so gilt es in der Zukunft Produktionsstrukturen als ein Netzwerk aus verschiedenen Unternehmen zu verstehen und entsprechend zu organisieren“ [War97, S. 3].

In Theorie und Praxis bestehen viele Ansätze, die sich mit der Definition des Kooperationsbegriffes befassen. Hinsichtlich verschiedenster Disziplinen, in denen der Begriff Verwendung findet und der stetigen Veränderung von Ausprägungen der Zusammenarbeit, gestaltet sich die Aufstellung einer universellen Definition jedoch als schwierig, wenn nicht sogar unmöglich. Eine von *Etter* erstellte Auswahl an Definitionen [Ett03, S. 40 f.] ist dem Anhang A2 zu entnehmen. In Bezug auf die zwischenbetriebliche Kooperation haben diese überwiegend gemein, dass es sich um eine Zusammenarbeit zwischen mindestens zwei rechtlich und zumindest in von den Kooperationsaktivitäten nicht betroffenen Bereichen ökonomisch selbstständigen Unternehmen, im allgemeinen mit der Erwartung einer Win-Win-Situation, beispielsweise durch eine Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit, handelt.

Kooperationen stellen aufgrund der sich schnell wandelnden Märkte häufig einen zentralen Wettbewerbsfaktor dar, da es besonders für kleine Unternehmen immer schwieriger wird, mit den eigenen Ressourcen den schnelllebigen Marktanforderungen gerecht zu werden [Hau04, S. 1009]. Durch den Einstieg in Kollaborationsnetzwerke und der gemeinsamen Nutzung von Produktionskapazitäten werden den KMU Möglichkeiten zur Verfügung gestellt, mit denen sie flexibel agieren und wertschöpfen, sich aber trotzdem auf ihr Kerngeschäft konzentrieren können.

Die in der vorliegenden Forschungsarbeit betrachtete Kooperation dient der Fremdvergabe von Fertigungsaufträgen beziehungsweise Teilen dieser Aufträge. Diese Auslagerung von Unternehmensaufgaben an Fremddienstleister wird als Outsourcing bezeichnet. Je nach ausgelagerten Unternehmensaufgaben werden unterschiedliche Formen des Outsourcing betrachtet. In Bezug auf die vorliegende Arbeit liegen dynamische, auftragsspezifische Outsourcingentscheidungen, basierend auf der Fragestellung „Make-or-Buy“, im Vordergrund. In dieser Arbeit wird für diese Form des Outsourcings auch der Begriff des *operativen Outsourcings* verwendet.

Kooperationen lassen sich neben der Form, auch anhand ihrer Ausrichtung hinsichtlich unterschiedlicher Merkmale einteilen. Tabelle 1-1 führt gängige Einteilungsmerkmale sowie eine Einordnung des in der vorliegenden Arbeit behandelten operativen Outsourcings auf.

Das operative Outsourcing stellt eine horizontale Kooperation, das heißt eine Zusammenarbeit zwischen Unternehmen gleicher Wertschöpfungsebene (Branchenwettbewerber), dar. Eine feste geographische Ausdehnung besteht nicht, wobei eine Zusammenarbeit auf lokaler oder regionaler Ebene, beispielsweise durch Kosteneinsparung aufgrund kurzer Transportwege, am wahrscheinlichsten ist. Die Forschungsarbeit zielt auf dynamische, auftragsspezifische Partnerschaften ab. Hierdurch ergibt sich eine geringe Bindungsintensität sowie ein temporärer, kurzfristig angelegter Zeithorizont. Die dynamische Partnerwahl erfordert aufgrund fehlender Vertrauensbasis eine klare vertragliche Regelung. Bei dem operativen Outsourcing werden Aufgaben des Produktionsbereiches in Fremdfertigung gegeben. Es handelt sich um eine reziproke Kooperation, bei der die Kooperationspartner in der Regel unterschiedliche Ziele verfolgen.

Merkmal	Ausprägung					
Richtung	horizontal			vertikal		diagonal
Ausdehnung	lokal	regional		national		global
Bindungsintensität	gering			moderat		hoch
Verbindlichkeit	Absprache			Vertrag		Kapitalbeteiligung
Zeitdauer	temporär			unbegrenzt		
Zielidentität	redistributiv (gleiches Ziel)			reziprok (unterschiedliche Ziele)		
Kooperationsbereich	Forschung / Entwicklung	Vertrieb	Einkauf	Marketing	Produktion	Sonstige

Tabelle 1-1: Eingrenzung des operativen Outsourcings im Kooperationskontext [nach Bec07, S. 18]¹

Im Jahr 2003 fand eine vom Statistischen Bundesamt veröffentlichte Studie [Hau04] statt, in der 30.000 per Zufallsprobe ermittelte deutsche Unternehmen zu deren Kooperationsbeziehungen befragt wurden. Ausgeschlossen wurden Kooperationsformen, bei denen ein Unternehmen Teil eines anderen Unternehmens ist. Wichtige Erkenntnisse dieser Studie waren, dass in allen Wirtschaftsbereichen Unternehmenskooperationen, im meisten Umfang das Outsourcing, einen hohen Stellenwert einnehmen und dass die Kooperationswahrscheinlichkeit branchenunabhängig, mit Ausnahme des Baugewerbes, mit der Unternehmensgrößenklasse ansteigt. Bei der Studie ist jedoch zu beachten, dass deren Durchführung bereits zehn Jahre zurückliegt und diese nicht explizit auf das auftragsbezogene Outsourcing eingeht.

Im nächsten Abschnitt sollen die aktuelle Marktsituation sowie das auftragsbezogene Outsourcingverhalten, speziell in Bezug auf die in der Druckbranche, verdeutlicht werden.

¹ Beschreibungen zu den Merkmalsausprägungen können [Bec07, S. 18 ff.] entnommen werden.

1.2. Marktsituation und Outsourcingverhalten in der Druckindustrie

Die Druckindustrie ist als Zweig der Kommunikationsbranche erheblich von den Entwicklungen in der Informations- und Kommunikationstechnik und den damit verbundenen Einflüssen auf Unternehmen und Märkte betroffen. Beispielsweise ist die Menge an Medien, anhand derer Informationen an die Konsumenten weitergegeben werden, im Zuge der Medienkonvergenz, hinsichtlich der Informationsvermittlung gestiegen. In Bezug auf Druckprodukte haben elektronische Medien meist die Vorteile der schnellen und kostengünstigen Vertriebswege sowie Möglichkeiten zur Aktualisierung und Individualisierung von Informationen. Druckprodukte stehen, im Vergleich zu anderen Medien, daher häufig unter einem Verdrängungsdruck. Die Unternehmen sind daher in vielen Bereichen gezwungen, ihre Produktpalette, unter anderem auch durch multimediale Medien, zu erweitern. Hierzu trägt auch der bereits angesprochene Käuferwunsch nach Komplettanbietern bei.

Ebenfalls konfrontiert die Entwicklung des Käufermarktes hin zur Bestellung geringer Auflagen mit immer komplexeren individualisierten Produktstrukturen gerade die KMU der Druckindustrie, mit hohen Flexibilitätsanforderungen [vgl. Mei12, S. 2]. KMU machen den wesentlichen Teil der Druckunternehmen in Deutschland aus. Laut Studie beschäftigten im Jahr 2011 circa 70 % der Druckunternehmen in Deutschland weniger als zehn und fast 95 % weniger als 50 Mitarbeiter [Bvd12, S. 4].

Um Aussagen über das aktuelle Outsourcingverhalten der Druckunternehmen im deutschsprachigen Raum treffen zu können wurde Ende 2011, Anfang 2012 im Rahmen der Untersuchungen zu der vorliegenden Forschungsarbeit eine Umfrage durchgeführt. Bei der Studie wurden insgesamt 1.923 Unternehmen aller Bereiche der Druckindustrie über deren Verhalten und Hintergründe zu auftragsbezogenen Outsourcingaktivitäten sowie über deren Entscheidungskriterien zur Fremddienstleisterwahl befragt. Es ergab sich eine auswertbare Rücklaufquote von 5,6 % (109 Antwortbögen), bei der die Verteilung der Größenklassen der teilgenommenen Unternehmen, die aktuelle Verteilung in der Branche² gut abdeckt [vgl. Mei12, S. 4 f.]. Folgend werden einige der aus der Umfrage erlangten Erkenntnisse aufgeführt. Die vollständige Auswertung zur Umfrage befindet sich im Anhang A1.

Bezogen auf die Produktionsstruktur der Unternehmen konnte im Vergleich zu den in [Bvd12, S. 2] aufgeführten, auf Daten des Statistischen Bundesamtes beruhenden Berechnungen des *bvdm* (Bundesverband Druck und Medien e.V.) ebenfalls eine gute Marktabdeckung ermittelt werden. Den größten Anteil angebotener Druckerzeugnisse nehmen die Werbedrucksachen ein [vgl. Mei12, S. 6 f.

² Nach [Bvd12, S. 4] (Verteilung der Beschäftigungsgrößenklassen im Jahr 2011)

u. Bvd12, S. 2]. Rund 62 % der Unternehmen sehen ihr Kerngeschäft in zwei bis drei der in der Umfrage aufgeführten Produktbereiche. Fast 14 % gaben sogar an, in mehr als drei Produktbereichen ihr Kerngeschäft zu betreiben. Gerade kleine Unternehmen mit bis zu 49 Mitarbeitern verfügen über eine eher breite Produktpalette, die weitestgehend aus Produkten besteht, die einen hohen Anteil des Druckvolumens in Deutschland ausmachen. Unternehmen mit mehr als 50 Mitarbeitern sind hingegen zu circa 54 % auf einen Produktbereich festgelegt und sehen maximal in drei Bereichen ihr Kerngeschäft, wobei eher Produkte angeboten werden, die nicht den Hauptanteil des deutschen Druckvolumens ausmachen. Die Ergebnisse bestätigen zum Teil die bereits genannten Markteinflüsse auf die KMU und den sich hieraus ergebenden Konkurrenzdruck. [vgl. Mei12, S. 6 ff.]

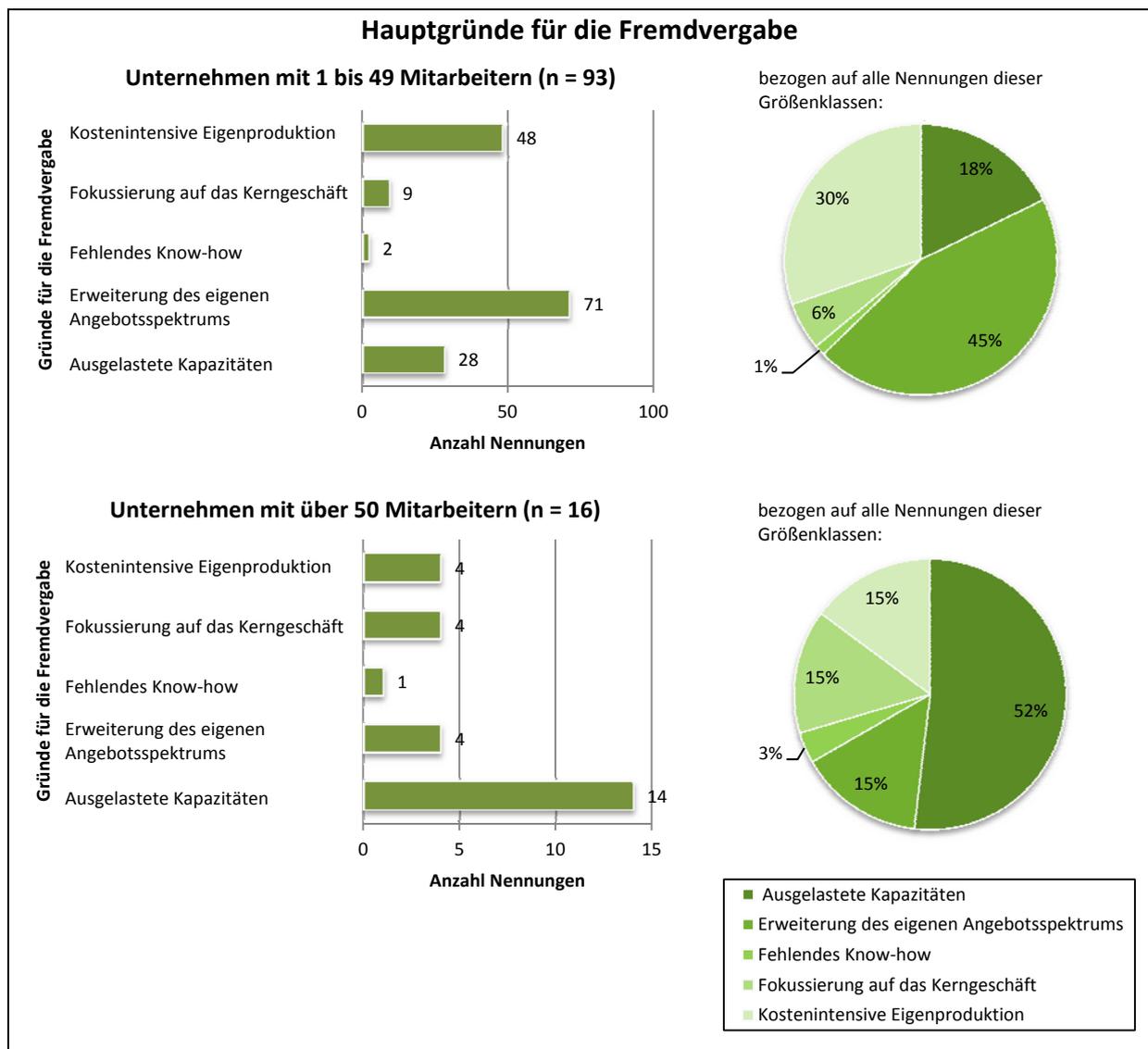


Abbildung 1-2: Hauptgründe für die Fremdvergabe von Aufträgen in der Druckindustrie [Mei12, S. 10]

Den Umfrageergebnissen ist außerdem zu entnehmen, dass das operative Outsourcing, also die Fremdvergabe von Produktionsaufträgen, einen hohen Anwendungsgrad in der Druckindustrie einnimmt. Circa 95 % der teilgenommenen Unternehmen haben bereits Druckaufträge outgesourct und 83 % haben bereits Aufträge zur Fremdfertigung erhalten.

Laut Umfrage liegt vor allem für die kleinen Betriebe der Hauptgrund für Outsourcingentscheidungen in der Erweiterung des Angebotsspektrums (siehe Abbildung 1-2). Grund hierfür dürfte die Kundenausrichtung auf individuelle Produkte sowie der Kundenwunsch nach Produkten aus einer Hand sein. Weitere wichtige Gründe für die Fremdvergabe sind eine kostenintensive Eigenproduktion sowie die Knappheit eigener Kapazitäten. Für größere Unternehmen ist die Auslastung eigener Kapazitäten der Hauptgrund für die Auftragsvergabe an Externe. Ein Grund hierfür könnte sein, dass größere Unternehmen häufig periodisch wiederkehrende Aufträge haben, die einen großen Anteil des Unternehmensumsatzes ausmachen. Durch das operative Outsourcing kann ein Puffer für den Wegfall solcher Aufträge aufgebaut werden. [vgl. Mei12, S. 9 ff.]

Zur Suche nach Fremddienstleistern greifen Druckunternehmen überwiegend auf Empfehlungen Dritter zurück oder nutzen Suchmaschinen im Internet. Eine weitere wichtige Quelle ist der eigene Kundenstamm. Online-Portale, Vergabeplattformen und Branchenbücher werden nur selten genutzt (siehe Abbildung 1-3).

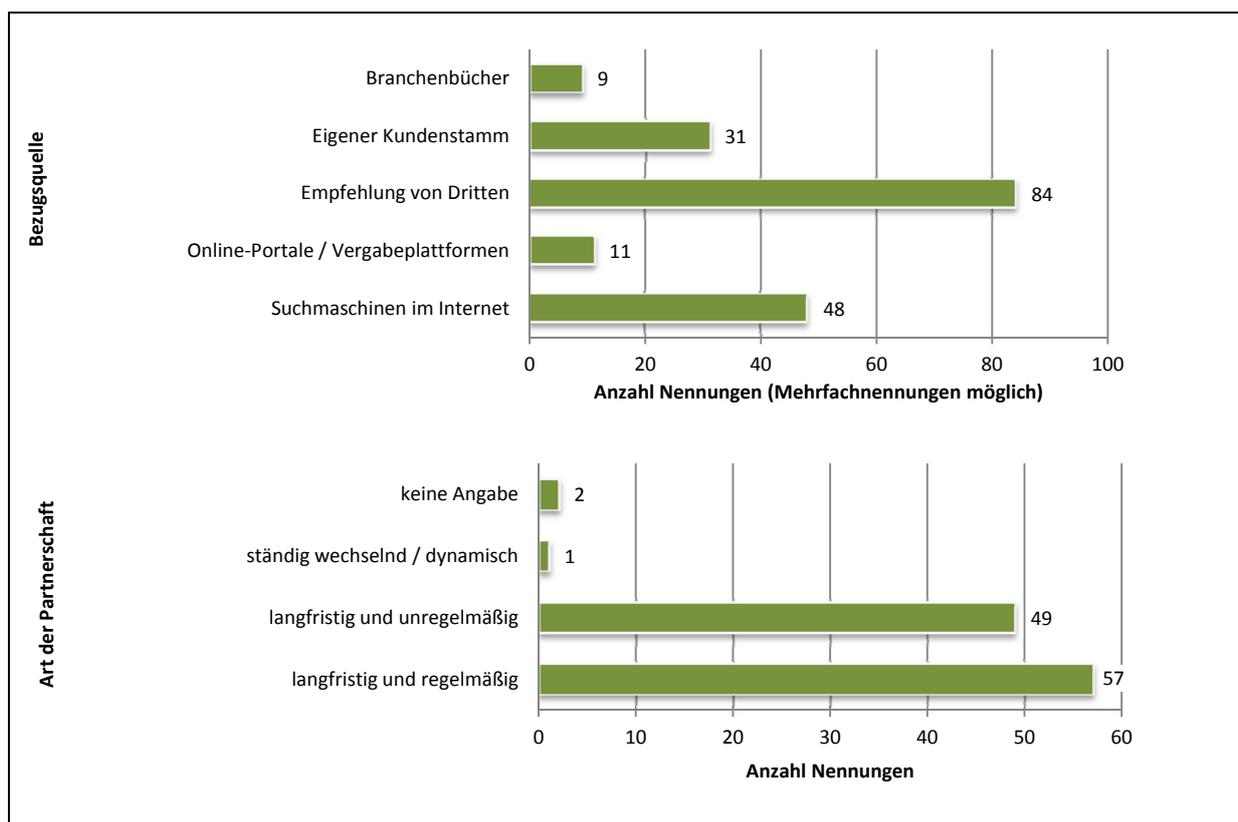


Abbildung 1-3: Outsourcingpartnerschaften in der Druckindustrie [Mei12, S. 11 f.]

Aus der Umfrage ging ebenfalls hervor, dass Druckunternehmen für die Fremdvergabe eher auf langfristige Partnerschaften setzen und überwiegend (zu circa 80 %) ein System zur automatisierten Partnersuche für dynamische Partnerschaften ablehnen [vgl. Mei12, S. 12].

1.3. Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

Die Dissertation beschäftigt sich mit der Entwicklung eines B2B-Kollaborationsnetzwerkes, in dem eine Organisation dynamischer Partnerschaften für Outsourcingaktivitäten stattfindet. Im Vergleich zu bereits existierenden Online-Marktplätzen wie zum Beispiel die Vergabepattform *europadruck.com* (siehe hierzu auch Kapitel 2), steht bei diesem Konzept die Automatisierung von Partnersuche, Partnerranking, Kapazitätsprüfung, Angebotseinholung und Auftragsvergabe im Vordergrund. Das Ziel des hier vorgestellten BUW-Outsourcingnetzwerkes³ ist es, vor allem zu Gunsten der KMU eine dynamische Suche nach kurzfristig angelegten, auftragsbezogenen Outsourcingbeziehungen zu ermöglichen, bei der die Transaktionskosten durch einen möglichst hohen Automatisierungsgrad insoweit verringert werden, dass sich das Outsourcen von Kleinstaufträgen lohnt. Transaktionskosten umfassen laut [Pic03, S. 49] „Kosten der

- Anbahnung (z.B. Recherche, Reisen, Beratung);
- Vereinbarung (z.B. Verhandlung, Rechtsabteilung);
- Abwicklung (z.B. Prozesssteuerung);
- Kontrolle (z.B. Qualitäts- und Terminüberwachung) und
- Anpassung (z.B. Zusatzkosten aufgrund nachträglicher qualitativer, preislicher oder terminlicher Änderungen).“

Aufgrund von Absprachen beziehungsweise auftragsübergreifender Verträge sind geringe Transaktionskosten vor allem Vorteile langfristig abgestimmter Partnerschaften. Vergabepattformen zielen jedoch auf spontane, eher kurzfristig angedachte Kooperationsformen ab. Durch den hochgradig manuellen Charakter dieser Plattformen (die Netzwerkteilnehmer haben jeweils eine Bring- und Holschuld) entfallen vor allem viel Zeit und somit auch hohe Kosten auf Transaktionsprozesse. Die Anwendung einer solchen Plattform ist bei Aufträgen mit kleinem Volumen meist ungeeignet, da die Transaktionskosten im Verhältnis zu dem erwarteten Umsatz des Auftrages zu hoch ausfallen.

Das Konzept des BUW-Outsourcingnetzwerkes soll die Kooperation zwischen Unternehmen in Form einer Win-Win-Situation fördern und es den einzelnen Unternehmen ermöglichen, durch die Konzentration auf das Kerngeschäft und der Schaffung von Alleinstellungsmerkmalen langfristig am käuferorientierten Markt bestehen zu können. Des Weiteren soll durch das System die Gefahr von Wechselbarrieren, wie sie zum Beispiel bei der Lieferantenbindung in einer festen Supply Chain

³ BUW steht für die Bergische Universität Wuppertal

bestehen, und somit eine potentielle opportunistische Ausnutzung dieser, zum Beispiel durch Preiserhöhungen, vermieden werden.

Ein Überblick über die Netzwerkabläufe kann der Abbildung 1-4 entnommen werden. Eine detaillierte Beschreibung der Prozesse und Datenstrukturen folgt in den Kapiteln 3, 4 und 6. Ein Überblick über das Konzept kann außerdem dem Paper [Mei11] entnommen werden. In Abbildung 1-4 wird zum einen die Suche nach internen Fertigungsmöglichkeiten, zum anderen die Suche nach externen Fertigungsmöglichkeiten mit manueller Anbahnung aufgeführt.

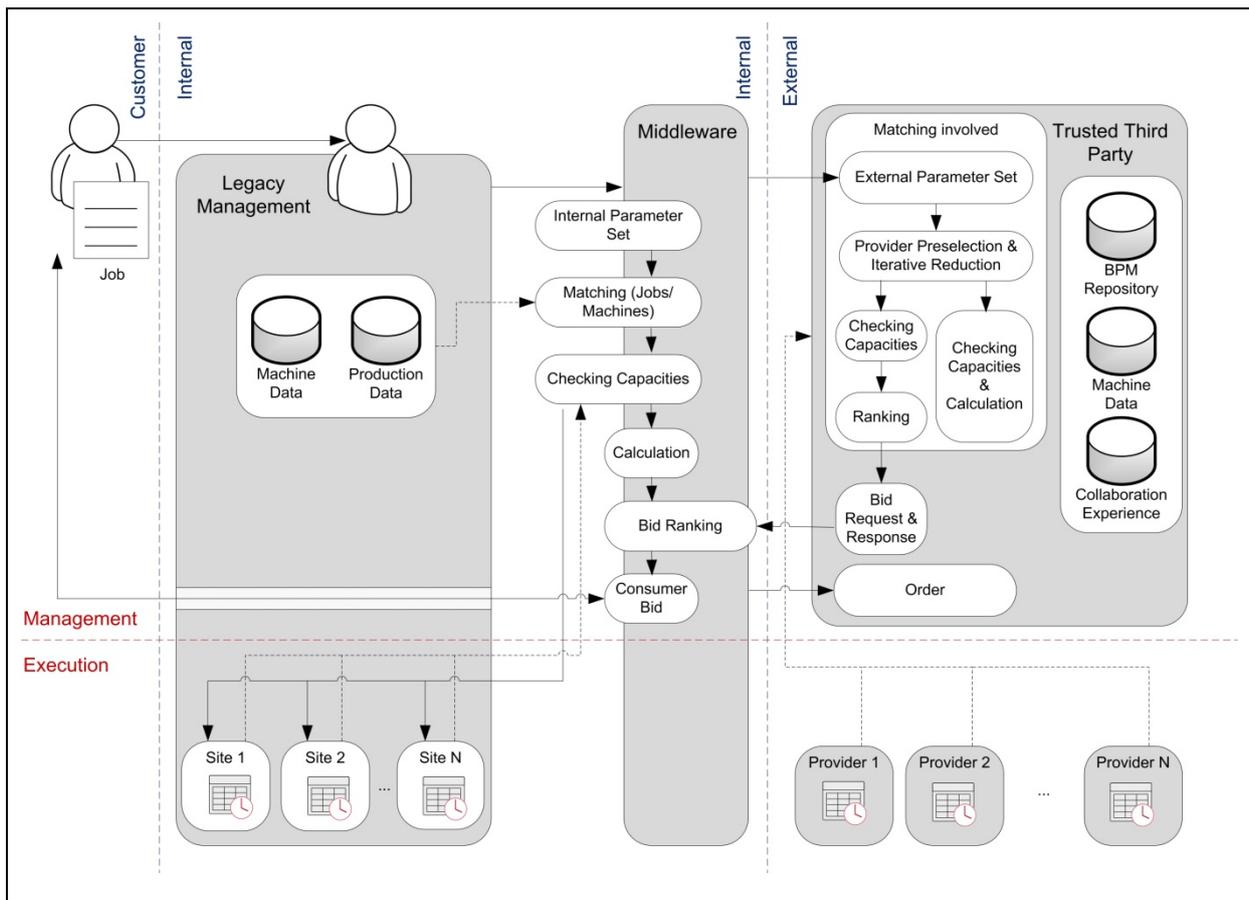


Abbildung 1-4: BUW-Outsourcingnetzwerk – Konzeptüberblick

Prinzipiell läuft der Workflow wie folgt ab: Ein Teilnehmer des BUW-Outsourcingnetzwerkes erhält einen Auftrag und leitet aufgrund dessen eine Suche nach Fertigungsmöglichkeiten ein. Dieser Nutzer wird auch als Servicekonsument (SC) bezeichnet. Die Suche kann sowohl intern als auch extern stattfinden und wird auf Nutzerseite über eine Middleware (siehe Kapitel 3) verwaltet. Bei der internen Suche werden die Auftragsdaten in Form eines internen Parametersatzes für die Suche nach Routingmöglichkeiten sowie für die Prüfung der erforderlichen Maschinenkapazitäten genutzt. Fristgerecht durchführbare Routings können anschließend kalkuliert werden. Für die Suche nach externen Fertigungsmöglichkeiten wird der Parametersatz durch Kriterien ergänzt, anhand derer potentielle Fremddienstleister im Netzwerk selektiert und bewertet werden können. Auf Seiten der gefilterten Fremddienstleister findet gegebenenfalls eine Kapazitätsprüfung mit automatisierter

Kalkulation oder eine Kapazitätsprüfung mit Rückgabe der fristgerechten Fertigungsmöglichkeiten für eine manuelle Anbahnung statt (siehe Kapitel 4). Die internen Konditionen sowie die externen Angebote können anschließend automatisiert verglichen und eine Vergabeentscheidung getroffen werden.

Der Fokus dieser Arbeit liegt nicht in der Bereitstellung neuer Netzwerkstrukturen und Standards zur Durchführung von zwischenbetrieblichen Interaktionen. Vielmehr wird ein Konzept zur effizienten und automatisierten Suche nach Fremddienstleistern bezogen auf Anforderungen an die Fertigungsebene vorgestellt. In Kapitel 2 werden dennoch Konzepte und Standards aus dem Bereich E-Business aufgeführt, um eine Eingliederung des BUW-Outsourcingnetzwerkes in den Gesamtkontext vornehmen sowie den Fokus dieser Arbeit herausarbeiten zu können (siehe Kapitel 3).

Die Entwicklung von Matchingmethoden zur Ermittlung auftragsbezogen geeigneter Fremddienstleister (siehe Kapitel 4) bildet den Kern der vorliegenden Forschungsarbeit. Der wissenschaftliche Schwerpunkt liegt in der Verfahrensentwicklung und -analyse zur multikriteriellen *inkrementellen Reduktion* von Kandidaten (siehe Kapitel 6), in die gängige Verfahren der multikriteriellen Entscheidungsfindung (siehe Kapitel 5) einfließen. In Kapitel 7 wird ein Prototyp des BUW-Outsourcingnetzwerkes vorgestellt, der zur Prüfung der Umsetzbarkeit der Matchingverfahren zur Fremddienstleistersuche sowie zur Analyse der inkrementellen Reduktion entwickelt wurde. Exemplarisch findet die prototypische Umsetzung für die Druckindustrie statt. Die Entwicklung der elektronischen Märkte und Kundenanforderungen führen zu der Annahme, dass in der Druckbranche dynamische Kooperationen in Zukunft durchaus an Bedeutung gewinnen werden, auch wenn sich bisher nur ein geringer Anteil der deutschen Druckunternehmen vorstellen kann, ein System wie das BUW-Outsourcingnetzwerk zu nutzen, und eher auf langfristige Partnerschaften setzt [vgl. Mei12, S. 12].

In Kapitel 8 wird abschließend auf die Potentiale und Grenzen des BUW-Outsourcingnetzwerkes sowie auf Einsatzmöglichkeiten der erarbeiteten inkrementellen Reduktion, über das BUW-Outsourcingnetzwerk hinaus, eingegangen.

2. E-Business: Der elektronische Geschäftsverkehr

Definition: „Unter elektronischem Geschäftsverkehr (E-Business, Electronic Business) wird jede Art von wirtschaftlicher Tätigkeit auf der Basis computergestützter Netzwerke (insbesondere des Internets) verstanden. Neben Transaktionen zwischen verschiedenen Wirtschaftssubjekten umfasst der Begriff auch Transaktionen innerhalb kooperierender Systeme und unternehmensinterne Systeme im Back End [...]. Elektronischer Handel beschränkt sich hingegen auf marktliche Transaktionen und kann insofern als ein Teilbereich des elektronischen Geschäftsverkehrs angesehen werden.“ [Aus06, S. 24]

In diesem Abschnitt soll zunächst ein Überblick über die in Bezug auf E-Business stattgefundenen Entwicklungen im Geschäftsverkehr und grundlegende Formen des elektronischen Geschäftsverkehrs gegeben werden. Außerdem wird eine Einordnung des BUW-Outsourcingnetzwerkes in den Gesamtkontext des elektronischen Geschäftsverkehrs vorgenommen und Standards sowie Konzepte vorgestellt, die in Bezug auf das BUW-Outsourcingnetzwerk von Bedeutung sind.

2.1. Formen von E-Business

Die rasante Entwicklung in der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) hat ab Mitte des 20. Jahrhunderts zu erheblichen Änderungen im Geschäftsverkehr geführt. Die Verwendung der Informationstechnologie erlaubt zunehmend die Aufweichung von Unternehmensgrenzen. Das Potential des E-Business wird heute besonders im Handel genutzt, wobei der Einsatz in vielen Fällen die Ausschaltung des Zwischenhandels (= Disintermediation) zur Folge hat. Jedoch sind auch neue Vermittlungsformen (= Intermediation) wie zum Beispiel der automatisierte Preisvergleich entstanden [Bae10, S. 1 f]. Durch die Verwendung von E-Business-Technologien erwartete Vorteile im Geschäftsverkehr sind unter anderem:

- Steigerung der Effizienz
- Erhöhung der Transparenz
- Verbesserung der Flexibilität

Laut einer im Jahr 2010 veröffentlichten Studie von *Berlecon Research*, die von *PROZEUS*, einem Förderprojekt des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (*BMWi*), durchgeführt wurde, setzte zu diesem Zeitpunkt circa die Hälfte der deutschen Unternehmen E-Business ein, wobei E-Business in dieser Studie als Dachbegriff definiert wurde, „der alle Formen des automatisierten und computergestützten Datenaustauschs innerhalb von Unternehmen und zwischen Geschäftspartnern (B2B) über elektronische Netze zusammenfasst“ [Sch10, S. 256]. Anhand der Studie konnte ebenfalls

festgestellt werden, dass mit circa 40 % der KMU und circa 80 % der Großunternehmen E-Business unter den KMU eher gering vertreten ist, wobei „nicht selten [...] gerade kleine und mittelständische Unternehmen aufgrund der Anforderungen ihrer (Groß-)Kunden dazu veranlasst [werden], Geschäftsprozesse elektronisch abzuwickeln“ [Pro08, S. 4]. Die Lösungen für den elektronischen Geschäftsverkehr kommen vor allem in Bereichen mit klar definierten Prozessen, wie zum Beispiel im Rechnungswesen, zum Einsatz. Oft handelt es sich hierbei allerdings um Insel- anstelle von integrierten Lösungen. Standards werden nur von etwa jedem dritten Unternehmen eingesetzt, wobei meist mehrere Standards im Verbund eingesetzt werden. Die verstärkt genutzten Standards sind Katalogaustausch- und Transaktionsstandards. [Sch10]

Eine klare Abgrenzung zwischen Formen des E-Business vorzunehmen ist eigentlich nicht möglich, da viele Konzepte mittlerweile verknüpft eingesetzt werden beziehungsweise auf gleiche Standards zurückgreifen. Im Folgenden wird trotzdem versucht, eine grobe Einteilung vorzunehmen, um das Konzept des BUW-Outsourcingnetzwerkes besser einordnen zu können. In dieser Arbeit wird eine Unterteilung des E-Business in E-Collaboration und E-Commerce getroffen. Dabei wird der Einsatz vernetzter Rechner als obligatorisches Merkmal von E-Business gesehen.

2.1.1. E-Collaboration

Unter E-Collaboration wird die Zusammenarbeit mit Hilfe elektronischer Netze verstanden. Die Zusammenarbeit kann dabei sowohl auf die Unternehmensgrenzen beschränkt als auch über Unternehmensgrenzen hinweg stattfinden.

Enterprise 2.0:

Der Begriff Enterprise 2.0 wurde erstmals im Jahr 2006 durch Andrew P. McAfee geprägt. Im Jahr 2009 definierte McAfee das Enterprise 2.0 als „Nutzung aufstrebender sozialer Softwareplattformen von Unternehmen, um deren Ziele zu verfolgen“ (eigene Übersetzung aus dem Englischen) [Mca09, S. 24]. Beispiele solcher Softwarekomponenten sind Blogs, Wikis und Chats. Zuzüglich zu dieser Definition ist zu sagen, dass der Einsatz der genannten Softwarekonzepte nicht zwingend auf ein Unternehmen beschränkt ist, sondern über dessen Unternehmensgrenzen hinausgehen kann. Ausschlaggebend ist der Einsatz von Social Media. Hinzugenommen werden kann demnach auch das soziale Netzwerk *Facebook*.

E-SCM

Beim E-SCM (Electronic Supply Chain Management) handelt es sich um die kooperative Planung, Kontrolle und Steuerung von Aktivitäten entlang der Wertschöpfungskette eines Produktes, wobei möglichst alle Teilnehmer der Wertschöpfungskette (Produktionsunternehmen, Zulieferer, Logistiker bis hin zum Kunden) miteinander verflochten sind.

Die Prozessorientierung ist bei dieser Form des E-Business entscheidend. Da in großen Lieferketten Transport-, Warte- und Distributionszeiten, im Vergleich zu der eigentlichen Produktionszeit, einen hohen Anteil an der Wertschöpfungskette ausmachen, besteht gerade in diesen Bereichen ein hohes Optimierungspotential. Erreicht werden kann die Optimierung unter anderem durch Prozessstandardisierung sowie durch die Planung und Steuerung der Prozesse (Kontrolle des Lagerbestandes, automatische Nachlieferung et cetera). Einen besonderen Stellenwert besitzt E-SCM in Industrien mit der Just-in-Time-Lieferung von Teilprodukten. Hierzu zählt beispielsweise die Automobilindustrie, in der zum Beispiel während der Fahrzeugproduktion benötigte Sitze von den Lieferanten direkt in richtiger Reihenfolge an die Produktionslinie geliefert werden.

Das BUW-Outsourcingnetzwerk hat einen anderen Fokus als E-SCM. Das Supply Chain Management ist eher auf längerfristige, strategische Kooperationen, zum Beispiel zu Zulieferern, aufgrund wiederkehrender Produktionsstrukturen ausgelegt und hilft bei dem Management von Prozessen entlang der Wertschöpfungskette eines Produktes [vgl. Din07, S. 6]. Es handelt sich in der Regel nicht um die vollständige Fremdvergabe von Aufträgen. Das BUW-Outsourcingnetzwerk ist hingegen auf dynamische Kooperationen ausgerichtet, bei denen nicht Teilbereiche der Wertschöpfungskette eines Produktes ausgegliedert werden, sondern vielmehr Endprodukte bei Fremddienstleistern eingekauft werden. Es werden nicht Beziehungen zwischen Unternehmen während eines Produktlebenszyklus, sondern eher während eines Auftragslebenszyklus betrachtet. Dynamische Produktionsnetzwerke werden voraussichtlich zunehmend an Bedeutung gewinnen [Sch04].

2.1.2. E-Commerce

E-Commerce (elektronischer Handel) ist ein wesentlicher Bereich des E-Business. Es gibt verschiedene Definitionen, anhand derer E-Commerce beschrieben werden kann. *Schwarze und Schwarze* verstehen E-Commerce beispielsweise als „Nutzung des Internets, um den Prozess des Kaufens und Verkaufens zwischen Unternehmen und Kunden zu ermöglichen“ [Sch02, S. 35]. Laut *Wirtz* „umfasst [E-Commerce] die Leistungsaustauschprozesse Anbahnung, Aushandlung und Abschluss von Handelstransaktionen zwischen Wirtschaftssubjekten mittels elektronischer Netze“ [Wir01, S. 39]. Vom Ausschuss für Definitionen zu Handel und Distribution werden unternehmensinterne und hierarchische (zwischen Arbeitgeber und Arbeitnehmer) Transaktionen sowie das klassische TV-Shopping explizit aus der Definition des E-Commerce ausgeschlossen. [Aus06, S. 24]

E-Commerce ist nicht nur auf Geschäftsbeziehungen zwischen Unternehmen und Konsumenten beschränkt. Je nach Konstellation der Beteiligten (Behörden, Unternehmen, Konsumenten und Arbeitnehmer) entstehen unterschiedliche Geschäftsfelder. Die B2B-Beziehung, also der Handel zwischen Unternehmen, bildet den Umsatzschwerpunkt im E-Commerce [Wan05, S. 291]. B2C ist ein

weiteres lukratives Geschäftsfeld. Im B2B-Bereich ist E-Commerce beispielsweise Bestandteil des E-SCM, welches bereits unter dem vorherigen Abschnitt vorgestellt wurde. Bei B2C handelt es sich um „Leistungsaustauschprozesse zwischen Unternehmen (B = Business) und Konsumenten (C = Consumer).“ [Bae10, S. 85]. Vertriebswege des B2C sind:

- Unternehmenseigener E-Shop (Web-Shop)
- Beteiligung an einem E-Marktplatz (zum Beispiel *Amazon.de*)
- Betrieb eines Subshops (Provision an Web-Seiten-Betreiber)
- Nutzung einer Auktionsplattform (zum Beispiel *eBay*)

Der Schwerpunkt des BUW-Outsourcingnetzwerkes liegt im B2B-Bereich. Beim auftragsbezogenen Outsourcing ist dieser zunehmend stark mit dem B2C-Bereich verknüpft. Zum einen müssen Kundenanforderungen in die Auftragsbeschreibung einfließen und beeinflussen so die Fremddienstleistersuche, zum anderen könnte die Suche automatisch durch die Produkthanfrage eines Endkunden über ein Web-Portal angestoßen werden.

Das BUW-Outsourcingnetzwerk kann außerdem einem Teilbereich des E-Commerce, dem E-Procurement, zugeordnet werden. E-Procurement umfasst das Sourcing und das Ordering, und deckt somit die Einkaufsprozesse ab [Koe05]. Im Folgenden wird der Bereich E-Procurement näher beschrieben.

E-Procurement:

Definition: „E-Procurement unterstützt die strategische und operative Beschaffung derart durch elektronische Hilfsmittel, dass der Beschaffungsprozess im Hinblick auf die Kenngrößen Prozesskosten und Prozessergebnis optimal wird.“ [Sto07, S. 17]

Der konventionelle Beschaffungsprozess (siehe Abbildung 2-1) beruht auf vielen Einzelschritten, die häufig durch Medienbrüche unterbrochen sind. Nach [Wir01, S. 315 ff.] kann der Beschaffungsprozess in die drei Phasen Anbahnung (Schritte 1-3), Aushandlung (Schritte 4-5) und Abwicklung (Schritte 6-9) untergliedert werden. Durch die Verwendung des Internets sollen durch das E-Procurement Medienbrüche bei der Beschaffung von nicht selbsthergestellten Produkten oder Dienstleistungen anhand automatisierter Abläufe vermieden werden [vgl. Bae10, S. 56]. Hierfür ist die Verwendung von Transaktions- und Prozessstandards (siehe hierzu Kapitel 3) von großer Bedeutung. Die in dieser Arbeit aufgeführten Prozesse des BUW-Outsourcingnetzwerkes decken überwiegend die Aushandlung, das heißt die Suche nach geeigneten Fremddienstleistern sowie die Auftragsbestellung, ab.

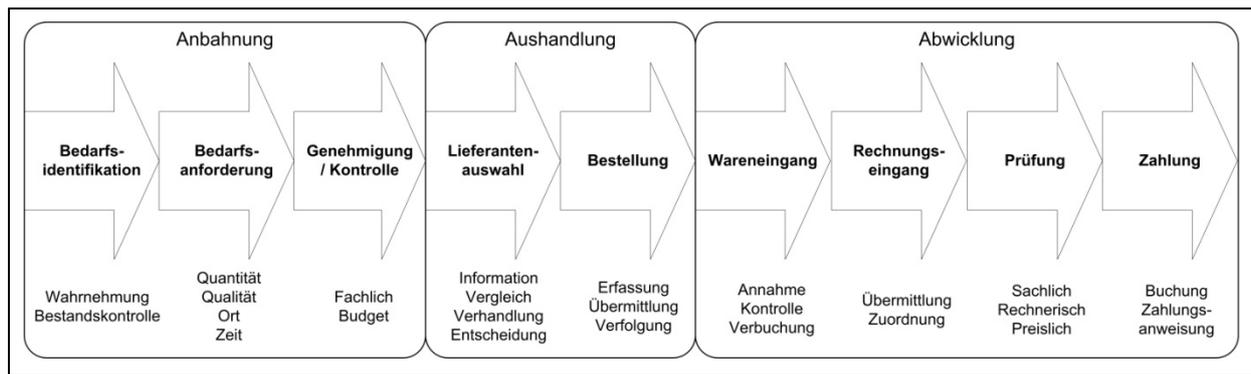


Abbildung 2-1: Beschaffungsprozess [nach Wir01a, S. 154 u. Wir01, S. 315 ff.]

E-Procurement ist in E-Sourcing und E-Ordering unterteilbar. Hiermit wird die oft strategische Lieferantenauswahl (Sourcing) vom operativen Bestellwesen (Ordering) getrennt [vgl. Arn07, S. 84].

„E-Sourcing bedeutet die Nutzung webbasierter Applikationen zur Rationalisierung und Verbesserung strategischer Beschaffungsprozesse, insbesondere zur Lieferantensuche und -vorauswahl [...]. Das wesentliche Ziel des E-Sourcing ist die Senkung der Einstandspreise. Stets wird durch E-Sourcing jedoch auch der Aspekt der Prozessoptimierung und damit das Thema E-Ordering tangiert [...]. Folglich können die beiden Teilgebiete des E-Procurements [...] oft nur gemeinsam betrachtet werden.“ [Bae10, S. 64 mit Bezug auf Bre07, S. 8 f., Arn07, S. 64 und Pro05]

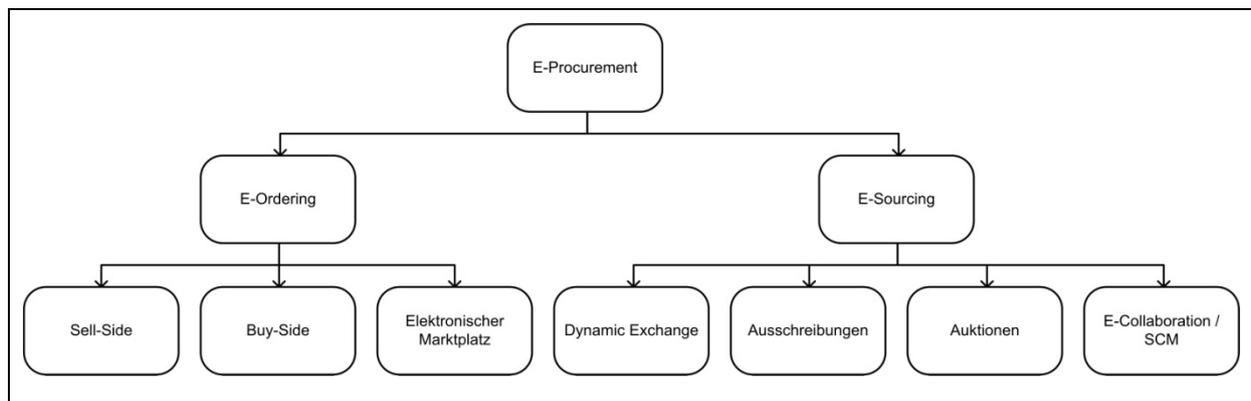


Abbildung 2-2: Gliederungsebenen des E-Procurements [Bae10, S. 55]

E-Sourcing

Sourcing ist die der operativen Beschaffung (Ordering) vorgelagerte strategische Beschaffung. Bei der strategischen Beschaffung wird bestimmt, was beschafft werden soll, ein Lieferant ausgesucht und ein Vertrag geschlossen. Sourcing ist die Suche nach sowie Verhandlung mit geeigneten Lieferanten, unter Berücksichtigung von Zeit, Menge, Qualität und Kosten. [Sto07, S. 9]

Kostentreiber im Sourcing sind die Produktkosten [Sto07, S. 18]. Es geht daher oft primär um eine Kosteneinsparung durch die Suche nach preislich günstigeren Angeboten beziehungsweise Lieferanten [vgl. Bae10, S. 54]. Im Rahmen des E-Sourcing werden Mechanismen zur Preisfindung eingesetzt, die einzelnen Arten von E-Marktplätzen (siehe weiter unten) zugeordnet werden können.

E-Ordering

Unter Ordering wird die operative Beschaffung, also die Abwicklung einer Bestellung bei einem ausgewählten Lieferanten verstanden [Sto07, S. 9]. Kostentreiber im Ordering sind die Prozesskosten [Sto07, S. 18]. Ziel des E-Ordering ist daher, Kosten durch die Automatisierung der Beschaffungsprozesse zu reduzieren [vgl. Bae10, S. 54].

Die Beschaffungsprozesse, die mittels des BUW-Outsourcingnetzwerkes abgedeckt werden sollen, betreffen nicht die gängigen Prozesse zur Bestellung von Allgemeingütern, wie zum Beispiel des Bürobedarfes, sondern Prozesse zur Beschaffung von Fremd(dienst)leistungen. Es geht somit nicht um ein möglichst gutes Verhältnis zwischen innerbetrieblichen Beschaffungsaufwand und Güterpreis. Das BUW-Outsourcingnetzwerk behandelt zwei Arten von Fremd(dienst)leistungen:

- Diejenigen Leistungen, die das Unternehmen auch selbst durchführen könnte, da die notwendigen Produktionsmittel bestehen. Hier ist eine dynamische Kooperation mit Blick auf den Preis wahrscheinlich.
- Diejenigen Leistungen, die vom Unternehmen aus Mangel an Produktionsmitteln nicht selbst erbracht werden können. Hier ist es durchaus vorstellbar, dass strategische Entscheidungen einen hohen Einfluss haben und somit auch strategische, langfristige Kooperationen entstehen.

Das Konzept lässt sich nicht eindeutig einem der Bereiche E-Sourcing oder E-Ordering zuordnen. Vielmehr werden sowohl die strategischen als auch die operativen Beschaffungsaufgaben abgedeckt. Hierbei bezieht sich die strategische Ausrichtung nicht auf die Auswahl eines langfristigen Fremddienstleisters, sondern auf die Ausrichtung des Unternehmens, zum Beispiel die Konzentration auf das Kerngeschäft oder die Erweiterung des Angebotsspektrums. Als Beschaffungswege werden Konzepte des E-Ordering genutzt, um durch einen hohen Grad an Automatisierung und somit der Reduktion von Transaktionskosten die Rentabilität dynamischer Kooperationen zu erhöhen.

Wichtiger Bestandteil des BUW-Outsourcingnetzwerkes ist die Bereitstellung eines Marktplatzes und eines in diesem realisierten Anbietervergleiches beziehungsweise Angebotsrankings. Das Verwaltungssystem des Netzwerkes, die Trusted Third Party (*TTP*), dient als Broker beziehungsweise Vermittler.

Marktplätze

Neben dem BUW-Outsourcingnetzwerk bestehen weitere Konzepte elektronischer Märkte, die für den Bereich des E-Procurements interessant sind. Die verschiedenen Kategorien und deren Einsatzbereiche werden folgend kurz vorgestellt.

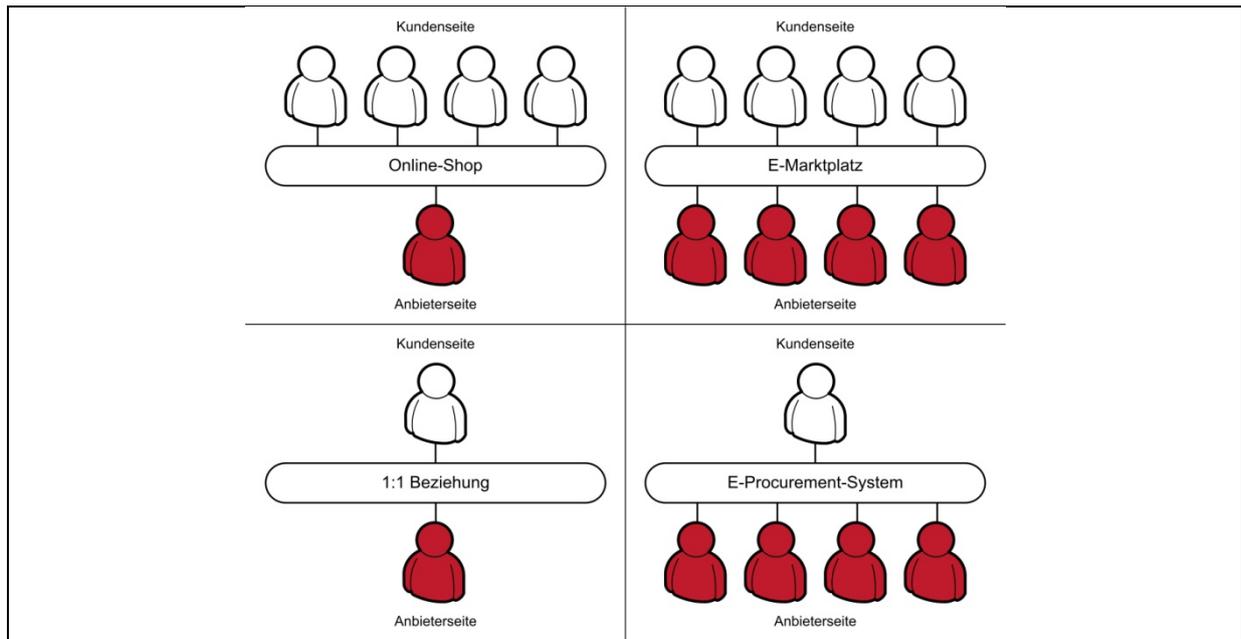


Abbildung 2-3: Formen des elektronischen Handels [nach Pro08, S. 6]

Vorteile elektronischer Märkte sind die 24/7-Verfügbarkeit⁴, der Wegfall lokaler Gebundenheit, eine schnelle und anonyme Ausführung von Anbietersuche und -vergleich sowie eine effizientere und kostengünstigere Durchführung der Geschäftsprozesse, beispielsweise durch den Versand von Daten anstelle von Papieren oder durch die Nutzung von Vertragsvorlagen. Eine Voraussetzung für effiziente Prozesse ist der Einsatz von global anerkannten E-Business-Standards sowie die Anbindung der elektronischen Märkte an die innerbetrieblichen Informationssysteme. [Pro08, S. 6 f]

Eine Möglichkeit der Kategorisierung von Marktplätzen ist die Betrachtung der Absatzorientierung. *Stoll* beschreibt in [Sto07, S. 27] die sich hieraus ergebenden Kategorien wie folgt:

- **Horizontale Orientierung:**

Es besteht ein Angebot für Besucher verschiedener Branchen und mit verschiedenen Interessen. Die Einkäufer verschiedener Branchen greifen dabei auf gleiche Lieferanten zu.

- **Vertikale Orientierung:**

Es besteht ein eindeutiger Branchen- beziehungsweise Nutzergruppenbezug. Neben indirekten Gütern werden bei Märkten mit vertikaler Orientierung auch A- und B-Güter, also Güter mit mittlerem bis hohem Wertanteil am Unternehmensumsatz, vertrieben.

- **Regionale Orientierung:**

Es besteht ein Angebot regionaler Informationen, Produkte oder Dienstleistungen. Zielgruppe ist in der Regel die der Endverbraucher.

⁴ Eine durchgängige Verfügbarkeit (7 Tage die Woche à 24 Stunden)

In den 1990er Jahren gab es einen regelrechten Boom elektronischer Marktplätze. Mittlerweile besteht ein Konzentrationsprozess in Richtung großer Marktplätze und Nischenanbieter. Eine weitere Tendenz, die durch den Fortschritt der Informationstechnologie ermöglicht wird, liegt in der Marktplatzintegration (zum Beispiel bei *Amazon Marketplace*) sowie in der Vernetzung von Angeboten (zum Beispiel bei *Scout24*) [Bae10, S. 71 f]. Folgend sollen die grundlegenden Marktplatzkonzepte vorgestellt werden.

Auktionsplattform

Ziel der Nutzer von Auktionsplattformen ist es, ein Produkt oder eine Dienstleistung zu einem möglichst hohen Preis zu veräußern beziehungsweise für einen möglichst geringen Preis zu kaufen. Die Auktionsplattform *eBay* stellt ein Beispiel für den B2C-Bereich dar.

Eine Alternative zur regulären Auktion ist die Reverse Auction. Bei dieser im B2B-Bereich weit verbreiteten Auktionsmethode wird die Auktion durch den Konsumenten anhand einer zeitbegrenzten Einstellung seiner Anforderungen initiiert. Potentielle Anbieter können innerhalb der Zeitspanne anonymisierte Angebote anderer Anbieter einsehen und eigene Angebote abgeben. Bei der Reverse Auction findet demnach ein Unterbieten zwischen den Anbietern statt [Koe05, S. 95 ff.]. Über solche Plattformen werden meist großvolumige Aufträge mit hohem Einsparpotential vergeben. Auktionsplattformen existieren im B2B-Bereich größtenteils für den Handel von Industrieprodukten (zum Beispiel Rohstoffe oder Zwischenprodukte) [Pro08, S. 10].

Beschaffungsportal (Nachfragemarktplatz)

Beschaffungsportale werden von Großkunden für deren Stammlieferanten initiiert, um das Angebot der Zulieferer zu bündeln. Dabei dient eine solche Plattform nicht nur als zweiter Beschaffungsweg, sondern auch zur Abwicklung traditionell stattfindender Geschäftsbeziehungen. Hauptziele sind die Senkung der Prozesskosten im Einkauf und die Preisreduktion durch bessere Vergleichbarkeit. Von Großunternehmen wird die Teilnahme der Zulieferer an solchen Portalen zunehmend gefordert. Ein Beispiel für ein solches Portal ist *www.vwgroupsupply.com*, welches in der Automobilindustrie von der VolkswagenGroup betrieben wird. [Pro08, S. 11]

Ausschreibungs- beziehungsweise Vergabeplattform

Anwender von Vergabe- beziehungsweise Ausschreibungsplattformen können Bedarfe an Produkte oder Dienstleistungen in das System einstellen und haben zum Ziel, diese möglichst günstig erfüllt zu bekommen. Die Anforderungen an das Produkt oder die Dienstleistung müssen dabei klar definiert sein. Potentielle Lieferanten können entsprechende Angebote abgeben.

Der Verwaltungsaufwand des Ausschreibungsprozesses kann durch diese Art der Lieferantensuche erheblich reduziert werden. E-Ausschreibungen werden meist im öffentlichen Sektor verwendet. Beispiele sind *www.evergabe-online.de* und *www.vergabereport.de* [Pro08, S. 12]. Entsprechende Plattformen der Druckbranche sind *www.europadruck.com* und *www.druckportal24.de*.

Kapazitätsbörsen

Auf meist branchenspezifischen Kapazitätsbörsen werden Maschinen- und Dienstleistungskapazitäten angeboten. Dabei bezieht sich die Nachfrage nach temporären, kurzfristig nutzbaren Kapazitäten eher auf spezifische Arbeitsschritte, als auf die komplette Fremdfertigung. Ein Beispiel einer solchen Kapazitätsbörse ist *www.industryscout.net*. [Bae10, S. 69 u. Pro08, S. 13]

Die Abbildung 2-4 führt eine Kategorisierung von Gütern nach Ihrer Wertigkeit bezogen auf den Unternehmensumsatz des outsourcenden Betriebes (ABC-Analyse) und nach der Vorhersagegenauigkeit, mit der sie vom outsourcenden Unternehmen angefragt werden, (XYZ-Analyse) auf. Des Weiteren werden zu den sich aus der Kombination der ABC- mit der XYZ-Analyse ergebenden Beschaffungsszenarien Beispiele passender E-Procurement-Lösungen zur Abwicklung der Beschaffung vorgestellt.

Der durch das BUW-Outsourcingnetzwerk bereitgestellte Marktplatz kann den vertikalen Marktplätzen zugeordnet werden. Bestehende Marktplätze, die dasselbe Konzept verfolgen, existieren bisher nicht. Ähnliche Konzepte, jedoch mit einem geringen Automatisierungsgrad, stellen Vergabeplattformen und Kapazitätsbörsen dar. Auch wenn die Vergabe von Teilprozessen über das BUW-Outsourcingnetzwerk möglich ist, besteht der Basisgedanke in der Akquise der Fremdfertigung von Endprodukten der Güterklassen A und B. Das Konzept kann daher als automatisierte Vergabeplattform verstanden werden.

		Wertigkeit		
Vorhersagegenauigkeit		A	B	C
	X	hoher Wertanteil konstanter Bedarf	mittlerer Wertanteil konstanter Bedarf	niedriger Wertanteil konstanter Bedarf
	Y	hoher Wertanteil schwankender Bedarf	mittlerer Wertanteil schwankender Bedarf	niedriger Wertanteil schwankender Bedarf
	Z	hoher Wertanteil unregelmäßiger Bedarf	mittlerer Wertanteil unregelmäßiger Bedarf	niedriger Wertanteil unregelmäßiger Bedarf

		Wertigkeit		
Vorhersagegenauigkeit		A	B	C
	X	geeignet für E-Collaboration	geeignet für elektronische Ausschreibungen	Abwicklung über käuferseitigen Katalog
	Y	geeignet für elektronische Ausschreibungen und Auktionen		Abwicklung über katalogbasierten Marktplatz
	Z			

Abbildung 2-4: E-Procurement-Lösungen auf Basis der ABC-XYZ-Analyse [Sto07 S. 14 u. S. 19]

Nachteil des Konzeptes gegenüber bestehenden Marktplätzen könnte eine fehlende Preistransparenz sein, da in der Regel nur wenige Anbieter nach einem Angebot angefragt werden. Aufgrund des hohen Automatisierungsgrades und der damit verbundenen Ersparnis von Zeit und Transaktionskosten ergeben sich jedoch Vorteile in Bezug auf das Outsourcen von zeitkritischen Aufträgen sowie von Aufträgen mit Kleinstauflagen.

2.2. E-Business-Standards und Netzwerkkonzepte

Waren netzwerkgestützte Kollaborationen zu Beginn aufgrund kostenintensiver Netzwerkimplementierungen eher den Großunternehmen vorbehalten, so führte die Entwicklung des Internets dazu, dass heutzutage auch KMU in der Lage sind, netzwerkgestützte Kollaborationen untereinander einzugehen. Ein wesentliches Element zwischenbetrieblicher Kommunikation ist die Reduktion von Medienbrüchen, durch die Verwendung einheitlicher Datenstrukturen. Diese fehlen jedoch zwischen unterschiedlichen Ländern oder Branchen bis hin zu unterschiedlichen Systemen häufig. Konvertierungsvorgänge erweisen sich teilweise als schwierig und führen unter Umständen zu Datenverlusten.

Es bestehen viele Publikationen, Projekte und Initiativen, die sich mit der Vereinheitlichung zwischenbetrieblicher Kommunikation befassen. Beispiele hierfür sind:

- Vereinheitlichung von Datenstrukturen, zum Beispiel in Form von branchenübergreifenden Standards und Mapping-Bibliotheken.
- Vereinheitlichung der Modellierung von zwischenbetrieblichen Prozessabläufen und in den Prozessen ablaufenden Flüssen. Ansätze für die Definition von Musterelementen, die zur Steuerung und Überwachung von Ablauf-, Daten-, Ressourcen- und Interaktionsflüssen genutzt werden können, sind in [Aal03, Rus05, Rus05a u. Nor06] zu finden. Ein Beispiel-Framework zur zwischenbetrieblichen Prozesskontrolle wird in [Ang11] vorgestellt.
- Referenzarchitekturen zum allgemeinen Aufbau von Computernetzwerken (zum Beispiel das *OSI* Referenzmodell) bis hin zum Aufbau von Netzwerken mit konkretem Anwendungsbezug wie die *eSRA*-Architektur [Nor07] für E-Sourcing-Aktivitäten (siehe Kapitel 2).
- Software-Architekturen zur Integration von Internetdienstleistungen unterschiedlicher Unternehmen zu Kooperationsworkflows, so dass eine virtuelle Unternehmung stattfindet. Beispiele solcher Architekturen sind unter [Alo99 u. Kut06] zu finden.
- Frameworks und Konzepte, die einen standardisierten Austausch von Geschäftsdaten ermöglichen und Kooperationsabläufe unterstützen sowie teilweise Methoden zur Ermittlung passender Partnerschaften anbieten (beispielsweise *ebXML* [Ebt01]).

Die Beschreibung von Kollaborationsworkflows beziehungsweise von deren Teilprozessen und die Beschreibung der Kommunikationsflüsse sowie der benötigten Datenstrukturen können verwendet werden, um die Aufbauphase einer zwischenbetrieblichen Kooperation, beispielsweise innerhalb eines Netzwerkes, zu erleichtern. Je standardisierter die Nachfrage und das Angebot strukturiert werden können, desto besser lassen sich diese Strukturen bezüglich der gegenseitigen Eignung gegenüberstellen. Neben dem Matching zwischen Serviceanforderungen und -angeboten ermöglicht die Definition klarer Aufgaben sowie Interaktionsflüsse außerdem Kollaborationsabläufe einzuschränken, zu überwachen und zu steuern.

2.2.1. E-Business-Standards

Um Geschäftsprozesse elektronisch und automatisiert abwickeln zu können, müssen die Partner eine „gemeinsame Sprache“ sprechen. Standards führen zu höherer Transparenz von Prozessen, einem effizienteren, unternehmensübergreifenden Datenaustausch und reduzieren zum Beispiel Kosten der Informationsbereitstellung, Transaktionskosten und aufgrund schwammig definierter Prozesse erforderlichere Mehrarbeiten. [Pro08, S. 4]

Gerade für den B2B-Bereich existiert eine Vielzahl von internationalen und nationalen Standards [Bae10, S. 47], wobei diese stark miteinander verknüpft sind und häufig gemeinsam standardisiert und in Frameworks, wie zum Beispiel *ebXML* oder *RosettaNet*, eingesetzt werden. Eine kategorisierte Übersicht über die wichtigsten B2B-Standards liefert Abbildung 2-5.

Identifikationsstandards Firmen und Produkte eindeutig kennzeichnen	DUNS®, EAN/GTIN, EPC, GRAI/GIAI, ILN/GLN, NVE/SSCC, PZN, UPIK
Klassifikationsstandards Produkte einheitlich beschreiben	eCl@ss, ETIM, GPC, proficl@ss, UNSPSC
Katalogaustauschformate Produktdaten elektronisch bereitstellen	BMEcat, cXML, Datanorm, Eldanorm, PRICAT, RosettaNet, xCBL
Transaktionsstandards Geschäftsdokumente automatisiert austauschen	EANCOM®, EDIFICE, GS1 XML, OAGIS, ODETTE, openTRANS, RosettaNet, UBL
Prozessstandards Komplexe Geschäftsabläufe automatisieren	ECR, ebXML, RosettaNet, SCOR

Abbildung 2-5: Die wichtigsten E-Business-Standards [Pro08, S. 4]

Der bilaterale Austausch von Geschäftsdaten zwischen Unternehmen erfolgte zunehmend seit den späten 1970er Jahren, wobei die verwendeten Formate von den Unternehmen zunächst selbst definiert beziehungsweise untereinander abgestimmt wurden. Vorreiter war hierbei die

Automobilindustrie, in der heute *EDI*-Normen (*EDI* = Electronic Data Interchange) des *VDA* (Verband der Automobilindustrie) in unternehmensspezifischen Versionen weit verbreitet sind. [Lau10, S. 498 u. Din07, S. 14]

Ende der 1970er Jahre wurde ein branchenunabhängiger, jedoch nationaler Standard, der *ANSI ASC X.12* (American National Standards Institute Accredited Standards Committee X12), in den USA entwickelt. Alternativ zu diesem Standard wurde 1987 unter Leitung der *UN/CEFACT* (United Nations Centre for Trade Facilitation and Electronic Business) mit der Norm *ISO 9735* ein internationaler, branchenunabhängiger Standard *UN/EDIFACT* (United Nations Electronic Data Interchange for Administration, Commerce and Transport) entwickelt, der bis heute weiterentwickelt und in Europa immer noch führend eingesetzt wird. [Lau10, S. 498 f.]

Ein erheblicher Nachteil früherer *EDI*-Entwicklungen besteht neben derer Divergenz darin, dass diese die Einrichtung spezieller, privatwirtschaftlicher Netzwerke (*VANs* = Value Added Networks) erforderlich machen, wodurch sie aufgrund der kostspieligen Implementierung für dynamische, unter Umständen kurze Kooperationen sowie für *KMU* nicht geeignet sind [Lau10, S. 502]. Abbildung 2-6 zeigt den Kommunikationsablauf über den klassischen *EDI*-Weg, bei dem hausinterne Datenstrukturen über Konverter in die Struktur von *EDIFACT* übertragen beziehungsweise aus *EDIFACT* extrahiert werden.

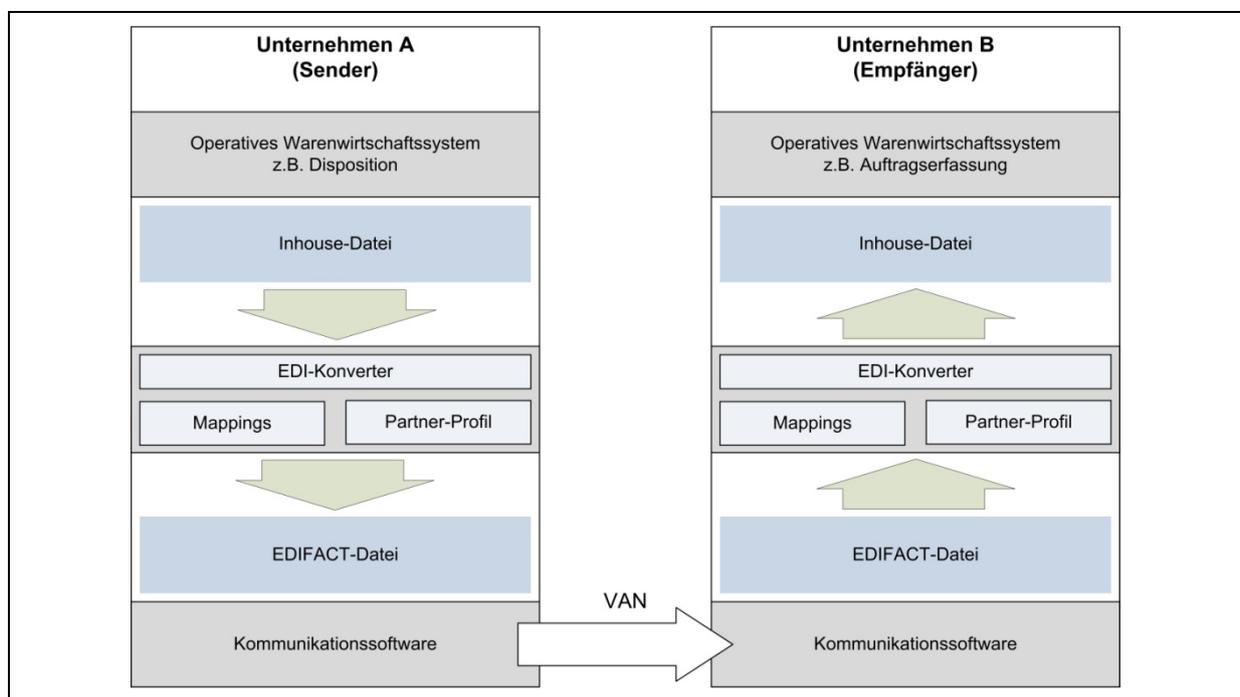


Abbildung 2-6: Ablauf von klassischem EDI [Lau10, S. 502]

Neben diesen weit verbreiteten Standards sind außerdem weitere, teils branchenspezifische, regionale, nationale und internationale *EDI*-Standards im Einsatz. Besonders hervorzuheben ist die seit Ende der 1990er Jahre bestehende Entwicklung von auf *XML* basierenden Standards und

Frameworks. Diese verwenden zur Datenübertragung das Internet und bedienen sich somit einer kostengünstigen, standardisierten Übertragungsform und sind für dynamische Kooperationen sowie KMU und neue Marktformen interessant. Ein weiterer Vorteil dieser *XML-Derivate* ist deren Plattformunabhängigkeit. Sie sind in der Regel schnell in bestehende Systeme integrierbar.

Im Folgenden werden die Standardkategorien für die elektronische Geschäftsabwicklung zwischen Unternehmen, zum Beispiel innerhalb einer Supply Chain, kurz erläutert und einige Beispiele vorgestellt. In welchem Bezug die Standards zu dem Konzept des BUW-Outsourcingnetzwerkes stehen, wird in Kapitel 3 erläutert.

Identifikationsstandards

Identifikationsstandards dienen der eindeutigen Identifikation von Artikeln beziehungsweise Produkten. In der Regel wird hierzu die Globale Artikelidentnummer (*GTIN*, vormals *EAN*) verwendet. Dies ist eine weltweit eindeutige Nummer, die eine Handelseinheit in der jeweiligen spezifischen Ausführung (Größe, Farbe et cetera) identifiziert. Die Identifikation beschränkt sich auf den Artikeltyp, nicht auf das Exemplar. [Bae10, S. 48 f.]

Der Elektronische Produktcode (*EPC*) ermöglicht ebenfalls die eindeutige Kennzeichnung von Objekten. Datenträger für den Code ist meist ein RFID-Chip. Zur Identifikation von Unternehmen können *DUNS* (Data Universal Numbering System) oder alternativ *GLN* (Global Location Number) verwendet werden. [Bae10, S. 48 f.]

Klassifikationsstandards

Klassifikationsstandards dienen der einheitlichen Produktklassifizierung (zum Beispiel in Warengruppen und Untergruppen) und ermöglichen insbesondere einen Produktvergleich am Markt. Beispiele sind *eCI@ss*, *ETIM*, *GPC*, *ProfiCI@ss* und *UNSPSC*. [Bae10, S. 49 f. u. Pro08, S. 5]

Es bestehen viele verschiedene branchenbezogene und branchenübergreifende Standards, die wiederum nicht einfach miteinander verglichen werden können. Aus diesem Grund sind einige Projekte entstanden, in denen versucht wird, die Standards zusammenzuführen. Ein Beispiel ist das Projekt *Gen-ePDC* (electronic Product Description and Classification) [Cen06] des *CEN* (Europäisches Komitee für Normung).

Katalogaustauschformate

Katalogaustauschformate „[d]ienen der elektronischen Bereitstellung von Produktdaten in strukturierter Form [...]. Beispiele [...] sind *BMECat*, *cXML*, *Datanorm/Eldanorm*, *PRICAT*, *RosettaNet* und *xCBL*“ [Bae10, S. 50 f]. Durch eine standardisierte Struktur können Produktinformationen (Maße, Farben et cetera) für verschiedene Ausgabemedien bereitgestellt werden [Pro08, S. 5].

Transaktionsstandards

Transaktionsstandards sind Datenaustauschformate für den automatisierten Austausch von Geschäftsdokumenten zur Abwicklung von Transaktionen. Ist in der Literatur von EDI-Formaten die Rede, so sind häufig Transaktionsstandards gemeint.

Die Geschäftsdokumente beziehungsweise -vorfälle werden anhand von Nachrichten strukturiert, deren Aufbau und Inhalt klar spezifiziert sind [vgl. z.B. Pro08, S. 5]. Einige wichtige Nachrichtentypen sind:

- Angebotsanforderung und Angebot
- Auftrag, Auftragsänderung und Auftragsbestätigung
- Lieferavis und Wareneingangsbestätigung
- Rechnung
- Zahlungsavis

Laut der Studie [Sch10] sind *EDIFACT* und *cXML* sowie deren Derivate die heute am meisten im deutschsprachigen Raum eingesetzten Transaktionsstandards. Im Folgenden wird auf diese daher näher eingegangen.

EDIFACT (Electronic Data Interchange For Administration, Commerce and Transport) ist ein international weit verbreiteter, mit circa 200 Nachrichtentypen sehr umfangreicher, branchen-unabhängiger, jedoch ebenfalls in Form branchenspezifischer Subsets, wie zum Beispiel *ODETTE* und *EANCOM*, bestehender Transaktionsstandard. Es ist außerdem der weitverbreitetste Transaktionsstandard im deutschsprachigen Raum [Sch10].

EDIFACT basiert nicht auf *XML* und wird häufig im klassischen Datenaustausch per *VAN* genutzt [Lau10, S. 502]. Der Austausch stellt daher einige Anforderungen an die technische Vernetzung und erfordert einen hohen Investitionsaufwand bezüglich des Aufbaus der Vernetzung sowie der Anpassung von Unternehmensabläufen [Bae10, S. 51 f.]. Aus diesem Grund setzen sich zunehmend *XML*-Datenformate durch, die unkompliziert über das Internet übertragen und einfach in andere Datenstrukturen überführt werden können. Gerade für Klein- und Mittelbetriebe bietet sich dieser kostengünstige Übertragungsweg an. Mittlerweile bestehen Konzepte, mit denen der standardisierte Austausch von *EDIFACT* über das Internet geregelt wird. Des Weiteren existiert eine Norm zur Konvertierung von *EDIFACT* in ein *XML*-Derivat (*DIN 16557*).

Der im Jahr 2010 in Deutschland am meisten verwendete *XML*-basierte Transaktionsstandard ist *cXML* [Sch10]. Wie bei *EDIFACT* handelt es sich bei *cXML* um einen branchenunabhängigen, mit circa 30 Nachrichtentypen jedoch wesentlich schlankeren Standard.

Prozessstandards

Prozessstandards definieren Referenzprozesse für Geschäftsprozessabläufe mit hoch standardisierten, ständig wiederkehrenden Strukturen. Beispielprozesse, die häufig über Standards definiert werden, sind die Angebotseinholung sowie die Angebotsstellung. Meist beschreiben Prozessstandards außerdem den Austausch von Status- und Kontrollinformationen, die für die Ablaufsteuerung der Kommunikation erforderlich sind [vgl. Bae10, S. 52 f]. Prozessstandards beschreiben, in welcher Reihenfolge und unter welchen Bedingungen Aktivitäten ausgeführt werden. Sie dienen zur Automatisierung komplexer Geschäftsprozesse und bieten bei Prozessanpassungen, gegenüber fest in der Unternehmenssoftware verankerten Prozessabläufen, die Möglichkeit der Parametrisierung anstelle von aufwendigen Programmierungen [vgl. Pro11].

Zielsetzung von Prozessstandards ist, den Prozess und dessen Ausnahmehandlungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, also unternehmensübergreifend zu planen, zu beschreiben und umzusetzen. Sie sorgen dabei für das gemeinsame Verständnis zwischen den Unternehmen. Die Ebenen und Detaillierung der Betrachtung sind dabei sehr unterschiedlich – sie gehen von der groben Betrachtung einzelner Prozesse bis hin zur detaillierten Gesamtbetrachtung der Wertschöpfungskette. [Pro11]

Im Bereich der Prozessmodellierung und Steuerung gewinnt *BPMN* (Business Process Modelling Notation) zunehmend an Bedeutung. Mit dieser auf *XML* basierenden Notation lassen sich Prozesse und zugehörige Rollen sowohl beschreiben als auch ausführbar in Applikationen implementieren.

Prozessstandards sind häufig in kompletten Kollaborations-Frameworks implementiert. So zum Beispiel in dem Framework *ebXML*, auf das im folgenden Abschnitt näher eingegangen wird.

2.2.2. E-Business-Netzwerkkonzepte

Seit dem Ende der 1990er Jahre haben sich vermehrt Frameworks entwickelt, die Infrastrukturen zum unternehmensübergreifenden Austausch von E-Business-Standards standardisiert beschreiben. Beispiele hierfür sind *ebXML*, *RosettaNet* und *Microsoft BizTalk*. Konzepte, die der Idee des BUW-Outsourcingnetzwerkes nahe stehen, sollen folgend vorgestellt werden.

Konzept der Virtuellen Fabrik

Das Konzept der Virtuellen Fabrik „zielt darauf ab, Rahmenbedingungen zu schaffen, die die Entstehung von effizienten ad-hoc Kooperationen begünstigen, das Zusammenführen komplementärer Kompetenzen erleichtern und agiles Handeln ermöglichen. [...] Zahlreiche Studien weisen zwei wesentliche Aspekte als die häufigsten Gründe aus, warum Kooperationen scheitern:

1. Suche und Auswahl der geeigneten („richtigen“) Partner
2. Aufbau einer Vertrauensbasis zwischen den Partnern

[...] Oftmals wird auch die Gefahr opportunistischen Partnerverhaltens (Spieltheorie) in die Diskussion eingebracht, die durch die Eigenschaften virtueller Strukturen (dynamische Netzwerke mit wechselnden Partnerschaften und vordefiniertem Ende) noch größer wird.“ [Bul09, S. 322 mit Verweis auf Bol01 S. 108]

Das strukturelle Konzept der Virtuellen Fabrik sieht aus diesen Gründen im Wesentlichen die Verwendung einer stabilen Plattform als Basis vor. Diese Plattform besteht aus regional eingeschränkten Kooperationspartnern zwecks Umsetzbarkeit und Praktikabilität sowie sozialer und wirtschaftlicher Selbstkontrolle. „In Summe entsteht ein universelles Angebot an unterschiedlichsten Fähigkeiten, die [zum Teil] auf Kompetenzebene, nicht aber auf Endproduktebene, in Konkurrenz zueinander stehen. [...] Die fehlende Konkurrenz auf Endproduktebene garantiert [...] die Möglichkeit des Vertrauensaufbaus.“ [Bul09, S. 323]. Je nach benötigten Fähigkeiten werden Virtuelle Fabriken dynamisch zwischen einigen Unternehmen der stabilen Plattform eingerichtet und nach Auftragsabwicklung aufgelöst, wobei einem Unternehmen das Management der Auftragsabwicklung übertragen wird. [Bul09, S. 322 f.]

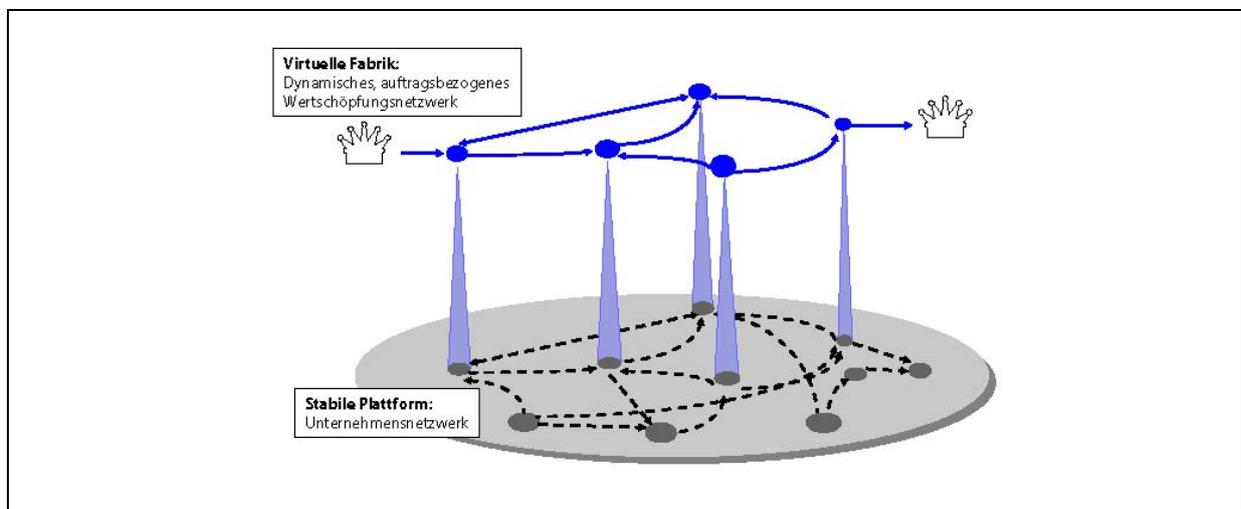


Abbildung 2-7: Grundmodell der Virtuellen Fabrik [Bul09, S. 323]

Zur Erstellung und zum Management Virtueller Fabriken sind verschiedene Rollen notwendig, die in der Regel von unterschiedlichen Parteien eingenommen werden. An dieser Stelle wird auf diese Rollen nicht detailliert eingegangen. Eine Übersicht ist in Abbildung 2-8 aufgeführt. Rollenbeschreibungen können [Bul09, S. 324 f.] entnommen werden. Die Ausführung von sowie die Kommunikation zwischen den Rollen weisen in einigen Bereichen einen manuellen Charakter auf, bei der natürliche Personen der Unternehmen beteiligt sind.

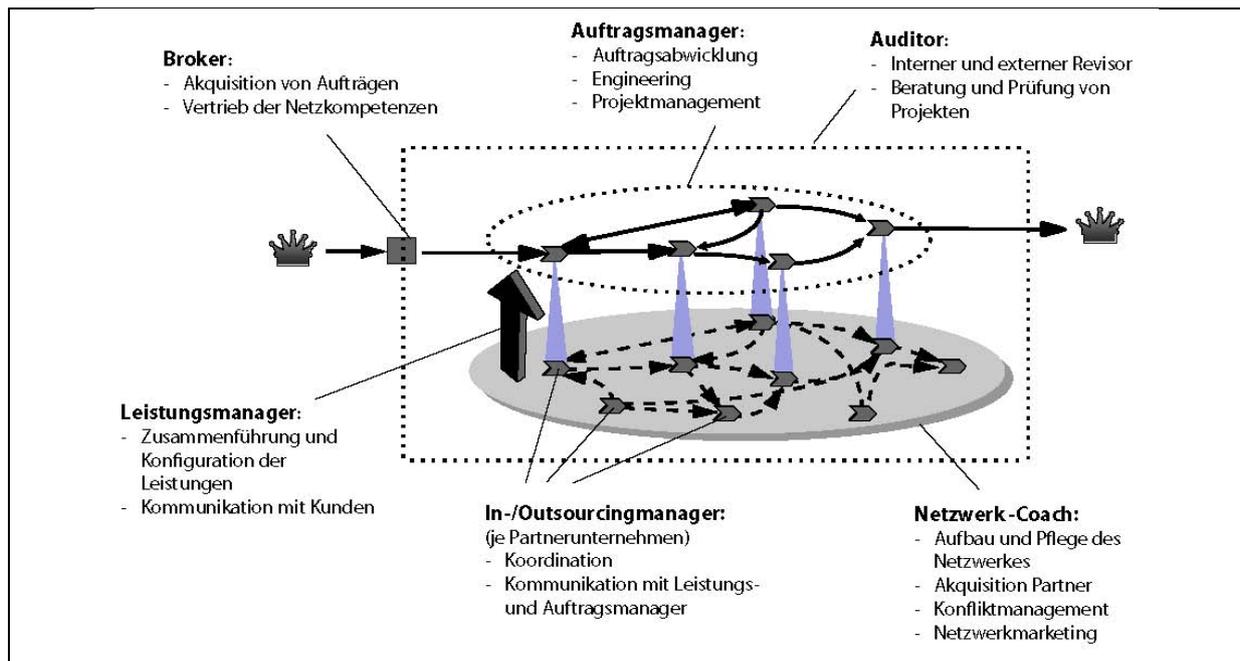


Abbildung 2-8: Rollen in der Virtuellen Fabrik [Bul09, S. 324]

Wie Erfahrungen aus bereits umgesetzten Virtuellen Fabriken gezeigt haben, stellt in Bezug auf die Effizienz und Effektivität der Virtuellen Fabrik die Einrichtung eines zentralen Netzwerkmanagement einen bedeutenden Ansatz dar. [Bul09, S. 325]

ebXML

ebXML (Electronic Business using eXtensible Markup Language) kann als Framework zur Gestaltung von Kollaborationsnetzwerken gesehen werden. Es handelt sich um einen Satz an Standards, der sowohl Datenstrukturen als auch die Infrastruktur der Netzwerke beschreibt. Ziel ist die „Bereitstellung einer offenen XML-basierten Infrastruktur, welche die weltweite Nutzung von Informationen über "electronic Business" in einer interoperablen, sicheren und konsistenten Art für alle Beteiligten gewährleistet“ [Ebx11]. Das Konzept setzt vor allem auf die Integration von KMU in Kollaborationsnetzwerke. Die Komponenten sind [vgl. u.a. Pro11, Oas06, Ebx13 u. Mer01]:

- *ebRIM* (ebXML Registry Information Model) (ISO 15000-3) und *ebRS* (ebXML Registry Services) (ISO 15000-4):

Bei *ebRIM* und *ebRS* handelt es sich um Standards zur Veröffentlichung und Verwaltung von Registrierungsinformationen von Netzwerkteilnehmern, zum Beispiel von angebotenen oder angeforderten Geschäftsprozessen.

- *CPP/CPA* (Collaborative Partner Profile and Agreements) (ISO 15000-1):

Anhand dieses Standards wird auf Basis der technischen Eigenschaften sowie der Anforderungen der Geschäftspartner geregelt, welche Dokumente ausgetauscht werden und über welche Wege dies geschieht.

- *ebMS* (eXML Messaging Service) (ISO 15000-2):

ebMS stellt Strukturen zur Verfügung, um den Transport der Geschäftsdokumente zu gewährleisten. Der Standard stellt einen Container zur Verfügung, dessen Inhalt von unterschiedlichem Format sein kann, wobei der Inhalt klar definiert und dessen Verarbeitbarkeit gewährleistet ist.

- *CCTS* (Core Components Technical Specification) (ISO 15000-5):

CCTS spezifiziert einen Basissatz an Geschäftsdokumentelementen, inklusive Datentypen und möglichen Werten.

- *ebBP* (eXML Business Process Specification Schema) (OASIS-Standard):

Über *ebBP* können die Systeme für partnerübergreifende Geschäftsprozesse, zum Beispiel in Bezug auf Rollen oder die Choreographie, konfiguriert werden. Insbesondere sind in der Spezifikation Referenzprozesse standardisiert und erweiterbar definiert.

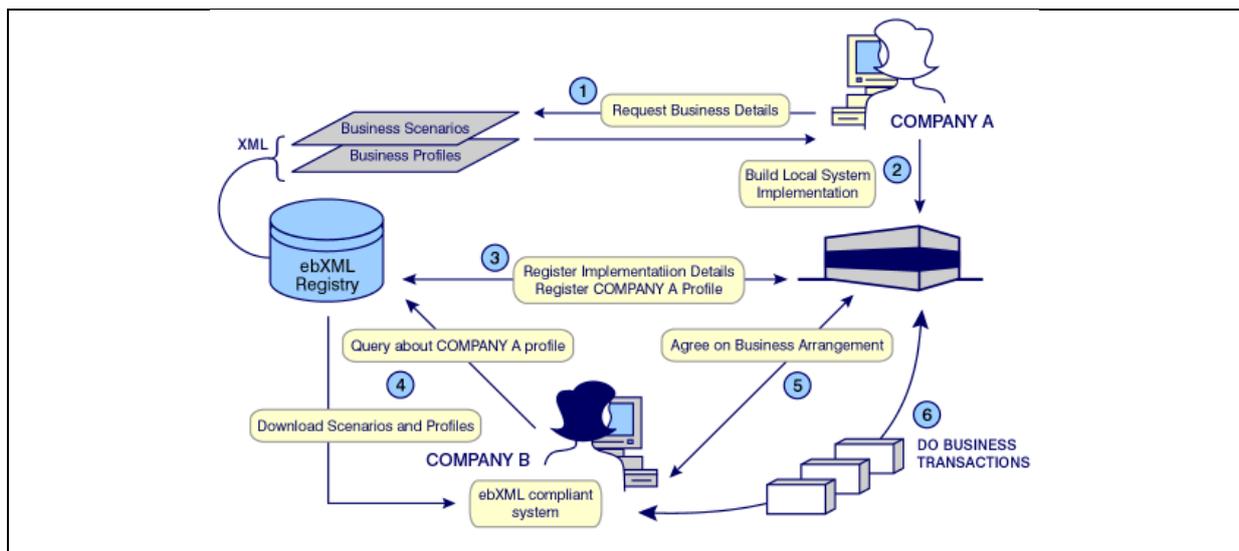


Abbildung 2-9: Kommunikationsablauf mit ebXML [Mer01]

Das Framework beschränkt sich nicht nur auf den standardisierten Austausch von Datenstrukturen, sondern bietet Methoden zur Population, also zur Suche, Gründung und Regelung von Partnerschaften an. Der Kommunikationsablauf wird in Abbildung 2-9 dargestellt. Eine detailliertere Beschreibung des Ablaufes kann unter anderem [Mer01] entnommen werden. Einen entscheidenden Ansatz stellt die *Registry* dar. In dieser werden Profile und Geschäftsmodelle (durchführbare Prozesse, angeforderte Prozesse, bedienbare Formate et cetera) der Parteien gespeichert. Je nach Kooperationsanforderung können anhand der Registrierungseinheit passende Partnerschaften ermittelt werden. Werden passende Kandidaten ermittelt, so kann anhand weiterer, von *ebXML* zur Verfügung gestellter Standards, eine Vereinbarung zwischen den Parteien getroffen und deren Ausführung verfolgt werden.

myOpenFactory

Bei *myOpenFactory* handelt es sich um einen in der *PAS 1074* beschriebenen Prozess- sowie Transaktionsstandard mit Nachrichtenworkflow für die überbetriebliche Abwicklung von Aufträgen und Projekten. Ursprünglich wurde der Standard für den Anlagen- und Maschinenbau konzipiert, kann jedoch branchenübergreifend eingesetzt werden. Angebotseinholung, Leistungserbringung und Rechnungsstellung sowie der hierzu erforderliche Nachrichtenworkflow, beispielsweise zur Projektüberwachung, werden standardisiert beschrieben. Der Transaktionsstandard ist an *EDIFACT* angelehnt, basiert jedoch auf *XML* und ist für *KMU* ausgelegt. Das Konzept soll im Vergleich zu *ebXML* eine „kurzfristige und kostengünstige Implementierung“ [Din07, S. 2] ermöglichen. Die Infrastruktur und der Nachrichtenfluss können der Abbildung 2-10 entnommen werden. [Din07]

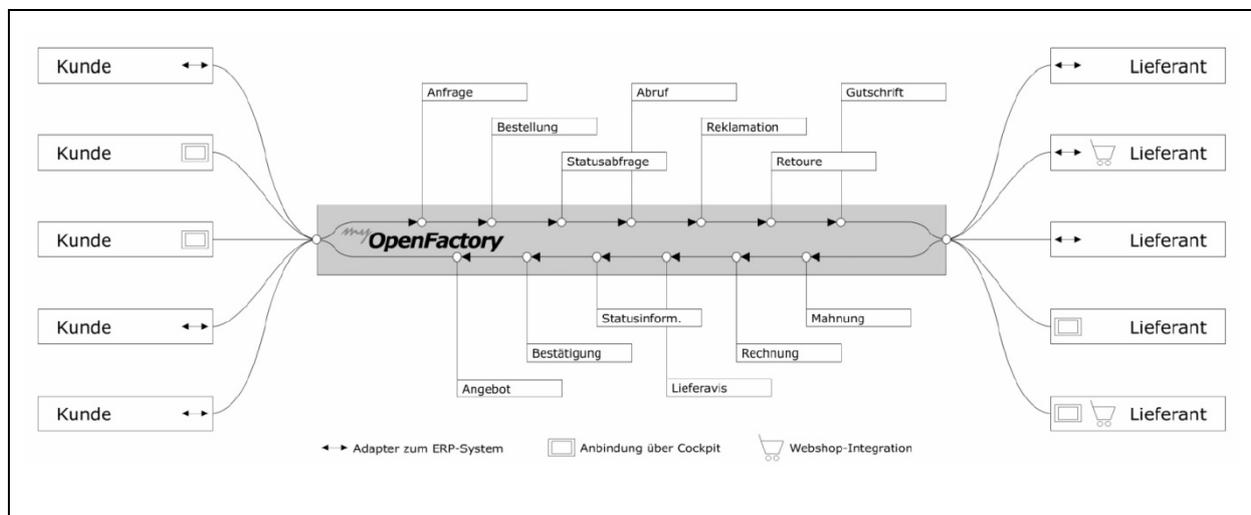


Abbildung 2-10: Infrastruktur von myOpenFactory [Din07, S. 23]

web-Pilarcos

Bei *web-Pilarcos* handelt es sich um ein Projekt, das durch die Nutzung einer plattformunabhängigen Softwarearchitektur (durch die Verwendung einer Middleware) sowie festgelegter, teilweise automatisierter Prozessabläufe und Nachrichtenflüsse versucht, Abläufe von Kollaborationsgründungen zu vereinfachen und deren Kosten zu reduzieren.

Ein wesentlicher Kern des Konzeptes liegt in einem vertragsbasierten Monitoring der Prozessabläufe und der dynamischen Neuordnung einer Kollaboration, sofern Fehlverhalten gegenüber Vertragsvereinbarungen der bestehenden Kollaboration registriert werden. Zur Ermittlung von Vertragsverstößen werden alle für den Vertrag relevanten Aktivitäten durch das Monitoring erfasst und als Meta-Informationen gespeichert. Zur Erfassung der relevanten Informationen wird zum Teil über Protokolle auf die internen Systeme der Kollaborationspartner zugegriffen. Die Neuordnung kann hierbei Vertragsanpassungen aber auch die Bildung einer vollständig neuen Kollaboration mit neuen Teilnehmern bedeuten.

Die Basis der Vertragsverhandlung stellt ein *BNM* (Business Network Model) dar, in dem Rollen, Interaktionen und Services definiert sind, die die Teilnehmer der Kollaboration zu erfüllen haben. Von den potentiellen Kollaborationsteilnehmern angebotene Services sind in standardisierter Form in einer Servicebibliothek abgebildet.

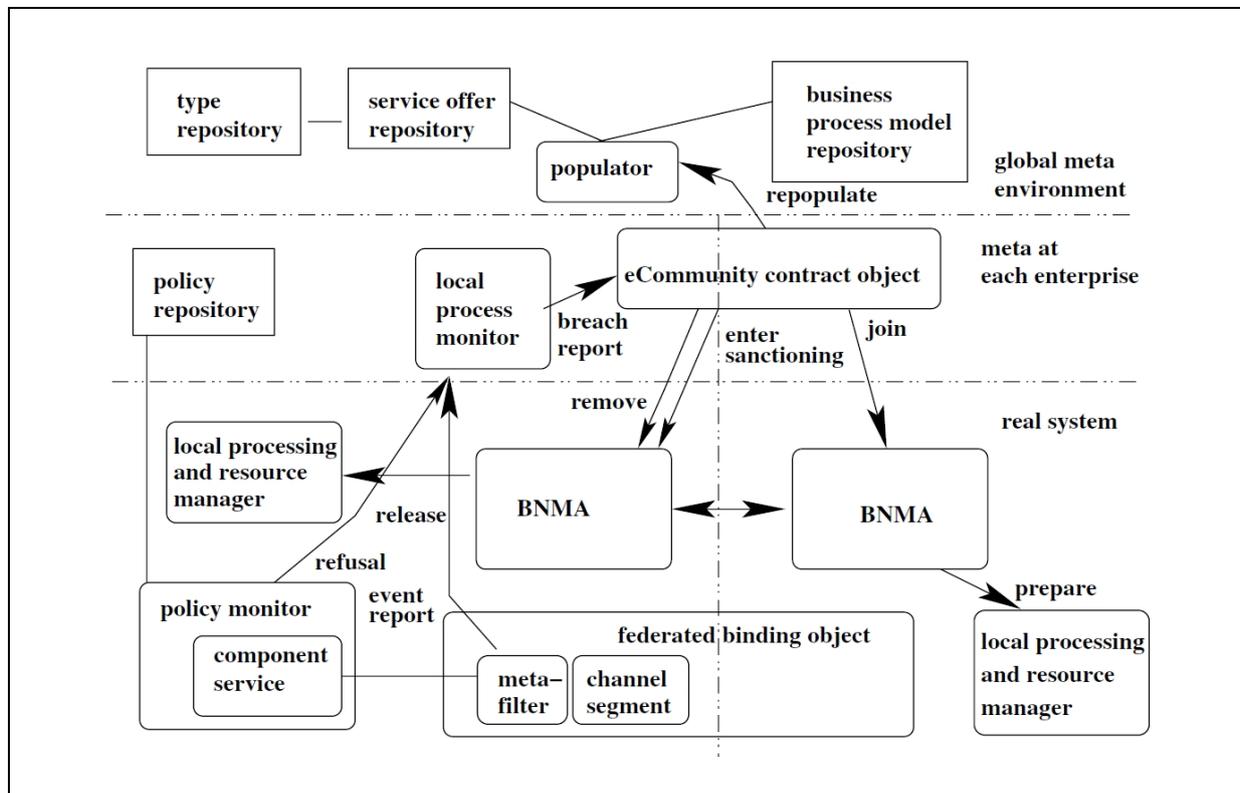


Abbildung 2-11 Middleware von web-Pilarcos (Architektur und Nachrichtenfluss) [Kut06, S. 189]

Für die Zusammenführung der Kollaboration besteht ein *Populator*, ein Matchingobjekt, das ein gegebenes *BNM* nutzt, um eine sinnvolle Interoperabilität zwischen Partnern zu ermitteln. Durch den *Populator* werden zu einem *BNM* passende Services ermittelt. Hierzu werden Rollenbeschränkungen des *BNM* mit Attributwerten der Kandidatenservices verglichen.⁵

Im Softwarebereich, zum Beispiel für die Zusammenführung webbasierter Dienstleistungen, die auf hoch standardisierten Prozessabläufen basieren, ist das Netzwerkkonzept von *web-Pilarcos* durchaus sinnvoll. Für den Einsatz in der Fertigungsindustrie ist die dynamische Neuaushandlung von Kooperationen während der Auftragsausführung jedoch nicht geeignet.

Außerdem ist bezogen auf den Fertigungsbereich die Suche nach Fremddienstleistern anhand des Vergleiches konkreter Prozessdefinitionen aufgrund zum Teil komplexer Prozessstrukturen, zum Teil vieler Produktvariationen und zum Teil variabler Möglichkeiten zur Produktfertigung eher unrealistisch.

⁵ Weiterführende Informationen zu *web-Pilarcos* und dessen Vorgänger *Pilarcos* können [Kut01, Kut06 u. Kut08] entnommen werden.

DIBPM

DIBPM (Dynamic Inter-Organizational Business Process Management) ist ein E-Sourcing-Netzwerk-konzept, mit dem automatisiert passende Partnerschaften ähnlich wie bei *web-Pilarcos* anhand des Matchings von Geschäftsprozessmodellen (*BPM*) elektronischer Dienstleistungen der Konsumenten und der Anbieter ermittelt werden. Hierzu nutzt das System ein dreischichtig aufgebautes E-Sourcing-Modell [Gre03], bestehend aus interner, konzeptioneller und externer Ebene. Auf der internen Ebene befinden sich die Prozesse, auf die die *MIS* (Management Information Systems) der jeweiligen Unternehmen direkten Zugriff haben. Auf externer Ebene finden die Matchingprozesse statt, bei denen Prozessanforderungen der Konsumenten mit Prozessangeboten der Anbieter verglichen werden. Zwischen interner und externer Ebene befindet sich die konzeptionelle Ebene, die verfügbare Prozesse auf interner Ebene in die für das auf externer Ebene stattfindende Matching erforderliche Struktur überführt. [Nor06, S. 6]

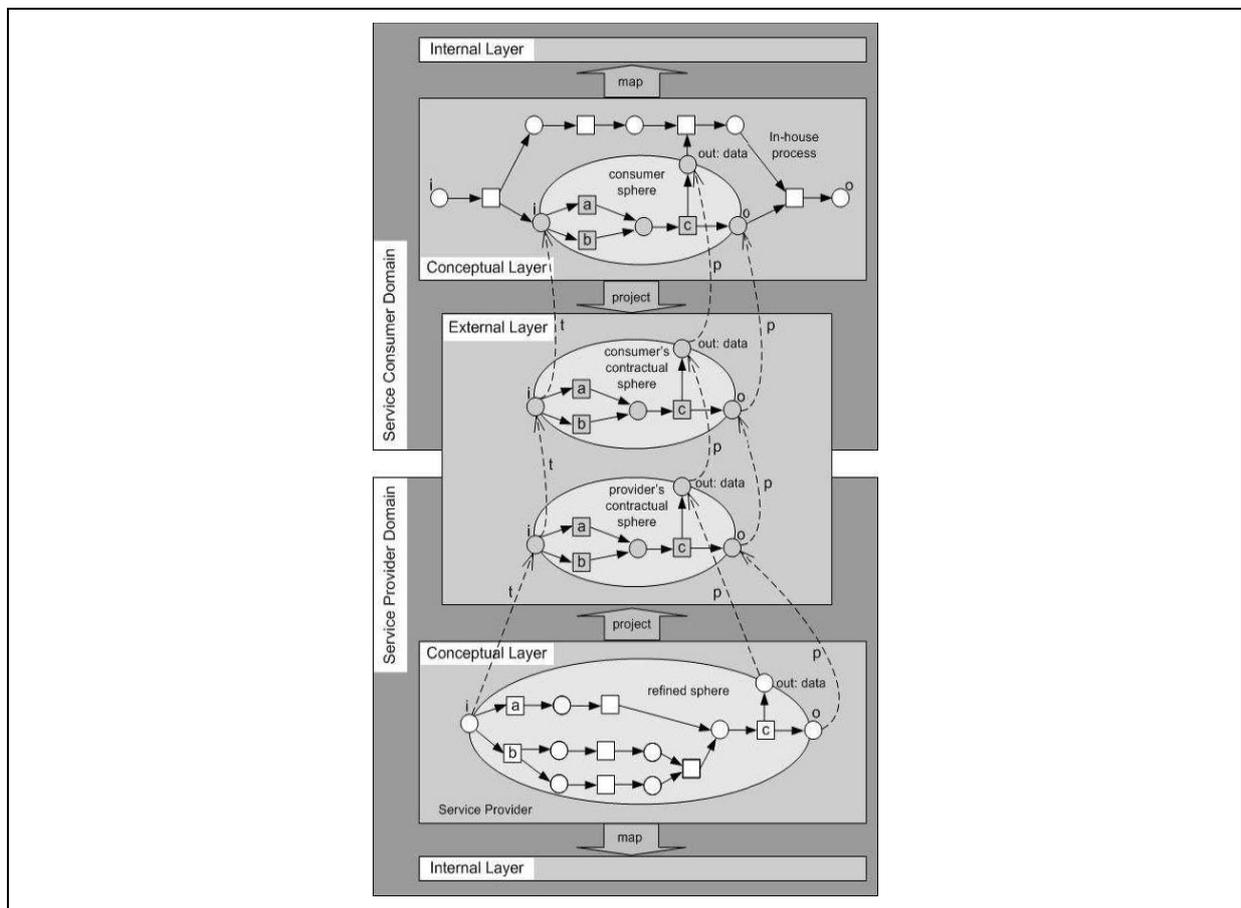


Abbildung 2-12: Dreischichten-Modell des Prozessmatchings von DIBPM [Nor06, S. 7]

Für die Implementierung der konzeptionellen und der externen Ebene wird die *eSRA*-Architektur [Nor06, S. 21 ff.] verwendet. Deren übergeordnete Struktur nutzt auf externer Ebene eine Middleware, mit der eine plattformunabhängige, synchronisierte und einheitliche Netzwerkkommunikation ermöglicht wird. Die konzeptionelle Ebene stellt eine Schnittstellenebene zur internen Ebene dar. Über diese lassen sich Daten und Prozesse der internen Ebene, dem

unternehmenseigenen *MIS*, in die Strukturen überführen, die auf externer Ebene benötigt werden. Neben der direkten Kommunikation zwischen dem Konsumenten und dem Anbieter, findet eine Kommunikation zwischen der Middleware jeder Partei und einer dritten Partei, der *Trusted Third Party*, statt. Diese Partei dient folgenden Zwecken [vgl. Nor06, S. 22]:

- Erfassung von Serviceanfragen und Serviceangeboten
- Matching von Services und E-Sourcing-Konfigurationen

Die Prüfung der Services und E-Sourcing-Konfigurationen durch eine dritte, unabhängige Partei hat den Vorteil, dass die gegebenenfalls kollaborierenden Parteien keine sensiblen Daten untereinander austauschen müssen [Nor06, S. 23]. Somit führt die Einbindung der *Trusted Third Party* gegebenenfalls zu erhöhter Akzeptanz, da das Risiko des Verlusts von Konkurrenzvorteilen reduziert wird.

3. Konzept des BUW-Outsourcingnetzwerkes

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird ein Konzept für ein Outsourcingnetzwerk erarbeitet. Das Konzept dieses BUW-Outsourcingnetzwerkes soll eine automatisierte Kollaborationsgründung bezüglich operativer Prozesse ermöglichen und greift hierzu teilweise auf Elemente bestehender Konzepte zurück.

In der verarbeitenden Industrie entwickelt sich zunehmend ein Bedarf an effizienten, möglichst automatisierten Lösungen zur Fremdvergabe von Aufträgen. Bisher bestehen für das Outsourcen von Fertigungsprozessen lediglich manuell geprägte Netzwerkkonzepte, beispielsweise Vergabeplattformen und Auktionsplattformen. Konzepte mit höherem Automatisierungsgrad befassen sich hingegen eher mit der Population von Partnerschaften zur Durchführung von IT-Projekten (zum Beispiel *web-Pilarcos*) oder zur Durchführung einfach strukturierter Handelsprozesse (zum Beispiel *ebXML*).

Die Schwierigkeit bei der automatisierten Suche geeigneter Fremdfertiger liegt darin, dass je Industriezweig und Produkt erhebliche Unterschiede in der Komplexität sowie der Variation der Fertigungsmöglichkeiten bestehen können. Die Druckindustrie stellt diesbezüglich einen guten Repräsentanten dar. Zeitungen haben beispielsweise eine einfache Struktur, setzen jedoch hohe und standardisierte Anforderungen an die Produktionslinien, wohingegen klebegebundene Bücher eine höhere Komplexität aufweisen und vielseitig verarbeitet werden können.

In diesem Kapitel soll eine Beschreibung des BUW-Outsourcingnetzwerkes vorgenommen werden. Hierzu gehören Erläuterungen zur verwendeten Architektur und Funktion, die sich hieraus ergebende Eingrenzung des Konzeptes in den im Kapitel 2 vorgestellten Stand der Technik sowie die zur Ermittlung von Partnerschaften erforderlichen Datenstrukturen.

3.1. Netzwerkarchitektur und Funktion

Das BUW-Outsourcingnetzwerk setzt seinen Fokus auf die automatisierte Suche nach Fremddienstleistern zur Fertigung von Produktionsaufträgen. Das Konzept wurde am Beispiel der Druckindustrie prototypisch umgesetzt, wobei bezüglich der Netzwerk-, Daten- und Verarbeitungsstrukturen auf eine branchenübergreifende Umsetzbarkeit geachtet wurde.

Für die Umsetzung ist es erforderlich, dass sich die Fertigungsstrukturen der branchenbezogenen Produkte mit dem Modell der vom BUW-Outsourcingnetzwerk angeforderten Auftragsstruktur beschreiben lassen (siehe Abschnitt 3.3). Ein hoher Grad an Automatisierung stellt erhebliche Anforderung an die Auftragsstruktur, da diese die Grundlage darstellt, um folgende Punkte zu ermitteln:

- Welche Fremddienstleister den Auftrag verarbeiten können
- Wie Fremddienstleister den Auftrag verarbeiten können
- Zu welchen Konditionen die Fremddienstleister den Auftrag verarbeiten können

Die Zielsetzung des BUW-Outsourcingnetzwerkes besteht darin, eine Plattform für eine effiziente Suche nach dynamischen Partnerschaften zur Auslagerung operativer Prozesse zur Verfügung zu stellen. Einen entscheidenden Unterschied zu bestehenden Vergabeplattformen stellt der Automatisierungsgrad dar, sowohl in Bezug auf die Ermittlung potentieller Fremddienstleister als auch bezüglich des Vergleiches zwischen verschiedenen Fertigungsmöglichkeiten, gegebenenfalls inklusive der Eigenfertigung.

3.1.1. Architektur und Nachrichtenmodell

Zur Durchführung der unternehmensübergreifenden Prüfung nach Fertigungsmöglichkeiten ist sowohl eine plattformunabhängige Netzwerkstruktur erforderlich als auch eine dritte Partei, die Trusted Third Party (*TTP*). Die *TTP* ist der Broker des Netzwerkes und dient der Verwaltung der Suche sowie dem Monitoring der Geschäftsprozesse, die zwischen dem gegebenenfalls outsourcenden Unternehmen (Service Consumer (*SC*)) und einem Fremddienstleister (Service Provider (*SP*)) stattfinden.

Die plattformunabhängige Netzwerkarchitektur basiert auf der ersten Abstraktionsebene der *eSRA* (eSourcing-Setup Reference Architecture) von Alex Norta. Bei *eSRA* handelt es sich um eine speziell zur Durchführung von E-Sourcing-Aktivitäten zwischen Unternehmen konzipierte, im *DIBPM* eingesetzte Netzwerkarchitektur [Nor06].

Die grundlegende Architektur des BUW-Outsourcingnetzwerkes ist in Abbildung 3-1 aufgeführt. Am Netzwerk beteiligte Unternehmen verfügen über eine Softwarestruktur bestehend aus externer (Middleware), konzeptioneller (Interface) und interner Ebene (Legacy System). Für die Netzwerkkommunikation ist die externe Softwareebene, die Middleware, entscheidend. Diese Ebene reguliert den Informationsaustausch zwischen den Unternehmen sowie zwischen einem Unternehmen und der *TTP*. Auf der internen Ebene befindet sich das unternehmenseigene *MIS*, das einen direkten Zugriff auf unternehmensbezogene Daten besitzt. Das *MIS* nutzt in der Regel andere Datenstrukturen als die Middleware. Daher müssen auf konzeptioneller Ebene Schnittstellen bereitgestellt werden, über die eine Kommunikation zwischen interner und externer Ebene ermöglicht wird. [vgl. auch Nor07]

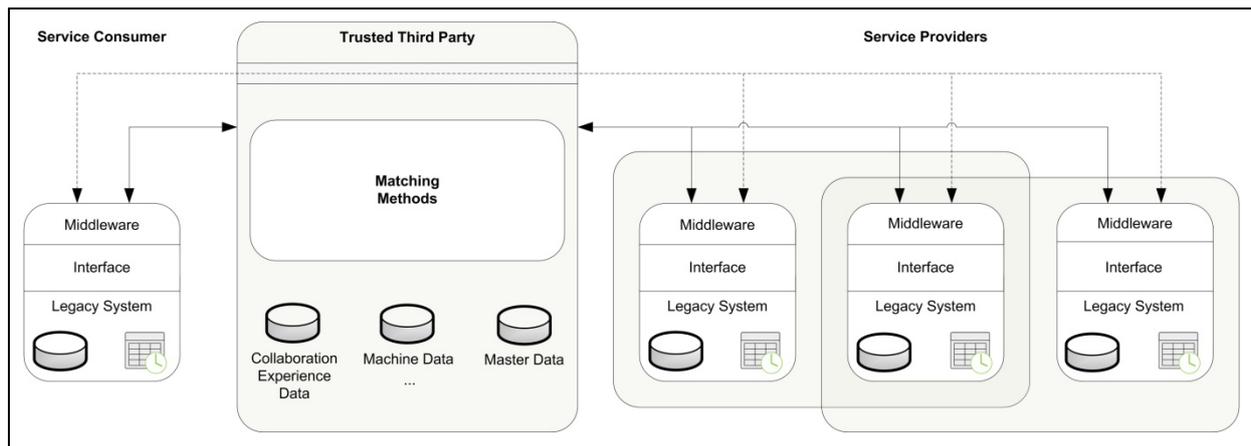


Abbildung 3-1: Architektur des BUW-Outsourcingnetzwerkes (basierend auf eSRA)

Die Trennung zwischen interner und externer Systemebene gewährleistet des Weiteren eine höhere Sicherheit, da Datenzugriffe zwischen interner und externer Ebene klar definiert und entsprechende Schnittstellen zur Verfügung gestellt werden müssen.

Die *TTP* dient als zentrale Verwaltungseinheit des Kollaborationsnetzwerkes. Sie organisiert die Kollaborationseinrichtung, zum Beispiel durch den Einsatz von Matchingmethoden zur auftragsbezogenen Suche nach Fremddienstleistern. Außerdem stellt sie einen Vermittler dar, der vertrauenswürdig und möglichst anonymisiert mit sensiblen Unternehmensdaten umgeht. Die Akzeptanz für das Netzwerk soll hierdurch gesteigert werden.

Um ein an der *PAS 1074* [Din07, S. 24] orientiertes Sicherheitskonzept zu gewährleisten sollten die Aspekte Authentifizierung, Autorisierung, Geheimhaltung, Datenintegrität und Nachrichtenquittierung sichergestellt werden. Der indirekte Nachrichtenfluss zwischen Unternehmen, der durch die *TTP* ermöglicht wird, stellt hierfür die Grundlage dar. Die zentrale Verwaltung aller Kollaborationen ermöglicht beispielsweise die klare Zuordnung von Sendern und Empfängern zu konkreten Kollaborationsaktivitäten sowie die Plausibilitätsprüfung von Nachrichten in Bezug auf den jeweiligen Prozessstatus. Weitere Vorteile des indirekten Nachrichtenflusses sind die Möglichkeiten der Anonymisierung sowie der Datenspeicherung auf dem Verwaltungssystem, beispielsweise zur Verbesserung von Matchingprozessen für Folgeaufträge.

Um eine möglichst effiziente Suche zu gewährleisten ist es erforderlich, bei der *TTP* Stammdaten zu hinterlegen. Hierbei handelt es sich um Daten, die nicht vom Tagesgeschäft abhängen und in der Regel nur selten angepasst werden müssen. Zu den Stammdaten zählen zum Beispiel Informationen zum Unternehmensstandort, zur Produktpalette und zum Maschinenpark. Je mehr Daten zentral zur Verfügung stehen, desto detaillierter lassen sich die Netzwerkteilnehmer differenzieren und desto seltener muss die *TTP* auf Fremdsysteme zugreifen. Für einige Methoden wird ein Zugriff auf Fremdsysteme allerdings nicht zu vermeiden sein. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn dynamische Daten, zum Beispiel aktuelle Informationen aus der Produktionsplanung, benötigt werden.

Neben der Durchführung der Suche nach Fertigungsmöglichkeiten sollen durch die *TTP* ebenfalls Transaktionsprozesse wie der Auswahl- und/oder der Bestellprozess unterstützt werden. Die Übermittlung hierzu erforderlicher Transaktionsdaten wurde im Rahmen der Forschungsarbeit nicht ausgearbeitet. Hierzu ist die Verwendung *XML*-basierter Standards, beispielsweise *cXML*, sinnvoll. Neben der Plattformunabhängigkeit bietet *cXML* gegenüber *EDIFACT* den Vorteil einer übersichtlichen und menschenlesbaren Datenstruktur.

Prinzipiell sollten grundlegend branchenübergreifende Standards genutzt werden. Für spezifische Fälle bietet sich die Nutzung branchenspezifischer Standards gegebenenfalls an. Für die Druckindustrie käme die Verwendung von *PrintTalk*, einem branchenspezifischen Derivat von *cXML*, in Frage. Erheblicher Vorteil von *PrintTalk* ist, dass dieser Standard Auftragsstrukturen in Form von *JDF* (Job Definition Format) einbinden kann. Da die Auftragsstruktur des BUW-Outsourcingnetzwerkes an *JDF* angelehnt ist, lassen sich benötigte Informationen daher gut aus *PrintTalk* beziehungsweise *JDF* entnehmen.

Der Datenaustausch zwischen den Netzwerkteilnehmern und der *TTP* findet über Webservices statt. Die Transformation des Datenmodells in *XML*-basierte Nachrichtenformate, beziehungsweise umgekehrt, führt die Middleware durch.

3.1.2. Ablauf der Fremddienstleistersuche

Bezogen auf die externe Vergabe von Fertigungsaufträgen gliedert sich der Prozess der dynamischen Kollaboration, die mittels des BUW-Outsourcingnetzwerkes ermöglicht werden soll, in vier Phasen. In Abbildung 3-2 wird ein möglicher Prozessablauf mit manuell ausgeführter Angebotseinholung sowie Auftragsfreigabe, unter Angabe der jeweils beteiligten Systemstrukturen, aufgeführt. Je nach Komplexität der Auftragsstruktur und Datenverfügbarkeit, wäre ebenfalls ein vollautomatischer Durchlauf denkbar.

Phase 1: Initiierung (Initiation)

Der Vergabeworkflow wird durch den Auftragseingang im *MIS* des *SC* initiiert. Entscheidet sich der *SC* für eine Suche nach Fertigungsmöglichkeiten über die Logik des BUW-Outsourcingnetzwerkes, so wird anschließend der Kollaborationsaufbau eingeleitet.

Phase 2: Kollaborationsaufbau (Setup)

Während der Phase des Kollaborationsaufbaus werden Fertigungsmöglichkeiten ermittelt sowie Angebote eingeholt und bewertet. Hierzu wird über die Middleware, auf Basis der Auftragsdaten und vom *SC* festgelegter Vergabekriterien, gegebenenfalls unter Einbezug von Daten des *MIS*, ein Parametersatz zur Fremddienstleistersuche angelegt und an die *TTP* weitergeleitet.

Unter Verwendung des Parametersatzes werden durch die *TTP* diejenigen Fremddienstleister (*SP*) ermittelt, die die gestellten Anforderungen am besten erfüllen. Über die Systeme dieser potentiellen *SP* wird anschließend eine Kapazitätsprüfung durchgeführt. Die Prüfung kann beispielsweise direkt von der Middleware, unter Berücksichtigung der im *MIS* hinterlegten Produktionsdaten, oder durch das *MIS* selbst ermittelt werden. Verfügbare Routingmöglichkeiten⁶ werden an die *TTP* zurückgesendet.

Anhand von Kriterien des Parametersatzes werden die Routings gerankt und dem *SC* zur Entscheidungsfindung für eine Angebotseinholung übersendet. Ausgewählte Routings werden über die Systeme der *SP* kalkuliert. Bei einem höher automatisierten Prozess findet die Kalkulation direkt im Anschluss an die Kapazitätsprüfung statt. Anhand der Angebote der Fremddienstleister lässt sich ein Angebot für den Endkunden gestalten. Nach der Freigabe des Endkunden kann eine Auftragsfreigabe an einen *SP* erteilt werden.

Phase 3: Kollaboration (Contracting)

Die Phase der Kollaboration umfasst die Prozesse der Fremdfertigung. Während dieser Phase anfallende Informationen sind durch die *TTP* unter Umständen nur schwer zu erfassen, da die Prozesse teilweise gar nicht, teilweise nur über die interne Systemebene des *SP* überwacht werden. Um zumindest Informationen der Kommunikationen zwischen den kollaborierenden Parteien erfassen zu können, böte sich die Verwaltung des elektronischen Geschäftsverkehrs über die Infrastruktur des BUW-Outsourcingnetzwerkes unter Verwendung bestehender E-Standards an.

Phase 4: Auswertungsphase (Post-Collaboration)

In der abschließenden Phase werden die Daten der vorangegangenen Phasen ausgewertet. Des Weiteren können Mechanismen, beispielsweise ein Bewertungssystem, bereitgestellt werden, um weitere Kollaborationsdaten zu erfassen. Die Datensammlung soll dazu dienen, zukünftige Anbahnungs- und Aushandlungsprozesse zu verbessern.

⁶ Ein Routing definiert für den gesamten Auftrag, über welche Maschinenressourcen die Prozesse zur Produktherstellung ausgeführt werden. Je nach Produktanforderungen und Maschinenpark existieren verschiedene Routingmöglichkeiten für ein und dasselbe Produkt.

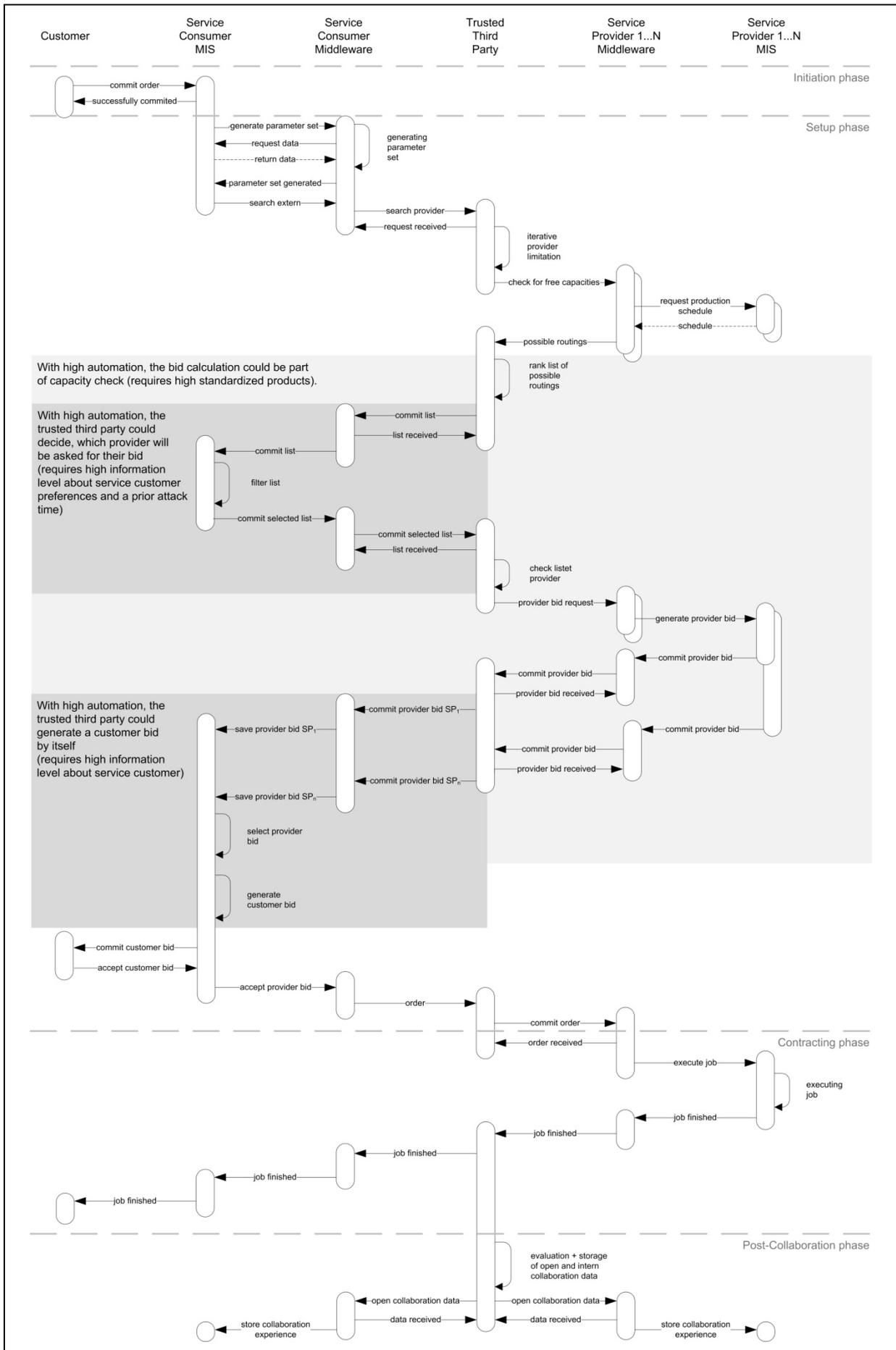


Abbildung 3-2: Fremdvergabeprozess im BUW-Outsourcingnetzwerk

3.2. Positionierung des BUW-Outsourcingnetzwerkes zum Stand der Technik

In Kapitel 2 wurde eine Auswahl bestehender Standards und Konzepte für die Ermittlung von Fremddienstleistern und das Management von Prozessabläufen bei der Fremdvergabe von Fertigungsaufträgen oder Dienstleistungen aufgeführt, die im Rahmen der für die Konzeption des BUW-Outsourcingnetzwerkes durchgeführten Recherche als bedeutend angesehen werden.

In Bezug auf die Fertigungsindustrie dienen bestehende Standards und Netzwerkkonzepte überwiegend zur Vereinheitlichung zwischenbetrieblicher Kommunikationen sowie der Überwachung meist langfristig angelegter Kollaborationsaktivitäten. Im Vordergrund stehen meist die Bereitstellung einheitlicher Kommunikationswege mit kontrollierbaren Prozessabläufen und klaren Nachrichtenflüssen, wie auch die Reduktion von Medienbrüchen. Bezüglich der Kollaborationsaufbauphase wird die Suche nach passenden Fremddienstleistern sowie der Aushandlungsprozess in der Regel manuell durch die kollaborierenden Parteien oder einen Netzwerkbroker durchgeführt und gegebenenfalls anhand automatisierter Matchingmethoden einfacher Prozessstrukturen der Geschäftsebene oder von elektronischen Dienstleistungen, nicht jedoch anhand Prozessstrukturen der Fertigungsebene, unterstützt.

Hervorzuheben ist, dass durch die Entwicklung in der IKT E-Business-Aktivitäten und Netzwerke zwischen KMU sowie branchenübergreifende Konzepte zunehmend in den Vordergrund rücken. Kostenintensive Netzwerkarchitekturen weichen immer mehr den kostengünstigen, internetbasierten und plattformunabhängigen Netzwerkstrukturen und XML-basierte Standards lösen langbewährte, jedoch komplexe Datenstrukturen ab. Es gibt heutzutage ausreichend Standards, um einen ganzheitlichen elektronischen Geschäftsverkehr zwischen kooperierenden Unternehmen von der Angebotseinholung über die Auftragsvergabe und Statusabfragen bis hin zur Lieferverfolgung und den Zahlungsvorgang zu ermöglichen.

Gründungen von Kollaborationen in Netzwerken sind bisher stark manuell geprägt. Gründe hierfür können zum einen Sicherheitsbedenken, zum anderen Probleme in der standardisierten Beschreibung von Kollaborationsanforderungen und -angeboten sein. Einige bestehende Netzwerkkonzepte nutzten bereits vom BUW-Outsourcingnetzwerk aufgegriffene Methoden, um diese Barrieren für die Automatisierung zu reduzieren.

Zur Gewährleistung von Sicherheitskonzepten und aufgrund von Monitoring- und Steuerungsaspekten nutzen *myOpenFactory* und *web-Pilarcos* beispielsweise eine konsistente, indirekte Kommunikation zwischen den Kollaborationsteilnehmern. Ein Verwaltungssystem leitet sowie überwacht hierbei die Kollaborationsaktivitäten. Im BUW-Outsourcingnetzwerk repräsentiert die *TTP* dieses Verwaltungssystem.

Ein wesentliches Konzept in Hinblick auf die Automatisierung von Populationsvorgängen ist die zentrale und standardisiert strukturierte Datenhaltung von Angebots- und Anfrageinformationen. Das Framework *ebXML* nutzt hierzu eine zentrale Verwahrungseinheit, das *Repository*. In dieser werden allgemeine, nicht auftragsbezogene und von allen Netzwerkteilnehmern abrufbare Angebots- und Bedürfnisprofile der Netzwerkteilnehmer abgelegt. Hierbei handelt es sich um Prozessbeschreibungen angebotener Services sowie um Informationen, die Anforderungen im elektronischen Geschäftsverkehr betreffen. Im Gegensatz zum BUW-Outsourcingnetzwerk liegt der Fokus von *ebXML* nicht auf der Suche nach passenden Partnern hinsichtlich deren Fertigungsfähigkeiten, sondern in Bezug auf deren E-Business-Kompatibilität. Das Framework regelt hierbei die barrierefreie Kommunikation. Die auftragsbezogene Population findet durch eine manuelle Einigung potentieller Kooperationspartner statt und die in den Angebots- und Bedürfnisprofilen hinterlegten Prozessstrukturen beziehen sich auf Dienstleistungsprozesse geringer Komplexität.

Die Projekte *web-Pilarcos* und *DIBPM* stellen durch Verwendung einer Middleware die Kompatibilität zwischen den Netzwerknutzern sicher. Der Fokus des Projektes *web-Pilarcos* liegt in der dynamischen, zum Teil automatisierten Population, Kontrolle und gegebenenfalls Neuordnung von Kollaborationen. Neben den angebotenen Services der Netzwerkteilnehmer werden ebenfalls die konkreten Kollaborationsanforderungen zentral abgelegt. Ein Matching zwischen Angeboten und Kollaborationsanforderungen ermöglicht eine automatisierte Auswahl potentiell agierender Kollaborationen. Hinsichtlich der automatisierten Population liegt bei *web-Pilarcos* und *DIBPM* der wesentliche Unterschied zum BUW-Outsourcingnetzwerk in den zur Beschreibung von Angebot und Anforderung verwendeten Datenstrukturen. Bei den Diensten, die durch *web-Pilarcos* und *DIBPM* während der Population verglichen werden, handelt es sich um Dienstleistungsprozesse geringer Komplexität, jedoch nicht um konkrete Beschreibungen von Fertigungsmöglichkeiten.

Des Weiteren setzen die Projekte im Gegensatz zum BUW-Outsourcingnetzwerk auf das reine Matching von Prozessstrukturen. Eine automatisierte und effiziente Suche nach Fremddienstleistern im Fertigungsbereich erfordert jedoch weitergehende Datenstrukturen, beispielsweise Ressourceneigenschaften und -typen, mit denen Anforderungen an die Fertigung sowie das Angebot an Fertigungsmöglichkeiten beschrieben werden. Dies ist besonders der Fall, wenn viele Produktvarianten und Produktfertigungsmöglichkeiten bestehen. Zu allen Produkten alle möglichen Prozessmodelle anzulegen ist nicht effizient. Außerdem werden im Fertigungsbereich Fremddienstleister nicht allein anhand derer potentiellen Eignung zur Produktfertigung ausgewählt. Vielmehr müssen neben der Produktionsfähigkeit auch die Produktionsverfügbarkeit sowie konsumentenspezifische Kriterien wie beispielsweise Preis, Qualität und Termintreue berücksichtigt werden. Das im BUW-Outsourcingnetzwerk durchgeführte Matching setzt daher nicht auf ein reines

Mapping vordefinierter Prozessstrukturen, sondern auf die Durchführung schrittweise eingrenzender Reduktionsphasen (siehe Kapitel 4).

Zusammenfassend decken die bestehenden Architekturen, Technologien und Standards sowohl den Bereich langfristiger Kooperationen, bei denen die Transaktionskosten zur Partnerakquise vernachlässigt werden können, als auch den effizienten Aufbau und die standardisierte Regelung von Kollaborationsaktivitäten auf Geschäftsebene, zum Beispiel in Bezug elektronischer Dienstleistungen, ab. Konzepte, die eine automatisierte Suche nach Fertigungsmöglichkeiten basierend auf konkreten und komplexen Produktionsanforderungen durchführen, konnten während der Recherche zu dieser Arbeit nicht ermittelt werden.

Es existieren demnach viele Konzepte zur Implementierung eines Netzwerkes zur auftragsbezogenen Fremdvergabe von Fertigungsaufgaben sowie zur Steuerung der Prozessabläufe und Beschreibung der Nachrichtenformate (beispielsweise für Transaktionsvorgänge). Hinsichtlich einer effizienten, möglichst automatisierten Suche nach externen Fertigungsmöglichkeiten, scheint es hingegen keine Konzepte zu geben.

Das BUW-Outsourcingnetzwerk repräsentiert einen Ansatz, mit dem diese Lücke in der Kollaborationsaufbauphase gefüllt werden kann. Anforderungen, die das Konzept erfüllen sollen, sind:

- Outsourcing von Fertigungsprozessen
- Hohe Effizienz bei möglichst hoher Qualität der Fremddienstleistersuche
- Hoher Automatisierungsgrad
- Branchenunabhängigkeit
- Plattformunabhängigkeit
- Zentrale Verwaltung zur Kollaboration erforderlicher Daten und Prozesse

Die Phase des Kollaborationsaufbaus, speziell die automatisierte Suche nach geeigneten Fremddienstleistern, stellt den Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit dar. Auf die Prozesse dieser Phase wird in Kapitel 4 spezifischer eingegangen. Die anderen Phasen dienen zur Vervollständigung des im BUW-Outsourcingnetzwerk angedachten Gesamtworkflows. Diese wurden im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht näher ausgearbeitet.

Die Architektur des BUW-Outsourcingnetzwerkes greift einige Elemente bestehender Konzepte und Lösungen auf und integriert diese. Ein wesentliches Element ist die Bereitstellung einer zentralen, unabhängigen Verwaltungseinheit, wie sie beispielsweise das E-Sourcing-Netzwerk *DIBPM* vorsieht. Diese übernimmt wesentliche Aufgaben der Gründung, Überwachung und Bewertung der

auftragsbezogenen Kooperationen und soll für eine hohe Sicherheit, eine hohe Zuverlässigkeit sowie eine effiziente Kooperationsvermittlung sorgen. Eine effiziente Suche nach geeigneten Kooperationspartnern soll, ähnlich wie bei *DIBPM*, *web-Pilarcos* und *ebXML*, durch eine zentrale Speicherung aller zum Kollaborationsaufbau erforderlichen Unternehmensdaten, vor allem der bedienbaren Geschäfts- beziehungsweise Fertigungsprozesse erreicht werden. Im Gegensatz zur stabilen Plattform der Virtuellen Fabrik wird im BUW-Outsourcingnetzwerk die Strategie gewählt, alle Unternehmen, unabhängig von deren Konkurrenzbeziehungen und regionalen Ansässigkeit, anzusiedeln. Eine Eingrenzung wird, durch entsprechende Matchingprozesse, vor der Bildung der Kooperation, vorgenommen. Die Einschränkungskriterien werden dabei von den Netzwerkteilnehmern durch die Anlage obligatorischer Kriterien zur Auftragsannahme festgelegt.

Eine weitere wichtige Komponente, die von bestehenden Netzwerkkonzepten übernommen werden kann, ist die Verwendung einheitlicher, plattformunabhängiger Standards zur Netzwerkkommunikation und -überwachung. Bezogen auf die vorliegende Arbeit wurde wie bei dem Projekt *DIBPM* das Konzept einer plattformunabhängigen Middleware genutzt, die zur Durchführung der Matchingprozesse auf externer Ebene eigene Datenstrukturen übermittelt. Auf der Schnittstellenebene zwischen externer und interner Systemebene stellt die Middleware offene Schnittstellen zur Verfügung, um auf interner Ebene verwendete Datenformate in die Datenstruktur der Middleware zu überführen. Bezogen auf die Netzwerkkommunikation, für die bereits Standards bestehen, beispielsweise für die Angebotseinholung sowie Bestellung, sollte die Middleware des Netzwerkes diese nach Möglichkeit nutzen. Da der Fokus der vorliegenden Arbeit auf den in der Middleware durchgeführten Matchingprozessen liegt, wurde bei der prototypischen Umsetzung (siehe Kapitel 7) aus Einfachheitsgründen auf eine Standardbibliothek zur Konvertierung von *Java*-Objekten zu *XML*-Strukturen ohne eine zusätzliche Transformation in bestehende Standards zurückgegriffen.

Für das Monitoring der nach der Fremddienstleisterwahl stattfindenden Auftragsabwicklung stellt das auf dem *Aachener PPS-Modell*⁷ basierende Prozessmodell von *myOpenFactory*, inklusive des Nachrichtenworkflows, einen geeigneten Ansatz dar. Die Kommunikation findet wie im BUW-Outsourcingnetzwerk angedacht über ein zentrales System statt.

Bei der automatisierten Suche nach Fremddienstleistern ist eine schrittweise Reduktion der Kandidaten erforderlich, um eine möglichst hohe Effizienz zu erzielen (siehe Kapitel 4). Eine dieser Reduktionsphasen ist die *inkrementelle Reduktion* anhand optionaler Suchkriterien. Hierbei handelt es sich um ein multikriterielles Optimierungsproblem, für dessen effiziente und effektive Lösung, im Rahmen dieser Arbeit, eine Verfahrensentwicklung und -analyse durchgeführt wurde (siehe

⁷ Angaben zum PPS-Modell können der Quelle [Sch06] entnommen werden.

Kapitel 6). Diese Verfahrensentwicklung und -analyse bildet den wissenschaftlichen Schwerpunkt dieser Arbeit.

3.3. Modell der für die Matchingprozesse erforderlichen Daten

Den Kern des BUW-Outsourcingnetzwerkes stellen die Matchingmethoden der Kollaborationsaufbauphase zur Ermittlung geeigneter Fremddienstleister dar. Für die Ermittlung von Fertigungsmöglichkeiten sind standardisierte Strukturen zur Auftragsbeschreibung sowie zur Beschreibung von Verarbeitungsressourcen erforderlich. Die Verarbeitungsressourcen stellen das Pendant zu den Prozessanforderungen des Auftrages dar.

Zur Optimierung der Suche, zum Beispiel hinsichtlich Kundenanforderungen und Effizienz, sind weitere Datenstrukturen erforderlich. Hierzu gehören die Produktklassifizierung zur frühzeitigen Eingrenzung potentieller Fremddienstleister sowie die Verwendung klar strukturierter obligatorischer sowie optionaler Suchkriterien.

Um eine möglichst effiziente Suche nach Fremddienstleistern zu ermöglichen, sollten möglichst viele Matchingprozesse (siehe Kapitel 4) direkt über das System der *TTP* stattfinden. Für effiziente Suchvorgänge sollten demnach für die Matchingprozesse erforderliche Stammdaten der Netzwerkteilnehmer, also Nutzerdaten, die keinen ständigen Änderungen unterliegen [vgl. Gab13], auf dem System der *TTP* hinterlegt werden. Dabei ist sicherzustellen, dass Änderungen dieser Daten stets der *TTP* mitgeteilt werden. Außerdem sollten die Outsourcingaktivitäten der Nutzer zum Zweck der Auswertbarkeit für die Optimierung zukünftiger Netzwerkprozesse gespeichert werden.

In der Produktionsplanung ist für die Kapazitätsprüfung und Auftragseinplanung neben der Prüfung der benötigten Maschinenverfügbarkeit die Prüfung der Material- und der Personalverfügbarkeit erforderlich. Zur Vereinfachung der Konzeptentwicklung des BUW-Outsourcingnetzwerkes wurde der Fokus der Kapazitätsprüfung auf die Verarbeitungsressourcen gelegt. Material und Personal werden in erster Näherung als im ausreichenden Umfang vorhanden angenommen. Materialeigenschaften, die nicht die Warenwirtschaft, sondern Produkthanforderungen betreffen und die Auswahl an Verarbeitungsressourcen daher einschränken, beispielsweise die Substratdicke, werden über ein Eigenschaftenmodell an die entsprechenden Produktknoten beziehungsweise Ressourcen angefügt.

Zur einfachen und flexiblen Spezifikation von Maschinen, Prozessen und Produkten sowie deren Eigenschaften und Funktionsweisen, wurde das in [Hem09] beschriebene Eigenschaftenmodell angelegt. Das entwickelte Modell erlaubt eine flexible Strukturweiterung der Datenschicht. Das Eigenschaftenmodell ist das Kernstück des Datenmodells und wird daher im Folgenden näher behandelt. Des Weiteren werden die Strukturen für Auftragsdaten und Ressourcen sowie deren Zuordnung zueinander näher beschrieben, die stark mit dem Eigenschaftsmodell verknüpft ist.

Bezogen auf die Suchkriterien wird in diesem Abschnitt das grundlegende Konzept vorgestellt, detaillierte Angaben zur Datenstruktur der Kriterien sind dem Kapitel 4 zu entnehmen. Die Datenstrukturen befinden sich auf der externen Softwareebene der Netzwerkteilnehmer, sowie auf dem System der TTP.

3.3.1. Eigenschaftenmodell

Grundlage des Eigenschaftenmodells ist die Existenz eines einheitlichen Eigenschaftenobjektes, dessen sich andere Objekte bedienen. Durch die Anbindung von Eigenschaften sind Datenobjekte flexibel erweiterbar, ohne deren Datenstruktur verändern zu müssen.

Instanzen des Eigenschaftenobjektes, bestehend aus Eigenschaftsname und Standardeinheit, stellen zunächst nur Eigenschaftsdeklarationen dar. Definiert wird eine Eigenschaft durch die Zuweisung zu einem prinzipiell beliebigen anderen Objekt, beispielsweise einer Ressource oder einem Prozess. Bei der Zuweisung wird in der Regel ein Wert vergeben und gegebenenfalls die Standardeinheit überschrieben. Ein Sonderfall bezüglich der Wertevergabe stellt die Zuweisung von Eigenschaften zu Musterobjekten (Templates) dar, bei der keine Wertangabe erforderlich ist.

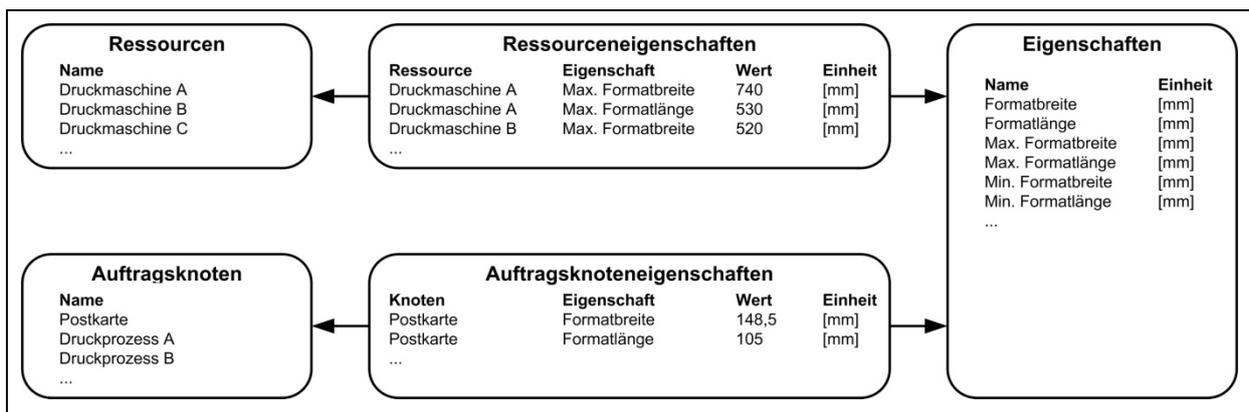


Abbildung 3-3: Definieren von Eigenschaften

Da bei einem Vergleich von Eigenschaften unterschiedlicher Objekte auf gleiche Strukturen zugegriffen wird, ermöglicht das Eigenschaftenmodell neben der flexiblen Erweiterbarkeit von Objekteigenschaften, eine einfache Matchingstruktur. Matchingstrukturen lassen sich zum Teil durch Parametrisierung in der Datenstruktur ablegen und müssen nicht auf Logikebene programmiert werden. [vgl. Hem09, S. 51]

Beispiel 3-1 : Ein Druckprodukt soll im Format A4 gedruckt werden und benötigt eine Druckressource, die mindestens dieses Format bedrucken kann. Es lässt sich folgende Regel anlegen:

Ressourceneigenschaft *minimales Druckformat* \geq Prozesseigenschaft *Druckformat*

Abbildung 3-4 stellt das Matchingprinzip zwischen unterschiedlichen Objekten, unter Verwendung des Eigenschaftenobjektes, schematisch dar.

Das Eigenschaftenmodell bietet viel Potential für die Anwendung in einer Planungsumgebung. Da alle Eigenschaften in einer Klasse aufgeführt werden, ist deren Einsatz sehr flexibel. Zu einer hohen Flexibilität trägt bei, dass die Eigenschaften zunächst nur deklariert werden und die Wertzuweisung erst bei der Anbindung an ein konkretes Objekt erfolgt. Dies ermöglicht beispielsweise die Erstellung von Musterprodukten oder -prozessen (Templates) und erleichtert die Anlage sowie Änderung von Ressourcen. Das Modell erleichtert weiter die Anbindung neuer Module an die Datenbank sowie die Anpassung an verschiedene Anwendungsfälle, beispielsweise Industriezweige.

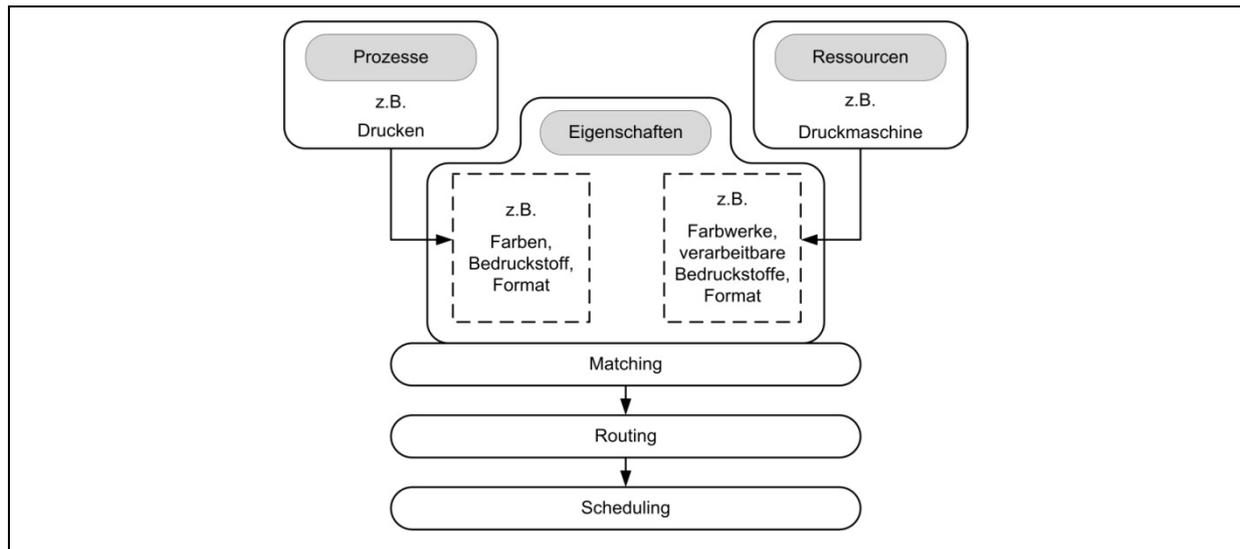


Abbildung 3-4: Matchingprinzip unter Verwendung des Eigenschaftenobjektes [nach Hem09, S. 50]

3.3.2. Auftragsstruktur

Wichtiger Bestandteil des BUW-Outsourcingnetzwerkes ist die Bereitstellung eines Marktplatzes und eines in diesem realisierten Anbietervergleiches beziehungsweise Angebotsrankings. Ein Vergleich der Fremddienstleister beziehungsweise derer Angebote erfordert eine Vergleichbarkeit der Produkte beziehungsweise derer Fertigung. Je standardisierter Produkte und deren Anforderungen beschrieben werden können, desto besser lassen sich Routingmöglichkeiten ermitteln, die diese Anforderungen erfüllen.

Im Datenmodell des BUW-Outsourcingnetzwerkes werden Produkte eines Auftrags in hierarchischer Struktur bestehend aus Produktknoten, Prozessgruppenknoten und Prozessknoten abgebildet. Ein Datenformat, das sowohl Produktstrukturen als auch die Verarbeitungsanforderungen beschreibt, ist das in der Druckbranche bestehende, auf XML basierende Auftragsbeschreibungsformat *JDF*. *JDF* definiert einen Auftrag als Sammlung von Produkten. Das Datenmodell des BUW-Outsourcingnetzwerkes lehnt sich an dieses Datenformat an. Es wurde so angelegt, dass alle zur Fremddienstleisterermittlung und Auftragskalkulation erforderlichen Daten aus einem *JDF* importiert werden könnten.

Im BUW-Outsourcingnetzwerk-Datenmodell wird ein Knoten unabhängig von dessen Bedeutung auch als Auftrags- oder Jobknoten bezeichnet. Die Knotentypen sind wie folgt definiert:

- **Produkt:** Der Produktknoten stellt die höchste Ebene der Produktstruktur dar. Er kann beliebig viele Prozessgruppen und Prozesse als untergeordnete Knoten (Kindknoten) besitzen.
- **Prozessgruppe:** Ein Prozessgruppenknoten fasst mehrere Prozesse oder weitere Prozessgruppen zusammen. Eine Prozessgruppe sorgt für eine Kapselung und ermöglicht eine Produktstruktur beliebiger Tiefe. Ein Prozessgruppenknoten darf beliebig viele Prozessgruppen und Prozesse als Kindknoten besitzen.
- **Prozess:** Prozesse bilden die unterste Ebene der Produkthierarchie und können daher keine Kindknoten besitzen.

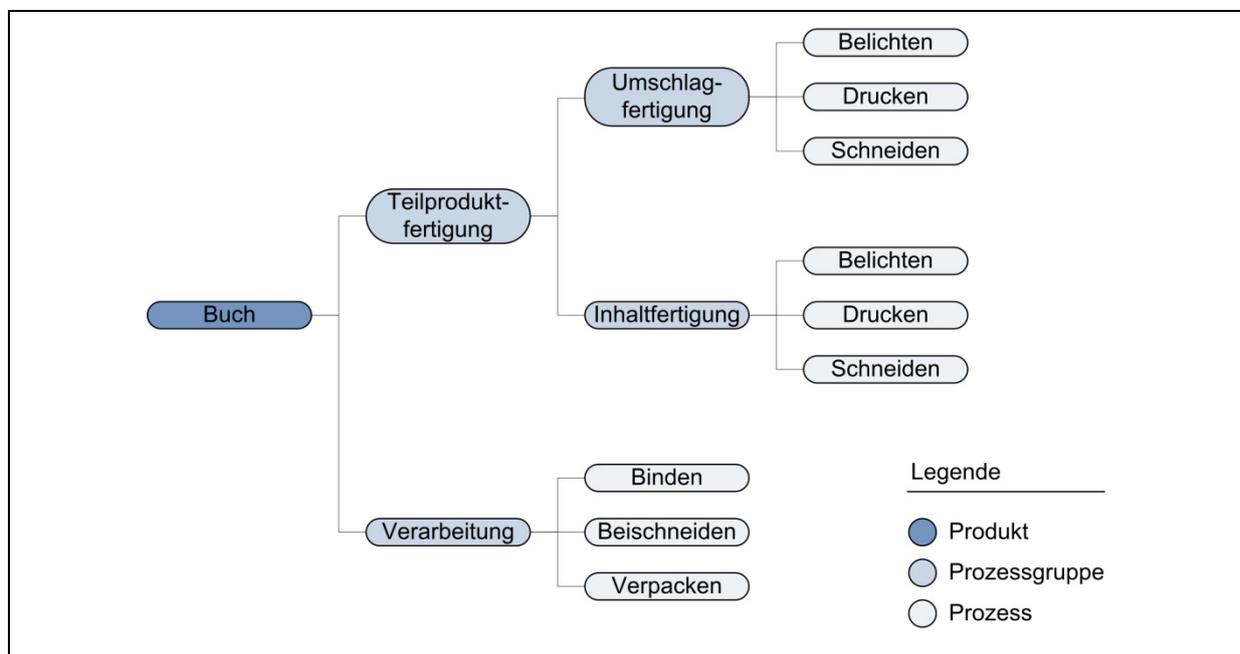


Abbildung 3-5: Produktaufbau mittels Auftragsknoten

Weiterhin ist zu beachten, dass ein Knoten maximal einen Elternknoten (übergeordneter Knoten der nächst höheren Ebene) besitzen kann. Wie Prozessknoten können auch Produktknoten und Prozessgruppenknoten beliebige Eigenschaften des Eigenschaftensobjektes zugewiesen bekommen.

Für Planungszwecke im BUW-Outsourcingnetzwerk erlaubt die Datenstruktur außerdem die Anlage von *Splitprozessknoten*. Im Gegensatz zu einem „normalen“ Prozessknoten, handelt es sich hierbei um einen Knoten, der durch das System aufgrund einer matchingbedingten Prozessspaltung erstellt wurde.

Beispiel 3-2: Es existiert ein Druckprozess, in dem acht Farben gedruckt werden sollen. Das Matchingverfahren ermittelt als mögliche Ressource jedoch eine Druckmaschine mit lediglich vier Farbwerken. Der Prozess muss demnach in zwei Durchgängen ausgeführt werden. Hierzu wandelt das System den Prozessknoten in einen Prozessgruppenknoten und fügt dieser Gruppe zwei Prozesse als Kinder hinzu, in denen jeweils vier Farben gedruckt werden sollen. Damit dieser Vorgang verlustfrei annulliert werden kann, werden die beiden erstellten Prozessknoten als Splitprozesse gekennzeichnet.

Neben der Unterscheidung der Knotentypen ist für das Planungssystem eine Unterscheidung der Knoten hinsichtlich derer Verwendung erforderlich. Mögliche Ausprägungen sind:

- **Template:** Über diesen Verwendungstyp können Knoten als Vorlageknoten ausgezeichnet werden. Dieser Typ dient zur Anlage von Basiskonstrukten, die mit Eigenschaften versehen werden können. Andere Jobknoten können auf Templates referenzieren und so deren Eigenschaften erben. Vorteile sind die Wiederverwendbarkeit von Strukturen bei der Auftragsanlage sowie die Vermeidung unlogischer Datenzuweisungen. Templates eignen sich besonders zur Anlage hoch standardisierter, häufig benötigter Produktstrukturen.
- **InfoHolder:** Bei der Auftragsanlage ist in der Regel nicht bekannt, auf welchen Ressourcen beziehungsweise mit welchen konkreten Werten die einzelnen Prozesse durchgeführt werden müssen. Durch den Verwendungstyp *InfoHolder* werden nicht klar festgelegte Knoten gekennzeichnet.
- **Fixed:** Mit diesem Typ können Prozesse gekennzeichnet werden, deren Eigenschaften und Ressourcenbelegung klar definiert sind.

Abbildung der Produkthierarchie

Die Hierarchie eines Produktes, also die Baumstruktur in der die Prozessgruppen und Prozesse angeordnet sind, lässt sich über ein Hierarchieobjekt darstellen. Dieses stellt eine Zuordnung über eine 1:n-Beziehung her. Einem Elternknoten können beliebig viele Kindknoten zugeordnet werden.

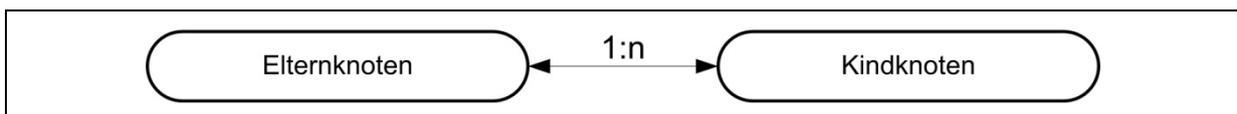


Abbildung 3-6: Kardinalität bei der Anlage der Produkthierarchie

Verarbeitungsreihenfolge von Auftragsknoten

Zur Bestimmung der Verarbeitungsreihenfolge von Prozessen reicht die Angabe der Knotenhierarchie nicht aus. Hierzu ist die Anlage von Knotenabhängigkeit erforderlich, die für jeden Knoten angibt, inwieweit dessen Ausführbarkeit von der Fertigstellung anderer Knoten abhängt. In der

Druckproduktion ist ein Schneidprozess zum Beispiel in der Regel vom Druckprozess abhängig, da ein Bogen erst nach dem Druck in einzelne Nutzen geschnitten werden kann.

Das BUW-Outsourcingnetzwerk-Datenmodell verwendet hierzu ein Zuordnungsobjekt, das eine Liste von Knotenpaaren darstellt. Bezüglich jedes Paares ist sichergestellt, welcher Knoten der Produzent und welche der Konsument ist. Bezogen auf das Beispiel der Druckindustrie wäre der Druckprozess der Produzent und der Schneidprozess der Konsument. Der Verarbeitungsbeginn beliebig vieler Knoten kann von der Fertigstellung beliebig vieler anderer Knoten abhängen. Die Bildung intransitiver Knotenrelationen ist nicht zulässig.

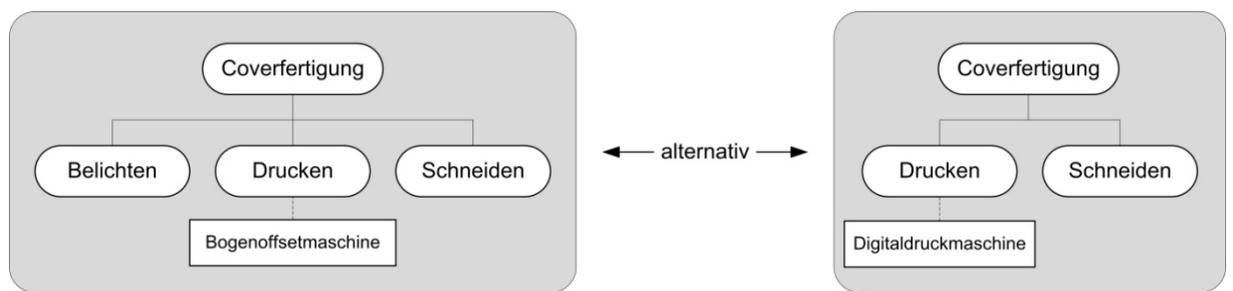


Abbildung 3-7: Kardinalität bei der Anlage der Verarbeitungsreihenfolge von Knoten

Um für die Suche nach Routingmöglichkeiten einen möglichst einfachen, jedoch ebenso flexiblen Algorithmus zur Bestimmung der Prozesssequenz anwenden zu können, ist es von Bedeutung festzulegen, zwischen welchen Knotentypen die Abhängigkeiten angegeben werden.

Es liegt nahe, dass für die Bestimmung der Prozesssequenz nur die Beziehungen zwischen Prozessen von Bedeutung sind und es daher ausreicht, Beziehungen auch nur auf Prozessebene anzugeben. Vor dem Routing sind unter Umständen jedoch noch nicht alle benötigten Prozesse bekannt.

Beispiel 3-3: Es sei eine Prozessgruppe *Coverfertigung* gegeben, in der ein Cover gedruckt und auf Format geschnitten werden soll. Für den Druck können beispielsweise eine Bogenoffsetmaschine und eine Digitaldruckmaschine zur Verfügung stehen. Der Bogenoffsetdruck benötige hierzu beispielsweise einen Belichtungsprozess, der Digitaldruck hingegen nicht.



Das Referenzmodell sieht daher vor, dass Abhängigkeiten in der Verarbeitungsreihenfolge nach Möglichkeit je Hierarchieebene, also auch zwischen mehreren Prozessgruppen oder Prozessgruppen und Prozessen, angelegt werden können. Ein Beispiel wird in Abbildung 3-8 aufgeführt.

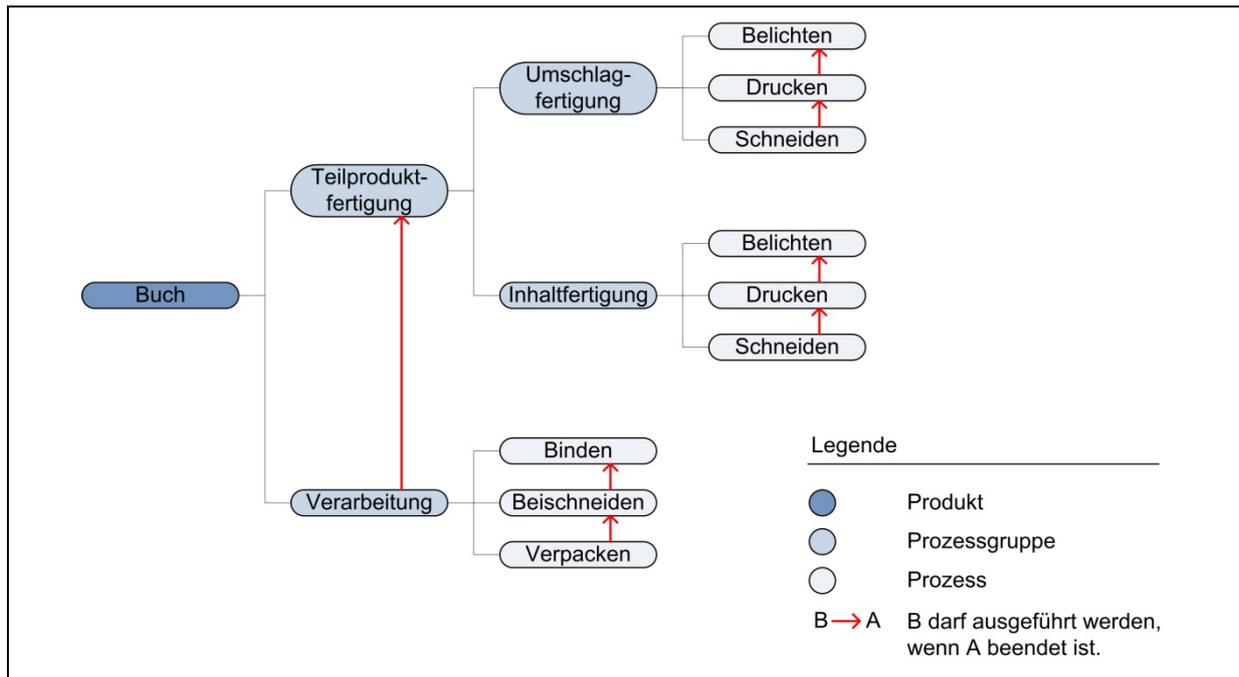


Abbildung 3-8: Verarbeitungsreihenfolge einer Buchproduktion

Berechnungsreihenfolge von Auftragsknoten

Zur branchenübergreifenden Berechnung von Aufträgen, müssen Berechnungsabhängigkeiten zwischen Prozessen bereits im Datenmodell und nicht erst in der jeweiligen Berechnungsvorschrift der Logikschicht festgelegt werden. Ein Beispiel aus der Druckindustrie verdeutlicht dies.

Beispiel 3-4: Es ist ein Flyer herzustellen, für dessen Fertigung grundlegend die Prozesse Plattenbelichtung, Drucken und Schneiden erforderlich sind. Um die Prozesszeiten für die Belichtung sowie für das Schneiden bestimmen zu können, sind einige Angaben der verwendeten Druckmaschine notwendig, zum Beispiel Informationen über die Plattengröße und Nutzen, die erst nach der Berechnung des Druckprozesses bekannt sind. Auch wenn der Belichtungsprozess vor dem Druckprozess stattfindet, muss der Druckprozess demnach vorher berechnet werden.

Das BUW-Outsourcingnetzwerk-Datenmodell verwendet zur Definition der Berechnungsabhängigkeiten ein Zuordnungsobjekt bestehend aus einer Liste von Knotenpaaren. Bezüglich jedes Paares ist sichergestellt, welcher Knoten der Produzent und welcher der Konsument ist. Bezogen auf obiges Beispiel wären der Druckprozess der Produzent und der Schneidprozess sowie der Belichtungsprozess dessen Konsumenten. Die Berechnungen beliebig vieler Knoten können von den Berechnungen beliebig vieler anderer Knoten abhängen. Die Bildung intransitiver Knotenrelationen ist nicht zulässig.

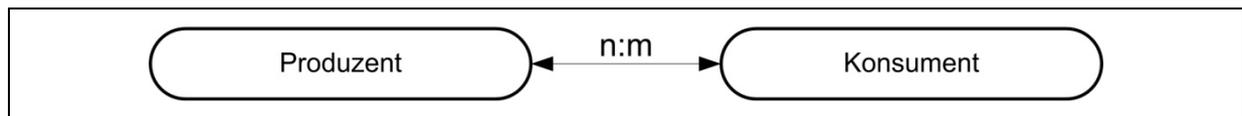


Abbildung 3-9: Kardinalität bei der Anlage der Berechnungsreihenfolge von Knoten

3.3.3. Verarbeitungsressourcen

Das Ressourcenmanagement bildet einen wichtigen Bereich im BUW-Outsourcingnetzwerk. Über die Analyse der Ressourcen werden in Verbindung mit den in der Auftragsstruktur definierten Prozessanforderungen die Routingmöglichkeiten zur Produktfertigung bestimmt. Die Ressourceneigenschaften stellen das Pendant zu den Prozesseigenschaften beziehungsweise -anforderungen dar.

Typisierung von Ressourcen

Die Ressourcen werden durch die Zuweisung eines Typs sowie eines Subtyps charakterisiert. Eine Maschine könnte beispielsweise vom Typ Druckmaschine und vom Subtyp Bogenoffset sein. Die Typisierung erlaubt schnelle Datenabfragen, die unter anderem für das Matching zwischen Prozessen und Ressourcen erforderlich sind.

Die in der Datenstruktur verwendete Typisierung von Ressourcen weicht erheblich von der im *JDF* verwendeten Untergliederung der Ressourcen ab. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass Verarbeitungsressourcen (Maschinen) und andere Ressourcen, wie zum Beispiel Verbrauchsmaterialien, anhand grundlegend unterschiedlicher Objekte definiert werden.

Modularität von Ressourcen

Maschinen und Produktionsanlagen sind meist modular aufgebaut. Deshalb ist es sinnvoll, diese Modularität auch im Datenmodell zu verankern. Dieser modulare Aufbau von Objekten ermöglicht eine hohe Flexibilität in deren Zusammenstellung und reduziert Redundanz in der Datenhaltung. Module können beispielsweise (auch objektübergreifend) mehrfach verwendet werden. Außerdem müssen Eigenschaften mit gleicher Funktion bei mehrfachem Auftreten in dem Gesamtobjekt nicht redundant deklariert werden, da diese den Modulen nur einfach zugeordnet werden. Im Folgenden werden die Vorteile noch einmal zusammengefasst:

- Zuweisung von Eigenschaften auf unterschiedlichen Ebenen

Eigenschaften können sowohl global für die gesamte Ressource als auch lokal, bezogen auf einzelne Module, angelegt werden.

- Vermeidung von Redundanz bei der Anlage von Eigenschaften

Eine Fertigungsanlage kann aus unterschiedlichen Modulen bestehen, die prinzipiell auf gleiche Eigenschaften zurückgreifen. Wird die Ressource als globale Einheit betrachtet, müssten daher mehrere Eigenschaften angelegt werden, was bei modularer Betrachtung nicht der Fall ist.

Beispiel 3-5: Bezogen auf eine Druckmaschine kann ein Druckwerk als Eigenschaft eine „Geschwindigkeit“ besitzen. Der Anleger besitzt ebenfalls diese Eigenschaft. Wird die Druckmaschine global betrachtet, müssten die Eigenschaften „Geschwindigkeit Druckwerk“ und „Geschwindigkeit Anleger“ erzeugt werden.

- Mehrfachverwendung von Modulen in verschiedenen Ressourcen
- Modulare Definition von Fertigungsmöglichkeiten und Materialfluss

Einige Fertigungslinien, zum Beispiel die Falzlinie, können als einzelne Ressource betrachtet werden. Jedoch sind die Fertigungsmöglichkeiten je nach Position einzelner Module, zum Beispiel der Auslage, unterschiedlich. Wird die Ressource modular beschrieben, so ergeben sich die Fertigungsmöglichkeiten und entsprechende Materialflüsse anhand der Anordnung der Module.

Eine detaillierte Beschreibung der Module und deren Anordnung kann dem Anhang A3 entnommen werden.

3.3.4. Produktklassifizierung

Die Prüfung des Produktportfolios stellt einen wesentlichen Bestandteil der Matchingprozesse im BUW-Outsourcingnetzwerk dar. Anhand klarer Produktklassifizierungen lassen sich potentielle Fremddienstleister sehr effizient filtern. Zur Strukturierung des Produktportfolios kann auf die Struktur von Klassifizierungsstandards zurückgegriffen werden, die zum Beispiel für Produktkataloge oder Online-Branchenbücher (beispielsweise www.bridge2b.com) genutzt werden.

Für das BUW-Outsourcingnetzwerk wurde der Einsatz eines branchenübergreifenden Klassifikationsstandards angestrebt. Zwei weit verbreitete, branchenübergreifende, parametrisierbare und sehr ähnlich strukturierte, branchenübergreifende Standards sind *eCI@ss* und *GPC* (Global Product Classification) [vgl. Pro12 u. Sch10 S. 70 ff.].

Vorteile von *GPC* gegenüber *eCI@ss* bestehen in der internationalen Anerkennung sowie der kostenfreien Nutzung. Es wird des Weiteren von der *GS1*⁸ als Standard für das *GDSN* (Global Data Synchronisation Network), ein „Netzwerk aus global tätigen Handels- und Industrieunternehmen, das

⁸ Die *GS1*-Organisation ist eine Standardinitiative, die mehrere Standards speziell für den Bereich Waren- und Datenfluss im Handel unter einem Schirm zusammenführt. Der Sitz der Dachorganisation liegt in Brüssel. Seit 1974 existiert eine Tochterorganisation (*GS1-Germany*) in Deutschland. [Sch10 S. 72 u. 78]

dem standardisierten Austausch von Unternehmensstammdaten dient“ [Sch10 S. 77], vorgeschrieben. Vorteil von *eCI@ss* ist wiederum, dass dies der einzige Klassifizierungsstandard ist, der auf einem normenkonformen Datenmodell (Datenmodell gemäß *ISO 13584/IEC 61360*) basiert [Sch10 S. 70]. In Anhang A4 befindet sich ein Vergleich zwischen *GPC* und *eCI@ss*, bezogen auf die Klassifizierung des Produktes *Grußkarte*.

Produktklassifikation in eCI@ss 6.1			Produktklassifikation im GPC		
Klasse	Schlüsselnummer	Beispiel	Klasse	Schlüsselnummer	Beispiel
Sachgebiet	16	Lebensmittel, Getränk, Tabakwaren	Segment	50000000	Food/Beverage/Tobacco
Hauptgruppe	16-01	Getreide, Hülsenfrucht	Family	50200000	Beverages
Gruppe	16-01-01	Getreide	Class	50201700	Coffee/Tea/Substitutes
Untergruppe	16-01-01-01	Gerste	Brick	10000115	Coffee/Coffee Substitutes – Instant
Merkmalste		Artikelbezeichnung, GTIN-Code, ...	Attribute	20000501	Origin of Coffee

Abbildung 3-10: Produktklassifikation nach *eCI@ss* und *GPC* [Sch10 S. 72 u. 78]

Die Datenstruktur, die im BUW-Outsourcingnetzwerk zur Anlage der Produktklassifizierungen verwendet wird, orientiert sich an der Notation von *GPC*, ist jedoch ebenfalls zur Abbildung der Klassifizierung nach *eCI@ss* geeignet. Ob ein Standard im Ganzen, also auch dessen Klassifizierungs-Bibliothek, implementiert oder lediglich die Struktur genutzt wird, ist der jeweiligen Netzwerkimplementierung überlassen.

Je tiefer die Produkte klassifiziert werden, desto differenzierter können die Fremddienstleister anhand deren Produktportfolios gefiltert werden. Für einige Produkte ist es beispielsweise sinnvoll, diese anhand von Attributen näher zu spezifizieren, sofern diese Attribute besondere Anforderungen an die verwendeten Ressourcen stellen. Beispielsweise könnte die Menge zur Verfügung stehender Druckressourcen zur Posterproduktion erheblich eingeschränkt sein, wenn das Poster als XXL-Poster (Attribut *SpecialFormat* mit dem Wert *XXL*, siehe Tabelle 3-1) klassifiziert ist.

Bezüglich der prototypischen Umsetzung für die Druckindustrie (siehe Kapitel 7) konnte keine ausreichend umfangreiche Klassifizierungs-Bibliothek auf Basis von *GPC* und *eCI@ss* gefunden werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher eine eigene Klassifizierung basierend auf *GPC* vorgenommen. Da der Einfluss der Medienkonvergenz auf die Druckbranche in den letzten Jahren erheblich zugenommen hat und somit eher von einer inhaltverarbeitenden Branche gesprochen werden kann, liegt zur Segmentbezeichnung der Begriff *Content Processing* nahe. Wichtige Eigenschaften, die ein hohes Filterpotential haben, werden auf der fünften Ebene, der Attribut-beziehungsweise Merkmalebene aufgeführt. In Tabelle 3-1 sind einige Beispiele der Produktklassifikation abgebildet, wie sie in dem druckbranchenbezogenen Prototyp Verwendung findet. Eine umfassende Klassifizierung von Druckprodukten befindet sich im Anhang A4.

Segment	Family	Class	Bricks	AttType	AttValue
Content Processing	Print Media	Family	Postcards	Punching / Stamping	Boolean
				Imprinting	Boolean
				Special	Metallic Lenticular
		Organisation/Business	Business Cards	Puncing	Boolean
				Imprinting	Boolean
				Film lamination	Boolean
		Marketing	Poster	SpecialFormat	CityLight XXL
				Brochures	Film lamination Binding
			Flyer	Punching / Stamping	Boolean
				Imprinting	Boolean
				Film lamination	Boolean

Tabelle 3-1: Beispiele der Produktklassifikation im Prototypen des BUW-Outsourcingnetzwerkes

3.3.5. Suchkriterien

Da nicht bei jedem Auftrag auf allen Fremddienstleistersystemen eine Kapazitätsprüfung und Angebotserstellung durchgeführt werden kann, ist es notwendig, die Menge potentieller Fremddienstleister im Vorfeld zu reduzieren. Diese Reduktion kann zufällig vorgenommen werden, ergibt auf Basis obligatorischer und optionaler Suchkriterien in der Regel jedoch mehr Sinn. Ein Beispiel eines Suchkriteriums ist die regionale Eingrenzung des Suchfeldes. Aufgrund der Vielzahl an Variationen, die Suchkriterien und deren Wertberechnungen einnehmen können, ist es in der Regel nicht möglich, feste Verarbeitungsstrukturen in der Datenstruktur anzulegen, wie es beispielsweise für das Matching zwischen Prozess- und Ressourceneigenschaften der Fall sein kann. Methoden zur konkreten Kriterienverarbeitung werden besser in der Logikschicht des Systems verankert.

Zur Definition der Suchkriterien können hingegen standardisierte Strukturen, unabhängig von der Kriterienverarbeitung, genutzt werden. Eine Übersicht über die Komponenten, anhand derer die Kriterien beschrieben werden, ist dem Kapitel 4 zu entnehmen.

3.3.6. Netzwerkteilnehmer

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die Datenstrukturen vorgestellt, anhand derer Anforderungen an die Fremddienstleistersuche sowie die den im Auftrag spezifizierten Prozessanforderungen gerecht werdenden Verarbeitungsressourcen definiert werden können.

Um Suchkriterien und Prozessanforderungen mit potentiellen Fremddienstleistern und deren Ressourcen matchen zu können, sind ebenfalls Datenstrukturen zur Definition von Netzwerkteilnehmern und deren Eigenschaften sowie die Zuordnung derer Ressourcen auf externer Systemebene der Netzwerkteilnehmer sowie der *TTP* erforderlich.

Für die Zuweisung von Eigenschaften, beispielsweise der Unternehmensgröße, kann auf das Eigenschaftenmodell zurückgegriffen werden. Die Ressourcen werden den Netzwerkteilnehmern über eine 1:n-Beziehung zugewiesen. Für ein effizientes Matching sollten Stammdaten möglichst redundant auf dem System der *TTP* hinterlegt werden, damit Zugriffe auf Fremdsysteme vermieden werden.

4. Matching und Auswahl von Fertigungsmöglichkeiten

Dieser Abschnitt soll einen Überblick über die einzelnen Prozessschritte zur Prüfung interner sowie externer Fertigungsmöglichkeiten und den ihnen zugrunde liegenden Methoden und Daten geben.

Das BUW-Outsourcingnetzwerk umfasst drei Prüfmethode anhand derer die Suche nach Fertigungsmöglichkeiten für einen Auftrag vorgenommen werden kann:

- Suche nach internen Fertigungsmöglichkeiten
- Suche nach externen Fertigungsmöglichkeiten mit manueller Aushandlung
- Suche nach externen Fertigungsmöglichkeiten mit automatischer Aushandlung

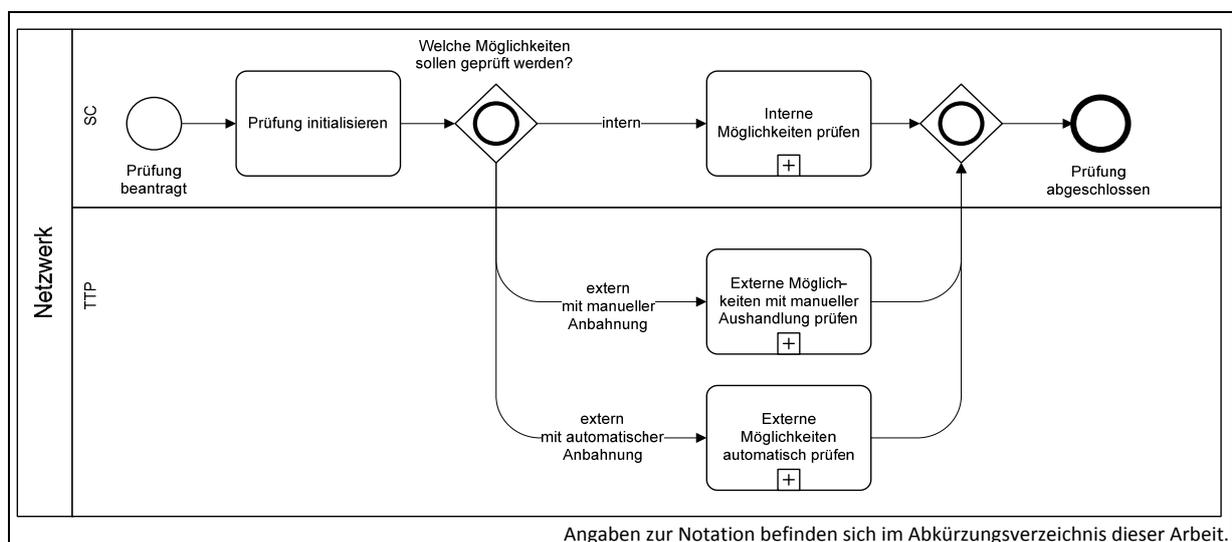


Abbildung 4-1: Methodenübersicht zur Prüfung von Fertigungsmöglichkeiten

Für einen Auftrag ist die Kombination verschiedener Prüfmethode möglich. Im Anschluss an die Prüfung findet ein Ranking zwischen den Fertigungsmöglichkeiten aller Ergebnismengen statt.

Die Suche nach externen Fertigungsmöglichkeiten wird auch als Fremddienstleistersuche bezeichnet. Unter Fremddienstleister (SP) werden im Kontext der Arbeit alle Unternehmen oder Unternehmensstandorte verstanden, auf deren BDE (Betriebsdatenerfassung) das System des Servicenutzers (SC) keinen Zugriff hat. Separate Standorte, die rechtlich zu dem suchenden Unternehmen gehören, können demnach unter Umständen auch als Fremddienstleister betrachtet werden. Einen Überblick über die Prozessabläufe der Suchmethoden liefern Abbildung 4-2 bis Abbildung 4-4. Ein Prozessmodell des gesamten Workflows ist dem Anhang A5 zu entnehmen.

Prüfung interner Fertigungsmöglichkeiten

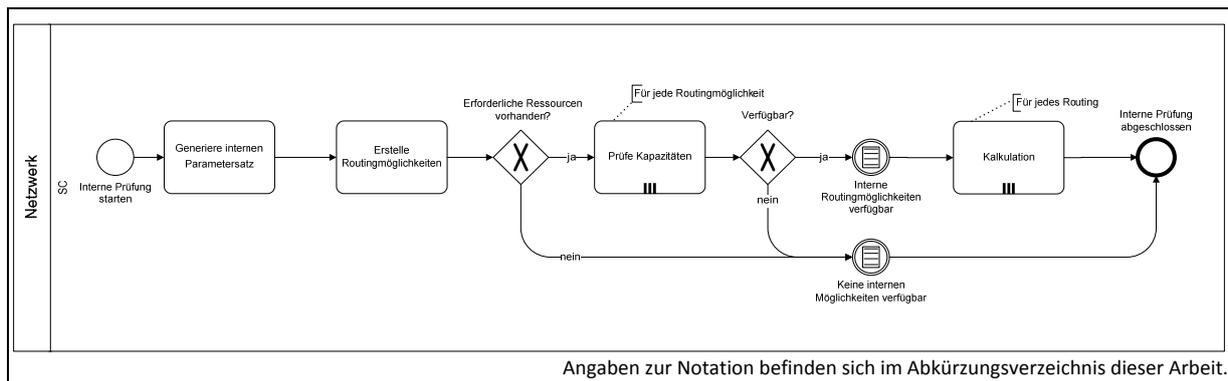


Abbildung 4-2: Prüfung interner Fertigungsmöglichkeiten

Die Suche nach internen Fertigungsmöglichkeiten nutzt die Auftragsdaten sowie zusätzlich definierbare Kriterien (zum Beispiel zur Ressourceneingrenzung), um Routingmöglichkeiten zu ermitteln, anhand derer der Auftrag durch den SC gefertigt werden kann. Ein Routing definiert für den gesamten Auftrag, über welche Maschinenressourcen die Prozesse zur Produktherstellung ausgeführt werden. Je nach Produkthanforderungen und Maschinenpark können verschiedene Routingmöglichkeiten für ein und dasselbe Produkt existieren.

Sind die Routingmöglichkeiten bekannt, kann anhand der Daten der elektronischen Plantafel für jedes Routing geprüft werden, ob die erforderlichen Ressourcen zur Verfügung stehen, um den Auftrag fristgerecht fertigstellen zu können⁹. Routings, deren Kapazitätsanforderungen erfüllt werden, können entsprechend kalkuliert und als Fertigungsmöglichkeiten vorgeschlagen werden. In einem voll automatisierten System wäre eine automatische Einplanung des besten Routings ebenfalls möglich.

Prüfung externer Fertigungsmöglichkeiten mit manueller Aushandlung

Die Suche nach externen Fertigungsmöglichkeiten nutzt als Parametersatz ebenfalls die Auftragsdaten sowie zusätzlich definierbare Suchkriterien. Anhand dieser Daten werden die im BUW-Outsourcingnetzwerk vertretenen Fremddienstleister zunächst bezüglich ihrer kriterienbezogenen sowie verarbeitungstechnischen Eignung reduziert und bewertet.

Bei Verwendung der manuellen Aushandlung, bei der die Angebotseinholung sowie die Auftragsvergabe durch den SC manuell ausgeführt werden, findet im Anschluss eine reine Kapazitätsprüfung ohne direkte Anknüpfung einer automatisierten Kalkulation auf Seiten der SP statt. Fremddienstleister, die über genügend Kapazitäten zur Dienstleistungserbringung verfügen, werden in einem anschließenden Ranking bewertet. Im Unterschied zu der Bewertung vor der

⁹ Je nach Komplexität könnte eine automatische Umplanung bereits geplanter Aufträge integriert werden.

Kapazitätsprüfung können bei diesem Ranking aufgrund bekannter Routingmöglichkeiten detailliertere verfahrenstechnische Anforderungen berücksichtigt werden.

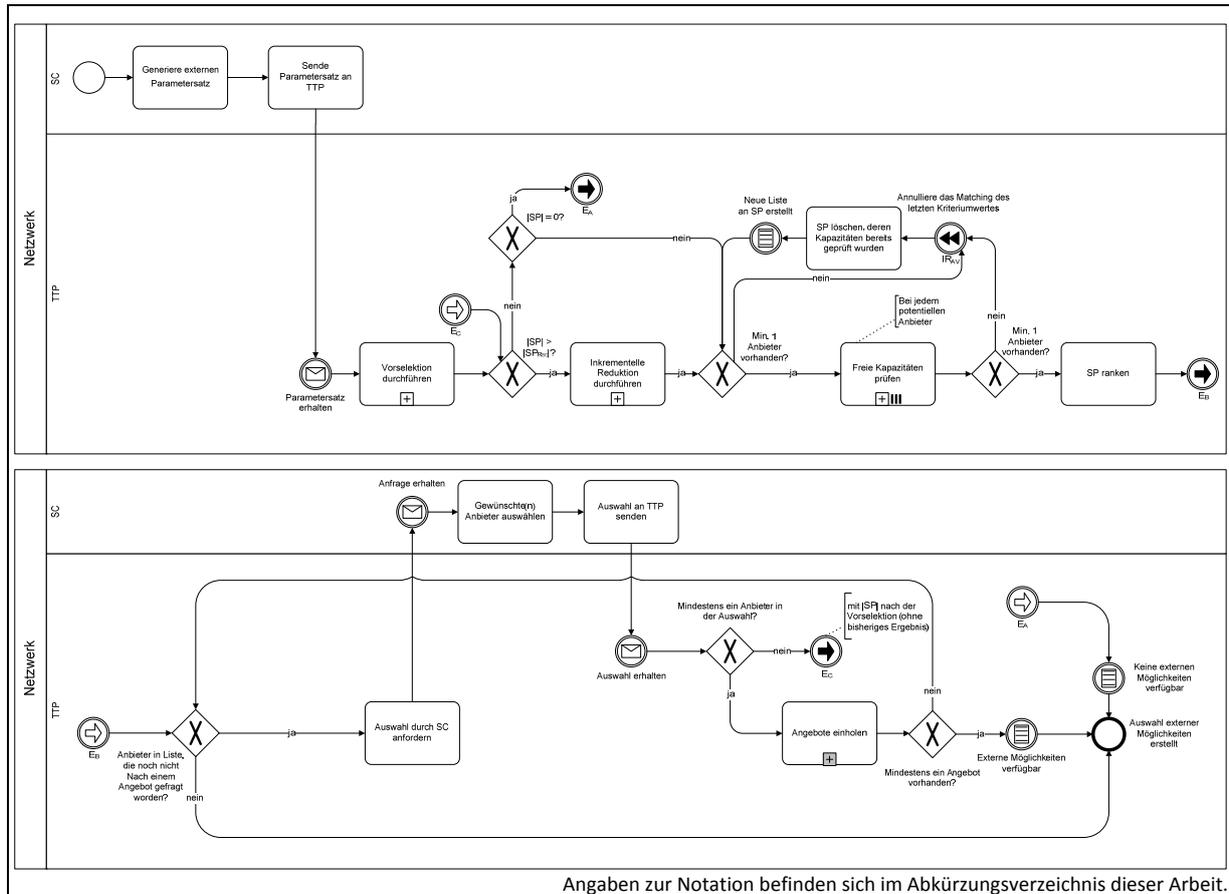


Abbildung 4-3: Prüfung externer Fertigungsmöglichkeiten mit manueller Aushandlung

Prüfung externer Fertigungsmöglichkeiten mit automatischer Aushandlung

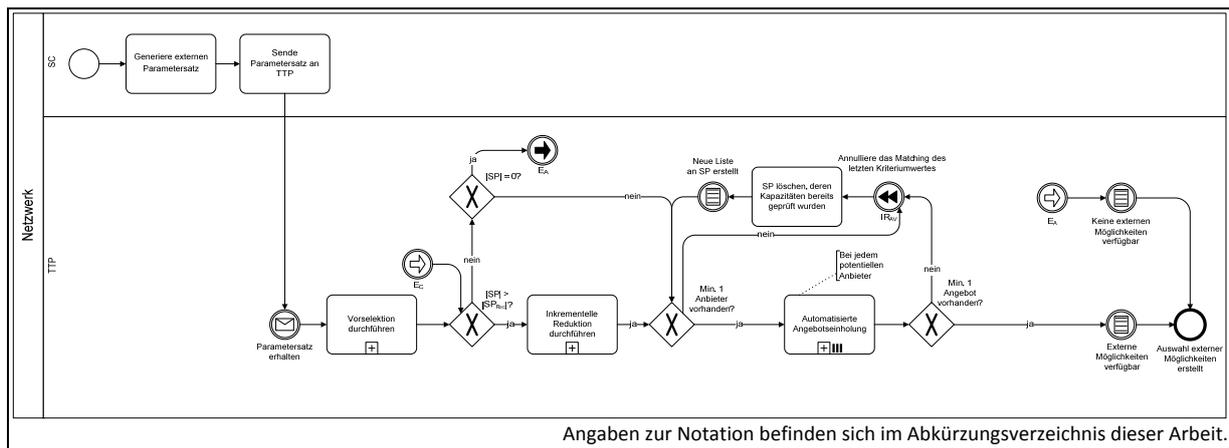


Abbildung 4-4: Prüfung externer Fertigungsmöglichkeiten mit automatischer Aushandlung

Bis zur Durchführung der Kapazitätsprüfung gleicht die Prüfung nach externen Fertigungsmöglichkeiten mit automatischer Aushandlung der Prüfung mit manueller Aushandlung. Die Kapazitätsprüfung wird jedoch durch die Anbindung einer Kalkulation zu einer automatischen Angebotserstellung erweitert. Die Angebote können anschließend ausgewertet und gerankt werden.

4.1. Beispielszenario zur Fremddienstleistersuche

Für grundlegende Entwicklungsentscheidungen in der Vorselektion potentieller Fremddienstleister sowie die Reduktion der vorselektierten Kandidaten in eine für die Aushandlung handhabbare Menge, wurde das in Tabelle 4-1 und Tabelle 4-2 aufgeführte Testszenario aufgestellt. Für ein besseres Verständnis wird an einigen Stellen dieser Arbeit auf dieses Szenario verwiesen. Eine ausführliche Darstellung inklusive aller Kandidaten und Parameter befindet sich im Anhang A7.

Auftrag					
Produkt	Plakat				
Farbigkeit	4/0 CMYK				
Veredelung	UV-Lack				
Grammatur	135g				
Stärke	0,3 mm (300 µm)				
Format	120 x 60 cm				
Auflage	2.000 Stück				
Ressourcen der Hauptprozesse	Typ				Subtypen
Drucken	Druckmaschine				Bogenoffset
Stammdaten des outsourcenden Unternehmens					
Größe	65 Mitarbeiter				
Bewertung aus Anbietersicht	3,0 Punkte				
Anzahl Bewertungen aus Anbietersicht	10				
Druckressourcen	Rollenoffset				
Angeborene Produktklassen	Prospekte, Kataloge				
Matching (Zielmenge (n _{sc}) = 10)					
Kriterien	Operator + Wert	Zielfunktion.	Priorität	Bedingung	Wert der Bedingung
Obligatorische Kriterien					
Bewertung aus Konsumentensicht [Punkte]	≥ 4,0			Bewertungen [Anzahl]	≥ 5
Entfernung [Kilometer]	≤ 50			-	-
1. Alternativwert	50 - 100			Bewertung [Punkte]	≥ 4,6
Mitarbeiter [Anzahl]	≤ 200			-	-
Optionale Kriterien					
Entfernung [Kilometer]	≤ 30	min()	6	-	-
1. Alternativwert	≤ 50			-	-
Bewertung [Punkte]	≥ 4,5	max()	5	Bewertungen [Anzahl]	> 0
FSC-Zertifizierung [Ja/Nein]	= 1	max()	4	-	-
Konkurrenzprodukte [Anzahl]	= 0	min()	3	-	-
Vorgängeraufträge [Anzahl]	≥ 3	max()	2	-	-
Unternehmensbestehen [Jahre]	≥ 25	max()	1	-	-

Tabelle 4-1: Beispielszenario aus Sicht des outsourcenden Betriebes

Fremddienstleister (SP)		SP 1		SP 2		SP 50	
Unternehmensdaten		Wert		Wert		Wert	
Mitarbeiter [Anzahl]		50		1000		125	
Unternehmensbestehen [Jahre]		15		5		26	
Entfernung zum SC [Kilometer]		70		20		80	
Bewertung aus Konsumentensicht [Punkte]		5,0		0,0		4,6	
Bewertungen aus Konsumentensicht [Anzahl]		3		0		4	
Vorgängeraufträge mit SC [Anzahl]		2		0		0	
Zertifikate [Ja (1) / Nein (0)]							
- FSC		0		0		1	
Produkte [Ja (1) / Nein (0)]							
- Kataloge		0		1		0	
- Prospekte		0		0		0	
- Postkarten		1		1		0	
- Flyer		1		1		0	
- Visitenkarten		0		0		0	
- Plakate / Poster		1		1		1	
- Etiketten		0		0		0	
Druckressourcen [Ja (1) / Nein (0)] (Eigenschaften s.u.)							
- Bogenoffsetdruck		1		1		1	
- Rollenoffsetdruck		0		0		0	
- Bogendigitaldruck		1		0		0	
- Rollendigitaldruck		0		0		0	
Preis für das angeforderte Produkt (würde erst bei der Angebotseinholung ermittelt werden)							
Preis (in €)		6.000		5.500		6.000	
Obligatorische Kriterien	Bedingungen	Wer	Wert B.	Wert	Wert B.	Wert K.	Wert
Auflage von Plakaten		≥					
Bewertung aus Anbietersicht	Anzahl Bewertungen	≥ 4	≥ 10				
Entfernung zum SC (in km)							
Druckmaschinen							
Druckmaschine 1		Heidelberg Speedmaster SM 102-4-L		Heidelberg Speedmaster SM 74-5		Heidelberg Speedmaster XL 162-5-L	
min. Bogenformat (nur Schöndruck)		340 × 480 mm		210 x 280 mm		630 x 860 mm	
max. Bogenformat (nur Schöndruck)		720 × 1.020 mm		530 x 740 mm		1.210 x 1.620 mm	
max. Druckformat (nur Schöndruck)		710 × 1.020 mm		510 x 740 mm		1.190 x 1.620 mm	
min. Stärke Bedruckstoff (nur Schöndruck)		0,03 mm		0,03 mm		0,06 mm	
max. Stärke Bedruckstoff (nur Schöndruck)		0,6 mm		0,6 mm		1,6 mm	
Druckwerke		4		5		5	
Lackwerk		x				x	
Druckmaschine 2						Heidelberg Speedmaster SM 74-4	
min. Bogenformat (nur Schöndruck)						210 x 280 mm	
max. Bogenformat (nur Schöndruck)						530 x 740 mm	
max. Druckformat (nur Schöndruck)						510 x 740 mm	
min. Stärke Bedruckstoff (nur Schöndruck)						0,03 mm	
max. Stärke Bedruckstoff (nur Schöndruck)						0,6 mm	
Druckwerke						4	
Lackwerk							

Tabelle 4-2: Beispielszenario aus Sicht der Fremddienstleister

Das Testszenario besteht aus einem outsourcenden Unternehmen sowie 50 Fremddienstleistern. Den Netzwerkteilnehmern sind des Weiteren verschiedene Eigenschaften und Verarbeitungsressourcen zugewiesen. Außerdem bestehen für einige Fremddienstleister obligatorische Anforderungen an den outsourcenden Betrieb. Für die Simulation einer konkreten Suchanfrage sind obligatorische und optionale Kriterien des outsourcenden Betriebes, obligatorische Kriterien der potentiellen Fremddienstleister sowie ein outzusourcender Auftrag definiert.

4.2. Parametersatz zur Suche nach Fertigungsmöglichkeiten

Für die Durchführung der Suche nach externen Fertigungsmöglichkeiten ist ein *externer Parametersatz* notwendig. Dieser wird über das System des outsourcenden Unternehmens auftragsbezogen erstellt, der *TTP* zugesendet und von dieser in den einzelnen Schritten der Fremddienstleistersuche verwertet. Die Qualität des Suchergebnisses wird hierbei erheblich durch den Parametersatz beeinflusst. Elementare Parameter sind die Auftragsstruktur und die Suchkriterien. Weiterhin könnten dem Parametersatz zusätzliche, für das Matching erforderliche Daten beigefügt werden, die nicht bei der *TTP* gespeichert sind. Eine Übersicht über den Parametersatz ist der Abbildung 4-5 zu entnehmen.

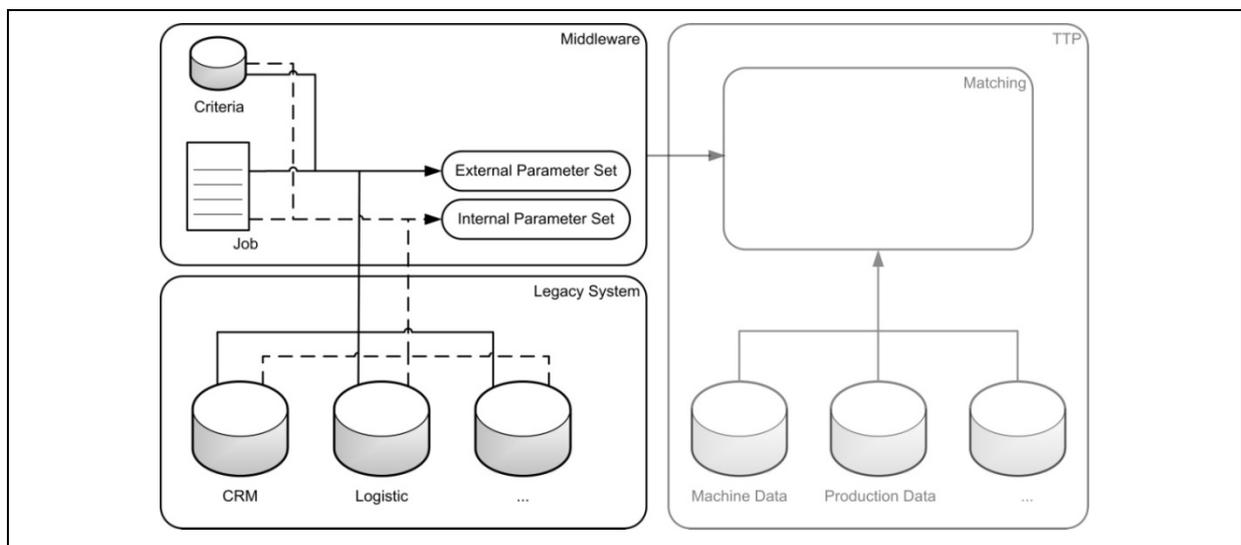


Abbildung 4-5: Daten des Parametersatzes

Für die Suche nach internen Fertigungsmöglichkeiten ist die Auftragsstruktur ebenfalls essentieller Bestandteil des Parametersatzes. Der *interne Parametersatz* beinhaltet neben der Auftragsstruktur keine Kriterien, die die Ressourcenauswahl einschränken. In der Regel sind solche Einschränkungen allgemeingültig und sollten direkt in den Verarbeitungsroutinen zum Routing und Scheduling¹⁰ hinterlegt sein.

4.2.1. Auftragsstruktur

Die Auftragsstruktur setzt sich aus einem oder mehreren zu fertigenden Produkten sowie deren Lieferterminen und Losgrößen zusammen. Die angeforderten Produkte werden hierbei in einer an *JDF* angelehnten Struktur erfasst. Vorteil dieser Struktur ist, dass anhand dieser sowohl Produkt- als auch Prozessanforderungen, wie zum Beispiel Prozessreihenfolgen und -abhängigkeiten, abgebildet werden können. Nähere Informationen sind dem Abschnitt 3.3 zu entnehmen.

¹⁰ Das Scheduling beschreibt die konkrete, zeitliche Einplanung von Prozessen auf Maschinen.

4.2.2. Suchkriterien

Um eine effiziente Suche nach Fremddienstleistern zu ermöglichen, müssen die Kandidaten auf ein angemessenes Maß reduziert werden, bevor die Kapazitäten zur fristgerechten Auftragsverarbeitung ermittelt werden können. Dies geschieht anhand einer Vorselektion sowie der inkrementellen Reduktion.

Voraussetzung hierfür sowie für die abschließende Rangbildung zwischen Kandidaten ist die Beurteilung der Wertigkeiten der Kandidaten anhand einer Zusammenstellung von Kriterien (folgend auch als Kriterienset bezeichnet). Die Kriterien üben aufgrund unterschiedlicher Prioritäten einen unterschiedlichen Einfluss auf die Wertigkeiten der Kandidaten aus.

Aufstellung eines Kriterienbaukastens

Für die Aufstellung des im BUW-Outsourcingnetzwerk verwendeten Matchingkonzeptes, der Durchführung von Testszenarien sowie die Konstruktion eines Prototyps wurde eine Auswahl an Suchkriterien in Form eines Kriterienbaukastens zusammengestellt.

Da das Konzept des BUW-Outsourcingnetzwerkes branchenübergreifend gültig ist, gilt für die Reduktionsverfahren die Anforderung, bezogen auf einen beliebigen Satz an Kriterien gute Ergebnisse hinsichtlich Qualität sowie Effizienz zu liefern.

Folgend werden die Elemente aufgeführt, anhand derer die im Rahmen der Forschungsarbeit verwendeten Kriterien parametrisiert wurden. Bei der Wahl des zur Konzeptanalyse verwendeten Kriterienbaukastens und den aus diesem generierten Kriteriensets wurde auf hohe Variation der Parametrisierung sowie auf ein realistisches Anforderungsprofil für die Matchingprozesse geachtet. Dennoch sind die verwendeten Kriteriensets und deren Parametrisierung als exemplarisch zu betrachten.

Die konkrete Aussage der Kriterien ist für die Funktionsweise der Reduktion unbedeutend. Der Aufwand und die Bedeutung für das Matching, die von den Kriterien ausgehen, hängen eher von folgenden Eigenschaften ab:

- **Aufwand der Wertermittlung:** Der Aufwand zur Ermittlung der Kriterienausprägung kann je nach Kriterium unterschiedlich sein.

Beispiel 4-1: Als Beispiel kann die Ermittlung der Entfernung zwischen zwei Unternehmen betrachtet werden. Per Luftlinie lässt sich die Entfernung sehr einfach bestimmen, sofern Längen- und Breitengrade bekannt sind. Eine Ermittlung unter Berücksichtigung der schnellsten Verkehrsrouten ist hingegen erheblich komplexer.

- **Differenzierung der Kandidaten:** Das Reduktionspotential der Kriterien hängt überwiegend von deren Präferenzfunktionen und Werteskalen ab. Je mehr Wertigkeitsabstufungen bestehen, desto differenzierter können die Kandidaten bewertet werden. Ein Kriterium, dessen Ausprägung über einen booleschen Wert bestimmt wird, hat ein höheres Reduktionspotential, als ein Kriterium, welches mehrere Wertabstufungen erlaubt.
- **Werte Verteilung:** Die Häufigkeit, mit der ein Kriterium von den Kandidaten erfüllt wird, hat eine erhebliche Auswirkung auf den Kriterieneinfluss in der Reduktion. Wird ein Kriterium von allen Kandidaten erfüllt, so ist es als Reduktionsmittel ungeeignet. Ebenso ist ein Kriterium als Reduktionsmittel ungeeignet, wenn es von keinem Kandidaten erfüllt wird. Wenn das Kriterium von wenigen Kandidaten erfüllt wird, hat es in der Regel einen erheblichen Einfluss auf die Reduktion.

Folgend werden die für die Fremddienstleistersuche beziehungsweise für die Verfahrensanalyse zur Kandidatenreduktion erforderlichen Kriterienbausteine vorgestellt.

Kriterienbasis

Die Kriterienbasis setzt sich aus dem Kriteriennamen, einem Operator sowie einer Kriterienausprägung zusammen. In einigen Bereichen dieser Forschungsarbeit wird die Kriterienbasis als Synonym für das Kriterium verwendet. Wird von einer Matchingmethode die Präferenzfunktion eines Kriteriums ausgewertet, so kann der Kriterienname als Synonym für das Kriterium verwendet werden, sofern Operator und Ausprägung nicht durch die Präferenzfunktion berücksichtigt werden.

Für die Analyse der Matchingprozesse wurde auf die in Tabelle 4-3 aufgeführten Kriterienbasen zurückgegriffen.

Kriterienname	Mögliche Operatoren	Skala der Ausprägung	Einheit der Ausprägung
Entfernung	{ \leq, \geq }	$\{x \in \mathbb{N}_0\}$	[Kilometer]
Bewertung aus Konsumentensicht	{ \leq, \geq }	$\{x \in \mathbb{R} 0 \leq x \leq 5\}$	[Punkte]
Bewertungen aus Konsumentensicht	\geq	$\{x \in \mathbb{N}_0\}$	[Anzahl]
Bewertung aus Fremddienstleistersicht	{ \leq, \geq }	$\{x \in \mathbb{R} 0 \leq x \leq 5\}$	[Punkte]
Bewertungen aus Fremddienstleistersicht	\geq	$\{x \in \mathbb{N}_0\}$	[Anzahl]
Das Unternehmen ist FSC zertifiziert	=	{0,1}	[Ja / Nein]
Mitarbeiter	{ \leq, \geq }	$\{x \in \mathbb{N}_0\}$	[Anzahl]
Unternehmensbestehen	{ \leq, \geq }	$\{x \in \mathbb{N}_0\}$	[Jahre]
Vorgängeraufträge	{ $\leq, \geq, =$ }	$\{x \in \mathbb{N}_0\}$	[Anzahl]
Konkurrenzprodukte	{ $\leq, \geq, =$ }	$\{x \in \mathbb{N}_0\}$	[Anzahl]

Tabelle 4-3: Zur Konzeptanalyse verwendete Kriterienbasen

Alternativwerte zu Kriterien

Für einige Selektionsprozesse kann es sinnvoll sein, auf alternative Parametrisierungen zurückzugreifen. Führt beispielsweise die Anwendung eines optionalen Kriteriums dazu, dass mehr Kandidaten eliminiert werden als gewünscht, so kann eine alternative Kriterienparametrisierung zur Vermeidung eines vollständigen Bedeutungsverlustes des Kriteriums dienen. Beispiel 4-2 führt einen möglichen Fall des Bedeutungsverlustes auf.

Beispiel 4-2: Eine Kandidatenmenge der Mächtigkeit 45 soll auf eine Mächtigkeit von 20 reduziert werden. Als optionales Kriterium sollen die Standorte der Kandidaten maximal 30 km von dem des outsourcenden Unternehmens liegen (*Entfernung* ≤ 30). Wird diese Kriterienausprägung nur von 15 Kandidaten erfüllt, wird die gewünschte Mächtigkeit unterschritten und die Kriterienanwendung annulliert. Besteht kein Alternativwert zu dem Kriterium *Entfernung*, verliert dieses vollständig an Bedeutung. Durch Anwendung eines Alternativwertes (zum Beispiel *Entfernung* ≤ 45) könnte hingegen eine Reduktion der Kandidaten erreicht und die Unterschreitung der Mächtigkeit 20 vermieden werden.

Zu jedem Kriterium können beliebig viele Parametrisierungen als Alternativwerte definiert werden.

Bedingte Kriterienanwendung

Die Anwendung beziehungsweise Gültigkeit von Kriterien kann anhand von Bedingungsobjekten eingeschränkt werden. Die Bedingungen werden ebenfalls durch Kriterienobjekte definiert. Im Rahmen der Arbeit wurden zwei Arten von Bedingungen für das BUW-Outsourcingnetzwerk definiert:

- **Direkte Bedingung:**

Besitzt ein Kriterium eine direkte Bedingung, so wird dieses Kriterium nur erfüllt, wenn die Bedingung ebenfalls erfüllt wird.

Beispiel 4-3: Besteht ein Kriterium *Entfernung* ≤ 30 mit der direkten Bedingung *Bewertung aus Konsumentensicht* ≥ 4.0 , so erfüllen dieses Kriterium nur diejenigen Kandidaten, deren Standort maximal 30 km vom SC entfernt ist, die ebenfalls eine Konsumentenbewertung von mindestens 4.0 Punkten besitzen.

Die Anwendung einer solchen direkten Bedingung ist besonders in Bezug auf die Definition von Alternativwerten sinnvoll.

- **Indirekte Bedingung:**

Besitzt ein Kriterium eine indirekte Bedingung, so wird dieses Kriterium nur auf Kandidaten angewendet, auf die die Bedingung zutrifft.

Beispiel 4-4: Besteht ein Kriterium *Bewertung aus Konsumentensicht* ≤ 4.5 mit der indirekten Bedingung *Menge an Bewertungen aus Konsumentensicht* ≥ 5 , so wird dieses Kriterium nur auf Kandidaten angewendet, die mindestens 5 Konsumentenbewertungen aufweisen.

Es ist eine beliebige Verschachtelung sowie Kombination von Bedingungen möglich. Ebenfalls können Alternativwerte für Bedingungen definiert werden.

Ziel- und Präferenzfunktionen

Für die Vorselektion der Kandidaten anhand der obligatorischen Kriterien (siehe Abschnitt 4.3.1) ist lediglich zu prüfen, ob ein Kriterium erfüllt oder nicht erfüllt wird. Hierzu reichen die bisher aufgeführten Elemente des Kriterienbaukastens aus.

Für die Rangbildung zwischen Kandidaten sowie zur Reduktion von Kandidaten anhand optionaler Kriterien sind hingegen wesentlich mehr Parameter erforderlich. Der Vergleich von Wertigkeiten unterschiedlicher Kandidaten hat nicht die Aufgabe zu prüfen, ob ein Kriterium von den jeweiligen Kandidaten erfüllt wird. Vielmehr besteht dessen Ziel darin zu bestimmen, wie gut beziehungsweise schlecht die einzelnen Kriterien von den Kandidaten erfüllt werden. Dies erfordert eine differenziertere Betrachtung, für die ein boolescher Wert in der Regel nicht ausreicht.

Voraussetzung hierfür ist die Bereitstellung einer Zielfunktion ($g(a)$) sowie einer Präferenzfunktion ($P(a)$) für jedes Kriterium (c_j). Mittels der Zielfunktion wird festgelegt, ob die Ausprägung des Kriteriums ($f_j(a)$) als besser gilt, je höher ($g(a) = \max(f(a))$) oder je geringer ($g(a) = \min(f(a))$) deren Wert ist. Mittels der Präferenzfunktion lässt sich in Kombination mit der Zielfunktion für jeden Kandidaten der Grad bestimmen, wie dieser bezüglich des Kriteriums zu präferieren ist. In Kapitel 5 werden zwei bedeutende Rankingverfahren und deren Anforderungen bezüglich der Ziel- sowie Präferenzfunktion näher beschrieben.

4.3. Reduktionsphasen der Fremddienstleistersuche

Bei der Suche nach externen Fertigungsmöglichkeiten werden die potentiellen Fremddienstleister beziehungsweise Kandidaten während des Suchprozesses anhand mehrerer Reduktionsschritte iterativ reduziert. Der Gesamtprozess lässt sich für die Suche mit manueller Aushandlung in die *Vorselektion*, die *inkrementelle Reduktion*, die *Kapazitätsprüfung* sowie das *Zwischenranking* aufgliedern.

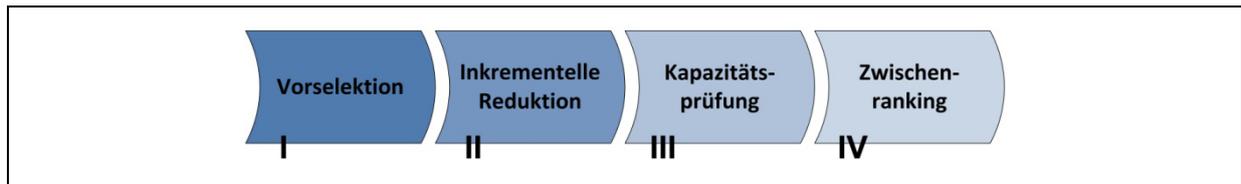


Abbildung 4-6: Reduktionsphasen der Fremddienstleistersuche

Anhand der Rankingergebnisse wird der Entscheider bei der Wahl von Kandidaten für die Angebotseinholung unterstützt. Bei der Suche mit automatischer Aushandlung wird die Kapazitätsprüfung durch eine Kalkulation ergänzt (*automatisierte Angebotseinholung*), die zu einer Erstellung von Angeboten führt. Ein Zwischenranking findet in diesem Fall nicht statt. Folgend werden die einzelnen Prozessschritte näher erläutert.

4.3.1. Reduktionsphase I: Vorselektion

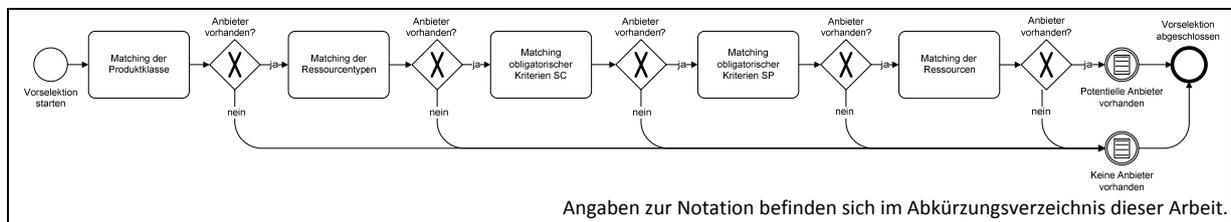


Abbildung 4-7: Prozessmodell der Vorselektion

Anhand der Vorselektion wird bestimmt, welche Fremddienstleister in der Lage sind, die im Auftrag enthaltenen Produkte zu fertigen. Weiter werden diejenigen Fremddienstleister ausselektiert, die obligatorische Kriterien des outsourcenden Betriebes nicht erfüllen beziehungsweise deren Kriterien von dem outsourcenden Betrieb nicht erfüllt werden.

Matchingverfahren zur Durchführung der Vorselektion im BUW-Outsourcingnetzwerk

Prinzipiell würde ein Matching zwischen den Produkt- beziehungsweise Prozesseigenschaften und den Ressourcen aller möglichen Anbieter ausreichen, um potentielle Anbieter zu finden. Da hierzu jedoch viele Regeln und Zusammenhänge berücksichtigt werden müssen, erfordert dieses Matching einen hohen Rechenaufwand. Eine vorherige Eingrenzung der Anbieter mittels einfacher Verfahren ist daher ratsam. Dies führt zu einer Splittung der Vorselektion in mehrere Phasen. Zur effizienten Nutzung der Rechenleistung ist ein Matching vom Einfachen zum Komplexen sinnvoll, damit bei dem komplexen Matching das Feld möglicher Treffer bereits eingeschränkt ist.

Grundlegend ist bei der Vorselektion kein Zugriff auf die Systeme der potentiellen Anbieter vorgesehen. Daten der Anbieter, die während der Vorselektion geprüft werden, müssen der *TTP* als Stammdaten vorliegen. Bezüglich der Daten des outsourcenden Unternehmens besteht hier eine höhere Flexibilität, da diese bei der Generierung des Parametersatzes berücksichtigt werden können.

Für die Matchingprozesse, die zur Vorselektion benötigt werden, haben sich folgende Phasen und Reihenfolgen als sinnvoll erwiesen:

1. **Matching der Produktklassen**
2. **Matching der Ressourcentypen**
3. **Matching obligatorischer Kriterien des outsourcenden Unternehmens**
4. **Matching obligatorischer Kriterien der Fremddienstleister**
5. **Matching der Ressourcen-, Prozess- und Produkteigenschaften**

Folgend werden die Phasen sowie deren Aufwandseinschätzungen zur Reihenfolgebildung der Abarbeitung detailliert vorgestellt.

Matching der Produktklassen

Um bei der Suche nach potentiellen Fremddienstleistern die Auswahl schnell auf ein angemessenes Maß herunterbrechen zu können bietet sich an, die Fremddienstleister zunächst anhand deren Produktangebots zu filtern.

Informationen über das Produktportfolio eines Unternehmens finden sich in dessen Stammdaten wieder. Zur Angabe des Produktportfolios wird eine zu den Klassifikationsstandards *eCI@ss* und *GPC* kompatible Datenstruktur verwendet (siehe Abschnitt 3.3.4).

Matching der Ressourcentypen

Ein simpler, jedoch effektiver Weg, die Menge an potentiellen Fremddienstleistern weiter einzuschränken, ist eine Filterung anhand der von den Prozessen zur Produktherstellung benötigten Ressourcentypen und -subtypen. Ein Prozessknoten der Auftragsbeschreibung muss genau einen Ressourcentypen, kann jedoch beliebig viele Ressourcensubtypen besitzen. Eine Ressource besitzt genau einen Typ und einen Subtyp.

Beispiel 4-5: Jeder Druckprozess besitzt den Ressourcentyp *Druckmaschine*. Durch Angabe der Ressourcensubtypen kann die benötigte Druckmaschine näher spezifiziert werden. Mögliche Ressourcensubtypen wären zum Beispiel *Bogenoffset* und *Rollenoffset*.

Matching der obligatorischen Kriterien

Eine weitere Möglichkeit der Eingrenzung von Fremddienstleistern ist die Filterung über obligatorische Kriterien, sowohl des outsourcenden Betriebes als auch der Fremddienstleister. Dabei ist zu beachten, dass von den Fremddienstleistern nur Kriterien betrachtet werden können, die in

deren Stammdaten definiert sind. Kriterien des outsourcenden Unternehmens können zum einen dessen Stammdaten, zum anderen dem auftragsspezifischen Parametersatz entnommen werden.

Matching der Ressourcen-, Prozess- und Produkteigenschaften

Das Matching der Ressourceneigenschaften mit den Knoteneigenschaften der Auftragsstruktur ist relativ komplex. Hier finden die meisten Regeln Anwendungen. Außerdem müssen branchenspezifische Zusammenhänge zwischen Ressourcen verschiedener Prozesse berücksichtigt werden.

Bezogen auf die Druckindustrie wird für den Druckprozess unter anderem geprüft, ob die Druckressource über genügend Farbwerke und ein ausreichendes Format verfügt, um die angefragten Produktanforderungen zu erfüllen.

Bewertung der Matchingphasen

Die Effizienz der Vorselektion (bezüglich Rechenzeit) hängt erheblich von der Reihenfolge der in dieser stattfindenden Matchingphasen ab. Um eine möglichst effiziente Reihenfolge der Matchingphasen zu ermitteln, wurde die Komplexität der Phasen anhand von Kennzahlen verglichen. Im Folgenden wird die Methode beschrieben, wie der Aufwand der einzelnen Verfahren bestimmt wird. Die Reihenfolge wurde auf Basis der Aufwände festgelegt. Der Nutzen (im Sinne einer Aufwand-Nutzen-Analyse) wird in dieser Methode nicht berücksichtigt. Grund hierfür ist, dass der Erfolg der jeweiligen Phasen von den zu matchenden Kriterien und deren Werten abhängt, die Auswirkungen der Kriterien allerdings variieren und erst nach deren Prüfung bekannt sind¹¹. Zur Ermittlung des Aufwandes werden folgende Kenngrößen verwendet:

- Menge an Kriterien, die zu matchen sind ($|C|$)
- Menge unterschiedlicher Berechnungsmethoden ($|CM|$)
- Komplexität der Matchingverfahren

Aufwand des Matchings der Produkte

Das Matching der Produktklassen erfordert je Produktklasse die Anwendung eines Kriteriums. Alle Kriterien werden mittels der gleichen Berechnungsmethode angewendet. Bei dem Matchingverfahren ist die Produktklasse des angeforderten Produktes mit den von den potentiellen Fremddienstleistern angebotenen Produktklassen zu vergleichen. Es muss also ein Objektpaar mittels

¹¹ Im Laufe der Zeit wäre auf Basis erhobener und ausgewerteter Statistiken eine Abschätzung des Nutzens unter Umständen möglich. Diese könnte dann in die Reihenfolgeermittlung, im Sinne einer Aufwand-Nutzen-Analyse, einfließen.

eines Gleichheitsoperators verglichen werden. Die Komplexität des Verfahrens ist als gering einzuschätzen.

$|C|$ vor dem Matching bestimmbar; $|CM| = 1$; Komplexität: gering

Aufwand des Matchings der Ressourcentypen

Bei dem Matching der Ressourcentypen ergibt sich die Menge an Kriterien aus der Menge zu prüfender Ressourcentypen und -subtypen. Diese hängt von der Auftragsstruktur ab, lässt sich jedoch bereits vor der Vorselektion ermitteln und in einer Liste zusammenfassen.

Da die Werte in einer Prüfliste gesammelt und auch als solche gematcht werden können, wird der Aufwand des Matchings durch die Anzahl der Kriterien nur geringfügig beeinflusst. Da die Ressourcentypen und -subtypen an das gleiche Objekt, nämlich an die Ressource, gebunden sind, muss nur ein Objektpaar, bestehend aus dem Knotenobjekt der Auftragsstruktur auf der einen und dem Ressourcenobjekt auf der anderen Seite, verglichen werden. Es wird nur eine Berechnungsmethode benötigt. Bei diesem Vergleich findet der Gleichheitsoperator Anwendung. Die Komplexität des Matchingverfahrens kann somit als gering bewertet werden.

$|C|$ vor dem Matching bestimmbar; $|CM| = 1$; Komplexität: gering

Aufwand des Matchings der obligatorischen Kriterien

Bei dem Matching der obligatorischen Kriterien des outsourcenden Unternehmens ist es sinnvoll, einen Vergleich aus Sicht der Kriterienausprägungen durchzuführen, also zu überprüfen, wie viele Anbieter die jeweilige Kriterienausprägung erfüllen. Es macht andersherum keinen Sinn, jeden Anbieter einzeln durchzugehen und alle Kriterien auf diesen zu matchen. Kriterien, von denen tendenziell ein hohes Filterpotential erwartet wird, sollten vor Kriterien angewendet werden, die das Anbieterfeld nur geringfügig beeinflussen.

Beispiel 4-6: Bezüglich der Druckindustrie hat das Kriterium *Entfernung* ein hohes Filterpotential, wohingegen die Filterung anhand der *Mitarbeiterzahl* ein geringes Potential hat, sofern der Wert auf kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) matcht. Das Kriterium *Entfernung* sollte daher vor dem Kriterium *Mitarbeiterzahl* angewendet werden.

Welche Kriterien ein hohes Filterpotential haben, lässt sich im Vorfeld nicht zwingend bestimmen. Durch einen Lernprozess des Systems können diese Potentiale im Laufe der Zeit mittels Annäherung ermittelt werden.

Die Menge der zu matchenden Kriterien des outsourcenden Unternehmens (*SC*) und der Fremddienstleister (*SP*) sind variabel. Sie können im Vorfeld dem Parametersatz des *SC* sowie den Stammdaten des *SC* und der *SP* entnommen werden. Durch die Variabilität der Kriterien ist ebenfalls die Anzahl der zu vergleichenden Objekte sowie die sich hieraus ergebenden Berechnungsmethoden unbekannt.

Im Falle des obligatorischen Matchings kann es sein, dass einzelne Kriterien über zum Teil bedingte Alternativwerte verfügen.

Beispiel 4-7: Ein bedingter Alternativwert kann beispielsweise folgende Aussage haben:

„Wenn ein Unternehmen meine maximal gewünschte Entfernung überschreitet, kann es bestehen bleiben, sofern es sehr gut bewertet ist“.

Hierbei ist die Entfernung das Haupt- beziehungsweise Schlüsselkriterium. Die Bewertung stellt eine Bedingung dar. Bezogen auf das in Abschnitt 4.1 vorgestellte Beispielszenario würde der Fremddienstleister *SP 1* daher die Anforderungen erfüllen. Dessen Standort ist zwar mit 70 km weiter entfernt gelegen als die vom *SC* gewünschten 50 km, jedoch wird die Ausnahme erfüllt, dass Unternehmen mit einer Entfernung zwischen 50 und 100 km sowie einer Bewertung von 5,0 ebenfalls als Fremddienstleister in Frage kommen.

Durch die Anwendung von Bedingungen wird die Komplexität des Matchingverfahrens erhöht. Bedingungen werden unabhängig von der regulären Kriterienreihenfolge in Kombination mit dem Schlüsselkriterium geprüft. Bezogen auf das vorherige Beispiel würde die Bewertung gleichzeitig mit der Entfernung geprüft werden, obwohl die Bewertung unter Umständen regulär viel später angewendet werden würde. Durch Speicherung der Kandidatenausprägungen kann der erhöhte Aufwand etwas reduziert werden. Die Komplexität des Kriterienmatchings hängt erheblich von der Ermittlung der Kriterienausprägungen ab. Diese kann sehr einfach, jedoch auch sehr komplex sein.

Für den Abgleich der obligatorischen Kriterien, sowohl des *SC* als auch der *SP*, ergeben sich somit folgende Kenngrößen:

$|C|$ vor Matching bestimmbar; $|CM|$ vor Matching bestimmbar; Komplexität: mittel bis hoch

Der Aufwand für das Matching der Kriterien des outsourcenden Unternehmens unterscheidet sich prinzipiell nicht von dem der Kriterien der einzelnen Fremddienstleister. Das Matching der Kriterien von den Fremddienstleistern gilt in der Summe jedoch als komplexer, da hierzu für jeden Anbieter unterschiedliche Kriterien mit unterschiedlichen Anforderungen an deren Ausprägungen auf die Eigenschaften des outsourcenden Unternehmens gematcht werden müssen. Es sind daher zunächst

die Kriterien des outsourcenden Unternehmens und im Anschluss die der übrig gebliebenen Fremddienstleister zu matchen.

Aufwand des Matchings der Ressourcen

Bei dem Matching der Ressourcen werden Eigenschaften der Ressourcen der Fremddienstleister mit den Eigenschaften der zur Produktherstellung erforderlichen Prozesse gematcht.

Aus grober Sicht betrachtet könnte das Matching daher wie folgt bewertet werden: Die Anzahl der Objektpaare beziehungsweise Berechnungsmethoden liegt bei eins (Maschineneigenschaften versus Prozesseigenschaften). Die Anzahl an Kriterien ergibt sich aus der Anzahl an Prozessen und ist daher variabel, lässt sich aber im Vorhinein anhand der Auftragsstruktur ermitteln und ist meist auf ein überschaubares Maß begrenzt. Das Vergleichen der Eigenschaften kann in der Regel über einfache Operatoren durchgeführt werden (**Beispiel:** Anzahl im Druckprozess benötigter Farben \leq Anzahl der Farbwerke der Druckmaschine). Somit würden sich folgende Kenngrößen ergeben:

$|C|$ vor Matching bestimmbar, in der Regel wenige; $|CM| = 1$; Komplexität: gering

Bei genauerer Betrachtung stellt sich der Aufwand für das Matching jedoch als wesentlich komplexer dar. Das Matching ...

- ... wird für jeden Prozess erneut durchgeführt.

Der vom Prozess geforderte Ressourcentyp gibt zwar einen Aufschluss über die erforderlichen Eigenschaften, die Werte können jedoch dazu führen, dass bei gleichem Ressourcentyp unterschiedliche Ressourcen benötigt werden.

- ... erfordert gegebenenfalls den Vergleich vieler Eigenschaften, da die Ressourcenanforderungen von Prozess zu Prozess (auch bei gleichem Prozesstyp) variieren können.

Die zunächst getroffene Annahme, dass nur eine Berechnungsmethode berücksichtigt werden muss, trifft daher nicht zu. Wird das Matching aus der Prozesssicht betrachtet, so ergeben sich unterschiedliche Kriterien, die in der Regel ebenfalls unterschiedlich geprüft werden müssen. Für einen Druckprozess wären dies unter anderem:

- Welche Maschine besitzt genügend Farbwerke?
- Welche Maschine kann das erforderliche Material verarbeiten?
- Welche Maschine kann das erforderliche Format drucken?
- ... muss die Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Prozessen und Ressourcen berücksichtigen.

Beispiel 4-8: Ein Beispiel für die Abhängigkeiten der Ressourceneigenschaften über die Prozessgrenzen hinaus ist, dass die erforderlichen Formateigenschaften eines Belichters des Belichtungsprozesses erst bekannt sind, wenn die Druckmaschine und somit das Plattenformat des Druckprozesses bekannt ist.

Demnach müssen als Objektpaar zwar nur Prozesseigenschaften mit Ressourceneigenschaften gematcht werden, jedoch sind ebenfalls die Auftragsstruktur (Prozessabhängigkeiten) und sich bei dem Matchingprozess ergebende Metadaten zu berücksichtigen, wodurch ein hoher Aufwand sowohl bezüglich der Rechenzeit als auch bezogen auf eine temporäre Datenhaltung erforderlich ist. Die Komplexität ist daher als hoch zu bewerten.

In der Summe ergeben sich für das Matching der Ressourceneigenschaften folgende Kenngrößen:

$|C|$ teilweise erst beim Matching bestimmbar; $|CM|$ teilweise erst beim Matching bestimmbar;
Komplexität: hoch

Wird davon ausgegangen, dass die Bedürfnisse (zum Beispiel *Plattengröße*) der Hauptressource (zum Beispiel *Druckmaschine*) auf jeden Fall vollständig bedient werden, so können die Ressourcenabhängigkeiten vernachlässigt und das Matching wesentlich vereinfacht werden, da in diesem Fall weniger Ressourcen und Prozesse betrachtet werden müssten. Als Möglichkeit bietet sich bei der Stammdatenerfassung an, die Ressourceneigenschaften auf die tatsächlich durch andere Ressourcen bedienbare Menge einzuschränken.

Beispiel 4-9: Kann eine Druckmaschine eine Plattendicke von 0,15 mm bedrucken, der Plattenbelichter jedoch minimal nur 0,20 mm dicke Platten belichten, darf für die Druckmaschine nur diese Plattendicke als minimale angelegt werden.

Zusammenfassung der Bewertung der Matchingprozesse

Die Bewertung der Aufwände der Matchingprozesse, die zur Vorselektion benötigt werden, sowie die sich daraus ergebende Abarbeitungsreihenfolge, werden in Tabelle 4-4 zusammengefasst.

Phase	Matching	Zu matchende Objekte-Paare			Kenngößen
1	Produktportfolio	Erforderliche Produktklasse	vs.	Angebote Produktklassen	<ul style="list-style-type: none"> • C vor dem Matching bestimmbar • $CM = 1$ • Komplexität: gering
2	Ressourcentypen	Erforderliche Ressourcentypen	vs.	Ressourcen der Anbieter	<ul style="list-style-type: none"> • C vor dem Matching bestimmbar • $CM = 1$ • Komplexität: gering
3	Obligatorische Kriterien des SC	Kriterien des outsourcenden Betriebes (u.U. unterschiedliche Objekte)	vs.	Eigenschaften der Anbieter (u.U. unterschiedliche Objekte)	<ul style="list-style-type: none"> • C vor Matching bestimmbar • CM vor Matching bestimmbar • Komplexität: mittel bis hoch
4	Obligatorische Kriterien der SP	Kriterien der Anbieter (u.U. unterschiedliche Objekte)	vs.	Eigenschaften des outsourcenden Betriebes (u.U. unterschiedliche Objekte)	<ul style="list-style-type: none"> • C vor Matching bestimmbar • CM vor Matching bestimmbar • Komplexität: mittel bis hoch
5	Ressourcen	Ressourcenanforderungen der Prozesse (Prozesseigenschaften)	vs.	Eigenschaften der Ressourcen der Fremddienstleister	<ul style="list-style-type: none"> • C teilweise erst beim Matching bestimmbar • CM teilweise erst beim Matching bestimmbar • Komplexität: hoch

Tabelle 4-4: Übersicht über Matchingverfahren der Vorselektion

Die Funktionsweise der Vorselektion kann Tabelle 4-5 entnommen werden. Diese stellt beispielhaft einen Ausschnitt einer anhand des Beispielszenarios aus Abschnitt 4.1 durchgeführten Vorselektion dar. Zwecks Übersichtlichkeit beschränkt sich die Ressourcenprüfung auf den Druckprozess. Eine vollständige Aufstellung der Auftragsparameter sowie der Kandidateneigenschaften kann dem Anhang A7 entnommen werden.

In der ersten Selektionsphase werden diejenigen Fremddienstleister ausselektiert, die die angeforderte Produktklasse *Plakat* nicht anbieten (*SP 6* und *SP 7*). Anschließend wird geprüft, welche der verbleibenden Fremddienstleister über die angeforderten Ressourcentypen verfügen. Der Auftrag grenzt die zu verwendenden Druckressourcen auf Bogenoffset-Maschinen ein. *SP 5* wird in dieser Phase ausselektiert. In der dritten Selektionsphase wird die Erfüllung der obligatorischen Kriterien des outsourcenden Unternehmens untersucht. Das Kriterium *Entfernung* verfügt beispielsweise über einen bedingten Alternativwert der besagt, dass Fremddienstleister mit einer Entfernung von 50 bis 100 km nicht ausselektiert werden, wenn diese eine Kundenbewertung 4.6 oder höher aufweisen (*SP 1*, *SP 9* und *SP 11*). Durch die dritte Selektionsphase werden die

Fremddienstleister *SP 2*, *SP 4* und *SP 8* ausselektiert. In der vierten Phase werden die Fremddienstleister eliminiert, deren obligatorische Kriterien das outsourcende Unternehmen nicht erfüllt (*SP 1* und *SP 3*). In der abschließenden Phase der Vorselektion werden die von den Fremddienstleistern zur Verfügung gestellten Ressourceneigenschaften mit den produktbeziehungswise Prozessanforderungen des auszusourcenden Auftrages verglichen. Fremddienstleister *SP 11* wird in dieser Phase ausselektiert. Insgesamt werden in dem aufgeführten Beispiel neun der eingangs dreizehn Kandidaten ausselektiert.

Potentielle Fremddienstleister (SP)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Phase 1: Matching des Produktportfolios	Produkt: Plakat		OK	OK	OK	OK	OK	Raus	Raus	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
Phase 2: Matching der Ressourcentypen	Typ: Druckmaschine Subtyp: Bogenoffset		OK	OK	OK	OK	Raus			OK	OK	OK	OK	OK	OK	
Phase 3: Obligatorische Kriterien des SC	1. Entfernung	≤ 50 km	n.e.	OK	OK	OK				n.e.	n.e.	OK	n.e.	OK	OK	
		50 - 100 km + Bewertung Kunden ≥ 4.6	OK	n.g.	n.g.	n.g.					n.e.	OK	n.g.	OK	n.g.	n.g.
		Σ Kriterium	OK	OK	OK	OK					n.e.	OK	OK	OK	OK	OK
	Σ Aktuell - Obligatorische Kriterien SC			OK	OK	OK	OK				Raus	OK	OK	OK	OK	OK
	2. Bewertung Kunden	≥ 4 + Anzahl ≥ 5	n.b.	n.b.	n.b.	n.e.						n.b.	n.b.	n.b.	OK	OK
		Σ Kriterium	OK	OK	OK	n.e.						OK	OK	OK	OK	OK
	Σ Aktuell - Obligatorische Kriterien SC			OK	OK	OK	Raus				Raus	OK	OK	OK	OK	OK
	3. Größe	≤ 200 Mitarbeiter	OK	n.e.	OK							OK	OK	OK	OK	OK
		Σ Kriterium	OK	n.e.	OK							OK	OK	OK	OK	OK
	Σ Obligatorische Kriterien SC			OK	Raus	OK	Raus				Raus	OK	OK	OK	OK	OK
Phase 4: Obligatorische Kriterien der SP	1. Keine Kriterien?										OK		OK	OK	OK	
	2. SP mit Kriterien	SP 1	1. Auflage Plakate ≥ 3.000	n.e.												
			2. Bewertung Anbieter ≥ 4 + Anzahl ≥ 10	n.g.												
			Σ	Raus												
	SP 3	1. Bewertung Anbieter ≥ 5			n.e.											
		Σ			Raus											
	SP 10	1. Bewertung Anbieter ≥ 3										OK				
		2. Entfernung ≤ 100											OK			
	Σ											OK	OK	OK	OK	OK
	Phase 5: Matching der Ressourcen (vereinfachte Darstellung)	Druckmaschine 1	Druckformat ausreichend?									OK	OK	n.e.	n.e.	OK
Bedruckstoff verwendbar											OK	OK	n.g.	n.g.	OK	
Farbwerke ausreichend?												OK	OK	n.g.	n.g.	OK
Lackwerk?												OK	OK	n.g.	n.g.	OK
Σ												OK	OK	n.e.	n.e.	OK
Druckmaschine 2		Druckformat ausreichend?										n.e.		OK	OK	
		Bedruckstoff verwendbar										n.g.		OK	OK	
		Farbwerke ausreichend?										n.g.		OK	OK	
		Lackwerk?										n.g.		OK	OK	
		Σ										n.e.		OK	OK	
Σ Phase 5											OK	OK	Raus	OK	OK	
Σ Vorselektion			Raus	Raus	Raus	Raus	Raus	Raus	Raus	Raus	OK	OK	Raus	OK	OK	
Legende:	Raus	Kandidat wird eliminiert	OK	Kandidat wird weitergeführt	OK	erfüllt	n.e	nicht erfüllt	n.g.	nicht geprüft	n.b.	nicht betroffen				

Tabelle 4-5: Beispiel einer manuell durchgeführten Vorselektion

4.3.2. Reduktionsphase II: Inkrementelle Reduktion von Fremddienstleistern

Bei der inkrementellen Reduktion werden die Fremddienstleister, die theoretisch in der Lage sind, den gewünschten Auftrag zu fertigen und außerdem die obligatorischen Kriterien erfüllen

beziehungsweise deren obligatorische Kriterien vom outsourcenden Unternehmen erfüllt werden, anhand optionaler Kriterien auf ein gut handhabbares Maß reduziert.

Im Gegensatz zu dem Matching der obligatorischen Kriterien (siehe Vorselektion) wird bei diesem Verfahren nicht nur die Rechenzeit durch die Reihenfolge der Kriterien beeinflusst, sondern je nach Reduktionsverfahren auch die Zusammensetzung der Ergebnismenge. Dies ist beispielsweise bei einem vorzeitigen Reduktionsabbruch und somit der Vernachlässigung von Folgekriterien der Fall.

Die Reihenfolge der Kriterien wird anhand derer Prioritäten festgelegt, die von dem outsourcenden Unternehmen bestimmt werden. Kriterien mit hoher Priorität besitzen Vorrang vor Kriterien mit geringerer Priorität. Kriterien mit gleicher Priorität werden in willkürlicher Reihenfolge angewendet.

In dieser Phase können auch Kriterien verwendet werden, die bereits in der obligatorischen Filterung berücksichtigt wurden. Dass sie erfüllt werden, wurde bereits bei der Vorselektion festgestellt. Es kann jedoch von Bedeutung sein, wie gut diese Kriterien von den Kandidaten erfüllt werden.

Bei dem Matching der optionalen beziehungsweise rangbildenden Kriterien handelt es sich um eine Problemstellung zur multikriteriellen Entscheidungsfindung. In Kapitel 5 wird die multikriterielle Entscheidungsfindung vorgestellt und die im BUW-Outsourcingnetzwerk bestehende Entscheidungsproblematik in diese Problemkategorie eingeordnet. Die Verfahrensentwicklung der inkrementellen Reduktion sowie deren Evaluation bilden den wesentlichen Kern dieser Dissertation und sind dem Kapitel 6 zu entnehmen.

4.3.3. Reduktionsphase III: Kapazitätsprüfung

Bei der externen Suche wird im Anschluss an die inkrementelle Reduktion, auf den Systemen der übrig gebliebenen potentiellen Fremddienstleister (*SP*), eine Prüfung der Fertigungskapazitäten vorgenommen. Hierzu wird die Auftragsstruktur zunächst von der *TTP* an die Fremddienstleistersysteme übertragen. Auf der Systemseite der jeweiligen *SP* analysiert die Middleware anschließend die Prozess- sowie Ressourcenanforderungen und führt unter Zuhilfenahme erforderlicher Betriebsdaten aus dem jeweiligen *MIS*, wie zum Beispiel Produktionsdaten und Informationen zur Materialwirtschaft, eine Kapazitätsprüfung durch.

Anhand der Auftragsstruktur werden hierbei, unter Berücksichtigung eventuell bestehender Einschränkungen des jeweiligen *SP*, alle Routingmöglichkeiten der Auftragsfertigung ermittelt und angeforderte Ressourcen, den Liefertermin berücksichtigend, auf Verfügbarkeit geprüft. Routings deren Kapazitäten im ausreichenden Umfang zur Verfügung stehen, werden an die *TTP* zurückgesendet.

Bei der Suche nach internen Fertigungsmöglichkeiten findet die Erstellung und Prüfung der Routingmöglichkeiten analog, jedoch durch die Middleware des Servicenutzers (*SC*), statt.

Je nach Routingmöglichkeiten und Kundenanforderungen können, in Kombination mit einer Kalkulation, entsprechende Angebote erstellt und an die *TTP* zurückgesendet werden. Bei der externen Suche mit manueller Angebotseinholung, werden lediglich die fristgerecht durchführbaren Routingmöglichkeiten an die *TTP* zurückgesendet. Die Kalkulation findet in einem späteren Prozessschritt statt. Eine Übersicht über die Prozessschritte kann dem Anhang A5 entnommen werden.

4.3.4. Reduktionsphase IV: Zwischenranking

Bei der Suche nach externen Fertigungsmöglichkeiten mit manueller Anbahnung können die von der Kapazitätsprüfung erhaltenen Routings über Rankingmethoden, zum Beispiel unter Verwendung der Aggregation oder von Outrankingmethoden (siehe Abschnitt 5.2), zur Unterstützung der Auftragsvergabe gerankt werden.

Als Rankingkriterien können zum einen die bereits in vorherigen Matchingprozessen verwendeten Kriterien verwendet werden, die sich in der Regel auf Eigenschaften der Fremddienstleister beziehen. Zum anderen stehen nach Abschluss der Kapazitätsprüfung weitere, für die Auftragsvergabe häufig interessante Informationen über die konkreten Fertigungsverfahren zur Verfügung, die ebenfalls Gegenstand der Vergabeentscheidung sein können.

4.4. Angebotseinholung und Auftragsvergabe

Nachdem die potentiellen Fremddienstleister anhand der Reduktionsphasen auf eine für die Angebotseinholung effizient handhabbare Menge reduziert wurden, ist es erforderlich Auftragskalkulationen auf den jeweiligen Fremddienstleistersystemen auszuführen. Auf Basis der Kalkulationen lässt sich, automatisiert oder manuell, eine Entscheidung zur Auftragsvergabe treffen.

4.4.1. Kalkulation

Bei der internen Suche sowie der externen Suche mit automatischer Anbahnung schließt direkt an die Kapazitätsprüfung, je fristgerecht durchführbares Routing, eine Auftragskalkulation an. Deren Ergebnis wird in Form eines Angebotes an die *TTP* zurück gesendet.

Bei der externen Suche mit manueller Angebotseinholung findet nach dem Zwischenranking zunächst eine Auswahl von Fertigungsmöglichkeiten durch den Entscheider (*SC*) statt. Die ausgewählten Routings werden anschließend auf den Systemen der jeweiligen *SP* kalkuliert. Die kalkulierten Routings werden in Form einer Angebotsliste an die *TTP* zurückgesendet.

4.4.2. Auftragsvergabe

Im Anschluss an die Suche nach Fertigungsmöglichkeiten – sowohl intern als auch extern – findet die Auftragsvergabe statt. Hierzu bestehen bereits viele, zum Teil branchenübergreifende, zum Teil aber auch branchenspezifische Standards (siehe Abschnitt 2.2), auf die, entsprechende Schnittstellen vorausgesetzt, die Middleware des BUW-Outsourcingnetzwerkes zurückgreifen kann.

5. Multikriterielle Entscheidungsfindung

Bei dem Ranken von Fremddienstleistern handelt es sich um eine Problemstellung zu deren Lösung in der Regel mehrere Kriterien herangezogen werden müssen. Es sollen aus einer Menge an Fremddienstleistern diejenigen selektiert werden, die einen Satz an Kriterien möglichst gut erfüllen. Dabei existieren sowohl obligatorische Kriterien, die in einem bestimmten Wertebereich auf jeden Fall erfüllt sein müssen, als auch optionale Kriterien, deren Werte nicht zwingend erfüllt sein müssen. In diesem Kapitel wird die Problemstellung der multikriteriellen Entscheidungsfindung näher erläutert. Der Fokus wird hierbei auf diskrete Problemstellungen mit dem Ziel der Rangbildung sowie Kandidatenauswahl gelegt. Weiter werden gängige Methoden zur Lösung dieser Problemstellung beschrieben, die bei der in Kapitel 6 aufgeführten Verfahrensentwicklung und -analyse der im BUW-Outsourcingnetzwerk angewendeten inkrementellen Reduktion berücksichtigt werden. Da sich multikriterielle Entscheidungsanalysen nicht auf die Auswahl von Fremddienstleistern beschränken, werden Fremddienstleister folgend auch als Kandidaten bezeichnet.

5.1. Multikriterielle Entscheidungsfindung

Im Gegensatz zur deskriptiven Entscheidungstheorie, in der anhand empirischer Daten untersucht wird, warum Entscheidungen getroffen wurden, handelt es sich bei dem Ranking von Kandidaten anhand rationaler Kriterien um einen Bereich der präskriptiven Entscheidungstheorie. In [Wer06] wird diese Entscheidungstheorie wie folgt beschrieben:

„Die präskriptive Entscheidungstheorie, auch normative Entscheidungstheorie oder decision analysis bezeichnet, untersucht die Entscheidungslogik. Ihre zentrale Fragestellung lautet: Wie sind Entscheidungen bei gegebenen Entscheidungsprämissen zu treffen, sodass sie dem Postulat subjektiver Formalrationalität entsprechen? Dazu werden Annahmen über ein rationales Entscheidungsverhalten getroffen und daraus Konsequenzen für eine Entscheidung abgeleitet und empfohlen. [...] Die präskriptive Entscheidungstheorie entwickelt Regeln zur Bewertung von Aktionsresultaten, sodass ein Verhalten als rational bezeichnet werden kann. Es werden Anforderungen gestellt, die bei Rationalität erwartet werden. Dazu gehört die Forderung nach formaler Rationalität, d. h., der Entscheidungsträger verfügt über ein in sich widerspruchsfreies Zielsystem und verhält sich diesem gemäß.“ [Wer06, S. 16]

Charakteristisch für multikriterielle Probleme ist die geringe Wahrscheinlichkeit, dass ein Kandidat existiert, der alle anderen Kandidaten bezüglich aller Kriterien dominiert. Begründet werden kann dies zum Beispiel anhand der Existenz gegenläufiger Kriterien. Klassisch gegenläufige Kriterien sind der Preis und die Qualität eines Gutes. Der Preis soll in der Regel gering, die Qualität hingegen

möglichst hoch sein. Die Gewährleistung einer höheren Qualität bringt im Regelfall jedoch auch höhere Kosten und somit einen höheren Preis mit sich. Die Existenz eines Kandidaten, der gegenüber allen anderen Kandidaten ein Produkt mit der höchsten Qualität und gleichzeitig dem geringsten Preis anbietet, ist demnach sehr unwahrscheinlich.

Der erste bekannte Bezug auf die Analyse von multikriteriellen Problemstellungen (folgend mit *MCDA* (**M**ulti-**C**riteria **D**ecision **A**nalysis) abgekürzt und ebenfalls als Multi-Criteria Decision Aiding oder Multi-Criteria Decision Making bezeichnet [vgl. u.a. Roy05, S. 3, Mcd12 u. Ewg12]) geht auf ein von *Benjamin Franklin* (1706 – 1790) angewandtes Wichtungsprinzip von Pro und Kontra zur Entscheidungsfindung für Diskussionspunkte zurück [nachzulesen in Koe11, S. 1].

Neben Entscheidungsmethoden und -theorien, die von rein rational handelnden Entscheidern ausgehen, gibt es Theorien zur Analyse multikriterieller Entscheidungsprobleme, die irrationales Verhalten berücksichtigen. So zum Beispiel eine von *Herbert A. Simon* (1916 – 2001) aufgestellte Theorie, laut der Entscheidungsträger zufrieden sind, sofern Erwartungslevel erfüllt sind, auch wenn diese nicht das maximal erreichbare Ergebnis bedeuten [vgl. z.B. Koe11, S. 7 f].

In der *MCDA* werden eines oder mehrere der folgenden Ziele verfolgt [vgl. Roy05, S. 11 f]:

- Selektion des besten Kandidaten aus einer Menge an Kandidaten (*choice*)
- Rangbildung von dem besten bis zum schlechtesten Kandidaten (*ranking*)
- Einteilen von Kandidaten in verschiedene Sets (*sorting*)
- Beschreibung der Problemstellung (*description*)

Grundlegendes Ziel jeder Methode ist die Beseitigung möglichst vieler Inkomparabilitäten zwischen Kandidaten [Bra05, S. 166].

Sind alle Kandidaten der Problemstellung bekannt und ist diese somit diskret, so handelt es sich um ein Evaluationsproblem, das in der Regel über Optimierungsalgorithmen gelöst werden kann. Ist die Menge an Kandidaten hingegen unbekannt beziehungsweise umfasst diese eine schlecht handhabbare Größe, so kann das Problem gegebenenfalls nur durch Heuristiken gelöst werden [vgl. auch Wer06, S. 9].

Die Basis zur Beschreibung diskreter multikriterieller Probleme und Ausgang aller *MCDA*-Methoden bildet eine Evaluations- beziehungsweise Ergebnismatrix (siehe Tabelle 5-1). Diese Matrix repräsentiert ein quantitatives Modell, in dem die Kandidaten $A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\}$, die Kriterien $C = \{c_1, c_2, \dots, c_j, \dots, c_m\}$ sowie die Anwendung der Kriterien auf die Kandidaten $\{f_1(a), f_2(a), \dots, f_j(a), \dots, f_m(a) | a \in A\}$ aufgeführt werden [vgl. Bra05, S. 164 ff. u. Bra94a, S. 298].

	a_1	a_2	...	a_n
c_1	$f_1(a_1)$	$f_1(a_2)$...	$f_1(a_n)$
c_2	$f_2(a_1)$	$f_2(a_2)$...	$f_2(a_n)$
...
c_m	$f_m(a_1)$	$f_m(a_2)$...	$f_m(a_n)$

Tabelle 5-1: Aufbau einer Evaluationsmatrix

Eine wesentliche Eigenschaft multikriterieller Probleme ist, dass mehrere Kandidaten unter Umständen zwar die jeweiligen Kriterien unterschiedlich, in der Summe jedoch gleich viele Kriterien erfüllen. Ohne nähere Informationen zu den Kriterien lassen sich die Kandidaten in einem solchen Fall nicht automatisiert vergleichen. Ein Entscheidungsträger muss die endgültige Lösung selbst wählen. Gerade in der Aufstellung notwendiger Zusatzinformation, mit denen angestrebt wird, die Menge inkomparabler Kriterien möglichst zu eliminieren, unterscheiden sich die Methoden zur Lösung multikriterieller Probleme. Beispiele solcher Informationen sind [vgl. auch Bra05, S. 166]:

- Verwendung eines hierarchischen Gewichtungsmodells, bei dem die Prioritäten der Kriterien über Gewichte $W = \{w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_m\}$ definiert werden
- Aufstellung von Präferenzbeziehungen zwischen Kriterienpaaren
- Aggregationsfunktionen, durch die mehrere Kriterien mathematisch zusammengeführt werden, so dass aus dem multikriteriellen Problem ein monokriterielles Problem wird

Neben der Beschreibung von Beziehungen zwischen den Kriterien, ist die Ermittlung der Wertigkeit eines Kandidaten bezüglich der jeweiligen Kriterien zu definieren. In der Regel wird hierzu für jedes Kriterium eine Präferenzfunktion ($P_j(a)$) aufgestellt, mit deren Hilfe ein Präferenzwert bezogen auf einen durch Schranken festgelegten Wertebereich ermittelt wird. Der Präferenzwert liegt zwischen 0 und 1 und gibt an, wie der Kandidat bezüglich des Kriteriums zu präferieren ist. Je höher der Wert ist, desto eher ist der Kandidat bezüglich des Kriteriums zu präferieren.

Es gibt sowohl Methoden, die die Präferenz eines Kandidaten bezüglich eines Kriteriums getrennt von den anderen Kandidaten ermitteln, als auch Methoden, die die Präferenz bezüglich eines Kriteriums in Bezug auf andere Kandidaten bestimmen.

Sowohl die Beziehungen zwischen den Kriterien als auch die Präferenzfunktionen hängen von dem Entscheidungsträger ab. Dieser stellt die Anforderungen zusammen, anhand derer die beste Lösung beziehungsweise ein guter Lösungskompromiss gefunden werden kann. Die Anforderungen sind in der Regel von Entscheidungsträger zu Entscheidungsträger unterschiedlich [vgl. auch Bra05, S. 165].

Unter Verwendung der ermittelten Präferenzbeziehungen lässt sich aus der Evaluationsmatrix eine Entscheidungsmatrix aufstellen, anhand der mittels verschiedener Verfahren, zum Beispiel durch Aggregation der nach den jeweiligen Kriterienprioritäten gewichteten Präferenzwerte, ein

Gesamtnutzen der jeweiligen Kandidaten ermittelt werden kann. Durch den Vergleich der Gesamtnutzen lässt sich als Entscheidungshilfe zur Kandidatenauswahl ein Kandidatenranking aufstellen.

Um die Eignung des in Abschnitt 6.2 vorgestellten Reduktionsverfahrens zur Effizienzsteigerung der kriterienbasierten Suche nach Fremddienstleistern bewerten sowie eine Auswahlentscheidung zwischen Fremddienstleistern hinsichtlich derer quantifizierten auftragsbezogenen Eignung vornehmen zu können, werden Rankingmethoden der multikriteriellen Entscheidungsfindung aufgegriffen. Hinsichtlich der Analyse des Reduktionsverfahrens stellen die Rankingmethoden Rastersuchen dar. Eine Rastersuche führt einen Vergleich aller Kandidaten über alle Kriterien aus. Durch den Verzicht auf die Reduktion gilt das Ergebnis der Rastersuche hinsichtlich der Qualität als bestmöglich zu erreichende Ergebnismenge und wird hinsichtlich der Verfahrensanalyse in Kapitel 6 auch als Referenzmenge bezeichnet. Zur Eignungsanalyse des Reduktionsverfahrens sind der Aufwand zur Durchführung des Reduktionsverfahrens sowie die Qualität der Ergebnismenge mit dem Aufwand der Rastersuche sowie der Qualität der Referenzmenge zu vergleichen.

5.2. Rankingmethoden zur Lösung multikriterieller Problemstellungen

Zur Lösung von Rankingproblemen werden in der Literatur das Dominanzprinzip sowie auf dessen Prinzip basierende Aggregations- und Outrankingmethoden aufgeführt [vgl. z.B. Wer06 u. Fig05].

Das Dominanzprinzip findet Anwendung, wenn zu wenige Informationen zur Verfügung stehen, um Präferenzbeziehungen zwischen den Kriterien klar definieren zu können. Anhand dieses Verfahrens werden diejenigen Kandidaten aus der multikriteriellen Problemstellung entfernt, die von anderen Kandidaten dominiert werden. Die Komplexität des Problems kann durch die Reduktion der Kandidatenmenge somit erheblich gemindert werden. „Das Dominanzprinzip verlangt von einem rationalen Entscheidungsträger, ausschließlich undominierte [...] Handlungsalternativen zu wählen.“ [Wer06, S. 27] Ein Kandidat a_1 gilt gegenüber einem Kandidaten a_2 als dominant, wenn er „[bezüglich] keines Kriteriums schlechter und mindestens [bezüglich] eines Kriteriums besser als [a_2] ist.“ [Wer06, S. 27] Als undominiert beziehungsweise effizient gilt ein Kandidat, wenn er von keinem anderen Kandidaten der zu untersuchenden Menge dominiert wird [vgl. Wer06, S. 27].

Für das Prinzip der Rangbildung sind folgende Dominanzbeziehungen zu erwähnen, anhand derer die Eignungen der zur Verfügung stehenden Kandidaten bezüglich des zugrunde liegenden Kriteriensets in eine Reihenfolge gesetzt werden können [vgl. Wer06, S. 24]:

- **Strikte Präferenz ($a > b$):** a ist gegenüber b als klar besser einzustufen
- **Schwache Präferenz ($a \succsim b$):** a ist gegenüber b als leicht besser einzustufen
- **Indifferenz ($a \sim b$):** a und b sind als gleichwertig einzustufen

In der multikriteriellen Entscheidungsfindung kann außerdem die Präferenzbeziehung der Inkomparabilität bestehen. Diese existiert, wenn zwischen zwei Kandidaten a und b bezogen auf einige Kriterien die Präferenz $a > b$, auf andere Kriterien jedoch $b > a$ besteht, so dass in der Summe beide Kandidaten gleiche Präferenzwerte besitzen. In diesem Fall liegt es an dem Entscheider, eine Wahl zwischen den Kandidaten zu treffen [Bra05, S. 173 f]. Für die Bildung einer automatisch auswertbaren Rangfolge ist hingegen wichtig, dass die in ihr aufgeführten Kandidaten komparabel sind und eine Transitivität der Präferenzrelationen besteht. Transitivität bedeutet, dass wenn $a > b$ und $b > c$ gilt, ebenfalls $a > c$ gelten muss und demnach ein komplettes Ranking der Kandidaten erstellt werden kann [vgl. Wer06, S. 25].

Die am häufigsten verwendeten Methoden zur Lösung multikriterieller Probleme greifen das Dominanzprinzip auf und basieren auf einem der beiden folgenden Prinzipien [vgl. Roy05, S. 15 f.]:

- **Synthetisierendes Kriterium:** Die Kriterien der Problemstellung werden in Form eines einzigen Kriteriums ausgedrückt. Dieses Prinzip setzt voraus, dass alle Kriterien auf die gleiche Werteskala transferiert werden können.
- **Synthetisierendes Präferenzrelationssystem:** Dieser Ansatz untersucht die Kandidaten nicht separat voneinander, sondern vergleicht diese paarweise gegeneinander. Mittels Aggregation lässt sich das System auf eine binäre Relation reduzieren. Bei diesem Prinzip treten unter Umständen Intransitivität und Unvergleichbarkeit zwischen Kandidaten auf, die dazu führen, dass eine klare Entscheidung gegebenenfalls nicht automatisch durchgeführt werden kann.

Bedeutende Vertretergruppen sind laut Literatur überwiegend Aggregations- sowie Outrankingmethoden [vgl. z.B. Wer06 u. Fig05]. Diese sollen im Folgenden mit jeweils einem Repräsentanten aufgeführt werden. Eine Gegenüberstellung derer Vor- und Nachteile in Hinblick auf die Analyse der Fremddienstleisterreduktion im BUW-Outsourcingnetzwerk findet in Abschnitt 6.3 statt.

5.2.1. Aggregation zu einem monokriteriellen Problem (Grundprinzip: synthetisierendes Kriterium)

Die Aggregation hat zum Ziel, eine multikriterielle Problemstellung anhand einer Aggregationsfunktion in ein monokriterielles Problem zu transferieren. Dabei besteht die Komplexität dieser Verfahren in der Konkretisierung der Parameter, die zu einer Berechnung der Aggregationsfunktion benötigt werden. Die ersten mathematischen Studien zu Aggregationsverfahren führte *Vilfredo Pareto* (1848 – 1923) durch [vgl. Koe11, S. 3].

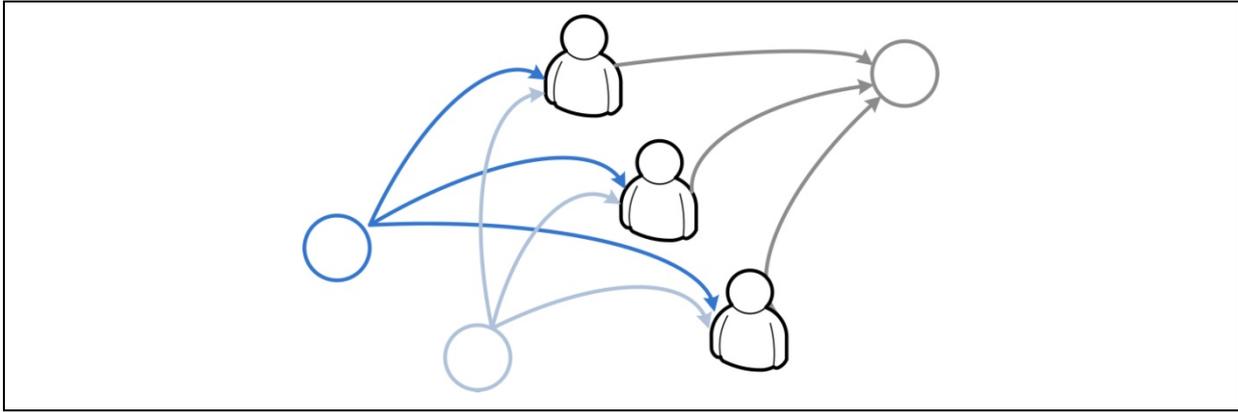


Abbildung 5-1: Kriterienprüfung bei der Aggregation

Um die Aggregationsfunktion aufstellen zu können, müssen Beziehungen zwischen den Kriterien, zum Beispiel durch Gewichte, Normierungskonstanten, Gegenläufigkeiten et cetera, sowie die Aggregationslogik beschrieben werden. Durch die Aggregationslogik wird festgelegt, wie die zwischenkriteriellen Parameter zusammenhängen. [Roy05, S. 14 f.]

Durch die Reduktion der Komplexität auf ein monokriterielles Problem werden die Auswertungsmöglichkeiten der Ergebnismenge erheblich eingeschränkt. In Bezug auf die Rangbildung werden Inkomparabilitäten beispielsweise als Indifferenzen ausgewiesen, da nicht nachvollzogen werden kann, ob deren Präferenzbeziehungen in allen Kriterien oder nur in der Summe der Kriterien identisch sind. Aufgrund der einfachen Berechnung werden die Aggregationsmethoden zur Lösung multikriterieller Problemstellungen trotzdem am häufigsten verwendet. [Roy05, S. 14]

Für die im BUW-Outsourcingnetzwerk vorgesehene kriterienbezogene Rangbildung der Fremddienstleister wird auf eine einfache Aggregationsmethode zurückgegriffen. Diese beschreibt die Kriterienbeziehungen anhand von Gewichten (w_j) zwischen 0 und 1. Aufsummiert ergibt sich ein Gesamtgewicht von 1 (100 %).

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1; \{w \in \mathbb{R} | 0 \leq w \leq 1\}$$

Anhand einer linearen Präferenzfunktion $P(f_j(a_i))$ beziehungsweise $P_j(a_i)$ kann für jeden Kandidaten a_i zu jedem Kriterium c_j ein Präferenzwert zwischen 0 und 1 berechnet werden. Dieser Präferenzwert sagt aus, ob das Kriterium nicht ($P_j(a_i) = 0$), teilweise ($0 < P_j(a_i) < 1$) oder vollständig ($P_j(a_i) = 1$) von dem Kandidaten erfüllt wird. Die Wahl der Präferenzfunktion hängt von der Zielfunktion des jeweiligen Kriteriums ab (siehe Tabelle 5-2).

Zielfunktion	$\max(f(a))$	$\min(f(a))$
Präferenzfunktion	$P(f(a)) = \begin{cases} 0 & f(a) \leq b \\ \frac{f(a) - b}{g - b} & b < f(a) < g \\ 1 & f(a) \geq g \end{cases}$	$P(f(a)) = \begin{cases} 0 & f(a) \geq b \\ \frac{f(a) - g}{b - g} & b < f(a) < g \\ 1 & f(a) \leq g \end{cases}$

Tabelle 5-2: Wahl der Präferenzfunktion der Aggregationsmethode hinsichtlich der Zielfunktion des Kriteriums

Die Parameter b und g stellen die Schwellenwerte der Präferenzfunktion dar. Keine Präferenz besteht bis zur Schwelle b (= bad) Eine volle Präferenz besteht ab der Schwelle g (= good).

Die Gesamtwertigkeiten ($\Phi(a)$) der Kandidaten lassen sich über die Summe der anhand der Kriteriengewichte gewichteten Präferenzwerte bestimmen:

$$\Phi(a_i) = \sum_{j=1}^m w_j P_j(a_i)$$

Ein Anwendungsbeispiel zur Aggregationsmethode kann dem Anhang A8 entnommen werden.

5.2.2. Outranking zwischen Kandidaten

(Grundprinzip: synthetisierendes Präferenzrelationssystem)

Outrankingmethoden, auch bekannt als französische Schule der Entscheidungsfindung [Koe11, S. 11], ermitteln die Wertigkeiten der Kandidaten nicht separat, sondern anhand gegenseitiger Vergleiche zwischen den Kandidaten. Die ersten Vertreter der Outrankingmethoden sind die *ELECTRE* Methoden (**EL**imination **Et** **Choix Traduisant la RE**alité [Elimination and Choice Expressing the Reality]), die durch *Bernard Roy* und dessen Arbeitsgruppe Mitte der 1960er Jahre entwickelt wurden [Koe11, S. 11 u. Fig05, S. 134 f.]. Ausschlaggebend für die Entwicklung der Outrankingmethoden waren folgende Nachteile der Aggregationsmethoden [vgl. Bra05, S. 166]:

- Die Beschreibung aller Zusammenhänge zwischen den Kriterien in einer Funktion erfordert viele Annahmen. Die Wahrscheinlichkeit, dass alle Zusammenhänge beachtet werden, ist daher gering.
- Das multikriterielle Problem wird erheblich umstrukturiert und verliert dadurch an Flexibilität.

Outrankingmethoden vereinigen häufig die Durchführbarkeit mehrerer Auswertungsziele. Neben der Wahl des besten Kandidaten (Choice) bieten diese zum Beispiel die Möglichkeit, Kandidaten zu ranken und zu sortieren [Koe11, S. 11]. Der französische Ansatz geht grundsätzlich davon aus, dass sich der Entscheidungsträger nicht vollständig bewusst ist, wie dessen Kriterien zu präferieren sind, und bietet einen Satz an Methoden an, um Konsequenzen unterschiedlicher Präferenzfestlegungen analysieren und somit ein besseres Problemverständnis erlangen zu können [vgl. Obe09].

Im Jahre 1982 entwickelte *Jean-Pierre Brans* die ersten Methoden des Outrankingmethodensatzes *PROMETHEE* (**P**reference **R**anking **O**rganization **M**ETHod for **E**nrichment **E**valuation), dem flexiblere

Modellierungsmöglichkeiten und eine einfachere Bedienung gegenüber den Verfahren *ELECTRE III* und *ELECTRE IV* nachgesagt werden. Die Weiterentwicklung und Implementierung wurde von *Jean-Pierre Brans* in Zusammenarbeit mit *Bertrand Mareschal* durchgeführt. [Pro12a]

Neben mathematischen Methoden beinhaltet der Methodensatz *PROMETHEE* Werkzeuge zur Visualisierung von Problemstellung und Auswirkungen unterschiedlicher Parametrisierungen, wie zum Beispiel einer Änderung der Kriteriengewichte. Für die Verwendung im BUW-Outsourcingnetzwerk, speziell für die inkrementelle Reduktion, wurden lediglich die mathematischen Methoden zur Rangbildung zwischen Kandidaten (*PROMETHEE I* und *PROMETHEE II*) analysiert. Diese werden im Folgenden näher erläutert.

Die folgenden Informationen über die Methoden stammen aus Publikationen von Brans und Mareschal und sind beispielsweise den Quellen [Bra05, Bra94a, Bra94 u. Bra84] zu entnehmen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird bei indirekten Zitaten auf die Angabe dieser Quellen verzichtet.

Partielles Ranking durch *PROMETHEE I*

PROMETHEE I verwendet zur Bildung eines partiellen Rankings zwischen Kandidaten die Gewichtung der Kriterien sowie zu den Kriterien gehörende Präferenzfunktionen, die die Beziehungen zwischen Kandidatenpaaren beschreiben.

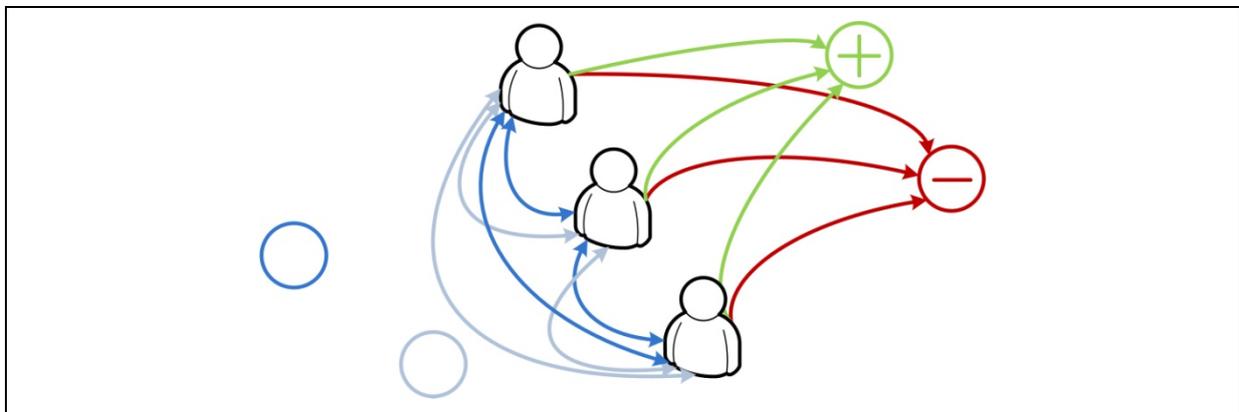


Abbildung 5-2: Kriterienprüfung bei *PROMETHEE I*

Im Gegensatz zu der im vorherigen Abschnitt erläuterten Aggregationsmethode, bei der jeder Kandidat separat bezüglich seiner Erfüllung der Kriterien analysiert wird, werden bei *PROMETHEE* Dominanzbeziehungen zwischen Kandidatenpaaren (a, b) , durch die Präferenzfunktionen $P_j(a, b)$ ermittelt. Es gilt $0 \leq P_j(a, b) \leq 1$, wobei gilt:

- $P_j(a, b) = 0$: Präferenz oder Indifferenz von a gegenüber b
- $P_j(a, b) \approx 0$: Geringe Präferenz von a gegenüber b
- $P_j(a, b) \approx 1$: Starke Präferenz von a gegenüber b
- $P_j(a, b) = 1$: Strikte Präferenz von a gegenüber b

In die Präferenzwertberechnung fließt die Differenz d beziehungsweise $d(a, b)$ mit $d = f(a) - f(b)$ zwischen den Kriterienwerten der Kandidaten ein. Die Präferenzfunktion muss eine nicht sinkende Funktion von d sein. Der Abbildung 5-3 sind die bei PROMETHEE am häufigsten verwendeten Präferenzfunktionen zu entnehmen. Die Parameter q und p stellen Schwellenwerte dar:

- **Indifferenz-Schwelle (q):** Dieser Schwellenwert gibt an, bis zu welchem Wert von d keine Präferenz von a über b besteht ($P_j(a, b) = 0$).
- **Präferenz-Schwelle (p):** Dieser Schwellenwert gibt an, ab welchem Wert von d eine volle Präferenz von a über b besteht ($P_j(a, b) = 1$).

Außerdem ist die Angabe eines Zwischenwertes s dieser Schwellen möglich. Dieser führt zu einem dauerhaft steigenden Funktionsverlauf, wobei die Position von s den Wendepunkt der Funktion bestimmt. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurde s vernachlässigt.

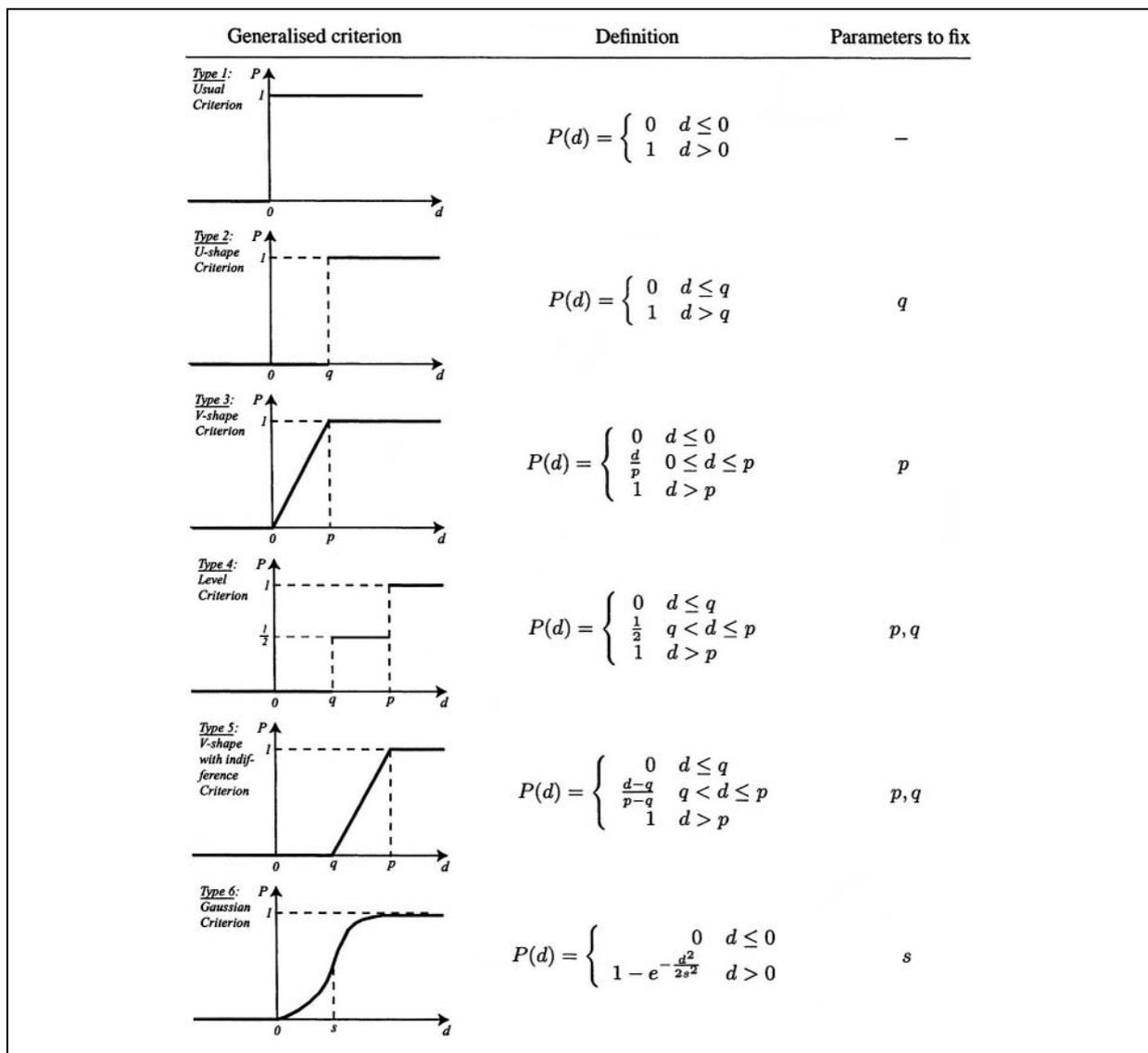


Abbildung 5-3: PROMETHEE Präferenzfunktionen [Bra05, S. 170]

Handelt es sich bei der Zielfunktion des Kriteriums um eine Minimierungsfunktion, so ist der inverse Wert von d in die Präferenzfunktion einzufügen (siehe Tabelle 5-3).

Zielfunktion	$\max(f(a))$	$\min(f(a))$
Präferenzfunktion	$P_j(a, b) = F_j[d_j(a, b)]$	$P_j(a, b) = F_j[-d_j(a, b)]$

Tabelle 5-3: Parametrisierung der Präferenzfunktionen von PROMETHEE hinsichtlich der Zielfunktion des Kriteriums

Da die Vergleiche zwischen Kandidaten bezüglich einzelner Kriterien für sich alleine nicht aussagekräftig sind, müssen Beziehungsflüsse über alle Kriterien aggregiert werden. Hierzu wird ein **Multi-Kriterien-Präferenz-Index** $\pi(a, b)$ bezüglich a über b aufgestellt. Für die Berücksichtigung aller Kriterien (c_1, c_2, \dots, c_m) gilt $\pi(a, b) = \sum_{j=1}^m w_j P_j(a, b)$, mit $\sum_{j=1}^m w_j = 1$.

$\pi(a, b)$ drückt die Präferenz von a gegenüber b über die Summe aller Kriterien aus. Da nicht nur das Kriterienpaar (a, b) , sondern auch (b, a) geprüft wird, muss ebenfalls $\pi(b, a)$ gebildet werden.

Um festzustellen, wie ein Kandidat a im Vergleich zu den anderen Kandidaten gestellt ist, müssen zwei Outrankingflüsse ermittelt werden:

- **Positiver Outrankingfluss (Power) $\Phi^+(a)$:** Je höher der Wert ist, desto mehr dominiert der Kandidat andere Kandidaten und desto besser ist er gestellt.

$$\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A, b \neq a} \pi(a, b); n = |A|$$

- **Negativer Outrankingfluss $\Phi^-(a)$:** Je geringer der Wert ist, desto weniger wird der Kandidat von anderen Kandidaten dominiert und desto besser ist er gestellt.

$$\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A, b \neq a} \pi(b, a); n = |A|$$

PROMETHEE I führt ein partielles Ranking mittels eines paarweisen Vergleiches beider Outrankingflüsse aller Kandidaten aus A durch. Partielles Ranking deshalb, da eindeutige Präferenzaussagen aufgrund von Inkomparabilitäten unter Umständen nicht getroffen werden können.

Eine klare Dominanz von a gegenüber b besteht, wenn

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ und } \Phi^-(a) < \Phi^-(b), \text{ oder}$$

$$\Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ und } \Phi^-(a) < \Phi^-(b), \text{ oder}$$

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ und } \Phi^-(a) = \Phi^-(b).$$

Indifferenz zwischen a und b besteht, wenn

$$\Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ und } \Phi^-(a) = \Phi^-(b).$$

Inkomparabilität zwischen a und b besteht, wenn

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ und } \Phi^-(a) > \Phi^-(b), \text{ oder}$$

$$\Phi^+(a) < \Phi^+(b) \text{ und } \Phi^-(a) < \Phi^-(b).$$

Komplettes Ranking durch PROMETHEE II

Mittels *PROMETHEE II* lässt sich für jeden Kandidaten ein **Nettofluss** $\Phi(a)$ ermitteln, anhand dessen die Kandidaten gerankt werden. Vorteil an dieser Methode ist, dass durch einen Vergleich der Nettoflüsse Inkomparabilitäten vernachlässigt werden und die Kandidaten somit komplett gerankt und automatisiert ausgewertet werden können.

Der Nettofluss eines Kandidaten a wird wie folgt berechnet:

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a)$$

Je höher der Nettofluss ist, desto besser ist die Eignung des Kandidaten bezüglich des Kriteriensatzes.

Es gilt:

$$a \succ b \text{ oder } a \succeq b, \text{ wenn } \Phi(a) > \Phi(b)$$

$$a \sim b, \text{ wenn } \Phi(a) = \Phi(b)$$

Außerdem gilt:

$$\Phi(a) \in [-1; 1] \text{ und } \sum_{a_i \in A} \Phi(a_i) = 0$$

Ein Anwendungsbeispiel zu *PROMETHEE* kann dem Anhang A8 entnommen werden.

6. Konzeption und Evaluation der inkrementellen Reduktion

Die Fremddienstleister, die bereits durch verschiedene Matchingverfahren auf diejenigen reduziert wurden, die technisch sowie bezüglich obligatorischer Kriterien in der Lage sind, den outzusourcenden Auftrag zu fertigen, sollen anhand optionaler Kriterien inkrementell weiter reduziert werden. Ziel ist eine Aufwandsreduktion für die abschließende Rangbildung.

Zu Beginn dieses Kapitels werden die Grundidee bezüglich der Funktionalität der inkrementellen Reduktion sowie die Entwicklung und das Ergebnis des hieraus hervorgehenden Reduktionsverfahrens vorgestellt.

Um die Qualität, die Effizienz und entsprechend auch die Bedeutung des Reduktionsverfahrens nachvollziehen zu können, ist zunächst ein Verständnis über das Ergebnis erforderlich, welches ohne Einsatz eines Reduktionsverfahrens erzielt werden würde. Zur Ermittlung dieses Ergebnisses können anhand der Aggregation sowie *PROMETHEE* (siehe Abschnitt 5.2) durchgeführte Rastersuchen herangezogen werden. Durch eine Rastersuche wird zur Rangbildung ein Abgleich aller Fremddienstleister mit allen Kriterien durchgeführt. Aus dem Ergebnis lässt sich das bezüglich Qualität optimal zu erreichende Suchergebnis extrahieren. Aus dem Suchergebnis sowie dem zur Ermittlung erforderlichen Aufwand lassen sich Kennzahlen entwickeln, die zur Bewertung von Reduktionsverfahren herangezogen werden können. Abschnitt 6.4 führt die Aufstellung der in dieser Arbeit verwendeten Kennzahlen auf.

Im Anschluss an die Kennzahlenbestimmung wird die Analyse des Reduktionsverfahrens beschrieben. Diese umfasst mehrere Phasen, aus denen zum Teil Verfahrensänderungen sowie sich grundlegend von dem Verfahren unterscheidende Reduktionsmethoden hervorgehen. Es werden Erläuterungen zu den Funktionsweisen der einzelnen Verfahren gegeben sowie eine Eignungsanalyse aller Verfahren in Bezug auf das BUW-Outsourcingnetzwerk vorgenommen. Die Ergebnisse der Verfahrensgegenüberstellung führen abschließend zu einer Verfahrenswahl zur Implementierung in den Prototyp des BUW-Outsourcingnetzwerkes (siehe Kapitel 7)

6.1. Notwendigkeit der Kandidatenreduktion bei der Fremddienstleistersuche

Die in Abschnitt 5.2 vorgestellten Methoden zur Entscheidungsfindung setzen zur Verfahrensanwendung das Bestehen einer vollständigen Evaluationsmatrix voraus. Hinsichtlich der Fremddienstleistersuche im BUW-Outsourcingnetzwerk besteht hingegen die Annahme, dass die Ermittlung aller Kriterienwerte der Evaluationsmatrix zu aufwendig ist. Ein Reduktionsverfahren ist daher erforderlich, dessen Ziel es ist, die aus der Vorselektion hervorgehende Menge potentieller

Fremddienstleister möglichst effizient auf eine gewünschte Zielmenge mit ausreichender Qualität zu reduzieren.

Eine Recherche nach bereits bestehenden Reduktionsansätzen innerhalb von Lösungsansätzen multikriterieller Problemstellungen ergab keine Ergebnisse. Ebenso konnte anhand von Gesprächen mit Wissenschaftlern aus den Bereichen Operation Research und Multikriterielle Problemlösung eine Existenz von Reduktionsmethoden zur Aufwandsreduktion in Rankingvorgängen nicht bestätigt werden. Hier war lediglich von Dominanzvergleichen die Rede, die, wie bereits erwähnt, eine Rastersuche über eine vollständige Evaluationsmatrix erfordern.

Gegen die Existenz entsprechender Reduktionsverfahren spricht außerdem die auf Nachfrage getroffene Aussage von *Bertrand Mareschal*, ein renommierter Professor im Bereich *MCDA* und Mitentwickler von *PROMETHEE*. Laut seiner Meinung ist die Größe eines Problems eher als unbedeutend einzustufen. Er habe bereits komplexe multikriterielle Problemstellungen mit mehreren tausend Kandidaten analysiert.

Für die Konzeption des BUW-Outsourcingnetzwerkes bestehen hingegen Annahmen, auf deren Basis der Fremddienstleistersuche eine erhebliche Komplexität zugewiesen werden kann, die den Einsatz eines Reduktionsverfahrens dennoch begründet:

- Je nach Branche und Auftrag sind viele tausend potentielle Fremddienstleister denkbar.
- Es kann vorkommen, dass zu Stoßzeiten eine erhebliche Menge an Suchanfragen aufkommt, die möglichst in Echtzeit verarbeitet werden muss.
- Die Ermittlung von Kriterienausprägungen kann beliebig komplex sein.

6.2. Entwicklung eines Reduktionsverfahrens auf Basis des Einzelkriterienvergleiches und einer Entscheidungsheuristik

Ausgangspunkt der inkrementellen Reduktion ist eine leere Evaluationsmatrix, bestehend aus gewichteten Kriterien und den potentiellen Fremddienstleistern (Kandidaten). Die Ausprägungen, die die Kandidaten bezüglich der Kriterien aufweisen, sind zunächst unbekannt, können jedoch anhand der bei der *TTP* hinterlegten Stammdaten berechnet werden.

Es besteht die Grundannahme, dass die Ermittlung der Kriterienausprägungen sowie die Berechnung von deren Bedeutung für die Wertigkeit der jeweiligen Kandidaten, gegebenenfalls einen hohen Rechen- sowie Zeitaufwand bedeuten. Da die Suche nach Fremddienstleistern möglichst zeitnah erfolgen soll, hat die inkrementelle Reduktion zum Ziel, durch eine schrittweise Reduktion von Kandidaten, möglichst viele Berechnungen einzusparen, ohne die Qualität des Suchergebnisses im Vergleich zu einer Rastersuche gravierend zu mindern.

Bei einem multikriteriellen Problem existieren meist mehrere lokale Optima. Das heißt, dass die Kriterien in der Regel von unterschiedlichen Kandidaten am besten erfüllt werden und kein Kandidat existiert, der alle anderen Kandidaten bezüglich aller Kriterien dominiert. Die Schwierigkeit der Einschränkung der Kandidaten besteht darin, das globale Optimum oder eine nah an diesem liegende Ergebnis- beziehungsweise Outputmenge zu finden.

Als globales Optimum wird im Rahmen dieser Arbeit diejenige Menge an Kandidaten verstanden, die die Suchkriterien in Summe am besten erfüllen. Die Mächtigkeit der Menge ergibt sich aus einer vom Entscheider festgelegten Zielmächtigkeit (n_{SC}). Die Kandidaten des globalen Optimums haben eine höhere oder gleich hohe Gesamtwertigkeit als ein beliebiger Kandidat der Eingangs- beziehungsweise Inputmenge an Kandidaten ($A_{I,Red}$), der nicht Teil des globalen Optimums ist.

Hauptproblem des Reduktionsprozesses ist, dass die Gesamtwertigkeiten der Kandidaten aufgrund der leeren Evaluationsmatrix zunächst unbekannt sind. Die Wertigkeiten werden schrittweise ermittelt und sind erst vollständig bekannt, wenn die Erfüllungsgrade zu allen Kriterien berechnet wurden. Bei jeder Reduktionsentscheidung ist daher zu prüfen beziehungsweise abzuschätzen, wie hoch das Potential für gravierende Änderungen der jeweiligen Kandidatenwertigkeiten, durch die Prüfung weiterer Kriterien ist.

6.2.1. Für das Reduktionsverfahren angewendetes Reduktionsprinzip

Das Reduktionsprinzip, auf dem die im weiteren Abschnitt aufgestellten Entscheidungsregeln angewendet werden, führt Reduktion der Kandidaten anhand von Suchkriterien durch. Hierbei werden die Suchkriterien schrittweise auf die Kandidaten angewendet. Kandidaten, die die jeweils angeforderte Kriterienausprägung nicht erfüllen, werden eliminiert. Die Reihenfolge der Kriterien ergibt sich aus deren Prioritäten. Ein Kriterium mit hoher Priorität wird vor Kriterien mit geringerer Priorität angewendet. Die Reihenfolge von Kriterien mit gleicher Priorität wird willkürlich gewählt. Wird ein Kriterium angewendet, so müssen alle Kriterien angewendet werden, die die gleiche Priorität besitzen.

Bezogen auf die Qualität sowie die Effizienz der Reduktion müssen folgende Fragestellungen beantwortet werden:

1. Wie soll das Reduktionsverfahren reagieren, wenn die gewünschte Mächtigkeit der Zielmenge erreicht oder unterschritten wird ($|A_{O,c_j}| \leq n_{SC}$), obwohl nicht alle Kriterien verarbeitet wurden ($k \neq m$)?
2. Wann ist ein frühzeitiger Abbruch der inkrementellen Reduktion sinnvoll, obwohl nicht alle Kriterien angewendet wurden und die Mächtigkeit der aktuellen Outputmenge höher als die der gewünschten Zielmenge ist ($|A_{O,c_j}| > n_{SC}$)?

6.2.2. Entscheidungsfindung bei Frühzeitigem Erreichen oder Unterschreiten der gewünschten Zielmächtigkeit der Kandidatenmenge

Bei der inkrementellen Reduktion potentieller Fremddienstleister kann es vorkommen, dass die Zielmächtigkeit n_{SC} bereits erreicht oder sogar unterschritten ist, bevor alle Kriterien aus C angewendet wurden. In diesem Fall muss eine Entscheidung getroffen werden, ob die inkrementelle Reduktion abzubrechen oder ein Rollback von Kandidaten durchzuführen und die Reduktion mittels Matching des nächsten Kriteriums fortzusetzen ist. Folgende Vorgehensweisen sind hierbei denkbar:

IR_A : Abbruch unter Beibehaltung der Ergebnismenge.

$$A_{O,c_j} = A_{O,IR}$$

IR_B : Abbruch und Aufstockung der Outputmenge auf die gewünschte Mächtigkeit der Zielmenge.

$$|A_{O,c_j}| = n_{SC}$$

IR_C : Annullierung der letzten Kriterienanwendung und Fortführung der Reduktion.

$$A_{I,c_{j+1}} = A_{I,c_j}$$

IR_D : Aufstockung der Outputmenge, so dass diese eine Untermenge der Lösungsmenge von IR_C und eine Übermenge der Lösungsmenge aus IR_B ist. Im Anschluss die Reduktion mit dem nächsten Kriterium fortfahren.

$$n_{SC} < |A_{I,c_{j+1}}| < |A_{I,c_j}|$$

Für die bei den Vorgehensweisen IR_B und IR_D durchzuführende Aufstockung der Outputmenge muss eine geeignete Auffüllmethode ermittelt werden. Diese legt fest, welche der im letzten Reduktionsschritt eliminierten Kandidaten zurückgeholt werden.

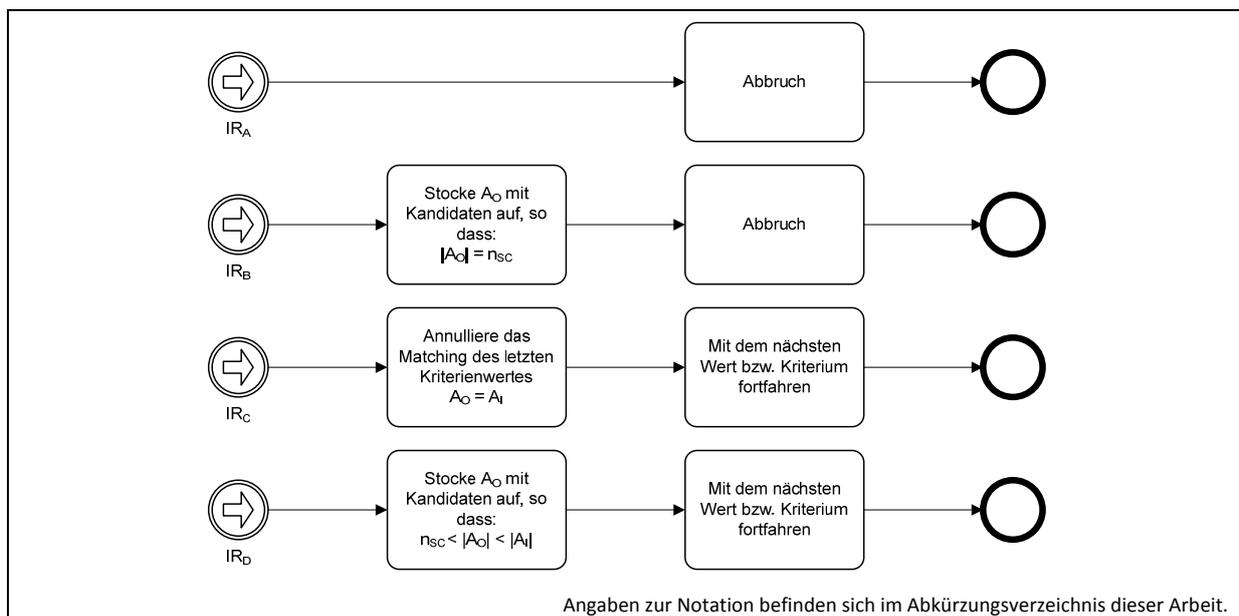


Abbildung 6-1: Entscheidungsset beim Erreichen oder Unterschreiten von n_{SC}

Da die Reduktion zum Ziel hat, ein angemessenes Aufwand-Nutzen-Verhältnis zu erreichen, ist im Folgenden zu klären, von welchen Faktoren die Qualität und der Aufwand der multikriteriellen Entscheidungsfindung abhängen. Außerdem ist zu prüfen, wie sich anhand dieser Faktoren eine Entscheidung bezüglich der Verfahren IR_A bis IR_D begründen lässt.

Es wird angenommen, dass folgende Einflussgrößen zu berücksichtigen sind:

- Komplexität des Matchings der Folgekriterien
- Mengenverhältnis zwischen geprüften Kriterien und Folgekriterien
- Menge an ausstehenden Alternativwerten des zuletzt angewendeten Kriteriums
- Gewichte der Kriterien
- Filterpotential der Kriterien
- Verhältnisse zwischen den Input- und Outputmengen an Kandidaten

Einflussfaktoren auf den Aufwand der Reduktion

Die Komplexität des Matchings der Folgekriterien beeinflusst den Rechenaufwand für das Matching. Allgemein kann die Aussage getroffen werden, dass mit erhöhter Komplexität eines Konstruktes (in diesem Fall des Kriterienmatchings) der Rechenaufwand zur Lösung desgleichen ansteigt. Außerdem hat die Anzahl an Folgekriterien einen Einfluss auf den Rechenaufwand. Je mehr Folgekriterien zu berücksichtigen sind, desto höher ist der dazu benötigte Rechenaufwand. Die folgende Abbildung stellt die Zusammenhänge vereinfacht in Form einer linearen Abhängigkeit dar. Sofern die Fortführung der Reduktion die Anwendung eines Alternativwertes des zuletzt geprüften Kriteriums erfordert, so kann dieser Alternativwert ebenfalls als Folgekriterium betrachtet werden.

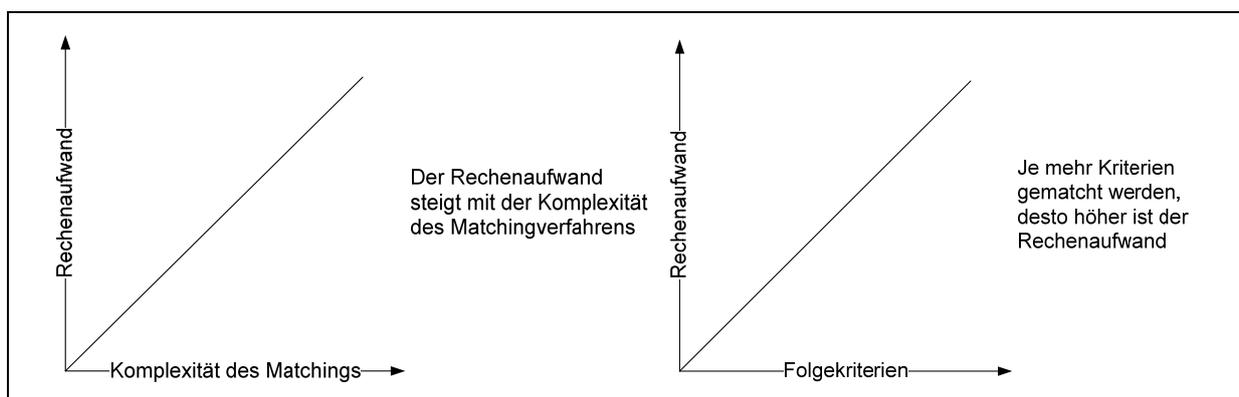


Abbildung 6-2: Rechenaufwand bezogen auf die Komplexität des Kriterienmatchings sowie Menge an Kriterien

Das Filterpotential eines Kriteriums c_j hat in Kombination mit der Inputmenge an Kandidaten für die Anwendung dieses Kriteriums (A_{I,c_j}) ebenfalls einen erheblichen Einfluss auf den Aufwand des Reduktionsprozesses:

- Ist die Inputmenge klein und das Filterpotential gering, so ist bei Anwendung des Kriteriums eine geringe Veränderung der Kandidatenmenge zu erwarten ($A_{O,c_j} \approx A_{I,c_j}$), da die Trefferwahrscheinlichkeit des Kriteriums bei einer kleinen Kandidatenmenge ebenfalls gering ist.
- Ist die Inputmenge klein und das Filterpotential hoch, so ist bei Anwendung des Kriteriums eine Veränderung der Kandidatenmenge zunächst sehr wahrscheinlich ($A_{O,c_j} \neq A_{I,c_j}$). Durch die kleine Inputmenge besteht jedoch eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass die Größe der Outputmenge des Reduktionsschrittes n_{SC} unterschritten wird, wodurch die Outputmenge unter Umständen per Rollback auf die Ursprungsmenge zurückgeführt wird. Die zu erwartende Gesamtauswirkung ist daher gering ($A_{O,c_j} \approx A_{I,c_j}$).
- Ist die Inputmenge groß und das Filterpotential gering, so ist bei Anwendung des Kriteriums eine verhältnismäßig geringe, jedoch sichtbare Veränderung der Kandidatenmenge zu erwarten ($A_{O,c_j} \neq A_{I,c_j}$).
- Ist die Inputmenge groß und das Filterpotential hoch, so ist bei Anwendung des Kriteriums eine erhebliche Veränderung der Kandidatenmenge zu erwarten ($A_{O,c_j} \neq A_{I,c_j}$).

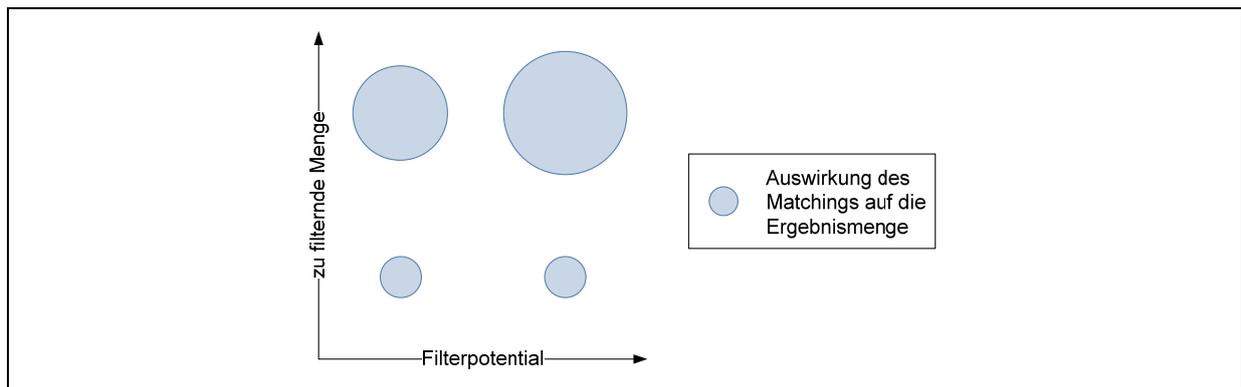


Abbildung 6-3: Auswirkungen auf die Outputmenge bezogen auf Filterpotential von Kriterien und Inputmenge

Einflussfaktoren auf die Qualität der Reduktion

Die Reduktion des Rechenaufwandes ist nicht das einzige Optimierungsziel. Entscheidend ist das richtige Verhältnis zwischen dem Aufwand der Suche und der Qualität der Ergebnismenge. Bei einer entsprechenden Verbesserung der Ergebnismenge ist ein hoher Rechenaufwand durchaus zu rechtfertigen. Daher werden im Folgenden die Einflussgrößen auf die Qualität aufgeführt.

Wie bereits in Bezug auf den Rechenaufwand haben die Menge an Folgekriterien und gegebenenfalls die Alternativwerte ebenfalls einen Einfluss auf die Qualität der Ergebnismenge des Reduktionsverfahrens. Gegeben sei eine Menge an Kandidaten, deren Mächtigkeit n_{SC} entspricht. Außerdem seien bereits einige Kriterien im Reduktionsprozess angewendet worden. Es gelten zusätzlich folgende Annahmen:

- Je mehr Kriterien noch für das Matching zur Verfügung stehen, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass die aktuelle Outputmenge an Kandidaten den gewünschten Qualitätsansprüchen entspricht.
- Je mehr Kriterien bereits angewendet wurden, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass die aktuelle Outputmenge bereits über eine hohe Qualität verfügt.
- Mit der Menge an Folgekriterien steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Qualität der Ergebnismenge durch einen Rollback von Kandidaten sowie ein weiterführendes Matching verbessert werden kann.

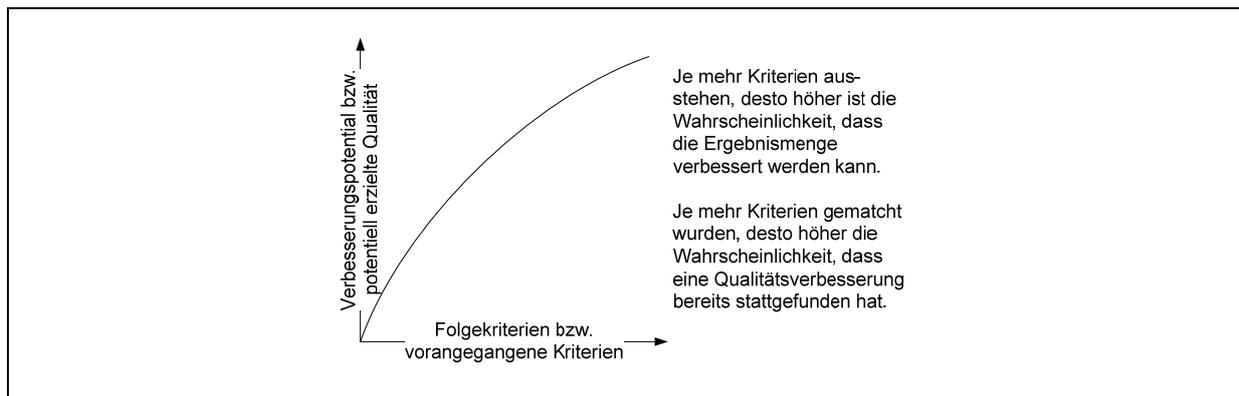


Abbildung 6-4: Qualität der Ergebnismenge bezogen auf die Menge an Folgekriterien

Der Effekt, durch einen Rollback eine bessere Ergebnismenge erzielen zu können, kann nicht endlich gesehen werden, sondern nähert sich einem Sättigungslevel an. Dies liegt darin begründet, dass sich die Ergebnismenge je Selektionsschritt der gewünschten Zielmenge annähert und irgendwann, durch häufiges Überschreiten der gewünschten Zielmenge, nur wenig Verbesserungspotential bietet.

Außerdem ist zu berücksichtigen, dass mit jedem Rollback Kandidaten zurückgeholt werden, die hinsichtlich höher als die Folgekriterien priorisierten Kriterien, unzureichende Ausprägungen aufweisen. Es besteht daher die Möglichkeit der Verschlechterung der Ergebnismenge.

Die Prioritäten von Kriterien und deren Anwendungsreihenfolge hat ebenfalls einen Einfluss auf die Zusammensetzung der Ergebnismenge und deren Qualität. Die Erwartungshaltung an die Qualitätsverbesserung durch Anwendung eines Kriteriums ist höher, je höher die Priorität dieses Kriteriums ist. Dementsprechend sollte ein Kriterium umso früher in der inkrementellen Reduktion Anwendung finden, je höher dessen Priorität ist, um möglichst viele Kandidaten mit der entsprechend gewünschten Eigenschaft ermitteln zu können.

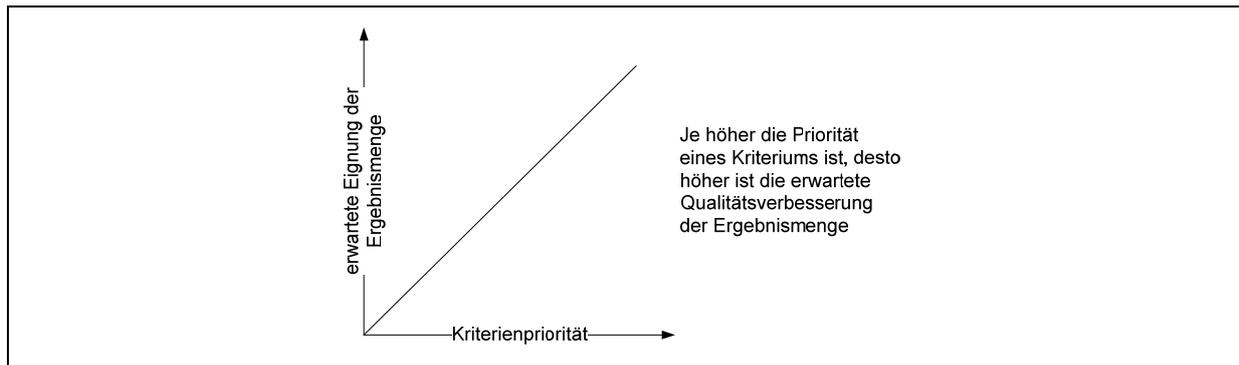


Abbildung 6-5: Qualität der Ergebnismenge bezogen auf die Priorität von Kriterien

Rückschlüsse auf die Anwendung der Entscheidungsmethoden IR_A bis IR_D

Folgend sollen die Schlussfolgerungen aufgeführt werden, die anhand der Betrachtung der Einflussfaktoren auf den Aufwand und die Qualität getroffen werden können. Ein Prozessmodell der Fallbetrachtung ist der Abbildung 6-6 zu entnehmen.

Entscheidung IR_A : Abbruch unter Beibehaltung der Ergebnismenge ($A_{O,c_j} = A_{O,Red}$).

Die Entscheidung IR_A ist ratsam, wenn mehr oder gleich viele Kriterien bereits gematcht wurden als Folgekriterien ausstehen und das Folgekriterium eine vergleichbar geringe Priorität besitzt. In diesem Fall kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnismenge bereits eine adäquate Qualität erreicht hat, da die Kriterien mit hoher Priorität bereits angewendet wurden. Voraussetzung für diese Vorgehensweise ist, dass die Mächtigkeit der aktuellen Ergebnismenge ($|A_{O,c_j}|$) der gewünschten Mächtigkeit (n_{SC}) entspricht, oder n_{SC} nicht zwingend erreicht werden muss und A_{O,c_j} keine leere Menge ist.

Entscheidung IR_B : Annullierung der letzten Kriterienanwendung und Reduktion der Ergebnismenge auf die angestrebte Mächtigkeit ($|A_{O,c_j}| = n_{SC}$).

Die Entscheidung IR_B ist dann sinnvoll, wenn mehr oder gleich viele Kriterien bereits gematcht wurden, als Folgekriterien ausstehen und das Folgekriterium eine vergleichbar geringe Priorität hat (vergleiche Erläuterungen zur Entscheidung IR_A). Ausschlaggebend für die Anwendung der Entscheidung IR_B ist eine zwingend zu erreichende Mächtigkeit der Ergebnismenge oder der Umstand, dass die Menge A_{O,c_j} eine leere Menge ist.

Entscheidung IR_C : Annullierung der letzten Kriterienanwendung und Weiterführung der Reduktion mit deren Eingangsmenge sowie dem nächsten Kriterium ($A_{I,c_{j+1}} = A_{I,c_j}$).

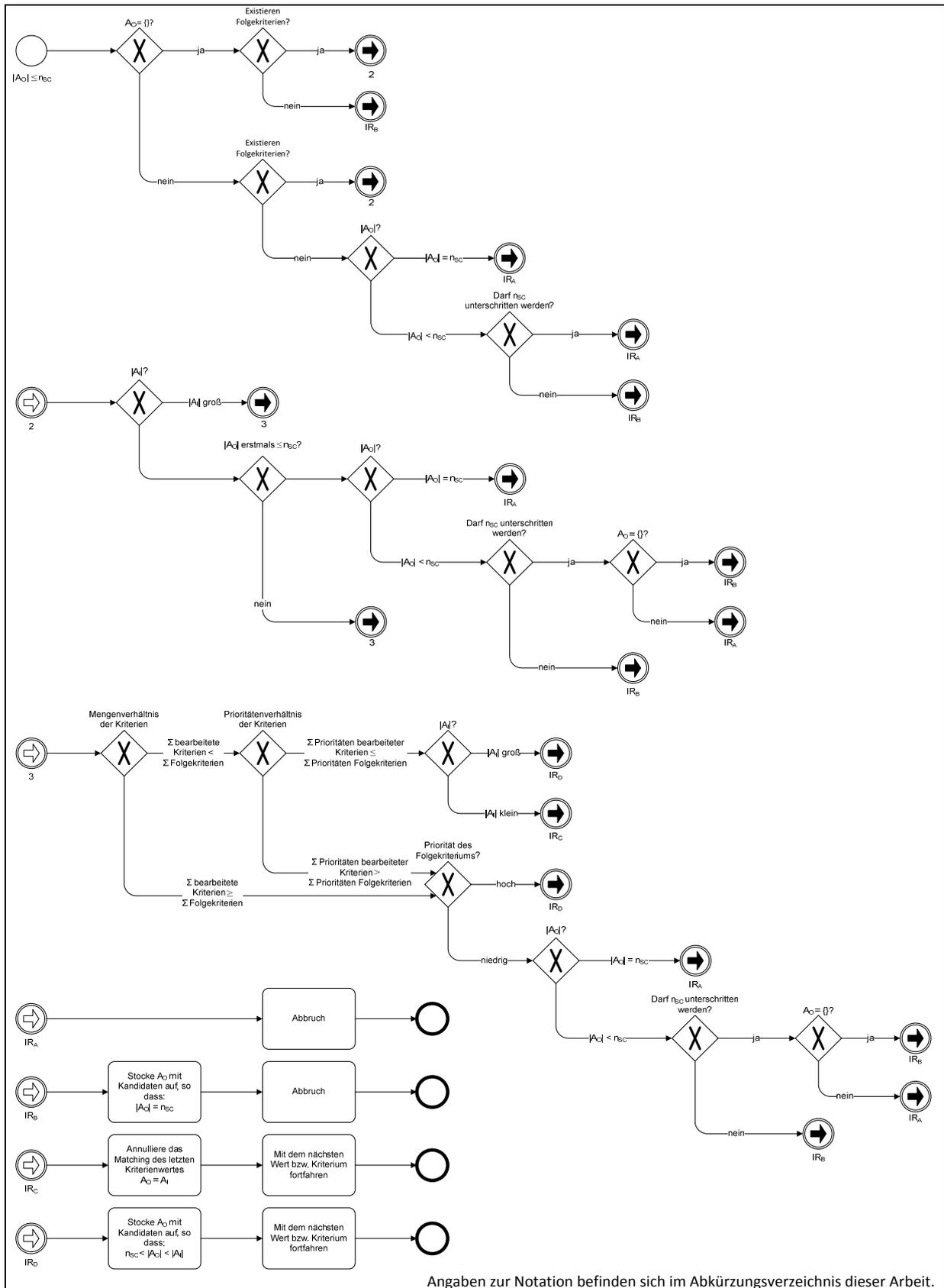
Die Entscheidung IR_C ist ratsam, wenn die Menge an bisher angewendeten Kriterien die der Folgekriterien unterschreitet und deren Summe an Prioritäten geringer als die der Folgekriterien ist. Anhand der Abbildung 6-4 sowie der Abbildung 6-5 lässt sich diese Entscheidung begründen.

Entscheidung IR_D : Annullierung der letzten Kriterienanwendung und Weiterführung der Reduktion mit einer Kandidatenmenge, die eine Untermenge der Lösungsmenge von IR_C ist und von der die Menge aus IR_B eine Untermenge ist ($A_{I,c_{j+1}} \in A_{I,c_j}$; $|A_{I,c_{j+1}}| > n_{SC}$).

Die Anwendung der Entscheidung IR_D ist ratsam, wenn die Mächtigkeit der Eingangsmenge des letzten Kriterienmatchings groß und die Priorität des Folgekriteriums hoch ist. Es sollen möglichst viele Kandidaten berücksichtigt werden, die das Kriterium c_j erfüllen. Trotzdem soll die Mächtigkeit der Eingangsmenge für das nächste (wichtige) Kriterium groß genug bleiben, um eine entsprechende Auswirkung auf das Ergebnis ausüben zu können (vergleiche Abbildung 6-3).

Zur Festlegung, wann eine Kriterienpriorität hoch ist und eine Inputmenge im Vergleich zur Outputmenge als groß gilt, wurden die Parameter *HPF* (High Priority Factor) und *BIF* (Big Input Factor) aufgestellt (siehe hierzu Abschnitt 6.5.2).

Für die Aufstellung der Entscheidungsheuristik wird zunächst auf die Berücksichtigung der Komplexität der Berechnung einzelner Kriterienausprägungen verzichtet, da die Komplexität lediglich einen Einfluss auf den Aufwand ausübt. Zunächst muss jedoch geprüft werden, ob die Heuristik grundsätzlich dazu in der Lage ist, stabil eine Ergebnismenge ($A_{O,Red}$) mit ausreichender Qualität zu ermitteln. Wird durch die Heuristik eine hohe Qualität gewährleistet, so ist es sinnvoll, die Komplexität der Kriterienwertberechnungen bei der Entscheidungsfindung einzubeziehen.



Angaben zur Notation befinden sich im Abkürzungsverzeichnis dieser Arbeit.

Abbildung 6-6: Fallbetrachtung zur Entscheidungsfindung

6.2.3. Vorzeitiger Rollback bereits eliminierter Kandidaten

Die bisher beschriebenen Entscheidungen bezüglich eines Rollbacks eliminierter Kandidaten und/oder eines Verfahrensabbruchs beziehen sich lediglich auf die Situation, dass die gewünschte Zielmenge n_{SC} bereits erreicht oder unterschritten wurde, bevor alle Kriterien verarbeitet wurden.

Der Rollback einiger Kandidaten kann jedoch bereits bevor n_{SC} erreicht wird sinnvoll sein, wenn durch einen Reduktionsschritt viele Kandidaten eliminiert werden, deren Potentiale bezüglich guter Gesamtwertigkeiten eigentlich hoch wären.

Je geringer der Anteil bereits verarbeiteter Kriteriengewichte ($\sum_{j=1}^k w_j$) bezogen auf die Gesamtheit aller Kriteriengewichte ($\sum_{j=1}^m w_j$) ist, desto höher ist das Potential jedes einzelnen Kandidaten, trotz temporär schlechter Wertigkeit eine gute Gesamtwertigkeit zu besitzen. Demnach erscheint es besonders im frühen Stadium als ratsam, einen Teil der eliminierten Kandidaten eines Reduktionsschrittes für die Durchführung des nächsten Reduktionsschrittes zurückzuholen.

In Bezug auf die Auswirkungen auf die Qualität sowie den Aufwand wurden für das Reduktionsverfahren folgende Methoden zur Rollbackentscheidung untersucht:

- **Version 1:** Es findet nur eine Aufstockung statt, wenn die Zielmenge n_{SC} erreicht oder unterschritten wird, obwohl noch Kriterien ausstehen oder gegebenenfalls wenn keine Kriterien mehr ausstehen, n_{SC} jedoch unterschritten wird.
- **Version 2:** Neben den in Version 1 definierten Aufstockungen findet ebenfalls eine Aufstockung statt, wenn die Zielmenge noch nicht erreicht wurde, die Summe der verarbeiteten Kriteriengewichte jedoch geringer als 50 % der Gesamtheit aller Kriteriengewichte beträgt.
- **Version 3:** Neben den in Version 1 definierten Aufstockungen findet ebenfalls eine Aufstockung statt, wenn durch den letzten Reduktionsschritt eine erhebliche Menge an Kandidaten eliminiert wurde. Ob die Menge an eliminierten Kandidaten als erheblich gilt, wird durch die *LDR* (Lower Deviation Rate) festgelegt (siehe auch Abschnitt 6.5.2). Eine Aufstockung findet statt, wenn die Outputmenge eines Reduktionschrittes kleiner oder gleich dem Produkt aus *LDR* und der Inputmenge ist ($A_0 \leq LDR \cdot A_1$).

Der Rollback von Kandidaten, bevor n_{SC} erreicht oder unterschritten wurde, wird im Folgenden auch als Entscheidung IR_E bezeichnet.

6.2.4. Vorzeitiger Abbruch der inkrementellen Reduktion auf Basis des Einzelkriterienvergleiches und der Entscheidungsheuristik IR A-E

Sofern die Stabilität der anhand der Heuristik erzielten Qualität gewährleistet ist, kann der Aufwand des Verfahrens durch einen frühzeitigen Abbruch des Verfahrens reduziert werden. Ein frühzeitiger

Abbruch ist jedoch nur ratsam, wenn bekannt ist, dass sich die Qualität der Outputmenge durch Weiterführung des Verfahrens in Bezug auf die zu erwartende Aufwandssteigerung nicht ausschlaggebend verbessern würde. Dies kann beispielsweise bei geringer Inputmenge für das Folgekriterium sowie geringem Filterpotential der Folgekriterien der Fall sein.

Aufgrund der Tatsache, dass sich die Kriterien sowie die Menge an Kandidaten und die Eigenschaften der Kandidaten je Fremddienstleistersuche ändern, ist es nicht möglich exakt zu bestimmen, wann im Reduktionsprozess die Schwelle für einen optimalen frühzeitigen Abbruch erreicht ist. Anhand der Ermittlung von Fortschrittskennzahlen während der Reduktionsdurchläufe sowie der Einbeziehung von Erfahrungswerten kann die Schwelle jedoch näherungsweise ermittelt werden. Die Ermittlung der Erfahrungswerte erfordert allerdings eine erhebliche Menge an Testläufen mit unterschiedlichen Parametrisierungen.

Während der Eignungsanalyse des Reduktionsverfahrens (siehe Abschnitt 6.6) hat sich herausgestellt, dass effizientere Verfahren als die in diesem Abschnitt vorgestellte Heuristik existieren, die außerdem wesentlich stabilere Resultate bezüglich der Qualität der Ergebnismenge liefern. Auf die Untersuchung des optimalen Zeitpunktes für einen frühzeitigen Abbruch der inkrementellen Reduktion wurde im Rahmen dieser Arbeit daher verzichtet.

6.2.5. Vermeidung von Bedeutungsverlusten der verwendeten Kriterien

Ein erhebliches Problem bei multikriteriellen Prozessen zur Entscheidungsfindung ist die Unwissenheit des Entscheidungsträgers über das Reduktionsumfeld, sprich über die Zusammensetzung der Kandidaten und deren Eigenschaften. Die Kriterien werden demnach in der Regel anhand von Erfahrungs- sowie Wunschwerten aufgestellt und parametrisiert. Dieser Umstand kann dazu führen, dass Kriterien so parametrisiert sind, dass diese keinerlei Auswirkung auf den Reduktionsprozess ausüben und somit trotz gegebenenfalls hoher Priorität vollständig an Bedeutung verlieren. Dieser Bedeutungsverlust kann in zweierlei Formen auftreten:

1. Durch das Kriterium werden alle Kandidaten eliminiert, wodurch ein vollständiger Rollback der Kriterienanwendung durchgeführt werden muss.
2. Durch das Kriterium werden keine Kandidaten eliminiert.

Der Bedeutungsverlust des Kriteriums kann zu einer erheblichen Verzerrung der Wahrnehmung von Wertigkeiten zwischen den Kandidaten führen. Dieser Effekt ist stärker, je höher die Priorität des jeweiligen Kriteriums ist. In die Untersuchung des Reduktionsverfahrens fließen zwei Methoden zur Vermeidung von Bedeutungsverlusten der Kriterien ein:

1. Berücksichtigung einer beliebigen Menge an Alternativwerten zu den Kriterien

Beispiel 6-1: Führt für das Kriterium *Entfernung* die Ausprägung $\leq 200 \text{ km}$ zu einem Bedeutungsverlust, so wird als Alternativwert *Entfernung* $\leq 300 \text{ km}$ verwendet.

2. Berücksichtigung des Grades der Kriterienerfüllung beim Rollback von Kandidaten

Der Bedeutungsverlust eines Kriteriums wird vermieden, indem nach Kriterienanwendung diejenigen Kandidaten zurückgeholt werden, die das Kriterium am besten erfüllt haben. Hierzu ist zu jedem Kriterium, neben der Kriterienausprägung beziehungsweise der Präferenzfunktion, die Aufstellung einer Optimierungsfunktion beziehungsweise Zielfunktion erforderlich.

Bezüglich der Berücksichtigung der Alternativwerte wurden während der Testphasen zur Eignungsanalyse des Einzelkriterienvergleiches mit der Entscheidungsheuristik *IR A-E* drei Varianten dieser Heuristik entwickelt:

- **Variante A:** Alternativwerte werden als einzelnes Kriterium verarbeitet
- **Variante B:** Alternativwerte werden beim Rollback berücksichtigt
- **Variante C:** Alternativwerte werden ignoriert

Die Berücksichtigung der Zielfunktion während des Rollbacks von Kandidaten ist Teil der Rollbackmethode, deren Prinzip und Varianten im Abschnitt 6.5.3 erläutert werden.

6.2.6. Zusammenstellung des Regelwerkes zur Heuristik *IR A-E*

Bisher wurden Thesen aufgestellt, anhand derer Annahmen bezüglich Einflüssen auf den Aufwand sowie die Qualität des Ergebnisses einer kriterienbasierten Reduktion getroffen werden können. Nun gilt es, diese Thesen in Form eines automatisiert ablaufenden Prozessmodells darzustellen.

In der Testphase I der in Abschnitt 6.6 vorgestellten Eignungsanalyse des Reduktionsverfahrens wurden unterschiedliche Varianten der Reduktion per Einzelkriterienvergleich aufgestellt (siehe Abschnitt 6.5). Deren Ergebnisse und Aufwände wurden anhand manuell aufgestellter, übersichtlicher Reduktionsszenarien ermittelt und untereinander sowie mit denen von Rastersuchen verglichen. Ergebnis dieser Testphase war die Konstruktion der Entscheidungsheuristik in Version 1.A. Während der anschließenden Testphasen (siehe Abschnitt 6.6) sind die Versionen 2 und 3 sowie die Varianten B und C entstanden.

Die Prozessmodelle der einzelnen Versionen und Varianten befinden sich im Anhang A6. Deren Entwicklungsprozess kann dem Abschnitt 6.6 entnommen werden. In Abschnitt 6.5 werden bereits

alle analysierten Verfahren, deren Notation sowie deren Parameter erläutert, um eine geeignete Basis für die in Abschnitt 6.6 vorgenommenen Erläuterungen zu schaffen.

6.3. Verfahrensauswahl einer Rastersuche für die Analyse von Reduktionsverfahren

Zur Analyse der Qualität und Effizienz von Reduktionsverfahren zur effizienten Lösung multikriterieller Entscheidungsprobleme, können deren Ergebnisse mit durch die in Abschnitt 5.2 vorgestellten Rankingverfahren durchgeführten Rastersuchen verglichen werden. Outrankingmethoden bieten gegenüber der Aggregationsmethode auf Basis eines synthetisierten Kriteriums einige Vorteile:

- Es werden wesentlich mehr Parameter ermittelt, anhand derer das Ranking näher spezifiziert und analysiert werden kann. Die Auswirkungen einzelner Parameter werden ersichtlich und erlauben beispielsweise eine Anpassung der Parametrisierung für Folgerankings. Bei der Aggregationsmethode wird die Gesamtheit an Kriterien hingegen zu einem Gesamtkriterium heruntergebrochen. Wertigkeiten von Kandidaten werden hierdurch anhand nur eines Wertes ausgedrückt und die Analysemöglichkeiten verlieren an Flexibilität.
- Von Outrankingverfahren verwendete Präferenzfunktionen sind besser einzuschätzen, da diese bezogen auf den Vergleich zweier Kandidaten aufgestellt werden. Dies erfordert eine geringere Kenntnis über das zu bewertende Szenario. Somit besteht eine geringere Gefahr, dass das Problem aufgrund eines Mangels an Hintergrundinformationen schwammig oder falsch modelliert wird. Es lassen sich demnach auch unsichere oder unscharfe Kriterienausprägungen in die Entscheidungsfindung einbeziehen [Gel99].

Beispiel 6-2: Bei dem Kauf eines Autos hat der Entscheidungsträger keine Ahnung, wie hoch die Kosten des gewünschten Fahrzeugmodells in der Regel sind. Für das Kriterium *Kosten* kann somit nur schwer eine zu erfüllende Ausprägung angegeben werden. Wird diese zu niedrig eingeschätzt, so erfüllen unter Umständen keine Kandidaten das Kriterium. Wird sie hingegen zu hoch eingeschätzt, so erfüllen unter Umständen alle Kandidaten das Kriterium. In beiden Fällen trägt das eigentlich wichtige Kriterium *Kosten* nur geringfügig zu einer Differenzierung der Autohändler bei. Es ist hingegen einfach, Werte für die Preisdifferenz zwischen den verschiedenen Autohändlern anzugeben, die vom Käufer hingenommen werden beziehungsweise zum Ausschluss von Anbietern führen.

Die in Abschnitt 5.2.1 vorgestellte Aggregationsmethode hat gegenüber *PROMETHEE* allerdings ebenfalls Vorteile:

- Zur Bestimmung der Rangfolge von Kandidaten müssen wesentlich weniger Präferenzwertberechnungen durchgeführt werden, da die Wertigkeiten der einzelnen Kandidaten nicht per Paarvergleiche sondern separat voneinander ermittelt werden.
- Alle Kriterien nutzen die gleichen, wenn auch unterschiedlich parametrisierten, Präferenzfunktionen.

Da innerhalb des BUW-Outsourcingnetzwerkes automatisch nach geeigneten Fremddienstleistern zur Auftragsfertigung gesucht werden soll, bietet sich die Wahl eines Verfahrens an, das ein komplettes Ranking ermöglicht. Ein komplettes Ranking erfordert allerdings das Eliminieren von Inkomparabilitäten, wodurch die Flexibilität, die *PROMETHEE* bezüglich der Werteanalyse, bietet ebenfalls reduziert wird.

Eine klare Entscheidung für eines der Verfahren kann an dieser Stelle nicht getroffen werden. Aufgrund der Notwendigkeit der automatischen Auswertbarkeit des Rankings kann der Methodeneinsatz jedoch auf die Aggregationsmethode und *PROMETHEE II* eingegrenzt werden. Welche Methode besser geeignet ist, soll anhand der in Abschnitt 6.6 erläuterten Analyse ermittelt werden.

6.4. Kennzahlenbestimmung zur Bewertung von Reduktionsverfahren für Rankingprozesse

Ein Reduktionsverfahren ist nur sinnvoll, wenn es zu einer nennenswerten Effizienzsteigerung gegenüber einer Rastersuche und zu einer angemessenen Qualität der Ergebnismenge führt.

Reduktionsverfahren sind daher in Bezug auf die Stabilität und Höhe der erzielten Qualität sowie in Bezug auf die Aufwandseinsparung gegenüber einer Rastersuche zu bewerten. Die Kennzahlen dienen neben dem direkten Vergleich zur Rastersuche ebenfalls dem Vergleich verschiedener Reduktionsverfahren untereinander.

6.4.1. Kennzahlen zur Effizienzanalyse

Im *Gabler Wirtschaftslexikon* wird die Effizienz allgemein als „Beurteilungskriterium [definiert], mit dem sich beschreiben lässt, ob eine Maßnahme geeignet ist, ein vorgegebenes Ziel in einer bestimmten Art und Weise (zum Beispiel unter Wahrung der Wirtschaftlichkeit) zu erreichen“ [Gab12].

Bezogen auf das BUW-Outsourcingnetzwerk wird die Effizienz eines Reduktionsverfahrens durch den zeitlichen Aufwand bestimmt, den das Verfahren benötigt, um die gewünschte Zielmenge an Fremddienstleistern inklusive der Rangbildung unter diesen zu ermitteln. Die Zusammensetzung der Zielmenge ist hierbei unbedeutend. Als Referenz dient der von der Rastersuche benötigte Aufwand.

Ein Verfahren ist umso effizienter, je geringer der zeitliche Aufwand ist, den es zur Verarbeitung der ihm gestellten Aufgabe benötigt.

Da die Rechenzeit allerdings von den genutzten Rechensystemen und deren Auslastung abhängt, ist die Differenz zwischen der Durchlaufzeit der Rastersuche und der Durchlaufzeit eines Rankings mit Verwendung einer Reduktion keine geeignete Kennzahl zur Effizienzbestimmung. Alternativ kann der Aufwand über die Menge und Art der durchgeführten Berechnungen bestimmt werden. Es gibt zwei charakteristische Arten von Berechnungen. Zum einen müssen die Kriterienausprägungen der Fremddienstleister ermittelt werden (folgend auch als Kriterienwertberechnungen bezeichnet). Zum anderen ist zu berechnen, wie diese Ausprägungen die Präferenzfunktionen der Kriterien erfüllen.

Einen hohen Einfluss auf den Rechenaufwand weist die Durchführung von Kriterienwertberechnungen auf, da diese beliebig komplex sein können (siehe hierzu das Beispiel 4-1). Als Kennzahl zur Effizienzbestimmung wird daher das Verhältnis der Menge an Berechnungen der Kriterienausprägungen während der Reduktion ($\sum f(a)_{Red}$) zu der Menge an Berechnungen während der Rastersuche ($\sum f(a)_{Grid}$) gesetzt. Die Effizienz ergibt sich aus der Differenz zwischen 1 und dem Quotienten zwischen den beiden Berechnungshäufigkeiten.

$$E_{Red} = E_{f(a)} = 1 - \frac{\sum f(a)_{Red}}{\sum f(a)_{Grid}}$$

Ein Wert von 1 bedeutet eine Berechnungseinsparung von 100 %. Ein negativer Wert bedeutet hingegen, dass der Reduktionsprozess mehr Berechnungen erfordert als die Rastersuche. In der Auswertung werden die Werte in Prozent angegeben.

Aufgrund einfacher Rechenoperationen kann davon ausgegangen werden, dass die Menge an Präferenzwertberechnungen keine erhebliche Anforderung an heutige Rechensysteme stellt. Eine Ausnahme stellen die Präferenzwertberechnungen der Outrankingmethoden dar. Da diese zwischen allen Kandidatenpaarungen vorgenommen werden, ist deren Anzahl je Kriterium im Quadrat höher als bei Verfahren, die die Präferenzbeziehungen je Kandidat separat ermitteln. Da sich die analysierten Outrankingmethoden im Laufe der Verfahrensanalyse (siehe Abschnitt 6.6) als für das BUW-Outsourcingnetzwerk ungeeignet herausgestellt haben, wurde die Effizienz hinsichtlich der Präferenzwertberechnungen ($E_{P(a)}$) lediglich während der ersten Testphase berücksichtigt.

$$E_{P(a)} = 1 - \frac{\sum P(a)_{Red}}{\sum P(a)_{Grid}}$$

6.4.2. Kennzahlen zur Bestimmung der Qualität beziehungsweise Effektivität

Das effizienteste Reduktionsverfahren nutzt nichts, wenn es nicht effektiv ist, dessen Ergebnis also keine zufriedenstellende Qualität aufweist. Für die Qualitäts- beziehungsweise

Effektivitätsbestimmung eines Reduktionsverfahrens, müssen die Qualitäten der von dem Verfahren ermittelten Ergebnismengen bezogen auf einen Set an Suchszenarien sowie die Homogenität der erzielten Qualitäten bezogen auf die Gesamtheit der Suchszenarien analysiert werden. Die Zusammensetzung der Szenarien, beispielsweise die Verteilung der Kandidatenwertigkeiten, ist dabei zu berücksichtigen. Während der Verfahrensanalyse (siehe Abschnitt 6.6) wurden die Kennzahlen zur Qualitätsbestimmung stetig angepasst. Nachfolgend werden der Prozess der Kennzahlentwicklung sowie die final zur Verfahrensbewertung verwendeten Kennzahlen beschrieben.

Precision und Recall

Wie bei dem BUW-Outsourcingnetzwerk findet bei *Information Retrieval Systemen* (beispielsweise Internetsuchmaschinen) eine automatisierte Filterung von Kandidatenmengen anhand von Suchanfragen statt. Als *Information Retrieval* wird die Suche nach Dokumenten verstanden. Ziel der Suche ist, möglichst alle zu einer Suchanfrage relevanten Dokumente zu finden, während die Menge ermittelter irrelevanter Dokumente möglichst gering sein soll.

Zur Bewertung des Ergebnisses haben sich im *Information Retrieval* die Kennzahlen *Precision* und *Recall* durchgesetzt. Für deren Bestimmung sind laut [Goe12, S. 330] folgende Werte von Bedeutung:

- Anzahl der gefundenen relevanten Kandidaten (a)
- Anzahl der gefundenen nicht relevanten Kandidaten (b)
- Anzahl der nicht gefundenen relevanten Kandidaten (c)
- Anzahl der nicht gefundenen nicht relevanten Kandidaten (d)

Die *Precision* (Präzision, Relevanzrate) ist die Genauigkeit, mit dem der Suchmechanismus relevante und nicht relevante Kandidaten trennt. Diese Kennzahl gibt den Anteil relevanter Kandidaten des Suchergebnisses an und wird wie folgt berechnet [Goe12, S. 330]:

$$prec = \frac{a}{a + b}; \{prec \in \mathbb{R} | 0 \leq prec \leq 1\}$$

Der *Recall* (Rückruf- oder Vollständigkeitsrate) gibt Aufschluss über die Vollständigkeit der relevanten Kandidaten. Diese Kennzahl gibt den Anteil gefundener relevanter Kandidaten in Relation zu allen relevanten Kandidaten an und wird wie folgt berechnet [Goe12, S. 330]:

$$rec = \frac{a}{a + c}; \{rec \in \mathbb{R} | 0 \leq r \leq 1\}$$

Im *Information Retrieval* ist die Kombination beider Kennzahlen von Bedeutung. Eine Trefferquote relevanter Ergebnisse von 100 % ($rec = 1$) ist relativ unbedeutend, sofern die Menge an irrelevanten Kandidaten ebenfalls hoch und die *prec* somit gering ist [Goe12, S. 330 f.].

Im Falle des BUW-Outsourcingnetzwerkes wird die Mächtigkeit der Ergebnismenge hingegen durch die Zielmächtigkeit n_{SC} eingegrenzt. Dem *rec* kommt daher nur eine geringe Bedeutung zu. Hinzu kommt, dass in den meisten Fällen die Menge an relevanten Kandidaten größer als n_{SC} ist. Zur Effektivitätsbestimmung der Reduktionsverfahren wird daher lediglich auf die Precision zurückgegriffen.

Ermittlung der Relevanzmenge

Voraussetzung zur Berechnung der Precision der Outputmenge ($A_{O,IR}$) ist die Kenntnis über die Relevanzmenge (A_{Rel}) der übergeordneten Gesamtmenge an Kandidaten ($A_{I,IR}$). A_{Rel} beinhaltet die Kandidaten, die hinsichtlich des Kriteriensets als geeignet gelten.

Bei der Dokumentsuche ist die Menge an relevanten Kandidaten in der Regel unbekannt und kann nur anhand von Stichproben geschätzt werden. Ein Grund ist, dass die Eignung der Dokumente häufig von subjektiven Komponenten (zum Beispiel dem Wissensstand des Suchenden) beeinflusst wird. Des Weiteren liegt die Mächtigkeit der Kandidatenmenge häufig im millionenstelligen Bereich [vgl. auch Gau05, S. 224 f.].

Bei den zur Analyse der Reduktionsverfahren verwendeten Testszenarien handelt es sich hingegen um eine Sammlungen diskreter Datenbestände, die rein objektiv ausgewertet werden können. Die Kandidaten lassen sich anhand klar definierter Suchkriterien als relevant oder nicht relevant einstufen. Bestehende Verfahren zur geeigneten Ermittlung der Relevanzmenge konnten anhand einer Recherche nicht ermittelt werden. Im Rahmen der Forschungsarbeit wurde daher eine neue Methode entwickelt.

Es liegt zunächst nahe, dass das durch eine Rastersuche bestimmbare, globale Optimum (siehe Abschnitt 6.2) als Relevanzmenge betrachtet werden kann. Voraussetzung hierfür ist, dass die Rastersuche und das an die inkrementelle Reduktion anschließende Ranking die gleichen Methoden zur Wertigkeitsberechnung verwenden. Wertigkeiten der Aggregationsmethode sind beispielsweise nicht mit denen von *PROMETHEE II* vergleichbar. Das globale Optimum der Rastersuche wird folgend auch als Referenzmenge (A_{Ref}) bezeichnet.

Bei näherer Betrachtung wird ersichtlich, dass die Referenzmenge nicht mit der Relevanzmenge gleichzusetzen ist:

- Da die Referenzmenge die optimale erreichbare Zielmenge repräsentiert, ist deren Mächtigkeit gleich n_{SC} . Kandidaten gleicher Wertigkeit können somit teilweise innerhalb und teilweise außerhalb der Referenz liegen. Trotz gleicher Wertigkeit würden Kandidaten zum Teil als relevant und zum Teil als irrelevant gelten.

- Bei Verwendung der Relevanzmenge wird nicht berücksichtigt, dass die Gesamtmenge an Kandidaten unter Umständen weniger relevante Kandidaten beinhaltet als durch die Suche angefordert werden. Die Referenzmenge beinhaltet aufgrund der Mächtigkeit n_{SC} somit gegebenenfalls irrelevante Kandidaten.

Grafisch können die Zusammenhänge zwischen den Mengen wie in Abbildung 6-7 dargestellt abgebildet werden. In der Regel ist die Referenzmenge, wie in Abbildung 6-7 (a) dargestellt, eine Untermenge der Relevanzmenge. Es kann allerdings vorkommen, dass weniger relevante Kandidaten existieren, als von der Suchanfrage ermittelt werden sollen. In diesem Fall ist die Relevanzmenge eine Untermenge der Referenzmenge (siehe Abbildung 6-7 (b)).

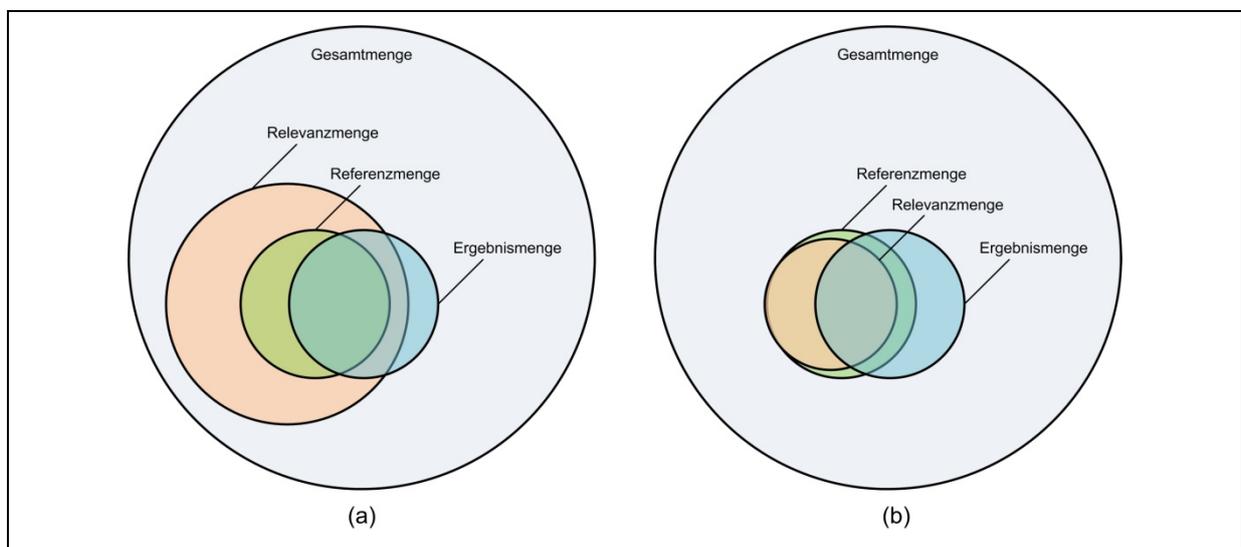


Abbildung 6-7: Mengenbeziehungen im Reduktionsprozess

Auch wenn die Referenzmenge nicht mit der Relevanzmenge gleichzusetzen ist, so ist sie dennoch die Voraussetzung zur Ermittlung einer geeigneten Relevanzmenge. Wichtige Rahmenbedingungen zur Ermittlung der Relevanzmenge sind:

- Gleiche zugrunde liegende Wertigkeitsberechnung für das Ranking nach der Reduktion und die Ermittlung der Referenzmenge
- Bekannte Mächtigkeit der Zielmenge (n_{SC})
- Bekannte Referenzmenge und deren Wertigkeiten

Im Anhang A9 sind die einzelnen Entwicklungsphasen aufgeführt, die zur Aufstellung der Methodik zur Relevanzmengenbestimmung geführt haben. Folgend wird die finale Methode vorgestellt.

Die Relevanzmenge wird bezogen auf die Referenzmenge ermittelt. Wie die Wertigkeitsverteilung der Kandidaten in der Gesamtmenge ist, beeinflusst die Ermittlung der Relevanzmenge daher nicht. Als Maß zum Aufspannen der Relevanzmenge dient die mittlere lineare Abweichung (MLD) zum

Schwerpunkt (\bar{x}) der Referenzmenge, und zwar der Wertigkeiten (x_i) derjenigen Kandidaten von der Referenzmenge, die eine geringere Wertung als der Schwerpunkt besitzen.

$$MLD_{\bar{x}Left} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i); \{x_i \in A_{Ref} | x_i < \bar{x}\}$$

Die Relevanzmenge wird nach unten durch den Wert begrenzt, der sich aus $\bar{x} - 2 \cdot MLD_{\bar{x}Left}$ ergibt. Nach oben ergibt sich die Begrenzung durch den besten Wert der Referenzmenge (x_{Best}), der ebenfalls den besten Wert der Gesamtmenge darstellt.

$$Relevanzmenge: A_{Rel} = \{x \in \mathbb{R} | (\bar{x} - 2 \cdot MLD_{\bar{x}Left}) \leq x \leq x_{Best}\}$$

Für die Definition der unteren Mengenbegrenzung wird $MLD_{\bar{x}Left}$ mit dem Faktor 2 einbezogen. Die Abbildung 6-8 verdeutlicht, dass die Relevanzmenge bei einem Faktor von 1 fast immer kleiner als die Referenzmenge wäre. Eine Ausnahme bestünde, wenn alle Elemente der Referenzmenge, die eine geringere Wertigkeit als \bar{x} aufweisen, von gleicher Wertigkeit wären. Ein Faktor von 3 wäre zu hoch gewählt, da in diesem Fall Ausreißer im geringen Wertebereich der Referenzmenge nur in Extremfällen als solche erkannt würden. Bei Anwendung des Faktors 2 werden Ausreißer hingegen in einem angemessenen Rahmen erkannt.

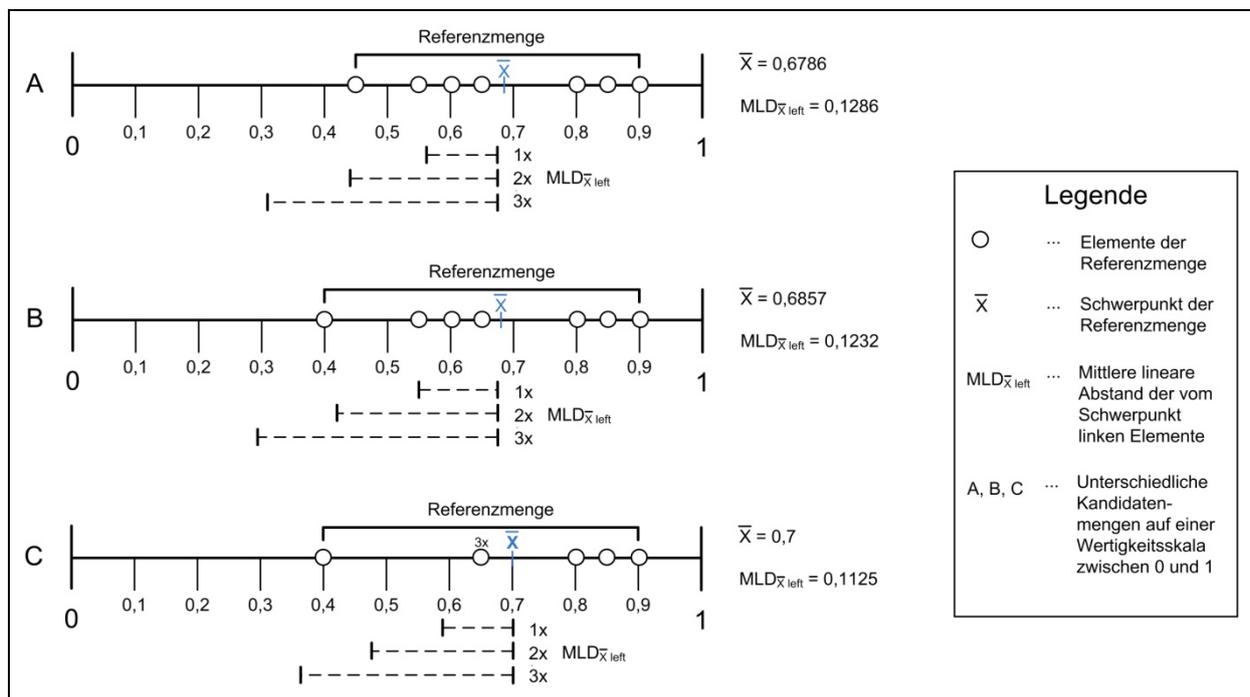


Abbildung 6-8: Auswirkung unterschiedlicher Faktorisierung von $MLD_{\bar{x}Left}$

Ergänzung der Qualitätsbestimmung durch den Wertigkeitsindex

Das Ziel der Reduktion soll sein, möglichst alle Kandidaten der Referenzmenge zu finden. Ist dies nicht der Fall, sollen die gefundenen Kandidaten, die nicht zur Referenzmenge gehören, zumindest gute Kandidaten sein.

Die Precision bezogen auf die Relevanzmenge stellt eine einfach zu ermittelnde Kennzahl dar, um Aussagen über die Qualität der Ergebnismenge eines Such- beziehungsweise Reduktionsverfahrens treffen zu können. Allerdings werden die Wertigkeiten der in der Ergebnismenge enthaltenen Kandidaten nicht berücksichtigt. Ergebnismengen können sich aufgrund der Wertigkeiten ihrer Kandidaten jedoch erheblich voneinander unterscheiden, obwohl sie die gleiche Precision besitzen. Während der Analysephasen (siehe Abschnitt 6.6) wurde daher der Wertigkeitsindex (V) als weitere Kennzahl entwickelt. Dieser ermöglicht eine differenziertere Qualitätsbetrachtung, da er die Wertigkeiten der Kandidaten berücksichtigt. Folgende Bedingungen müssen durch den Wertigkeitsindex berücksichtigt werden:

1. Die Mengenposition auf der Werteskala soll keine Auswirkung auf den Wertigkeitsindex haben (siehe Abbildung 6-9).

Sind bezogen auf den Anforderungskatalog nur minderwertige Kandidaten in der Gesamtmenge enthalten, so sollen trotzdem diejenigen Kandidaten ermittelt werden, die die Anforderungen am besten erfüllen. Es bietet sich demnach an, die Wertigkeit der Ergebnismenge in Bezug zur Referenzmenge zu bestimmen, da die Referenzmenge das bestmöglich erzielbare Ergebnis repräsentiert.

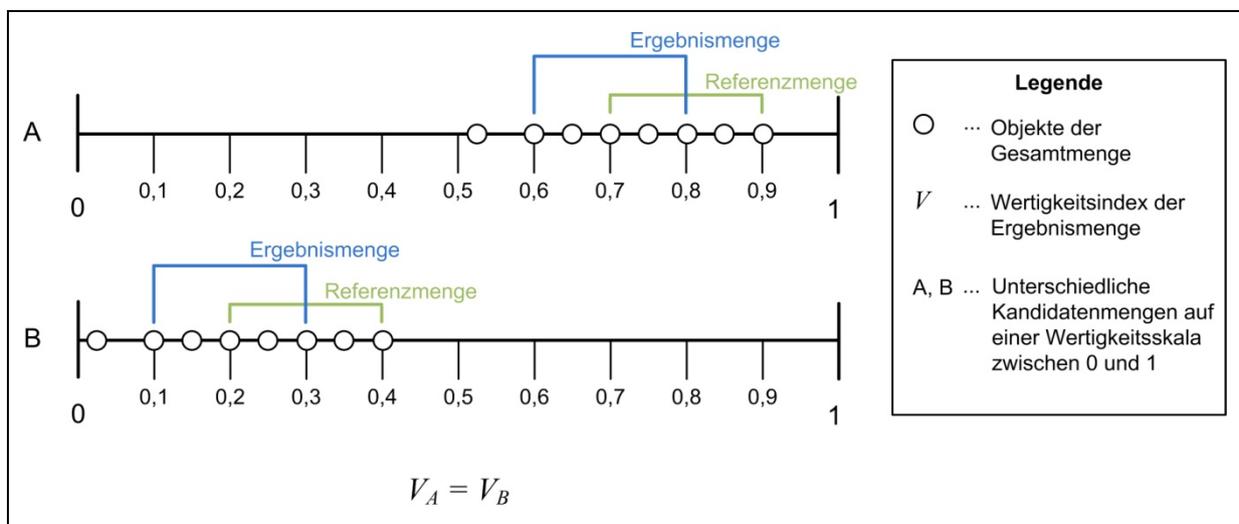


Abbildung 6-9: Wertigkeitsindex bei Mengenverschiebung auf der Werteskala

2. Innerhalb der Ergebnismenge soll die Verteilung der Wertigkeiten berücksichtigt werden (siehe Abbildung 6-10).

Hierzu bietet sich die Verwendung der mittleren quadratischen Abweichung (MSD) an, mittels der große Abstände stärker in die Bewertung einfließen als kleine.

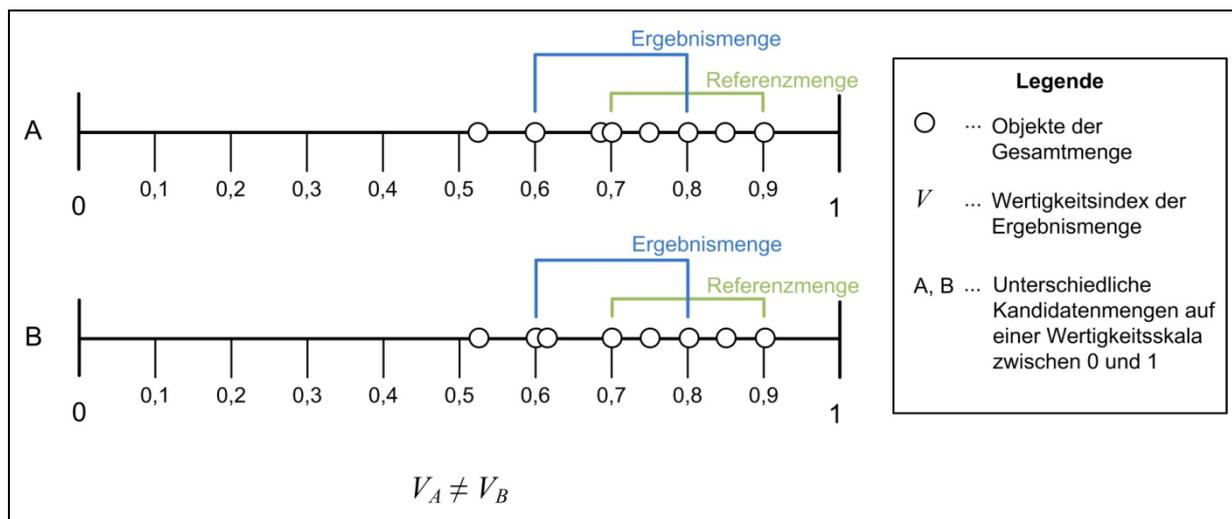


Abbildung 6-10: Wertigkeitsindex bei unterschiedlicher Werteverteilung innerhalb der Ergebnismengen

Als Skalenbereich für die Wertigkeit der Kandidaten wird ein Bereich von 0 bis 1 gewählt, wobei ein Wert von 0 bedeutet, dass der Kandidat die Anforderungen zu 0 % erfüllt, ein Wert von 1 hingegen, dass die Anforderungen zu 100 % erfüllt werden.

Suchszenarien können sich bezüglich der Kandidaten, der Kriterien sowie der Kriterienprioritäten unterscheiden. Unterschiedliche Suchszenarien ergeben daher in der Regel auch unterschiedliche Wertigkeitsverteilungen. Um die Homogenität der durch ein Such- beziehungsweise Reduktionsverfahren erzielten Ergebnismenge zu bewerten ist es daher notwendig, die einzelnen Ergebnismengen in Bezug auf die Referenzmenge des jeweiligen Szenarios zu bewerten.

Der Wertigkeitsindex von $A_{O,Red}$ ist daher auf Basis der Differenzen der Kandidatenwertigkeiten dieser Menge zu x_{Best} zu bewerten. Um die Verteilung der Wertigkeiten zu berücksichtigen sind die Abweichungen quadriert einzubeziehen. Da A_{Ref} in der Regel nicht nur aus gleichwertigen Kandidaten besteht, sind die mittleren quadratischen Abweichungen derer Kandidatenwertigkeiten zu x_{Best} ebenfalls zu berücksichtigen. Der Wertigkeitsindex ergibt sich aus dem Verhältnis der Abweichungen beider Mengen:

$$V = \frac{1 - \sqrt{MSD_{Best,A_{O,Red}}}}{1 - \sqrt{MSD_{Best,A_{Ref}}}}$$

$MSD_{Best,A}$ ist die mittlere quadratische Abweichung der Kandidaten der Menge A zum besten Kandidaten der Referenz. Diese wird wie folgt berechnet:

$$MSD_{Best,A} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_{Best} - x_i)^2$$

Enthält eine Ergebnismenge der Reduktion die gleichen Wertigkeiten wie die Referenzmenge, so stellt diese bezogen auf das Suchszenario ein optimal erreichbares Ergebnis dar und erhält somit einen Wertigkeitsindex von 1 (100 %).

Um Aussagen darüber treffen zu können, wie gut die Kandidaten den Satz an Suchkriterien erfüllen, könnte anstelle von x_{Best} , eine hundertprozentige Erfüllung des Anforderungskataloges in die Bildung der $MSD_{Best,A}$ einbezogen werden. Für eine Aussage bezüglich der Verfahrensqualität reicht der Vergleich zur Referenz aus, da ein besseres Ergebnis ohnehin nicht erzielt werden kann. Ein Vorteil der Berücksichtigung von x_{Best} anstelle des Optimums ist, dass bei dieser Methode eine Normierung der Wertskala unabhängig der Kenntnis über die Werteskala des zugrundeliegenden Rankingverfahrens möglich ist. Ist der Wertebereich des angewendeten Verfahrens unbekannt, so können der beste Wert der Referenz als Maximum (1) und der schlechteste Wert aller Ergebnismengen als Minimum (0) verwendet werden.

Soll das Optimum hingegen in den Wertigkeitsindex einfließen, so ist zu erwähnen, dass dies nur für Verfahren möglich ist, deren Wertebereich bekannt ist und deren Optimum nicht variiert. Bei Verwendung der Aggregationsmethode hat das Optimum beispielsweise den Wert 1. Bei *PROMETHEE II* werden hingegen die Wertigkeiten der Kandidaten durch die der anderen Kandidaten beeinflusst, wodurch ein Optimum nicht klar definierbar ist.

Anwendung der Precision und des Wertigkeitsindizes

Für die Verfahrensanalyse werden zur Qualitätsbestimmung zwei Kennzahlen herangezogen: Die Precision bezogen auf die Relevanzmenge ($prec_{A_{Rel}}$) sowie der Wertigkeitsindex (V). Die Precision stellt lediglich einen Kontrollwert dar, anhand dessen eine hohe beziehungsweise schlechte Qualität der Ergebnismenge nur angenommen werden kann. In Kombination mit dem Wertigkeitsindex ermöglicht die Precision eine Aussage über die Spannweite der Relevanzmenge. Ist die Precision gering und der Wertigkeitsindex hoch, so kann von einer geringen Spannweite der Referenzmenge ausgegangen werden. Ist die Precision groß und der Wertigkeitsindex gering, so ist von einer großen Spannweite der Referenzmenge auszugehen.

Der Wertigkeitsindex liefert ein geeignetes Mittel, um die Qualität einer Ergebnismenge zu bestimmen. Die Wertigkeit wird dabei in Bezug auf das bestmöglich zu erreichende Ergebnis ermittelt und stellt eine normierte Kennzahl dar. Somit kann mittels des Wertigkeitsindizes neben der Qualität einzelner Ergebnismengen auch die Qualität der Verfahren in Hinblick auf Homogenität, durch den Vergleich von Ergebnismengen variierender Suchszenarien, analysiert werden.

6.5. Notation der Reduktionsverfahren

Um die Konstruktion der Verfahren zur inkrementellen Reduktion sowie deren Vergleich (siehe Abschnitt 6.6) nachvollziehen zu können, ist zunächst eine Erläuterung der verwendeten Notation erforderlich. Jedes Reduktionsverfahren, das bei der Analyse berücksichtigt wurde, lässt sich mittels drei Bausteinen beschreiben:

- **Reduktionsprinzip**
- **Auffüll- oder Rollbackentscheidung**
- **Auffüll- oder Rollbackmethode**

Mit Berücksichtigung der zugehörigen Parameter ergibt sich folgende Notation:

Reduktionsprinzip (Parameter) – Auffüllentscheidung (Parameter) – Auffüllmethode (Parameter)

Mittels der Verwendung einer Wildcard (*) können Elemente der Notation als beliebig zu besetzen gekennzeichnet werden. Per geschweifte Klammern kann eine Auswahl von Elementen angegeben werden. Der Ausdruck {PROMETHEE II, Aggregation} bedeutet beispielsweise, dass sich auf diesen Ausdruck bezogene Aussagen auf die Verwendung von *PROMETHEE II* sowie der Aggregation beziehen. Die Wildcard sowie die geschweiften Klammern können sowohl auf die Bausteine der Notation als auch auf einzelne Parameter angewendet werden.

6.5.1. Reduktionsprinzipien

Das Reduktionsprinzip legt fest, wodurch entschieden wird, dass ein Kandidat eliminiert wird. Folgend werden die Reduktionsprinzipien erläutert, die während der Eignungsanalyse des Reduktionsverfahrens mit der Entscheidungsheuristik *IR A-E* (siehe Abschnitt 6.2) verglichen wurden:

Single Criterion

Bei dem Reduktionsprinzip *Single Criterion* handelt es sich um die Reduktion per Einzelkriterienvergleich. Die Kriterien werden schrittweise und mit fallender Priorität auf die Kandidaten angewendet. Besitzen zwei Kriterien die gleiche Priorität, so findet deren Anwendung in zufälliger Reihenfolge statt. Bezüglich jedes Kriteriums wird geprüft, ob dieses erfüllt oder nicht erfüllt wird. Über die Parametrisierung des Verfahrens kann bestimmt werden, ab wie vielen nicht erfüllten Kriterien ein Kandidat eliminiert wird.

Abkürzung:	SC(Wert des ANF)
Reduktionsparameter:	ANF (Allowed Non-Fulfillments) $\{x \in \mathbb{N} \mid x \geq 0\}$: Dieser Parameter gibt an, wie häufig die Nicht-Erfüllung eines Kriteriums von den jeweiligen Kandidaten akzeptabel ist. Kandidaten werden eliminiert, wenn sie mehr als ANF Kriterien nicht erfüllen.
Kriterienparameter:	Um die Erfüllung von Kriterien bestimmen zu können, müssen für jedes Kriterium eine Zielfunktion ($g(c)$) und ein Schrankenwert (t) angegeben sein.
<p>Beispiel 6-3: Kriterium <i>Konkurrenzprodukte</i>; $g(c) = \min$; $t = 2$.</p> <p>Diese Parametrisierung besagt, dass ein Kandidat das Kriterium nur erfüllt, wenn er gegenüber dem outsourcenden Betrieb maximal zwei Konkurrenzprodukte in seinem Portfolio besitzt.</p>	

PROMETHEE II [Pot.]

Bei der Potentialanalyse per *PROMETHEE II (PROMETHEE II [Pot.]*) werden die Kriterien schrittweise mit fallender Priorität auf die Kandidaten angewendet. Nach jeder Kriterienanwendung wird anhand von *PROMETHEE II* (siehe Abschnitt 5.2) berechnet, welche Gesamtwertigkeit die einzelnen Kandidaten bis zu diesem Kriterium besitzen und welche Kandidaten temporär die Zielmenge der Mächtigkeit n_{SC} am besten ausfüllen (lokales Optimum). Kandidaten, die schlechter als die Kandidaten des lokalen Optimums sind, und nicht mehr über das Potential verfügen, zum globalen Optimum zu gehören, werden eliminiert.

Beispiel 6-4: Das lokale Optimum beinhaltet Kandidaten mit einer Wertigkeit zwischen 0,75 und 0,78. Des Weiteren besitzen die noch ausstehenden Kriterien ein Gesamtgewicht von 0,2. Alle Kandidaten, die eine temporäre Wertigkeit unter 0,55 besitzen, können demnach keine genügend hohe Gesamtwertigkeit erlangen, um Teil des globalen Optimums zu sein, das mit der temporär bestehenden Kandidatenmenge erzielt werden kann. Kandidaten mit einer temporären Wertigkeit unter 0,55 werden demnach durch das Reduktionsprinzip eliminiert.

Abkürzung:	PII [Pot.]
Reduktionsparameter:	Es gibt für das Reduktionsprinzip keine Parameter, die sich auf alle Kriterien auswirken.
Kriterienparameter:	Für jedes Kriterium müssen eine Zielfunktion ($g(c)$), eine Präferenzfunktion ($P(a, b)$) sowie zur Lösung der Präferenzfunktion benötigte Schrankenwerte angegeben sein, damit berechnet werden kann, inwiefern die Kandidaten dieses Kriterium.

Aggregation [Pot.]

Bei der Potentialanalyse per Aggregation (*Aggregation [Pot.]*) werden die Kriterien schrittweise mit fallender Priorität auf die Kandidaten angewendet. Nach jeder Kriterienanwendung wird anhand der Aggregationsmethode (siehe Abschnitt 5.2) berechnet, welche temporären Wertigkeiten die Kandidaten bis zu diesem Kriterium besitzen und welche Kandidaten anhand dieser Wertigkeiten die Zielmenge am besten ausfüllen (lokales Optimum). Kandidaten, die schlechter als die Kandidaten des lokalen Optimums sind, und nicht über ausreichend Potential verfügen, um zum globalen Optimum gehören zu können, werden eliminiert.

Abkürzung:	Agg [Pot.]
Reduktionsparameter:	Es gibt für das Reduktionsprinzip keine Parameter, die sich auf alle Kriterien auswirken.
Kriterienparameter:	Für jedes Kriterium müssen eine Zielfunktion ($g(c)$) und zwei Schrankenwerte angegeben sein, damit berechnet werden kann, inwiefern die Kandidaten dieses Kriterium erfüllen.

Aggregation [FI]

Wird die Differenz zwischen $|A_{I,Red}|$ und n_{SC} durch die Anzahl zu prüfender Kriterien geteilt und das Ergebnis auf eine ganze Zahl abgerundet, so ergibt sich die durchschnittliche Anzahl Kandidaten, die schrittweise durch das inkrementelle Reduktionsverfahren eliminiert werden muss (= fixes Intervall).

Bei dem Reduktionsprinzip *Aggregation [FI]* werden die Kriterien schrittweise mit fallender Priorität auf die Kandidaten angewendet. Nach jeder Kriterienanwendung wird anhand der Aggregationsmethode berechnet, welche temporären Wertigkeiten die Kandidaten bis zu diesem Kriterium besitzen. Entsprechend des fixen Intervalls werden je Kriterium diejenigen Kandidaten eliminiert, die die schlechteste temporäre Wertigkeit aufweisen.

Abkürzung:	Agg [FI]
Reduktionsparameter:	Es gibt für das Reduktionsprinzip keine Parameter, die sich auf alle Kriterien auswirken.
Kriterienparameter:	Für jedes Kriterium müssen eine Zielfunktion ($g(c)$) und zwei Schrankenwerte angegeben sein, damit berechnet werden kann, inwiefern die Kandidaten dieses Kriterium erfüllen.

Aggregation [FI and Pot.]

Das Verfahren *Aggregation [FI and Pot.]* kombiniert die Methoden *Aggregation [FI]* und *Aggregation [Pot.]*. Bei dieser Methode wird je Reduktionsschritt der inkrementellen Reduktion diejenige verwendet, die die meisten Kandidaten eliminiert. Führt die Potentialanalyse zur Reduktion, muss das Intervall neu berechnet werden.

Beispiel 6-5: Angenommen es existieren noch 100 Kandidaten, die mittels 5 Kriterien auf 10 Kandidaten reduziert werden sollen. Das fixe Intervall je Kriterium würde somit $(100 - 10)/5 = 18$ betragen. Nach Anwendung des ersten Kriteriums ergäbe sich also eine Ergebnismenge mit einer Mächtigkeit von 82 Kandidaten. Angenommen durch das zweite Kriterium würden aufgrund der Potentialanalyse 21 Kandidaten eliminiert werden, so ergäbe sich für die letzten drei Kriterien ein fixes Intervall von $(61-10)/3 = 17$ Kandidaten.

Abkürzung:	Agg [FI + Pot.]
Reduktionsparameter:	Es gibt für das Reduktionsprinzip keine Parameter, die sich auf alle Kriterien auswirken.
Kriterienparameter:	Für jedes Kriterium müssen eine Zielfunktion ($g(c)$) und zwei Schrankenwerte angegeben sein, damit berechnet werden kann, inwiefern die Kandidaten dieses Kriterium erfüllen.

Random

Bei *Random* handelt es sich um eine Zufallsreduktion. Bei dieser Methode wird die zu reduzierende Menge an Kandidaten ($|A_{I,Red}| - n_{SC}$) in festgelegten Prozentschritten zufällig eliminiert, ohne eine Kriterienprüfung durchzuführen.

Abkürzung:	RDM(Wert des RI)
Reduktionsparameter:	RI (Reduction Interval) $\{x \in \mathbb{R} \mid 0 \geq x \leq 1\}$: Dieser Parameter gibt an, wie viel Prozent der gesamt zu reduzierenden Kandidaten schrittweise zufällig eliminiert werden sollen.
Kriterienparameter:	Für die Reduktion müssen die Kriterien nicht parametrisiert werden.

Mithilfe der Zufallsreduktion kann analysiert werden, wie viele Kandidaten ohne Kriterienprüfung eliminiert werden können, ohne die Qualität von $A_{O,Red}$ erheblich einzuschränken. Voraussetzung hierfür ist eine aussagekräftige Menge an Testdurchläufen sowie die Verwendung repräsentativer Reduktionsszenarien.

Nicht geprüfte Reduktionsprinzipien

Während der in Abschnitt 6.6 vorgestellten Testreihen hat sich herausgestellt, dass *PROMETHEE II* bezogen auf das BUW-Outsourcingnetzwerk zu viele Nachteile gegenüber der Aggregationsmethode aufweist. Demnach wurde auf die Analyse einer Reduktion mit fixem Intervall per *PROMETHEE II* sowie deren Kombination mit der Potentialanalyse verzichtet.

6.5.2. Rollbackentscheidungen

Durch die Auffüllentscheidung wird bestimmt, wann bereits eliminierte Kandidaten wieder zurückgeholt werden (Rollback), und so die Menge potentiell geeigneter Kandidaten wieder angereichert wird. In diesem Abschnitt werden die zur Verfahrensanalyse verwendeten Rollbackentscheidungen aufgeführt. Im Vorhinein ist zu erwähnen, dass die meisten Rollbackentscheidungen sowie Rollbackmethoden lediglich für das Reduktionsprinzip des Einzelkriterienvergleiches (*Single Criterion*) konzipiert wurden. Die anderen Reduktionsprinzipien führen keinen Rollback durch und verwenden daher die Rollbackentscheidung *None*.

None

Bei Verwendung dieser Rollbackentscheidung *None* wird in keinem Fall ein Rollback durchgeführt.

Abkürzung:	N
Parameter:	Für diese Rollbackentscheidung existieren keine Parameter.

Lower Deviation

Bei Verwendung der Rollbackentscheidung *Lower Deviation* wird die Rollbackmethode aufgerufen, wenn die Zielmenge n_{SC} erreicht beziehungsweise unterschritten wird.

Abkürzung: LD

Parameter: Für diese Rollbackentscheidung existieren keine Parameter.

Always

Die Rollbackentscheidung *Always* führt nach jedem Reduktionsschritt die Rollbackmethode aus. Reicht der Rollback nicht aus, um n_{SC} zu erreichen, so wird $|A_0|$ auf n_{SC} aufgestockt und das Reduktionsverfahren abgebrochen.

Abkürzung: AW(Wert des ANF)

Parameter: **ARR (Always Rollback Rate)** $\{x \in \mathbb{R} \mid 0 \geq x \leq 1\}$: Dieser Parameter gibt an, wie viel Prozent der eliminierten Kandidaten zurückgeholt werden sollen.

Entscheidungsheuristik IR A-E

Bei der Entscheidungsheuristik *IR A-E* handelt es sich um eine Heuristik, die die in Abschnitt 6.2 beschriebenen Annahmen als Regelwerk aufgreift und in Kombination mit dem Reduktionsprinzip *Single Criterion* angewendet wird. In Abschnitt 6.6 werden die Analyse der Verfahrenseignung sowie die Entwicklung der Verfahrensversionen (siehe auch Abschnitt 6.2) beschrieben.

Abkürzung: IR A-E Version (Wert des BIF|Wert des HPF|Wert der LDR)

Für die Versionen 1 und 2 kann der LDR-Wert weggelassen werden.

Beispiele: IR A-E 1.A (1|0,5), IR A-E 3.B (1|0,5|0,25)

Parameter: **BIF (Big Input Factor)** $\{x \in \mathbb{R} \mid x \geq 1\}$: Der *BIF* kommt zum Einsatz, wenn n_{SC} erreicht oder unterschritten wird, bevor alle Kriterien verarbeitet wurden. Mit diesem Parameter wird angegeben, wann die Inputmenge des letzten Reduktionsschrittes im Vergleich zu n_{SC} als groß, die stattgefundene Reduktion also als bedeutend eingestuft wird. Ist dies der Fall, kommt es gegebenenfalls zu einem Rollback (siehe Anhang A6). Die Inputmenge ist als groß einzustufen, wenn sie größer oder gleich dem Produkt aus dem *BIF* und n_{SC} ist ($A_{I,c_j} \geq BIF \cdot n_{SC}$).

HPF (High Priority Factor) $\{x \in \mathbb{R} \mid 0 \leq x \leq 1\}$: Mit dem *HPF* wird angegeben, wann ein Kriterium als hoch priorisiert gilt. Ein Kriterium ist hoch priorisiert, wenn dessen Priorität mindestens so hoch wie das Produkt aus dem *HPF* und der Priorität des Kriteriums mit höchster Priorität ist.

LDR (Lower Deviation Rate) $\{x \in \mathbb{R} \mid 0 \leq x \leq 1\}$: Der Parameter *LDR* dient zur dynamischen Ermittlung einer Rollback-Notwendigkeit, sofern die n_{SC} nicht bereits erreicht oder unterschritten ist. Ein Rollback nach Regel IR_E (siehe Anhang A6) wird durchgeführt, wenn die Outputmenge eines Reduktionsschrittes kleiner als das Produkt der Inputmenge dieses Reduktionsschrittes und der *LDR* ist ($|A_{O,c_j}| < |A_{I,c_j}| \cdot LDR$). Dieser Parameter wird nur für die Varianten 3.A, 3.B und 3.C benötigt.

6.5.3. Rollbackmethoden

Die Rollbackmethode gibt an, wie bereits eliminierte Kandidaten zurückgeholt werden. Sie wirkt sich lediglich auf die Menge an Kandidaten aus, die während des letzten Reduktionsschrittes eliminiert wurden. Folgende Rollbackmethoden wurden bei der in Abschnitt 6.6 beschriebenen Analyse angewendet:

None

Bei Verwendung der Rollbackmethode *None* wird kein Rollback durchgeführt.

Abkürzung: N

Parameter: Für diese Rollbackmethode existieren keine Parameter.

Last Criterion

Bei Verwendung der Methode *Last Criterion* werden die Kandidaten zurückgeholt, die das zuletzt angewendete Kriterium am besten erfüllt haben. Sind dies mehr, als zur Aufstockung erforderlich sind, so werden von den schlechtesten Kandidaten per Zufall so viele entfernt, bis die richtige Rollbackmenge erreicht ist.

Abkürzung: LC

Parameter: Für jedes Kriterium müssen eine Zielfunktion ($g(c)$) und ein Schrankenwert (t) angegeben sein, damit berechnet werden kann, inwiefern die Kandidaten dieses Kriterium erfüllen.

Bottom-Up

Es werden die Kandidaten zurückgeholt, die das zuletzt angewendete Kriterium am besten erfüllt haben. Sind dies mehr, als zur Aufstockung erforderlich sind, so wird die Erfüllung des Vorgängerkriteriums analysiert und so weiter. Sind im Anschluss weiterhin zu viele Kandidaten vorhanden, so werden von den schlechtesten Kandidaten per Zufall so viele entfernt, bis die richtige Rollbackmenge erreicht ist.

Abkürzung: BU

Parameter: Für jedes Kriterium müssen eine Zielfunktion ($g(c)$) und ein Schrankenwert (t) angegeben sein, damit berechnet werden kann, inwiefern die Kandidaten dieses Kriterium erfüllen.

Top-Down

Es werden die Kandidaten zurückgeholt, die das Kriterium mit höchster Priorität am besten erfüllt haben. Sind dies mehr, als zur Aufstockung erforderlich sind, so wird die Erfüllung des Kriteriums nächstniedriger Priorität analysiert und so weiter. Sind im Anschluss weiterhin zu viele Kandidaten vorhanden, so werden von den schlechtesten Kandidaten per Zufall so viele entfernt, bis die richtige Rollbackmenge erreicht ist.

Abkürzung: TD

Parameter: Für jedes Kriterium müssen eine Zielfunktion ($g(c)$) und ein Schrankenwert (t) angegeben sein, damit berechnet werden kann, inwiefern die Kandidaten dieses Kriterium erfüllen.

PROMETHEE II

Es werden die Kandidaten zurückgeholt, die laut *PROMETHEE II* temporär die beste Wertigkeit besitzen. Sind dies mehr, als zur Aufstockung erforderlich sind, so werden von den schlechtesten Kandidaten per Zufall so viele entfernt, bis die richtige Rollbackmenge erreicht ist.

Abkürzung: PII

Parameter: Für jedes Kriterium müssen eine Zielfunktion ($g(c)$), eine Präferenzfunktion ($P(a, b)$) sowie zur Lösung der Präferenzfunktion benötigte Schrankenwerte angegeben sein, damit berechnet werden kann, inwiefern die Kandidaten dieses Kriterium erfüllen.

Aggregation

Es werden die Kandidaten zurückgeholt, die laut Aggregation temporär die beste Wertigkeit besitzen. Sind dies mehr, als zur Aufstockung erforderlich sind, so werden von den schlechtesten Kandidaten per Zufall so viele entfernt, bis die richtige Rollbackmenge erreicht ist.

Abkürzung:	Agg
Parameter:	Für jedes Kriterium müssen eine Zielfunktion ($g(c)$) und zwei Schrankenwerte angegeben sein, damit berechnet werden kann, inwiefern die Kandidaten dieses Kriterium erfüllen.

6.6. Verfahrensanalyse zur inkrementellen Reduktion

In diesem Abschnitt wird die Eignungsanalyse des in Abschnitt 6.2 aufgestellten Reduktionsverfahrens erläutert. Diese erstreckt sich über sechs Testphasen.

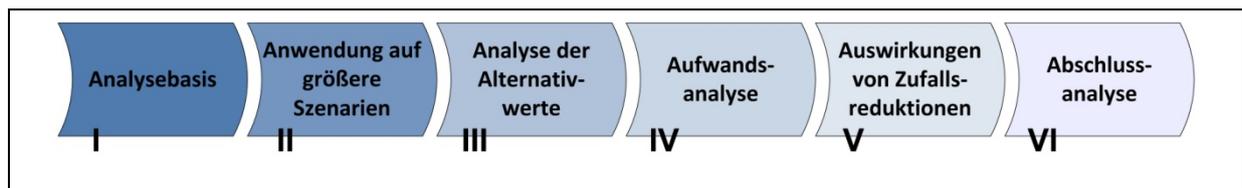


Abbildung 6-11: Testphasen zur Analyse der inkrementellen Reduktion

Als Basis der Analyse werden in Testphase I anhand eines einfachen Suchszenarios einige Reduktionsverfahren zusammengestellt und ein erster Vergleich zwischen diesen vorgenommen. Da dieses Szenario jedoch nicht ausreicht, um die anhand diesem aufgestellten Auswertungen zu verifizieren, findet in Testphase II die Anwendung der Verfahren auf aussagekräftigere Suchszenarien statt. Auf Basis der Analysewerte aus Testphase II lassen sich keine Aussagen über die Auswirkungen von Alternativwerten der Kriterien treffen. Testphase III befasst sich daher ausführlich mit deren Analyse. In den folgenden Testphasen werden vielversprechende Reduktionsverfahren anhand ausführlicherer Analysen hinsichtlich ihrer Eignung weiter eingegrenzt und optimiert. Im Anschluss an die Testphasen werden die Verfahren anhand deren Eignung hinsichtlich unterschiedlicher Suchszenarien bewertet und eine Auswahl für den Einsatz im BUW-Outsourcingnetzwerk getroffen.

6.6.1. Angleichung der Kriterienparametrisierung unterschiedlicher Reduktionsverfahren

In den einzelnen Testphasen des Analyseprozesses wurden unterschiedliche Testszenarien zur Untersuchung der Verfahrenseigenschaften verwendet. Ein Testszenario definiert sich durch einen Satz parametrisierter und priorisierter Kriterien (C), einer Inputmenge an Kandidaten ($A_{I,Red}$) sowie der Angabe einer gewünschten Zielmächtigkeit (n_{SC}).

Während der inkrementellen Reduktion werden die Kandidaten beginnend mit dem Kriterium höchster Priorität schrittweise mittels Kriterienprüfung fallender Priorität reduziert. Die Kriterienprioritäten bestimmen den jeweiligen Kriterieneinfluss auf die Wertigkeit der Kandidaten. Die in den Testphasen I bis VI verwendeten Testszenarien greifen auf den in Kapitel 4 aufgeführten Kriterienbaukasten zu. Die verwendeten Parametrisierungen werden in den entsprechenden Abschnitten dieser Arbeit aufgeführt.

Die Ergebnisse der Reduktionsverfahren wurden mit den Ergebnissen einer Rastersuche verglichen. Da die analysierten Verfahren unterschiedliche Methoden zur Präferenzwertberechnung nutzen, variieren die Kriterienparametrisierungen. Diese wurden so gewählt, dass sich für alle Verfahren ähnliche Anforderungen an die Kriterienerfüllung ergeben.

Für die Vorselektion der Kandidaten anhand obligatorischer Kriterien reicht die Angabe der Kriterienbasis aus, um die Eignung der Kandidaten zu prüfen. Für die inkrementelle Reduktion werden hingegen wesentlich mehr Parameter benötigt. Grund ist die differenziertere Bewertung der Kriterienausprägungen für das an die inkrementelle Reduktion anschließende Ranking. Alle Kriterien der inkrementellen Reduktion sind bei dem anschließenden Ranking ebenfalls zu berücksichtigen.

Auch wenn für die Anwendung des Reduktionsprinzips *Single Criterion* die Kriterienbasis zur Kandidatenprüfung ausreichen würde, so wurde für dieses ebenfalls eine Präferenzfunktion aufgestellt, die die Kriterienausprägung in Bezug auf eine Präferenzskala in Verbindung mit einem Schrankenwert (t) sowie der Zielfunktion ($g(c)$) bewertet.

Beispiel 6-6: Besteht die Kriterienbasis $Entfernung \leq 30 \text{ km}$, so können hierzu die Zielfunktion $g(c) = \min()$ sowie die Schranke $t = 30$ angegeben werden. Bei der Präferenzberechnung gilt folgendes:

$$P(a) = 1, \text{ wenn } f(a) \leq 30$$

$$P(a) = 0, \text{ wenn } f(a) > 30$$

Bei *PROMETHEE II* ist zu berücksichtigen, dass diese Methode nicht in der Lage ist, einen Ausprägungsbereich als „vollständig erfüllt“ beziehungsweise als „nicht erfüllt“ zu bewerten, sofern die zugehörige Präferenzskala nicht boolesch ist.

Beispiel 6-7: Gegeben sei ein Kriterium c mit der Kriterienbasis $\text{Entfernung} \leq 30 \text{ km}$. Das Kriterium soll vollständig erfüllt sein, wenn die Ausprägung den Wert 30 nicht überschreitet. Ansonsten gilt das Kriterium als nicht erfüllt. Es sei nun folgende Evaluationsmatrix gegeben:

	a_1	a_2	a_3
$f(a)$	15	30	45

Tabelle 6-1: Evaluationsmatrix ohne boolesche Präferenzskala

Somit ergäben die Differenzen $d(a_1, a_2)$ und $d(a_2, a_3)$ jeweils den Wert 15. Laut *PROEMTHEE* wäre die Präferenz zwischen den Kandidaten a_1 und a_2 demnach genauso zu bewerten, wie die zwischen a_2 und a_3 . Laut Kriterienanforderung ist dies nicht der Fall.

Abhilfe schafft die Verwendung einer von der Basenskala abweichenden Präferenzskala. Wird eine boolesche Skala angenommen, so können die Präferenzen den Anforderungen entsprechend berechnet werden, sofern Operator und Wert der Basis berücksichtigt werden. Bezogen auf das obige Beispiel ergäbe sich folgende Evaluationsmatrix ($f'(a)$ kennzeichnet den von $f(a)$ abgeleiteten booleschen Wert):

	a_1	a_2	a_3
$f'(a)$	1	1	0

Tabelle 6-2: Evaluationsmatrix mit boolescher Präferenzskala

Operator und Basenwert werden hingegen weiterhin bei Rollbackentscheidungen berücksichtigt, bei denen ermittelt wird, welcher Kandidat ein Kriterium besser erfüllt.

Beispiel 6-8: Es bestehen zwei Kandidaten a_4 und a_5 , wobei a_4 eine Entfernung von 45 km und a_5 eine Entfernung von 50 km zum outsourcenden Betrieb besitzen. Beide erfüllen das Kriterium $\text{Entfernung} \leq 30 \text{ km}$ nicht. Durch Berücksichtigung des Operators kann jedoch ermittelt werden, dass a_4 einen etwas besseren Kriterienwert als a_5 besitzt.

6.6.2. Testphase I: Analysebasis

Ausgangspunkt der ersten Testphase war die Analyse des in Abschnitt 6.2 vorgestellten Reduktionsverfahrens. Anzumerken ist, dass die in diesem Verfahren verwendete Methode zur Rollbackentscheidung (*IR A-E*) zunächst nur in der Version 1.A bestand. Grundprinzip der Reduktion ist die schrittweise Bewertung und gegebenenfalls Eliminierung von Kandidaten anhand einzelner Kriterien (*Single Criterion* (siehe Abschnitt 6.5)). Das Modell zum Prozessablauf ist dem Anhang A6 zu entnehmen.

Zweck dieser Testphase war die Analyse der grundlegenden Verfahrenseignung für das BUW-Outsourcingnetzwerk. Hierzu sollte die Qualität sowie der Aufwand des Reduktionsverfahrens zum

einen gegenüber simplen, zum anderen gegenüber komplexen Reduktionsmethoden bewertet werden. Bezüglich der Verfahren bestanden folgende Annahmen:

- Simple Verfahren weisen eine hohe Effizienz auf, erzielen jedoch eine geringe Qualität
- Komplexe Verfahren weisen eine geringe Effizienz auf, erzielen jedoch eine hohe Qualität

Anhand der Testreihen sollte ermittelt werden, ob die Verwendung der Entscheidungsheuristik *IR A-E* im Vergleich zu den anderen Verfahren das Potential aufweist, ein akzeptables Verhältnis zwischen Effizienz und Qualität zu erzielen.

Des Weiteren bestand für die Testphase I aufgrund der in Abschnitt 6.3 erläuterten Vorteile zunächst die Annahme, dass zur Durchführung der Rangbildung die Outrankingmethode *PROMETHEE II* eher geeignet sei, als das Prinzip des summierten Kriteriums per Aggregation. Demnach wurden die Qualität sowie der Aufwand der einzelnen Verfahren zunächst mit denen einer mittels *PROMETHEE II* durchgeführten Rastersuche verglichen.

Während der Durchführung der *Potentialanalyse* (siehe weiter unten in diesem Abschnitt) hat sich allerdings herausgestellt, dass sich die durch *PROMETHEE* ermittelten Ränge aufgrund der Kandidatenreduktion verändern. Resultierend hieraus wurde die Rastersuche per Aggregation ebenfalls in die Analyse aufgenommen.

Aufbau des Testszenarios der Testphase I

Wie bereits weiter oben erläutert, wurde zur Definition der Testszenarien auf den in Kapitel 4 vorgestellten Kriterienbaukasten zurückgegriffen. Tabelle 6-3 führt die parametrisierten Kriterien des in der Testphase I verwendeten Testszenarios auf. Zur einfachen Benennung wurden die Kriterien entsprechend ihrer Anwendungsreihenfolge nummeriert.

Nr	C			Priorität		Präferenzskala	$g(c)$	Parameter zur Präferenzwertberechnung		
	Name	⊗	Wert	abs.	rel.			PROMETHEE II	Aggregation	Single Criterion
1	Entfernung	≤	30	6	6/21	Boolesch (ja/nein)	max()	Usual absolute	$g = 1; b = 0$	$t = 1$
2	Bewertung	≥	4,5	5	5/21	Numerisch; Dezimalstellen: 1	max()	Linear $q = 0,2; p = 1,0$ absolute	$g = 5; b = 0$	$t = 4,5$
3	FSC-Zertifizierung	=	1	4	4/21	Boolesch (ja/nein)	max()	Usual absolute	$g = 1; b = 0$	$t = 1$
4	Konkurrenzprodukte	=	0	3	3/21	Numerisch; Dezimalstellen: 1	min()	Usual absolute	$g = 0; b = 2$	$t = 0$
5	Vorgänger-aufträge	≥	3	2	2/21	Numerisch; Dezimalstellen: 1	max()	V-shape $p = 5$ absolute	$g = 5; b = 0$	$t = 3$
6	Unternehmensbestehen	≥	25	1	1/21	Numerisch; Dezimalstellen: 1	max()	Linear $q = 5; p = 15$ absolute	$g = 50; b = 0$	$t = 25$

c bezeichnet die für ein Kriterium stehende Kriterienbasis | ⊗ bezeichnet einen Operator | $g(c)$ bezeichnet die Zielfunktion eines Kriteriums | q, p, g, b und t bezeichnen Werteschränken der jeweiligen Präferenzfunktionen

Tabelle 6-3: Parametrisierung der Kriterien in Testphase I

Als Eingangsmenge an Kandidaten wurde die Ergebnismenge der Vorselektion des in Abschnitt 4.1 vorgestellten Beispielszenarios verwendet. Die Verfahren wurden auf das Testszenario manuell, unter Zuhilfenahme von Microsoft Excel¹², angewendet. Die Excel-Daten sind dem Anhang A7 zu entnehmen.

Zum Verfahrensvergleich verwendete Bewertungsgrundlage

Zur Bewertung der Qualität der Reduktionsverläufe wurden anhand der Outrankingmethode *PROMETHEE II* sowie der Aggregationsmethode zwei komplette Rankings über alle Kriterien und Kandidaten durchgeführt. Bezüglich jedes Rankings stellten die n_{SC} besten Kandidaten die Referenzmenge beziehungsweise das globale Optimum (A_{Ref}) dar.

Für die Bewertung des Aufwandes wurden sowohl die Effizienz bezüglich der Kriterienwertberechnungen ($E_{f(a)}$) als auch die Effizienz bezogen auf die Präferenzwertberechnungen ($E_{P(a)}$) gegenüber den Rastersuchen berücksichtigt. Weitere Berechnungsaufwände, zum Beispiel die Aggregation von Präferenzwerten zu Präferenzflüssen sowie Sortiervorgänge, wurden bezüglich der quantitativen Aufwandsermittlung vernachlässigt. Aufwände für das Abfragen gespeicherter Werte wurden qualitativ berücksichtigt.

Die Ergebnismenge einer Reduktion ($A_{O,Red}$) kann mit der Referenzmenge in Bezug gebracht und über Kennzahlen (siehe Abschnitt 6.4) bezüglich ihrer Qualität bewertet werden. Die Bewertungsmethoden sowie die verwendeten Kennzahlen wurden während der einzelnen Testphasen der Eignungsanalyse angepasst. In Testphase I wurde die Qualität anhand der Precision in Bezug auf die Referenzmenge sowie anhand der gefundenen Ränge der Referenzmenge bestimmt. Die Referenzmenge wurde mit der Relevanzmenge gleichgesetzt ($A_{Ref} = A_{Rel}$).

Folgend sollen der Analyseprozess in Kürze vorgestellt und die wesentlichen Ergebnisse aufgeführt werden. Nähere Erläuterungen zu den Verfahren und deren Notation befinden sich im Abschnitt 6.5.

Verglichene Reduktionsverfahren

Ziel der Testphase I war die grundlegende Eignung des in Abschnitt 6.2 vorgestellten Reduktionsverfahrens zur Durchführung der inkrementellen Reduktion zu prüfen. Hierzu sollte das Verfahren sowohl mit einfachen als auch mit komplexen Reduktionsverfahren, bezüglich der Qualität und dem zu erwartenden Aufwand, verglichen werden.

Die allen verglichenen Reduktionsverfahren zugrunde liegende Annahme ist, dass die Erfüllung eines Kriteriums umso wichtiger für die Gesamtwertigkeit der jeweiligen Kandidaten ist, je höher die Kriterienpriorität ist. Als logische Konsequenz ergibt sich somit, dass die Reduktion schrittweise durch

¹² Tabellenkalkulationssoftware der Firma Microsoft

Prüfung der Kriterien in abfallender Reihenfolge derer Prioritäten vorgenommen wird. In Bezug auf die Einzelkriterienbetrachtung (Reduktionsprinzip: *Single Criterion*) werden Kandidaten eliminiert, die das jeweilige Kriterium nicht erfüllen. Bezogen auf die entwickelten Potentialanalysen werden je Kriterium die Kandidaten eliminiert, die nach Kriterienanwendung nicht über ein ausreichendes Potential verfügen, um zum globalen Optimum zu gehören. Konkret wurden in Testphase I folgende Verfahren miteinander verglichen:

- SC ($\{0,1\}$) – LD – {LC, BU, TD, PII, Agg}
- SC (0) – IR A-E 1.A(1,5 | 0,5) – {TD, PII, Agg}
- SC (0) – AW (0,25) – {PII, Agg}
- PII [Pot.] – N – N
- Agg [Pot.] – N – N

Nähere Erläuterungen zu den Verfahren sind dem Abschnitt 6.5 zu entnehmen. Sofern es während der Testdurchläufe zu einer Zufallsauswahl bei dem Rollback von Kandidaten gekommen ist, wurde bei den verschiedenen Verfahren darauf geachtet, soweit möglich die gleichen Kandidaten zu wählen, um eine Vergleichbarkeit der Verfahrensergebnisse zu gewährleisten. In Abbildung 6-12 sind die grundlegenden Verfahren hinsichtlich des Einflusses aufgeführt, den Ausprägungen einzelner Kriterien auf das Reduktionsverhalten ausüben. Dieser Einfluss besagt, mit welcher Härte Kandidaten aufgrund der Nichterfüllung einzelner Kriterien vollständig eliminiert werden.

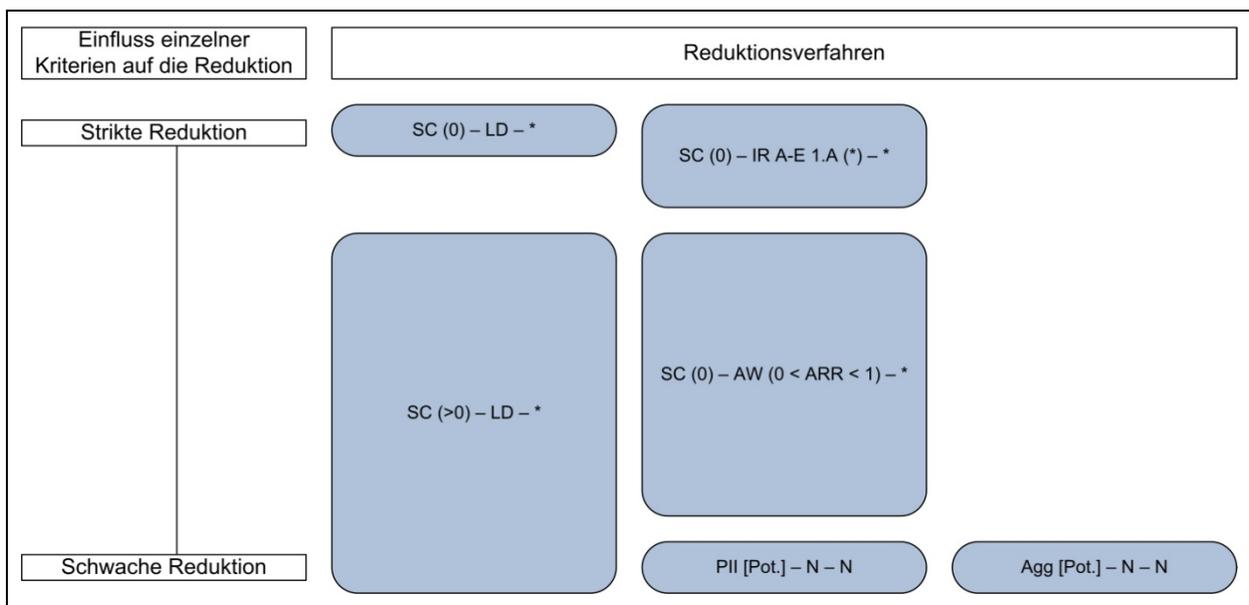


Abbildung 6-12: Auswirkungspotential einzelner Kriterien auf das Reduktionsverhalten der analysierten Verfahren

Wie stark das Reduktionsverhalten eines Verfahrens ist hängt nicht alleine von dessen Reduktionsprinzip ab. Hierzu muss ebenfalls die Methode der Rollbackentscheidung berücksichtigt werden. Wird ein Rollback beispielsweise nur bei Unterschreitung der gewünschten Zielmächtigkeit

durchgeführt, um die Ergebnismenge auf die Zielmenge aufzufüllen, gilt die Reduktion als strikt. Wird hingegen nach jeder Kriterienanwendung ein Rollback durchgeführt, so weicht die Reduktion auf.

Ergebnisse der Verfahrensanalyse

Die wesentlichen Aussagen, die anhand der Analysen aus Testphase I getroffen werden können, sind folgend aufgeführt. Eine ausführliche Darstellung der Verfahrensanalyse und Reduktionsergebnisse der einzelnen Verfahren können dem Anhang A7 und dem Anhang A10 entnommen werden.

Strikte Reduktion per Einzelkriterienbetrachtung mit Abbruch beim Erreichen der Zielmächtigkeit

Um eine Basis für die Eignungsanalyse der Entscheidungsheuristik *IR A-E* zu schaffen, wurden zunächst Reduktionsverfahren angewendet, die auf eine Weiterführung der Reduktion verzichten, sofern die Zielmächtigkeit n_{SC} erreicht wird. Wird n_{SC} unterschritten, so wird die Ergebnismenge auf eine Mächtigkeit von n_{SC} aufgestockt. Hierzu wurden unterschiedliche Rollbackmethoden angewendet.

Dadurch, dass Kandidaten eliminiert werden, sofern sie ein Kriterium nicht erfüllen, und ein Rollback nur zur Mengenauffüllung bei Unterschreitung der Zielmenge n_{SC} eintritt, sind die Reduktionsverfahren sehr effizient. Bei allen Verfahren findet frühzeitig eine Reduktion der Kandidaten statt und die Zielmächtigkeit wird erreicht, bevor alle Kriterien abgearbeitet sind. Am effizientesten ist das Verfahren mit der Auffüllmethode *Last Criterion*, da bei dieser Methode die Kandidaten für den Rollback nur bezogen auf ein einzelnes Kriterium verglichen werden. Bezüglich der Effizienz sollte die Verwendung der Auffüllmethode *PROMETHEE II* vermieden werden, sofern das Ranking mittels der *Aggregation* vorgenommen wird, da der Rollback per *PROMETHEE II* in diesem Fall mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer erheblich höheren Menge an Präferenzwertberechnungen gegenüber der Rastersuche führt. Die Verwendung der Auffüllmethode *Aggregation* führt bezogen auf das Testszenario durchgehend zu einer hohen Effizienz.

Bezogen auf das durchgeführte Testszenario ergibt sich für alle Verfahren eine mittelmäßige Qualität der Ergebnismenge. Eine Precision von 1,0 wird nie erreicht. Gegenüber der Rastersuche per *PROMETHEE II* liegt diese dauerhaft bei 0,7. Der laut beiden Rastersuchen dritte Rang wird häufig nicht ermittelt. Gegenüber der Rastersuche per *Aggregation* wird dieser Rang nie ermittelt, jedoch eine Precision zwischen 0,8 und 0,9 erreicht. Die besten Testergebnisse liefern die Auffüllmethoden *Bottom-Up*, *PROMETHEE II* und *Aggregation*. Eine erhebliche Verbesserung des Rollbacks, durch Berücksichtigung der temporären Gesamtwertigkeiten, konnte anhand des Testszenarios nicht erreicht werden.

Als erheblicher Nachteil der Kombination des Reduktionsprinzips *Single Criterion* mit einem *ANF* von 0 und der Auffüllentscheidung *Lower Deviation* ergibt sich aus dem hohen Einfluss, den die Ausprägungen einzelner Kriterien auf die Reduktion ausüben. Anhand der Betrachtung einzelner Kriterienausprägungen können nur bedingt Rückschlüsse auf die Gesamtwertigkeit von Kandidaten getroffen werden. Somit besteht bei der strikten Reduktion auf Basis der Einzelkriterienbetrachtung eine hohe Wahrscheinlichkeit für die Eliminierung relevanter Kandidaten. Eine Auflockerung des Reduktionsprinzips könnte hier Abhilfe schaffen.

Dadurch, dass zum Teil relativ früh gute Kandidaten eliminiert werden, ist zu erwarten, dass die Reduktion von Kandidaten basierend auf Einzelkriterien auch bei großen Szenarien keine zufriedenstellenden Ergebnisse bezüglich der Qualität liefert. Anhand weiterer, vor allem größerer Szenarien, sind die Ergebnisse daher zu überprüfen.

Ebenfalls ist für die Auffüllungsmethoden *PROMETHEE II* sowie *Aggregation* anhand größerer Testszenarien zu analysieren, wie sich die Ermittlung der Gesamtwertigkeiten auf den Verfahrensaufwand auswirkt und ob dieser in einem großen Suchraum vertretbar ist.

Auswirkungen der Erhöhung des Parameters ANF

Eine Möglichkeit, den Einfluss der Ausprägung einzelner Kriterien auf den Reduktionsprozess abzuschwächen, ist die Werterhöhung des Parameters *ANF*. Bezogen auf das Testszenario der Testphase I werden bei einem *ANF* von 1 alle relevanten Kandidaten ermittelt. Ein Rollback wird nicht durchgeführt, da die Zielmächtigkeit n_{SC} nicht unterschritten wird. Die Ergebnismenge beinhaltet neben den relevanten Kandidaten allerdings ebenfalls viele irrelevante Kandidaten, die den Aufwand der an den Reduktionsprozess anschließenden Rangbildung erhöht. Des Weiteren sind bei jedem Reduktionsschritt relativ viele Kandidaten zu prüfen. Eine Erhöhung des Parameters *ANF* scheint daher zu einer erheblichen Reduktion der Effizienz zu führen. Um die Auswirkungen des Verfahrens besser einschätzen zu können, sind weitere Testläufe, vor allem anhand größerer Testszenarien, erforderlich.

Reduktion per Einzelkriterienvergleich unter Berücksichtigung der Entscheidungsheuristik IR A-E 1.A

In der Testphase I wurde die Reduktion per Einzelkriterienbetrachtung in Kombination mit der Heuristik zur Rollbackentscheidung *IR A-E 1.A* lediglich mit den Rollbackmethoden *Top-Down*, *PROMETHEE II* und *Aggregation* durchgeführt. Als Parameter wurden aufgrund der geringen Mächtigkeit der Eingangsmenge $A_{I,Red}$ ein *BIF* von 1,5 und ein *HPF* von 0,5 gewählt.

Im Unterschied zur Rollbackentscheidung *Lower Deviation* bedingt *IR A-E 1.A* nicht zwingend den Abbruch des Reduktionsprozesses und führt somit zu einer Abschwächung des Reduktionsverhaltens.

Da ein Rollback nur beim Erreichen oder der Unterschreitung von n_{SC} auftritt, ist das Reduktionsverhalten auf Basis einzelner Kriterien besonders im Bereich der hochpriorisierten Kriterien dennoch als stark bis hin zu strikt zu bewerten.

Das Reduktionsverfahren führt anfänglich zu einer schnellen Reduktion von Kandidaten. Es ist allerdings möglich, dass die Kandidatenmenge durch Anwendung der Rollbackregeln, je nach Parametrisierung, sehr lange um die Zielmächtigkeit n_{SC} pendelt. Bei verhältnismäßig kleinen Szenarien dürfte die Einsparung gegenüber der Rastersuche daher nur gering ausfallen. Eine hohe Effizienz ist hingegen bei Reduktionsszenarien zu erwarten, bei denen eine große Differenz zwischen $A_{I,Red}$ und n_{SC} besteht. Grund hierfür ist, dass ein Rollback erst durchgeführt wird, wenn n_{SC} erreicht beziehungsweise unterschritten wird.

Nachteilig an dem späten Rollback und der anschließenden Weiterführung der Reduktion ist, dass die Ausprägungen von Einzelkriterien einen erheblichen Einfluss auf die Reduktion haben. Im Bereich der hochpriorisierten Kriterien werden demnach relevante Kandidaten mit hoher Wahrscheinlichkeit eliminiert. Außerdem findet der Rollback im niedrig priorisierten Kriterienbereich statt, wodurch die Gefahr erhöht wird, dass relevante Kandidaten von irrelevanten Kandidaten dominiert werden können, die diesen Kriterienbereich gut erfüllen. Die Tests haben gezeigt, dass dieser Problematik etwas entgegengewirkt werden kann, indem bei dem Rollback mehr Kriterien, zum Beispiel durch Betrachtung der temporären Gesamtwertigkeit, einbezogen werden.

Reduktion per Einzelkriterienbetrachtung und einem Rollback nach jedem Reduktionsschritt (Reduktionsentscheidung: Always)

Die durchgängige Ausführung eines Rollbacks, unabhängig vom Erreichen der Zielmächtigkeit, ist eine weitere Möglichkeit, das Eliminieren guter Kandidaten aufgrund schlechter Ausprägung einzelner Kriterien zu vermeiden.

Wird die Rollbackmenge anhand der temporären Gesamtwertigkeiten der Kandidaten bestimmt, so ist besonders im Bereich der niedrig priorisierten Kriterien die Wahrscheinlichkeit hoch, dass eliminierte relevante Kandidaten durch den Rollback erfasst werden. In der Testphase I wurde die Rollbackentscheidung per *Always* daher mit den Rollbackmethoden *PROMETHEE II* und *Aggregation* durchgeführt. Bezogen auf das Testszenario erzielten beide Verfahren Ergebnisse mit mittelmäßiger Precision, wobei zu berücksichtigen ist, dass besonders Kandidaten hoher Ränge gefunden wurden.

Es kann nicht garantiert werden, dass im hohen Prioritätsbereich keine relevanten Kandidaten eliminiert werden, da in diesem Bereich die Aussage der temporären Gesamtwertigkeit aufgrund wenig angewendeter Kriterien gering ist.

Durch das Verfahren werden viele gute Kandidaten zurückgeholt, die bei den anderen bisher vorgestellten Verfahren eliminiert werden. Dies bestätigt, dass die Rollbackmethode durchaus in der Lage ist, sehr gute Kandidaten zu identifizieren. Dass dies besonders im Bereich der niedrig priorisierten Kriterien aufgrund temporärer Gesamtwertigkeiten höherer Aussagekraft der Fall ist, kann aus den Testergebnissen nicht geschlossen werden. Hierzu sind weitere Tests erforderlich.

Bezüglich des Aufwandes ergibt die Anwendung des Verfahrens sehr gute Ergebnisse, sofern die Aggregation als Auffüllmethode verwendet wird. Bei Verwendung der Rollbackmethode *PROMETHEE II* ergibt sich bezüglich der Präferenzwertberechnungen verglichen mit der Rastersuche per *PROMETHEE II* eine mittlere Effizienz von 66 %, verglichen mit der Rastersuche per Aggregation eine Aufwandssteigerung um den Faktor zehn. Durch die Anwendung der Rollbackmethode *Aggregation* wird gegenüber beiden Rastersuchen eine hohe Effizienz erreicht.

Durch die Erhöhung des Parameters *ARR* kann eine höhere Qualität erreicht werden, wobei gleichzeitig ein erheblicher Anstieg des Aufwandes zu erwarten ist. Außerdem ist zu erwarten, dass die Effizienz im Vergleich zu den Rollbackentscheidungen *Lower Deviation* und *IR A-E V 1.A* erheblich geringer ist, sofern größere Testszenarien mit mehr Kandidaten beziehungsweise Kriterien betrachtet werden.

Reduktion per Potentialanalyse (PII [Pot.] - N - N und Agg [Pot.] - N - N)

Anhand der bisher vorgestellten Testergebnisse kann gezeigt werden, dass die Reduktion auf Basis der Einzelkriterienbetrachtung (*Single Criterion*) zwar eine hohe Effizienz, jedoch erhebliche Schwächen bezüglich der Qualität aufweist. Durch eine Auflockerung des Reduktionsverhaltens kann die Qualität gesteigert werden, jedoch hat dies ebenfalls eine Minderung der Effizienz zur Folge.

Die Potentialanalyse stellt eine Alternative zum Reduktionsprinzip der Einzelkriterienbetrachtung dar und orientiert sich an den durchgeführten Rastersuchen. Im Gegensatz zum Prinzip der Rastersuche führt das Reduktionsprinzip jedoch keine Betrachtung aller Kandidaten über alle Kriterien durch, sondern eliminiert Kandidaten, sofern deren Wertigkeitspotential nicht ausreicht, um zum globalen Optimum zu gehören.

Bezogen auf die Qualität führen beide Verfahren gegenüber beiden Rastersuchen zu einem guten bis hin zu einem optimalen Ergebnis. Die Anwendung der Potentialanalyse auf Basis von *PROMETHEE II* führt im Vergleich zu beiden Rastersuchen zu Verlusten. Bezogen auf die Rastersuche per *Aggregation* liegt dies daran, dass die Basis der Wertigkeitsberechnung eine andere ist. Bezogen auf die Rastersuche per *PROMETHEE II* liegt der Verlust darin begründet, dass sich die Präferenzflüsse der Kandidaten durch die Reduktion von Kandidaten verschieben können, so dass eine neue Rangfolge entsteht. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die ermittelten Kandidaten trotzdem über eine hohe Gesamtwertigkeit verfügen.

Die Effizienz bezüglich der Berechnung von Kriterienausprägungen ist bei beiden Verfahren eher als gering einzustufen. Gegenüber den Rastersuchen wird lediglich eine Einsparung von 25 % erreicht.

Bezogen auf die Präferenzwertberechnungen weist die Potentialanalyse per *PROMETHEE II* mit 38 % nur eine geringe Effizienz gegenüber der Rastersuche per *PROMETHEE II* auf. Gegenüber der Rastersuche per Aggregation liefert das Verfahren sogar eine nicht vertretbare Aufwandssteigerung um den Faktor 20. Die Potentialanalyse per Aggregation weist im Vergleich zur Rastersuche per *PROMETHEE II* eine erhebliche Einsparung an Präferenzwertberechnungen auf. Bezogen auf die Rastersuche per Aggregation ist die Einsparung mit 25 % jedoch eher gering.

Grund für das geringe Einsparpotential ist, dass anhand der Potentialanalyse Kandidaten frühestens eliminiert werden, nachdem 50 % der Prioritäten aller Kriterien abgearbeitet wurden.

Fazit zur Testphase I

Anhand der in Testphase I durchgeführten Testläufe können in erster Näherung Aussagen bezüglich der zu erwartenden Qualität sowie des Aufwandes der analysierten Verfahren getroffen werden.

- Im Vergleich zur Rastersuche per *PROMETHEE II* wirkt sich die Reduktion von Kandidaten erheblich auf die Effizienz bezüglich der Präferenzwertberechnungen ($E_{P(a)}$) aus. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass eine Reduktion der Kandidatenmenge aufgrund sich ändernder Präferenzflüsse eine Verschiebung der mittels *PROMETHEE II* ermittelten Ränge bewirken kann.
- Das Reduktionsprinzip *Single Criterion* ist als besonders effizient einzustufen, birgt aber die Gefahr, dass relevante Kandidaten aufgrund temporärer Überbewertung einzelner Kriterien eliminiert werden. Die Tests haben bestätigt, dass der Qualitätsverlust reduziert werden kann, indem zum einen das Reduktionsverhalten abgeschwächt und zum anderen ein Rollback auf Basis eines Mehrkriterienvergleiches durchgeführt wird.
- Das Reduktionsprinzip der Potentialanalyse führt stabil, *Aggregation [Pot.]* sogar verlustfrei, zu einer Ergebnismenge hoher Qualität. Da bei der Potentialanalyse erst eine Reduktion einsetzt, nachdem mindestens 50 % der Kriterienprioritäten verarbeitet wurden, ist es bezogen auf große Testszenarien vermutlich nicht effizient genug.
- Bei der Berücksichtigung temporärer Gesamtwertigkeiten ist darauf zu achten, dass die Verwendung von *PROMETHEE II* nicht geeignet ist, wenn das an die Reduktion anschließende Ranking anhand der *Aggregation* vorgenommen wird. Hieraus resultiert im Vergleich zur Rollbackmethode *Aggregation* lediglich ein erheblicher Anstieg an Präferenzwertberechnungen. Eine bessere Qualität der Ergebnismenge ist nicht zu erwarten, da beide Rollbackmethoden auf den Vergleich der temporären Gesamtwertigkeiten setzen, deren Rangfolgen je Methode zwar unterschiedlich sein können, jedoch nah bei einander liegen. Hingegen führen im Vergleich zu

einer Rastersuche per *PROMETHEE II* Reduktionsverfahren in der Regel zu einem guten Ergebnis, die anhand der *Aggregation* ermittelte temporäre Gesamtwertigkeiten berücksichtigen.

Die in Testphase I konstruierten Reduktionsverfahren basieren auf einem relativ kleinen Suchszenario, für welches die Eigenschaften der Kandidaten so zusammengestellt wurden, dass möglichst alle Charakteristiken der Kriterien sowie der Reduktionsverfahren zum Einsatz kommen, getestet und nachvollzogen werden können.

Für eine Aussage über die jeweiligen Verfahrensauswirkungen bei größeren, hinsichtlich der Fremddienstleistersuche realistischeren Reduktionsszenarien ist es sinnvoll, über das Testszenario aus Testphase I hinaus, weitere Testszenarien mit angereicherten Kandidatenmengen und variierenden Kriterienparametrisierungen zu analysieren. Anhand dieser Analysen sollen die Erkenntnisse aus der Testphase I auf Stabilitäten bezüglich der Qualität sowie des Aufwandverhaltens verifiziert werden.

Neben der Erweiterung der Testszenarien ist eine Anpassung der Kennzahlen zur Verfahrensbewertung erforderlich. Die Precision reicht in Kombination mit den gefundenen Rängen des globalen Optimums nicht aus, um die Qualität der Ergebnismengen zu bewerten. Als Schwachpunkt der Auswertungsmethodik hat sich herausgestellt, dass diese weder die Wertigkeiten der Kandidaten, noch deren Verteilung in der Eingangsmenge berücksichtigt. Es ist beispielsweise denkbar, dass Kandidaten relevante Wertigkeiten besitzen, obwohl diese nicht Teil des globalen Optimums sind. Ebenso können im globalen Optimum irrelevante Kandidaten enthalten sein.

6.6.3. Testphase II: Verfahrensanwendung auf größere Szenarien

Die Komplexität der in der Testphase II angewendeten Testszenarien sowie die Menge der Reduktionsverfahren erforderten die Implementierung eines Evaluationstools für die inkrementelle Reduktion. Mit dem Evaluationstool ist die Anwendung unterschiedlicher Reduktionsverfahren auf verschiedene Suchszenarien sowie die Ausgabe von Kennzahlen zur Analyse der Verfahrenseignung möglich. Das in die Testplattform *OpenFred* implementierte Evaluationstool wird in Kapitel 7 näher erläutert.

Aufgrund der Menge an Verfahren und Möglichkeiten der Parametrisierung wurde die Analyse in Testphase II zunächst auf zwei parametrisierte Kriteriensets (C_1 und C_2), zwei Eingangsmengen mit einer Mächtigkeit von 45 beziehungsweise 1000 Kandidaten sowie einer angestrebten Zielmächtigkeit von zehn Kandidaten beschränkt. Zur Aufstellung der Kriteriensets wurde das Set aus Testphase I im Evaluationstool angelegt und parametrisiert. Verändert wurden die Prioritäten sowie die Basenwerte der Kriterien *Entfernung* und *Bewertung*. Dem Kriterium *Entfernung* wurde außerdem ein Alternativwert zugewiesen (siehe Tabelle 6-4).

c			Prioritäten C_1		Prioritäten C_2	
Name	\otimes	Wert	abs.	rel.	abs.	rel.
Entfernung	\leq	200	12	12/50	4	4/50
1. Alternativwert	\leq	250				
Bewertung	\geq	4,0	10	10/50	7	7/50
FSC-Zertifizierung	=	1	9	9/50	8	8/50
Konkurrenzprodukte	=	0	8	8/50	9	9/50
Vorgängeraufträge	\geq	3	7	7/50	10	10/50
Unternehmensbestehen	\geq	25	4	4/50	12	12/50

Tabelle 6-4: Priorisierung der Kriteriensets in Testphase II

Reduktionsverfahren sind gerade für Problemstellungen mit vielen Kriterien sinnvoll, da der Aufwand der Problemlösung besonders durch die Ermittlung der Kriterienausprägungen beeinflusst wird. Problemstellungen mit maximal sechs Kriterien wurden als zweckführend angesehen. Ausschlaggebend hierfür ist, dass ein einzelnes Kriterium nur bei einer geringen Anzahl an Kriterien eine aussagekräftige Auswirkung auf das Rankingergebnis ausübt. Durch die Verwendung unterschiedlicher Werteskalen werden ausreichende Anforderungen an das Matching gestellt. Die Testscenarien werden folgend auch mittels der Notation $S_{C,|A_I,Red|,n_{SC}}$ angegeben. $S_{C_1,1000,10}$ kennzeichnet beispielsweise das Testscenario, das aus dem Kriterienset C_1 , einer Inputmenge mit 1000 Kandidaten und einer gewünschten Zielmächtigkeit von zehn Kandidaten besteht.

Folgend werden die wesentlichen Ergebnisse der Testphase II vorgestellt. Eine Zusammenfassung ist Tabelle 6-5 bis Tabelle 6-8 zu entnehmen. Die in diesen Tabellen aufgeführten Instanzen bedienen sich der Rollbackmethode *Aggregation*, da sich diese als geeignetste herausstellte. Eine vollständige Auflistung der Analysewerte befindet sich in Anhang A11. Aufgrund der Berücksichtigung der temporären Gesamtwertigkeiten bietet die Rollbackmethode *Aggregation* hinsichtlich der Qualität des Rollbacks eine hohe Sicherheit. Es besteht nur eine geringe Gefahr, dass aufgrund einzelner Kriterienausprägungen gute Kandidaten von schlechten dominiert werden. Die Gefahr sinkt mit der Menge bereits geprüfter Kriterien und läuft im Bereich der niedrigen Prioritäten daher gegen Null. Nachteilig an der Methode ist die im Vergleich zu den anderen Rollbackmethoden (mit Ausnahme von *PROMETHEE II*) häufig im Bereich zwischen 65 % und 90 % höhere Menge an Präferenzwertberechnungen. Je häufiger ein Rollback durchgeführt wird, desto höher ist der Mehraufwand an Präferenzwertberechnungen. Bei den Testscenarien mit einer Kandidatenmenge der Mächtigkeit 1000, ergibt sich bei Anwendung der Rollbackentscheidungsmethode *Always* ($ARR = 0,5$), im Vergleich zur Rollbackmethode *Top-Down*, beispielsweise eine Aufwandssteigerung hinsichtlich der Präferenzwertberechnungen von circa 150 % bis 165 %. Im Verlauf der folgenden Auswertungen der Testphase II ergibt sich jedoch, dass diese Aufwandserhöhung vernachlässigt werden kann. Die Rohdaten, in denen die Werte zu allen Verfahren enthalten sind, können dem Anhang A12 entnommen werden.

Reduktionsprinzip	Rollbackentscheidungs-methode	Output	Precision zur Relevanz-menge	Wertigkeits-index	Effizienz zur Rastersuche	Effizienz zu Agg. [Pot.]	$\Sigma P(\alpha)$ zur Rastersuche	$\Sigma P(\alpha)$ zu Agg. [Pot.]	Letztes Kriterium
Testzszenario: $S_{C_1,45,10}$									
Agg. [Pot.]	Keine	10	1	1,0000	23,70%	0,00%	-96,67%	0,00%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.A (BIF: 2/3; HPF: 0,5)	10	0,9	0,9680	61,48%	49,51%	36,30%	67,61%	4
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.A (BIF: 1; HPF: 0,5)	10	1	0,9954	61,85%	50,00%	13,70%	56,12%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.A (BIF: 1; HPF: 0,25)	10	1	0,9954	61,48%	49,51%	9,63%	54,05%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.A (BIF: 1; HPF: 0,75)	10	0,9	0,9680	62,59%	50,97%	44,07%	71,56%	3
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.B (BIF: 2/3; HPF: 0,5)	10	0,9	0,9680	61,48%	49,51%	36,30%	67,61%	4
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.B (BIF: 1; HPF: 0,5)	10	1	0,9954	61,85%	50,00%	13,70%	56,12%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.B (BIF: 1; HPF: 0,25)	10	1	0,9954	61,48%	49,51%	9,63%	54,05%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.B (BIF: 1; HPF: 0,75)	10	0,9	0,9680	62,59%	50,97%	44,07%	71,56%	3
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.A (BIF: 2/3; HPF: 0,5)	10	0,7	0,9250	51,48%	36,41%	-8,89%	44,63%	4
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.A (BIF: 1; HPF: 0,5)	10	0,9	0,9746	50,37%	34,95%	-26,67%	35,59%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.A (BIF: 1; HPF: 0,25)	10	1	0,9965	49,63%	33,98%	-31,11%	33,33%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.A (BIF: 1; HPF: 0,75)	10	0,8	0,9349	51,85%	36,89%	-8,52%	44,82%	4
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.B (BIF: 2/3; HPF: 0,5)	10	0,8	0,9349	51,85%	36,89%	-15,56%	41,24%	4
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.B (BIF: 1; HPF: 0,5)	10	0,9	0,9513	50,74%	35,44%	-33,33%	32,20%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.B (BIF: 1; HPF: 0,25)	11	1	0,9965	50,00%	34,47%	-40,00%	28,81%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.B (BIF: 1; HPF: 0,75)	10	0,8	0,9349	51,85%	36,89%	-15,56%	41,24%	4
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,25)	10	1	0,9954	61,85%	50,00%	13,70%	56,12%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,5)	10	0,9	0,9513	50,74%	35,44%	-26,30%	35,78%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,75)	10	0,9	0,9813	49,26%	33,50%	-33,33%	32,20%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,25)	10	1	0,9954	61,48%	49,51%	9,63%	54,05%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,5)	11	0,9	0,9965	50,00%	34,47%	-32,96%	32,39%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,75)	11	1	0,9955	48,52%	32,52%	-40,00%	28,81%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,25)	10	1	0,9954	61,85%	50,00%	13,70%	56,12%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,5)	10	0,9	0,9513	50,74%	35,44%	-33,33%	32,20%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,75)	10	0,9	0,9813	49,26%	33,50%	-40,37%	28,63%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,25)	10	1	0,9954	61,48%	49,51%	9,63%	54,05%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,5)	11	0,9	0,9965	50,00%	34,47%	-40,00%	28,81%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,75)	11	1	0,9955	48,52%	32,52%	-47,04%	25,24%	6
SC (ANF: 0)	Always (ARR: 0,25)	10	0,9	0,9681	60,37%	48,06%	28,15%	63,47%	2
SC (ANF: 0)	Always (ARR: 0,33)	10	0,9	0,9680	59,26%	46,60%	8,15%	53,30%	4
SC (ANF: 0)	Always (ARR: 0,5)	10	0,8	0,9601	52,59%	37,86%	-25,93%	35,97%	5
SC (ANF: 0)	Lower Deviation	10	0,9	0,9681	63,33%	51,94%	48,52%	73,82%	2
SC (ANF: 1)	Lower Deviation	10	0,9	0,9680	49,63%	33,98%	28,89%	63,84%	4
SC (ANF: 2)	Lower Deviation	13	1	1,0000	24,07%	0,49%	42,22%	70,62%	6

■ sehr schlecht |
 ■ schlecht |
 ■ mittel |
 ■ gut |
 ■ sehr gut

Die Einteilung der Wertung bezieht sich auf das zum Szenario gehörende Input-Output-Verhältnis. Die Einteilungsintervalle sind in den kompletten Analysetabellen (siehe Anhang A11) zu finden.

Tabelle 6-5: Analysewerte der Verfahrensanwendung auf Szenario $S_{C_1,45,10}$ (Rollbackmethode: Aggregation)

Reduktionsprinzip	Rollback-scheidungs-methode	Output	Precision zur Relevanz-menge	Wertigkeits-index	Effizienz zur Rastersuche	Effizienz zu Agg. [Pot.]	$\Sigma P(\alpha)$ zur Rastersuche	$\Sigma P(\alpha)$ zu Agg. [Pot.]	Letztes Kriterium
Testzszenario: $S_{C_2,45,10}$									
Agg. [Pot.]	Keine	10	1	1,0000	14,07%	0,00%	-143,70%	0,00%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.A (BIF: 2/3; HPF: 0,5)	10	0,6	0,9686	51,48%	43,53%	15,56%	65,35%	4
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.A (BIF: 1; HPF: 0,5)	10	0,7	0,9731	50,74%	42,67%	-11,11%	54,41%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.A (BIF: 1; HPF: 0,25)	10	0,7	0,9731	50,37%	42,24%	-44,07%	40,88%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.A (BIF: 1; HPF: 0,75)	10	0,7	0,9644	52,96%	45,26%	29,63%	71,12%	3
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.B (BIF: 2/3; HPF: 0,5)	10	0,6	0,9686	51,48%	43,53%	15,56%	65,35%	4
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.B (BIF: 1; HPF: 0,5)	10	0,7	0,9731	50,74%	42,67%	-11,11%	54,41%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.B (BIF: 1; HPF: 0,25)	10	0,7	0,9731	50,37%	42,24%	-30,74%	46,35%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.B (BIF: 1; HPF: 0,75)	10	0,7	0,9644	52,96%	45,26%	29,63%	71,12%	3
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.A (BIF: 2/3; HPF: 0,5)	10	0,6	0,9525	45,19%	36,21%	-21,11%	50,30%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.A (BIF: 1; HPF: 0,5)	10	0,6	0,9525	45,19%	36,21%	-21,11%	50,30%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.A (BIF: 1; HPF: 0,25)	10	0,6	0,9525	44,81%	35,78%	-51,85%	37,69%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.A (BIF: 1; HPF: 0,75)	10	0,6	0,9525	45,56%	36,64%	3,33%	60,33%	4
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.B (BIF: 2/3; HPF: 0,5)	10	0,6	0,9525	45,19%	36,21%	-21,11%	50,30%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.B (BIF: 1; HPF: 0,5)	10	0,6	0,9525	45,19%	36,21%	-21,11%	50,30%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.B (BIF: 1; HPF: 0,25)	11	0,6	0,9525	44,81%	35,78%	-38,52%	43,16%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.B (BIF: 1; HPF: 0,75)	10	0,6	0,9525	45,56%	36,64%	3,33%	60,33%	4
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,25)	10	0,7	0,9731	50,74%	42,67%	-11,11%	54,41%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,5)	10	0,6	0,9598	45,56%	36,64%	-25,19%	48,63%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,75)	10	0,6	0,9684	44,07%	34,91%	-44,44%	40,73%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,25)	11	0,7	0,9731	50,37%	42,24%	-46,30%	39,97%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,5)	11	0,7	0,9713	45,19%	36,21%	-58,15%	35,11%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,75)	11	0,8	0,9891	42,96%	33,62%	-82,59%	25,08%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,25)	10	0,7	0,9731	50,74%	42,67%	-11,11%	54,41%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,5)	10	0,6	0,9598	45,56%	36,64%	-25,19%	48,63%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,75)	10	0,6	0,9684	44,07%	34,91%	-44,44%	40,73%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,25)	10	0,7	0,9731	50,37%	42,24%	-30,74%	46,35%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,5)	10	0,7	0,9694	45,19%	36,21%	-42,59%	41,49%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,75)	10	0,8	0,9836	42,96%	33,62%	-65,19%	32,22%	6
SC (ANF: 0)	Always (ARR: 0,25)	10	0,6	0,9665	48,52%	40,09%	-7,78%	55,78%	4
SC (ANF: 0)	Always (ARR: 0,33)	10	0,6	0,9684	46,30%	37,50%	-37,04%	43,77%	5
SC (ANF: 0)	Always (ARR: 0,5)	10	0,6	0,9684	39,63%	29,74%	-60,74%	34,04%	5
SC (ANF: 0)	Lower Deviation	10	0,7	0,9644	52,96%	45,26%	29,63%	71,12%	3
SC (ANF: 1)	Lower Deviation	10	0,6	0,9660	30,74%	19,40%	-21,11%	50,30%	5
SC (ANF: 2)	Lower Deviation	13	0,9	0,9660	12,59%	-1,72%	-16,30%	52,28%	6

■ sehr schlecht | ■ schlecht | ■ mittel | ■ gut | ■ sehr gut
 Die Einteilung der Wertung bezieht sich auf das zum Szenario gehörende Input-Output-Verhältnis. Die Einteilungsintervalle sind in den kompletten Analysentabellen (siehe Anhang A11) zu finden.

Tabelle 6-6: Analysewerte der Verfahrensanwendung auf Szenario $S_{C_2,45,10}$ (Rollbackmethode: Aggregation)

Reduktionsprinzip	Rollbackmethode	Output	Precision zur Relevanzmenge	Wertigkeitsindex	Effizienz zur Rastersuche	Effizienz zu Agg [Pot.]	$\Sigma P(\alpha)$ zur Rastersuche	$\Sigma P(\alpha)$ zu Agg [Pot.]	Letztes Kriterium
Testzszenario: $S_{C_1,1000,10}$									
Agg [Pot.]	Keine	10	1	1,0000	36,97%	0,00%	-6,48%	0,00%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.A (BIF: 2/3; HPF: 0,5)	10	0	0,8117	79,08%	66,82%	77,08%	78,48%	4
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.A (BIF: 1; HPF: 0,5)	10	0	0,8117	79,05%	66,76%	75,88%	77,35%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.A (BIF: 1; HPF: 0,25)	10	0	0,8117	79,03%	66,74%	75,40%	76,90%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.A (BIF: 1; HPF: 0,75)	10	0	0,7898	79,15%	66,92%	78,05%	79,39%	3
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.B (BIF: 2/3; HPF: 0,5)	10	0	0,8117	79,08%	66,82%	77,08%	78,48%	4
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.B (BIF: 1; HPF: 0,5)	10	0	0,8117	79,05%	66,76%	75,88%	77,35%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.B (BIF: 1; HPF: 0,25)	10	0	0,8117	79,03%	66,74%	75,40%	76,90%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.B (BIF: 1; HPF: 0,75)	10	0	0,7898	79,15%	66,92%	78,05%	79,39%	3
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.A (BIF: 2/3; HPF: 0,5)	10	0,5	0,9480	64,55%	43,76%	29,43%	33,73%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.A (BIF: 1; HPF: 0,5)	10	0,5	0,9480	64,55%	43,76%	29,43%	33,73%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.A (BIF: 1; HPF: 0,25)	19	1	1,0000	64,30%	43,36%	28,12%	32,49%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.A (BIF: 1; HPF: 0,75)	10	0,5	0,9480	64,55%	43,76%	29,43%	33,73%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.B (BIF: 2/3; HPF: 0,5)	10	0,5	0,9480	64,63%	43,89%	17,80%	22,80%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.B (BIF: 1; HPF: 0,5)	10	0,5	0,9480	64,63%	43,89%	17,80%	22,80%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.B (BIF: 1; HPF: 0,25)	18	1	1,0000	64,40%	43,52%	16,60%	21,68%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.B (BIF: 1; HPF: 0,75)	10	0,5	0,9480	64,55%	43,76%	29,43%	33,73%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,25)	10	0,5	0,9480	64,55%	43,76%	29,43%	33,73%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,5)	10	0,5	0,9119	61,03%	38,18%	-4,22%	2,13%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,75)	10	0,5	0,9119	61,03%	38,18%	-4,22%	2,13%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,25)	19	1	1,0000	64,30%	43,36%	28,12%	32,49%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,5)	64	1	1,0000	59,82%	36,25%	-11,00%	-4,24%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,75)	64	1	1,0000	59,82%	36,25%	-11,00%	-4,24%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,25)	10	0,5	0,9480	64,63%	43,89%	17,80%	22,80%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,5)	10	0,5	0,9119	61,05%	38,21%	-16,12%	-9,05%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,75)	10	0,5	0,9119	61,05%	38,21%	-16,12%	-9,05%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,25)	18	1	1,0000	64,40%	43,52%	16,60%	21,68%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,5)	64	1	1,0000	59,85%	36,30%	-22,88%	-15,40%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,75)	64	1	1,0000	59,85%	36,30%	-22,88%	-15,40%	6
SC (ANF: 0)	Always (ARR: 0,25)	10	0,6	0,9808	72,42%	56,24%	36,05%	39,94%	5
SC (ANF: 0)	Always (ARR: 0,33)	17	0,8	0,9960	69,17%	51,08%	24,25%	28,86%	6
SC (ANF: 0)	Always (ARR: 0,5)	62	1	1,0000	59,87%	36,33%	-12,55%	-5,70%	6
SC (ANF: 0)	Lower Deviation	10	0	0,7898	79,15%	66,92%	78,05%	79,39%	3
SC (ANF: 1)	Lower Deviation	10	0,5	0,9792	58,18%	33,66%	53,27%	56,11%	5
SC (ANF: 2)	Lower Deviation	41	1	1,0000	32,83%	-6,56%	28,73%	33,07%	6

sehr schlecht | schlecht | mittel | gut | sehr gut

Die Einteilung der Wertung bezieht sich auf das zum Szenario gehörende Input-Output-Verhältnis. Die Einteilungsintervalle sind in den kompletten Analysetabellen (siehe Anhang A11) zu finden.

Tabelle 6-7: Analysewerte der Verfahrensanwendung auf Szenario $S_{C_1,1000,10}$ (Rollbackmethode: Aggregation)

Reduktionsprinzip	Rollbackentscheidungs- methode	Output	Precision zur Relevanz- menge	Wertigkeits- index	Effizienz zur Rastersuche	Effizienz zu Agg. [Pot.]	$\Sigma P(\alpha)$ zur Rastersuche	$\Sigma P(\alpha)$ zu Agg. [Pot.]	Letztes Kriterium
TestszENARIO: $S_{C_2,1000,10}$									
Agg. [Pot.]	Keine	10	1	1,0000	26,37%	0,00%	-55,82%	0,00%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.A (BIF: 2/3; HPF: 0,5)	10	0,1	0,8012	70,43%	59,85%	69,05%	80,14%	4
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.A (BIF: 1; HPF: 0,5)	10	0,1	0,8035	70,42%	59,82%	67,95%	79,43%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.A (BIF: 1; HPF: 0,25)	10	0,1	0,8035	70,40%	59,80%	66,02%	78,19%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.A (BIF: 1; HPF: 0,75)	10	0,1	0,7945	70,45%	59,87%	69,50%	80,43%	3
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.B (BIF: 2/3; HPF: 0,5)	10	0,1	0,8012	70,43%	59,85%	69,05%	80,14%	4
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.B (BIF: 1; HPF: 0,5)	10	0,1	0,8035	70,42%	59,82%	67,95%	79,43%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.B (BIF: 1; HPF: 0,25)	10	0,1	0,8035	70,40%	59,80%	66,92%	78,77%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 1.B (BIF: 1; HPF: 0,75)	10	0,1	0,7945	70,45%	59,87%	69,50%	80,43%	3
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.A (BIF: 2/3; HPF: 0,5)	10	0,7	0,9577	58,30%	43,37%	19,97%	48,64%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.A (BIF: 1; HPF: 0,5)	10	0,7	0,9577	58,30%	43,37%	19,97%	48,64%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.A (BIF: 1; HPF: 0,25)	10	1	0,9892	57,88%	42,80%	14,38%	45,05%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.A (BIF: 1; HPF: 0,75)	10	0,7	0,9577	58,30%	43,37%	19,97%	48,64%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.B (BIF: 2/3; HPF: 0,5)	10	0,7	0,9577	58,30%	43,37%	19,97%	48,64%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.B (BIF: 1; HPF: 0,5)	10	0,7	0,9577	58,30%	43,37%	19,97%	48,64%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.B (BIF: 1; HPF: 0,25)	10	1	0,9892	57,88%	42,80%	15,98%	46,08%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 2.B (BIF: 1; HPF: 0,75)	10	0,7	0,9577	58,30%	43,37%	19,97%	48,64%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,25)	10	0,7	0,9577	62,05%	48,46%	33,10%	57,06%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,5)	10	0,5	0,8668	58,68%	43,89%	11,05%	42,91%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,75)	23	1	0,9992	51,23%	33,77%	-24,70%	19,97%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,25)	16	1	0,9892	61,68%	47,96%	27,50%	53,47%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,5)	11	1	0,9992	57,73%	42,60%	9,83%	42,13%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.A (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,75)	23	1	0,9992	51,23%	33,77%	-24,70%	19,97%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,25)	10	0,7	0,9577	62,05%	48,46%	33,10%	57,06%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,5)	10	0,5	0,8668	58,68%	43,89%	11,05%	42,91%	5
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,5; LDR: 0,75)	23	1	0,9992	51,23%	33,77%	-24,70%	19,97%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,25)	10	1	0,9892	61,68%	47,96%	29,52%	54,77%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,5)	11	1	0,9992	57,73%	42,60%	9,83%	42,13%	6
SC (ANF: 0)	IR A-E 3.B (BIF: 1; HPF: 0,25; LDR: 0,75)	23	1	0,9992	51,23%	33,77%	-24,70%	19,97%	6
SC (ANF: 0)	Always (ARR: 0,25)	10	0,8	0,9804	63,65%	50,63%	15,02%	45,46%	6
SC (ANF: 0)	Always (ARR: 0,33)	10	1	0,9892	60,38%	46,20%	2,45%	37,39%	6
SC (ANF: 0)	Always (ARR: 0,5)	23	1	0,9992	51,23%	33,77%	-34,40%	13,74%	6
SC (ANF: 0)	Lower Deviation	10	0,1	0,7945	70,45%	59,87%	69,50%	80,43%	3
SC (ANF: 1)	Lower Deviation	10	0,4	0,9299	48,32%	29,81%	46,12%	65,42%	6
SC (ANF: 2)	Lower Deviation	41	1	0,9996	24,75%	-2,20%	20,65%	49,07%	6

■ sehr schlecht | ■ schlecht | ■ mittel | ■ gut | ■ sehr gut
 Die Einteilung der Wertung bezieht sich auf das zum Szenario gehörende Input-Output-Verhältnis. Die Einteilungsintervalle sind in den kompletten Analysetabellen (siehe Anhang A11) zu finden.

Tabelle 6-8: Analysewerte der Verfahrensanwendung auf Szenario $S_{C_2,1000,10}$ (Rollbackmethode: Aggregation)

Verfahrensanpassung der Rollbackentscheidungsheuristik IR A-E

Die in Testphase II durchgeführten Analysen mit größeren Testszenerarien haben zu der Erkenntnis geführt, dass ein Rollback lediglich beim Erreichen oder Unterschreiten der Zielmächtigkeit n_{SC} , in vielen Fällen zu einer unbefriedigenden Qualität der Ergebnismenge führt. Somit wurden während der Testphase II die Versionen 2 und 3 der Rollbackentscheidungsmethode IR A-E ergänzt. Außerdem wurde die Heuristik IR A-E bezüglich der Art angepasst, wie Alternativwerte der Kriterien berücksichtigt werden. In Testphase II wurde die Variante B entwickelt. Die Alternativwerte der Suchszenarien aus Testphase II wurden bei den Verfahrensanwendungen jedoch nur selten abgefragt. Zur Analyse der Auswirkung von Alternativwerten wird daher auf Testphase III verwiesen.

In Testphase III wurde ein mit ausreichend Alternativwerten angereichertes Kriterienset angewendet. Nähere Erläuterungen zu den Varianten sind den Abschnitten 6.2 und 6.5 zu entnehmen.

Aggregation versus PROMETHEE II – Verfahrenseignung für den Reduktionsprozess

Ein Vergleich zwischen der Aggregationsmethode und *PROMETHEE II* hinsichtlich deren Eignung als Rankingmethode sowohl in Bezug auf das finale Ranking als auch zur Entscheidungshilfe für Reduktions- sowie Rollbackentscheidungen wird folgend durchgeführt.

Gegenüberstellung der Aufwände

Die Tests anhand der Testszenarien $S_{C_1,1000,10}$ und $S_{C_2,1000,10}$ verdeutlichen, dass *PROMETHEE II* zur Ermittlung der Gesamtwertigkeit von Kandidaten sehr rechenintensiv ist, auch wenn dies lediglich bezogen auf Präferenzwertberechnungen gilt. Das Verhältnis zwischen der Menge an Kandidaten und der Menge an Berechnungen der Kriterienausprägungen ist bei beiden Rankingmethoden linear. Das Verhältnis bezogen auf die Präferenzwertberechnungen ist bei der Aggregationsmethode ebenfalls linear, bei *PROMETHEE II* jedoch quadratisch. Dies kann anhand der Graphen in Abbildung 6-13 verdeutlicht werden.

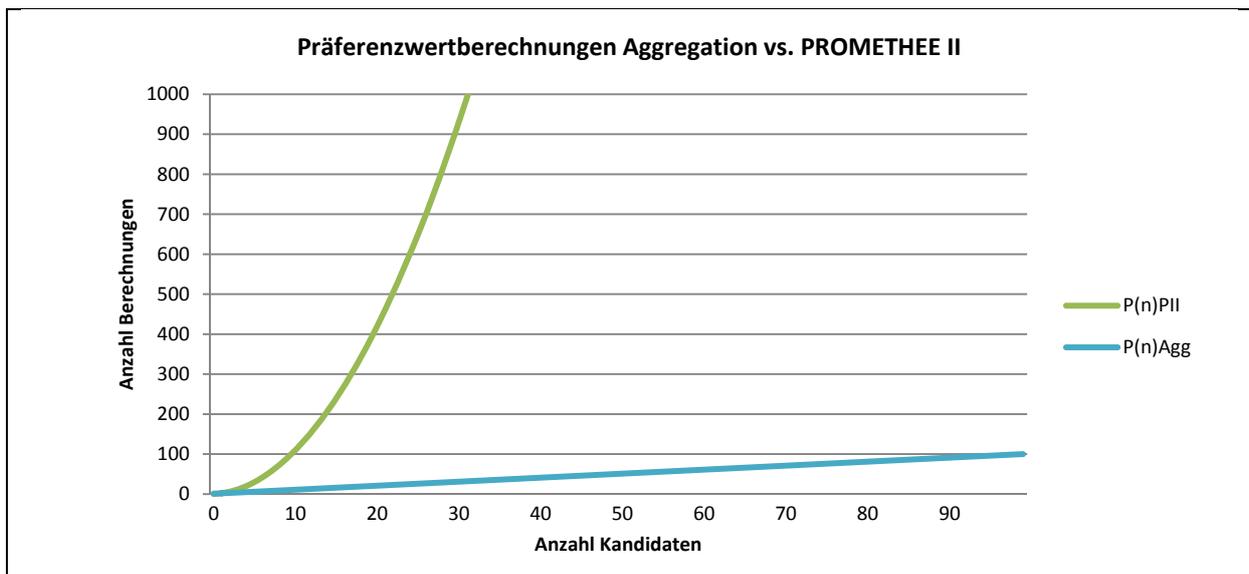


Abbildung 6-13: Präferenzwertberechnungen Aggregation vs. PROMETHEE II

Eine hohe Menge an Präferenzwertberechnungen wäre unter Umständen handhabbar, sofern diese auf mehrere Prozessoren beziehungsweise Recheneinheiten verteilt werden könnten. Bei der *PROMETHEE*-Methode ist dies jedoch nur bedingt möglich, da zur Berechnung des Präferenzwertes eines Kandidaten hinsichtlich eines Kriteriums dessen Beziehungen zu jedem anderen Kandidaten berücksichtigt werden müssen. Die Berechnungen je Kriterium können hingegen gut parallelisiert werden.

Bei der Aggregationsmethode können die Präferenzwerte der einzelnen Kandidaten je Kriterium unabhängig voneinander ermittelt werden. Es ist möglich, die Berechnungen für die einzelnen Kriterien sowie für die einzelnen Kandidaten zu parallelisieren.

Gegenüberstellung des Informationsgehaltes

Aus Abschnitt 6.3 gehen einige Vorteile der Rankingergebnisse von Outrankingmethoden gegenüber Aggregationsmethoden hervor. Diese können in Bezug auf die Anforderungen des BUW-Outsourcingnetzwerkes jedoch als vernachlässigbar gewertet werden.

Ein wesentlicher Vorteil der Outrankingmethoden ist, dass diese wesentlich mehr Daten als die Aggregationsmethoden erfassen. Mit diesen lassen sich ausführlichere Vergleiche zwischen den einzelnen Kandidaten durchführen. Bei der Durchführung des kompletten Rankings mittels *PROMETHEE II*, das zur automatischen Auswertung erforderlich ist, geht diese Eigenschaft jedoch verloren. Der Informationsgehalt gleicht anschließend dem der Rangbildung durch die Aggregationsmethode.

Auch wenn die positiven und negativen Flüsse von *PROMETHEE I* gespeichert würden, so ermöglicht das partielle Ranking nur eine subjektive Auswertung der Inkomparabilitäten. Diese sind in Bezug auf das BUW-Outsourcingnetzwerk ohnehin unbedeutend, da die Zielsetzung nicht ist, zwischen mehreren guten Kandidaten den besten zu finden, sondern eine Auswahl guter Kandidaten für eine Angebotseinholung bereitzustellen.

Gegenüberstellung der Auswirkungen von Kandidatenreduktionen

Da sich bei der Anwendung der *PROMETHEE*-Methoden die Gesamtwertigkeiten und Rangordnungen der Kandidaten während des Reduktionsprozesses ändern, sind diese zur Anwendung als Rastersuche oder Rollbackmethode eher ungeeignet.

Anders verhält es sich mit der Aggregationsmethode. Durch diese Methode ermittelte Gesamtwertigkeiten bleiben von der Reduktion unberührt. Die Wertigkeiten von $A_{O,Red}$ und A_{Ref} lassen sich bei Verwendung der Aggregationsmethode daher gut vergleichen.

Verfahrensauswahl für das BUW-Outsourcingnetzwerk

Für das im BUW-Outsourcingnetzwerk eingesetzte Rankingverfahren fällt die Entscheidung auf die Aggregationsmethode, da die Vorteile der Aggregationsmethode gegenüber denen der Outrankingmethode *PROMETHEE II* überwiegen.

Die Methode *PROMETHEE* böte in Bezug auf das BUW-Outsourcingnetzwerk lediglich den Vorteil, dass sie auch bei geringer Kenntnis über das Suchszenario eine Parametrisierung der Kriterien ohne die Gefahr des Geltungsverlustes von Kriterien ermöglicht (siehe Beispiel 6-2 in Abschnitt 6.3).

Anpassung der Kennzahlen zur Qualitätsbestimmung

Die Qualitätsbewertung der Reduktionsergebnisse anhand der Precision und der enthaltenen Ränge des globalen Optimums reicht nicht aus (siehe Abschnitt 6.4). Ein erheblicher Nachteil dieser Methode ist die Gleichstellung aller Kandidaten, die nicht Teil des globalen Optimums sind. Es wird lediglich berücksichtigt, ob ein Kandidat Teil der Referenzmenge ist oder nicht. Aus den in Tabelle 6-5 und Tabelle 6-6 aufgeführten Analysewerten lässt sich schließen, dass die Precision allein keine ausreichende Aussage bezüglich der Qualität ermöglicht. Bei einer Precision von 0,9 variiert der Wertigkeitsindex bei dem Szenario $S_{C_1,45,10}$ beispielsweise zwischen 0,9513 und 0,9813. In den Analysewerten zu Szenario $S_{C_2,45,10}$ weist eine Precision von 0,8 bereits einen hohen Wertigkeitsindex von 0,9804 auf.

Während der Testphase II wurde daher der Wertigkeitsindex als neue Kennzahl zur Bestimmung der Qualität eines Reduktionsverfahrens entwickelt. Die Precision wird zusätzlich als Kontrollwert verwendet. Im Unterschied zur Testphase I wird diese nicht bezogen auf die Referenzmenge, sondern auf die Relevanzmenge angegeben. Der Wertigkeitsindex gibt die Wertigkeit der Ergebnismenge bezogen auf die Wertigkeit der Referenzmenge an und berücksichtigt die Wertigkeiten der einzelnen Kandidaten. Weitere Erläuterungen sowie Formeln zu den Kennzahlen sind dem Abschnitt 6.4 zu entnehmen.

Anpassung der Kennzahlen zur Aufwandsbestimmung

In der Testphase I wurde der Aufwand der einzelnen Reduktionsverfahren sowohl bezogen auf die Kriterienwertberechnungen als auch auf die Präferenzwertberechnungen angegeben. Ab Testphase II wird hingegen lediglich die Menge an Kriterienausprägungsberechnungen zur Bewertung des Aufwandes verwendet. Bei der im BUW-Outsourcingnetzwerk angewendeten Aggregation steigt die Menge an Präferenzwertberechnungen linear mit der Menge an Kandidaten, wohingegen bei den Methoden von *PROMETHEE* die Menge an Präferenzwertberechnungen quadratisch mit der Menge an Kandidaten steigt. Bei der Aggregation sind daher unwesentlich mehr Präferenzwertberechnungen, als Berechnungen der Kriterienausprägungen durchzuführen. Aufgrund einfacher Rechenoperationen, die keine hohen Anforderungen an heutige Rechensysteme stellen, kann der Rechenaufwand zur Präferenzwertberechnung, im Vergleich zu dem Aufwand zur Ermittlung der Kriterienausprägungen, daher vernachlässigt werden.

Auswirkungen der Verfahrensparameter

Einige Reduktionsverfahren besitzen Parameter zur Anpassung deren Reduktionsverhaltens. Die Analysen in Testphase II sollten Aufschlüsse darüber geben, wie die Auswirkungen der Parametereinstellungen von verschiedenen Szenarien abhängen und welche Einstellungen situativ

gewählt werden sollten. Entsprechend sollen anhand der Ergebnisse Parametereinschränkungen für die weiteren Testphasen vorgenommen werden. Folgend werden die Parameter aufgeführt und anhand der Analysewerte aus Tabelle 6-5 bis Tabelle 6-8 bewertet. Erläuterungen zu den Parameterfunktionen sowie zu deren Verwendung sind dem Abschnitt 6.5 zu entnehmen.

Allowed Non-Fulfillments (ANF)

Die Analysewerte der Verfahrensanwendungen, bei denen die Rollbackentscheidungsmethode *Lower Deviation* verwendet wird, zeigen, dass eine Erhöhung des Parameters *ANF* eine erhebliche Minderung der Effizienz verursacht.

Auch wenn die Qualität der Ergebnismenge in den durchgeführten Testfällen durch die Erhöhung des Parameters *ANF* stetig gestiegen ist, so bringt eine Parametererhöhung die Gefahr mit sich, dass eigentlich gute Kandidaten aufgrund der Nichterfüllung mehrerer Kriterien geringer Priorität eliminiert werden, eigentlich schlechte Kandidaten hingegen nicht, sofern sie nur wenige, jedoch hochpriorisierte Kriterien nicht erfüllen. Bei einem geringen *ANF* ist diese Gefahr hingegen gering, da die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass der Bereich der niedrig priorisierten Kriterien nicht erreicht wird.

Ein *ANF* größer 0 führt in der Regel zu einer erheblichen Verschlechterung der Effizienz sowie unter Umständen zu einer Verschlechterung der Qualität. Dieser ist daher nicht zu verwenden.

Always Rollback Rate (ARR)

Je mächtiger die Rollbackmenge ist, desto mehr Kriterienausprägungen müssen ermittelt werden. Demnach besitzt die *Always Rollback Rate (ARR)* einen erheblichen Einfluss auf die Effizienz. Bezogen auf den Wertigkeitsindex sind die Auswirkungen hingegen weniger drastisch. Für weitere Analysen der Rollbackentscheidungsmethode *Always* wird ein Parameterwert von 0,33 gewählt. Dieser ergab, bezogen auf die getesteten Szenarien in Testphase II, für das Verfahren insgesamt das beste Verhältnis zwischen Aufwand und Qualität.

Big Input Factor (BIF)

Hauptzweck des *BIF* ist die Vermeidung unnötiger Rollbacks. Das Reduktionsverfahren soll gestoppt werden, wenn keine erhebliche Qualitätssteigerung durch Weiterführung der Reduktion zu erwarten ist. Eine Weiterführung führe unter Umständen neben einer Reduktion der Effizienz auch zu einer Minderung der Qualität, da Kandidaten im weiteren Reduktionsverlauf anhand gering priorisierten Kriterien verglichen würden.

Bei den durchgeführten Tests wurden für die Anwendung der Heuristik *IR A-E* in den Versionen 1 und 2 jeweils in Variante A und B für den *BIF* die Werte 1, 2 und 3 verwendet. Ein Wert größer 1 hat

allgemein zu gleichen oder schlechteren Wertigkeitsindizes geführt, als ein Wert von 1. Die Steigerung der Effizienz ist ebenfalls eher unerheblich ausgefallen. Teilweise wurde sogar eine geringere Effizienz erreicht. Anders wäre dies, wenn die Präferenzwertberechnungen ebenfalls Gegenstand der Aufwandsberechnung wären.

Eine Notwendigkeit des *BIF* kann durch die durchgeführten Tests nicht bestätigt werden. Im Vergleich zu den anderen Reduktionsverfahren liefert die Anwendung des Einzelkriterienvergleiches mit der Rollbackentscheidungsmethode *IR A-E* und einem *BIF* von 1 meist akzeptable Ergebnisse und wird für weitere Analysen verwendet. Um die Auswirkungen des Parameters näher analysieren zu können, wäre ein großer Satz an Testszenarien und Parameterwerten notwendig. Da der Parameter jedoch erst wirkt, wenn n_{SC} bereits erreicht oder unterschritten wurde, ist eine erhebliche Qualitätsverbesserung, die die Heuristik *IR A-E* gegenüber andere Verfahren abhebt, nicht zu erwarten. Auf nähere Analysen des *BIF* wird im Rahmen dieser Arbeit daher verzichtet.

High Priority Factor (HPF)

Der *HPF* beeinflusst wie der *BIF* das Rollbackverhalten der Heuristik *IR A-E*, wenn n_{SC} erreicht oder unterschritten wird. Durch diesen Parameter soll die Wahrscheinlichkeit gemindert werden, dass gute Kandidaten anhand geringbedeutender Kriterien von schlechten Kandidaten dominiert und somit eliminiert werden. Dieser Fall ist sehr wahrscheinlich, wenn die Mächtigkeit der Inputmenge um n_{SC} pendelt. Kriterien mit niedriger Priorität wird in diesem Fall unter Umständen eine höhere Bedeutung zugewiesen, als höherpriorisierten Kriterien. Dies soll an einem Beispiel erläutert werden:

Beispiel 6-9: Angenommen es sei eine gewünschte Zielmächtigkeit von zehn Kandidaten angestrebt. Ein Reduktionsschritt erhält eine Inputmenge von zwölf Kandidaten und reduziert diese auf neun Kandidaten. Aufgrund der hoch ausgewiesenen Priorität des Folgekriteriums werden nun zwei Kandidaten zurückgeholt. Der nächste Reduktionsschritt erhält also eine Inputmenge von elf Kandidaten. Dieser reduziert die Menge an Kandidaten wiederum auf eine Menge unter zehn. Wäre das nächste Kriterium weiterhin als hochpriorisiert ausgewiesen, so würde die Menge wieder auf elf Kandidaten aufgefüllt werden und das zuvor angewendete Kriterium hätte keine Aussagekraft.

Die Analysewerte in Tabelle 6-5 bis Tabelle 6-8 zeigen, dass die Einstellung des Parameters teilweise einen erheblichen Einfluss auf die Qualität ausübt. Bei einem Vergleich der Analysewerte der Verfahrensanwendungen, die die Reduktionsheuristik *IR A-E* verwenden, wird ersichtlich, dass die Verfahren mit einem *HPF* von 0,25 nie schlechtere, dafür meist bessere bis wesentlich bessere Qualitäten erzielen, als die Verfahren mit einem *HPF* von 0,5 oder 0,75. Eine Verarbeitung aller Kriterien scheint bezüglich der durchgeführten Testszenarien daher sinnvoll zu sein. Die Notwendigkeit des Parameters *HPF* zur Vermeidung von erheblichen Auswirkungen temporärer

Dominanz irrelevanter Kandidaten kann daher nicht bestätigt werden. Bei Anwendung von Kriteriensets mit erheblichen Prioritätsunterschieden ist ein geringer Parameterwert trotzdem zu empfehlen, um die Möglichkeit eines negativen Einflusses extrem niedrig priorisierter Kriterien gering zu halten.

Der Parameter hat einen geringen Einfluss auf die Effizienz, da dieser erst zum Einsatz kommt, wenn die Zielmächtigkeit bereits erreicht oder unterschritten wurde und in diesem Fall der Rollback in der Regel nicht so hoch ist, als dass die Menge an Berechnungen der Kriterienausprägungen erheblich steigt. Je niedriger der Parameter eingestellt ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass mehr Kandidaten durch den gesamten Reduktionsdurchlauf durchgeschleust werden, als angestrebt sind. Da nach der Reduktion ein Ranking über alle verbleibenden Kandidaten durchgeführt werden muss, erhöht dies erheblich die Menge an Präferenzwertberechnungen. Dies ist besonders an den Analysewerten des Verfahrens mit der Rollbackentscheidungsmethode *IR A-E 3.B* ersichtlich (siehe Tabelle 6-7). Da die Präferenzwertberechnung, ausgenommen bei *PROMETHEE*, geringe Rechenanforderungen aufweisen, kann die zum Teil erheblich erhöhte Menge an Präferenzwertberechnungen jedoch vernachlässigt werden.

Lower Deviation Rate (LDR)

Je höher der Parameter *LDR* eingestellt ist, desto häufiger ist ein Rollback und mit diesem eine Minderung der Effizienz zu erwarten. Dies bestätigen auch die Analysewerte aus Tabelle 6-5 bis Tabelle 6-8.

Der Einfluss auf die Qualität scheint erheblich von den verwendeten Kriterien abzuhängen. In den in Testphase II durchgeführten Untersuchungen führt bezogen auf den Kriterienset C_1 ein niedriger Parameterwert von 0,25 gehäuft zu wesentlich besseren Ergebnissen als ein Wert von 0,5 oder 0,75. Bei Anwendung des Kriteriensets C_2 ist hingegen ein hoher Parameterwert von 0,75 eher geeignet.

Die Analysewerte lassen des Weiteren vermuten, dass der *High Priority Factor (HPF)* ebenfalls einen erheblichen Einfluss auf die Auswirkung des *LDR* hat. Bei niedrigem *HPF*-Wert fallen die Differenzen bezüglich der Qualität, die sich durch die Variation des *LDR* ergeben, gering aus. Bei Verwendung eines hohen *HPF*-Wertes fallen die Differenzen hingegen meist stärker aus.

Zur Ermittlung des genauen Zusammenhangs zwischen dem Parameter *LDR* und den Kriterien sowie weiterer Parameter, wären weitere über die im Rahmen der Forschungsarbeit durchgeführten Analysen hinausgehende Testreihen notwendig.

In den weiterführenden Testphasen wird für die Methode *IR A-E* in Version 3 die Kombination eines geringen *HPF* (0,25) mit einem geringen *LDR* (0,25) angenommen, da diese Parametrisierung in der

Summe, sowohl bei geringer als auch bei hoher Gesamtreduktion, gute Qualitäten mit hoher Effizienz erzielt hat.

Vergleich zwischen den Reduktionsprinzipien *Aggregation [Pot.]* und *Single Criterion*

Anhand der Analysewerte aus Tabelle 6-5 bis Tabelle 6-8 ist deutlich zu erkennen, dass die Potentialanalyse *Aggregation [Pot.]* gegenüber dem Reduktionsprinzip des Einzelkriterienvergleiches mit einem *ANF* von 0, eine erheblich geringere Effizienz aufweist. Dem steht gegenüber, dass die Potentialanalyse eine maximale Qualität der zu erzielenden Ergebnismenge garantiert.

Anhand der in Testphase II durchgeführten Testreihen kann keine ausreichende Aussage über die Auswirkung der Methode *Single Criterion* mit Berücksichtigung von Alternativwerten getroffen werden. Weiter ist eine abschließende Bewertung der Varianten A und B der Entscheidungsheuristik *IRA-E* nicht möglich. In den durchgeführten Tests wiesen die beiden Varianten lediglich bei der Verfahrensanwendung von *IRA-E 2.** auf das Szenario $S_{C_1,45,10}$ Unterschiede auf. Teilweise ergab Variante A, teilweise Variante B bessere Ergebnisse bezüglich der Qualität.

Die Anwendung der Rollbackentscheidungsmethode *Lower Deviation* erzielt in Verbindung mit *Single Criterion (ANF=0)* in der Regel eine vergleichsweise niedrige Qualität. Besonders bei einer hohen Gesamtreduktion schneidet das Verfahren qualitativ schlecht ab, wobei die Effizienz sehr hoch ist. Ein ähnliches Verhalten weist das heuristische Regelwerk *IRA-E 1.** auf. Dieses Verhalten weist darauf hin, dass es bei einer großen Gesamtreduktion sinnvoll ist, einen Rollback bereits durchzuführen, bevor n_{SC} erreicht oder unterschritten wird. Bei Szenarien mit einer geringen Gesamtreduktion liefern die beiden Verfahren vergleichsweise gute Ergebnisse. In der Regel ist die Effizienz bei Szenarien mit geringer Gesamtreduktion allerdings eher nebensächlich, sofern das Szenario keine komplizierten Kriterienwertberechnungen erfordert.

Die in Testphase II erarbeiteten Weiterentwicklungen der Heuristik *IRA-E* sowie die Rollbackentscheidung *Always* führen einen Rollback vor dem Erreichen der gewünschten Zielmächtigkeit aus. Aus den Analysewerten Tabelle 6-7 und Tabelle 6-8 wird ersichtlich, dass diese Verfahren bei Szenarien mit hoher Gesamtreduktion (im Test $S_{C_1,1000,10}$ und $S_{C_2,1000,10}$) wesentlich bessere Ergebnisse liefern, als es bei Anwendung der Rollbackentscheidungsmethoden *IRA-E 1.** und *Lower Deviation* der Fall ist. Eine klare Aussage darüber, welches der drei Verfahren am geeignetsten ist, kann anhand der Analysewerte aus Testphase II nicht getroffen werden. Eine erste Einschätzung ist, dass bei Szenarien mit geringer Gesamtreduktion die Rollbackentscheidung per *Always*, bei Szenarien mit hoher Gesamtreduktion die *IRA-E* Heuristiken bezüglich Effizienz und Qualität die besseren Ergebnisse liefern. Die Reduktionsergebnisse der Verfahren hängen allerdings erheblich von deren Parametrisierung ab.

Fazit zur Testphase II

Bezüglich der Analyse von Testphase II lassen sich folgende Erkenntnisse zusammenfassen:

- Als Rankingmethode sowie für Rollbackentscheidungen anhand temporärer Gesamtwertigkeiten, ist die Aggregation eher geeignet, als *PROMETHEE II*. Ausschlaggebend sind folgende Vorteile der Aggregation:
 - Reduktion der Kandidaten verändert nicht deren Reihenfolge in der Rangbildung
 - Verarbeitung lässt sich besser auf mehrere Systeme parallelisieren
 - Verarbeitung führt wesentlich weniger Präferenzwertberechnungen durch
- Anhand der in Testphase II vorgenommenen Analysen, können noch keine Aussagen über die Auswirkung von Alternativwerten von Kriterien getroffen werden, da diese während der Testreihen kaum zum Einsatz kamen. Demnach besteht die Notwendigkeit weiterer Analysen anhand eines mit weiteren Alternativwerten angereicherten Testszenarios. Zur Sicherheit sollten alle Verfahren auf das entsprechende Szenario angewendet werden. Ziel ist die Prüfung, ob die Verwendung von Alternativwerten dazu dienen kann, das Reduktionsverhalten des Reduktionsprinzips *Single Criterion* zu verbessern.
- Als Rollbackmethode erscheint die *Aggregation* vorteilhaft. Laut den Analysewerten liefert diese Methode die beste Qualität. Die erhöhte Menge an erforderlichen Präferenzwertberechnungen kann in Kauf genommen werden. Für einen vollständigen Ausschluss der anderen Methoden sind jedoch die Analysewerte der Prüfung von Alternativwertauswirkung erforderlich.
- Die Potentialanalyse per Aggregation (*Aggregation – None – None*) hat verglichen zu den Verfahren, die das Reduktionsprinzip *Single Criterion* ($ANF = 0$) verwenden, eine wesentlich geringere Effizienz, garantiert gegenüber der Rastersuche per Aggregation jedoch als einziges Verfahren eine optimale Qualität der Ergebnismenge.
- Bei dem Reduktionsprinzip *Single Criterion* ist eine Erhöhung des Parameters ANF nicht sinnvoll, da hierdurch die Effizienz erheblich leidet und die Wahrscheinlichkeit steigt, dass gute Kandidaten zugunsten schlechter Kandidaten eliminiert werden.
- Der Parameter ARR der Rollbackentscheidungsmethode *Always* hat einen erheblichen Einfluss auf die Effizienz. Auf die Qualität sind die Auswirkungen weniger drastisch. Ein Wert von 0,33 ergab in der Summe die besten Ergebnisse und ist für weitere Analysen zu verwenden.
- Bezüglich der Entscheidungsheuristik *IR A-E* haben die Parameterwerte ($BIF = 1$ | $HPF = 0,25$ | $LDR = 0,25$) zu den besten Ergebnissen geführt. Die Notwendigkeit der Parameter BIF und HPF konnte anhand der Analysewerte nicht bestätigt werden. Da die Parameter erst greifen, wenn n_{SC}

erreicht oder unterschritten ist, ist besonders bei großen Differenzen zwischen $A_{I,Red}$ und $A_{O,Red}$, für die das BUW-Outsourcingnetzwerk konzipiert wird, nur ein geringer Einfluss auf die Qualität sowie Effizienz zu erwarten. Deshalb wird auf weitere Analysen zur Optimierung der Parameter verzichtet.

Dem *LDR* kann ein erheblicher Einfluss auf die Effizienz zugesprochen werden, da dieser bereits vor dem Erreichen von n_{SC} zum Einsatz kommt. Ein Einfluss auf die Qualität konnte anhand der Analysen nicht herausgearbeitet werden.

- Die Rollbackentscheidungsmethoden *Lower Deviation* und *IR A-E 1.** sind für Szenarien mit hoher Gesamtreduktion nicht geeignet. Sie liefern hier zwar eine gute Effizienz, jedoch nur eine vergleichsweise geringe Qualität. Bei geringer Gesamtreduktion sind diese Verfahren geeignet, sofern sehr hohe Anforderungen an die Berechnung der Kriterienausprägungen bestehen.
- Bei Szenarien mit hoher Gesamtreduktion schneiden Verfahren relativ gut ab, die einen Rollback bereits vor dem Erreichen der Zielmächtigkeit durchführen. Eine klare Aussage darüber, welches Verfahren am geeignetsten ist, geht aus den Analysewerten noch nicht hervor.

6.6.4. Testphase III: Analyse der Alternativwerte

Einige der in Testphase I sowie in Testphase II entwickelten Verfahren greifen ereignisbedingt auf Alternativwerte der Suchkriterien zurück. Da die in Testphase II verwendeten Kriteriensets nur wenige Alternativwerte aufweisen und diese bei den Verfahrensanwendungen in Testphase II kaum abgefragt wurden, kann anhand der Analysewerte aus Testphase II noch keine Aussage bezüglich der Auswirkung von Alternativwerten auf die Reduktion getroffen werden. In Testphase III wurde dementsprechend ein mit ausreichend Alternativwerten angereichertes Szenario aufgebaut und die Reduktionsverfahren aus Testphase II auf dieses angewendet. Durch Anreicherung des Kriteriensets C_1 ergab sich das Kriterienset C_3 .

Durch die Verwendung der Inputmengen aus Testphase II sowie einer gewünschten Mächtigkeit der Outputmenge von zehn ergaben sich die Testszenarien $S_{C_3,45,10}$ und $S_{C_3,1000,10}$.¹³ Zusätzlich wurden die Verfahren auf das Testszenario $S_{C_3,1000,50}$ angewendet.

¹³ Werden die Alternativwerte vernachlässigt, so sind C_1 und C_3 identisch. Trotzdem kann es bei Verfahrensanwendungen ohne Berücksichtigung der Alternativwerte, aufgrund von Zufallsauswahlen bei Rollbackentscheidungen, zu unterschiedlichen Ergebnismengen kommen (vergleiche die Analysewerte der Verfahrensanwendung *SC(0) – IR A-E 3.C – Agg* auf die Szenarien $S_{C_1,45,10}$ und $S_{C_3,45,10}$ aus Anhang A11).

c			Prioritäten C ₃	
Name	⊗	Wert	abs.	rel.
Entfernung	≤	200	12	12/50
1. Alternativwert	≤	250		
Bewertung	≥	4,0	10	10/50
1. Alternativwert	≥	3,5		
FSC-Zertifizierung	=	1	9	9/50
Konkurrenzprodukte	=	0	8	8/50
1. Alternativwert	≤	1		
2. Alternativwert	≤	2		
Vorgängeraufträge	≥	3	7	7/50
Unternehmensbestehen	≥	25	4	4/50

Tabelle 6-9: Priorisierung des Kriteriensets der Testphase III

Um einen direkten Vergleich vornehmen zu können, wurden die Reduktionsdurchläufe sowohl mit als auch ohne Berücksichtigung der Alternativwerte durchgeführt. Es wurden lediglich Methoden verwendet, die auf Alternativwerte zurückgreifen. Als Rollbackmethode wurde die *Aggregation* verwendet. Die wichtigsten Analysewerte bezüglich der Qualität sind in Tabelle 6-10 aufgeführt. Auf eine Auflistung der Analysewerte zur Aufwandsanalyse wurde verzichtet. Allgemein kann gesagt werden, dass die Berücksichtigung von Alternativwerten zu einem höheren Aufwand führt. Eine ausführlichere Auflistung der Analysewerte ist dem Anhang A11 zu entnehmen.

Reduktionsmethode	Rollbackentscheidungsmethode	Wertigkeitsindex								
		1000 > 10			1000 > 50			45 > 10		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
IR A-E V1										
SC (ANF: 0)	IR A-E V1; BIF: 3; HPF: 0.5	0,8117	0,7468	0,8117	0,9430	0,9547	0,9588	0,9680	0,9691	0,9680
SC (ANF: 0)	IR A-E V1; BIF: 2; HPF: 0.5	0,8117	0,7468	0,8117	0,9430	0,9547	0,9588	0,9680	0,9691	0,9680
SC (ANF: 0)	IR A-E V1; BIF: 1; HPF: 0.5	0,8117	0,8117	0,8117	0,9456	0,9595	0,9595	0,9954	0,9954	0,9954
SC (ANF: 0)	IR A-E V1; BIF: 1; HPF: 0.25	0,8117	0,8117	0,8117	0,9428	0,9636	0,9619	0,9954	0,9954	0,9954
SC (ANF: 0)	IR A-E V1; BIF: 1; HPF: 0.75	0,7898	0,7898	0,7898	0,9430	0,9547	0,9588	0,9680	0,9680	0,9680
IR A-E V2										
SC (ANF: 0)	IR A-E V2; BIF: 3/2; HPF: 0.5	0,9480	0,9517	0,9480	0,9756	0,9100	0,9922	0,9250	0,8858	0,9250
SC (ANF: 0)	IR A-E V2; BIF: 3/2; HPF: 0.75	0,9480	0,9517	0,9480	0,9459	0,8978	0,9459	0,9250	0,8858	0,9250
SC (ANF: 0)	IR A-E V2; BIF: 1; HPF: 0.5	0,9480	0,9517	0,9480	0,9756	0,9100	0,9922	0,9448	0,8724	0,9746
SC (ANF: 0)	IR A-E V2; BIF: 1; HPF: 0.25	1,0000	0,9907	1,0000	0,9637	0,8954	0,9808	0,9207	0,9337	0,9965
SC (ANF: 0)	IR A-E V2; BIF: 1; HPF: 0.75	0,9480	0,9517	0,9480	0,9459	0,8978	0,9459	0,9250	0,8858	0,9250
IR A-E V3										
SC (ANF: 0)	IR A-E V3; BIF: 1; HPF: 0.5; LDR: 0.25	0,9480	0,9517	0,9480	0,9756	0,9100	0,9922	0,9954	0,9954	0,9954
SC (ANF: 0)	IR A-E V3; BIF: 1; HPF: 0.5; LDR: 0.5	0,9119	0,8534	0,9119	0,9876	0,9380	0,9876	0,9448	0,8724	0,9513
SC (ANF: 0)	IR A-E V3; BIF: 1; HPF: 0.5; LDR: 0.75	0,9119	0,8534	0,9119	0,9876	0,9380	0,9876	0,9448	0,8724	0,9813
Lower Deviation										
		mit AV	ohne AV		mit AV	ohne AV		mit AV	ohne AV	
SC (ANF: 0)	Lower Deviation	0,7898	0,7898		0,9430	0,7916		0,9680	0,9681	
SC (ANF: 1)	Lower Deviation	0,9792	0,9792		0,9324	0,9324		0,9691	0,9680	
SC (ANF: 2)	Lower Deviation	1,0000	1,0000		0,9403	0,9403		1,0000	1,0000	

Bewertung auf Basis des Wertigkeitsindex: Die Vernachlässigung der Alternativwerte führt zu einem ...

- ... leicht besseren Ergebnis.
- ... bedeutend (+ 0,04 und mehr) besseren Ergebnis.
- ... leicht schlechteren Ergebnis.
- ... bedeutend (- 0,04 und weniger) schlechteren Ergebnis.

(IR A-E C und Lower Deviation ohne AV berücksichtigen keine Alternativwerte)

Tabelle 6-10: Auswirkungen von Alternativwerten auf das Reduktionsergebnis (Ausschnitt aus Anhang A11)

Auswertung

In den meisten Testfällen führt das Ignorieren der Alternativwerte zu besseren (zwischen 0,0001 und 0,0392 höheren) bis hin zu viel besseren (zwischen 0,0481 und 0,1089 höheren) Wertigkeitsindizes der Ergebnismengen, als wenn diese berücksichtigt würden. Besonders zwischen den Varianten B und C der Rollbackentscheidungsmethoden *IRA-E* in den Versionen 2 und 3 treten gehäuft erhebliche Differenzen in der Wertigkeit auf. Wird durch die Vernachlässigung der Alternativwerte ein schlechteres Ergebnis erzielt, so ist der Unterschied bezüglich der Wertigkeitsindizes in der Regel vernachlässigbar. Eine Ausnahme stellen die Ergebnisse der Verfahren dar, die als Rollbackentscheidungsmethode *Lower Deviation* verwenden. Durch das Ignorieren der Alternativwerte wurde bei Anwendung des Verfahrens *SC(0)-LD-Agg* auf das Szenario $S_{C_3,1000,50}$ ein um 0,1514 schlechterer Wertigkeitsindex erzielt, als mit Berücksichtigung der Alternativwerte. Dies ist jedoch darauf zurückzuführen, dass in diesem Fall die Reduktion ohne Berücksichtigung der Alternativwerte sehr früh abgebrochen wird, wohingegen bei Berücksichtigung der Alternativwerte genügend Kandidaten zurückgeholt werden, um weitere Reduktionsschritte durchführen zu können. Zusätzlich handelt es sich hierbei um Alternativwerte zu einem hoch priorisierten Kriterium. Es ist daher davon auszugehen, dass bei dem Rollback keine Kandidaten zurückgeholt wurden, die eine extrem schlechte Gesamtwertigkeit aufweisen.

Die Berücksichtigung von Alternativwerten führt nur selten zu einer höheren Qualität der Ergebnismenge. Zu erklären ist dies an der Tatsache, dass bei der Anwendung von Alternativwerten, den Ausprägungen eines einzelnen Kriteriums eine höhere Bedeutung zugewiesen wird, als den temporären Gesamtwertigkeiten der Kandidaten. Auf die Berücksichtigung von Alternativwerten sind demnach die Nachteile des Reduktionsprinzips *Single Criterion* übertragbar. Je niedriger die Priorität des geprüften Kriteriums ist, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Prüfung dessen Alternativwertes auf die Gesamtwertigkeit der Kandidaten schließen lässt. Eine Berücksichtigung der temporären Gesamtwertigkeiten lässt hingegen bessere Schlussfolgerungen bezüglich der Gesamtwertigkeit zu, da im niedrigen Prioritätsbereich mehr Kriterien berücksichtigt werden, als im hochpriorisierten Bereich.

Ein Vergleich der Szenarien $S_{C_3,1000,10}$ und $S_{C_3,1000,50}$ lässt die Schlussfolgerung zu, dass schlechtere Werte durch Verwendung von Alternativwerten häufiger aufzutreten scheinen, je geringer die angestrebte Gesamtreduktion ist. Dies liegt daran, dass mit Verringerung der Gesamtreduktion auch die Wahrscheinlichkeit zunimmt, dass häufiger ein Rollback durchgeführt wird. Dies führt dazu, dass mehr Alternativwerte berücksichtigt werden.

Werden Alternativwerte bei Prüfung des letzten Kriteriums beziehungsweise beim Rollback mit eingeleitetem Abbruch berücksichtigt, so kann der erzielte Wertigkeitsindex nicht besser sein, als

wenn der Alternativwert vernachlässigt und ein eventuell erforderlicher Rollback per *Aggregation* durchgeführt würde. Bei Anwendung eines Alternativwertes besteht vielmehr die Gefahr, dass der Wertigkeitsindex verschlechtert wird, da mit Berücksichtigung des Alternativwertes Kandidaten in Bezug auf ein in der Regel niedrig priorisiertes Kriterium zurückgeholt werden. In den durchgeführten Tests war dieser Zusammenhang häufig für einen erheblich schlechteren Wertigkeitsindex verantwortlich.

Fazit zur Testphase III

Aus den Testergebnissen kann geschlossen werden, dass die Berücksichtigung von Alternativwerten eher einen negativen Effekt ausübt. Neben den Effekten bezüglich der Qualität der Reduktionsergebnisse, führt die Berücksichtigung von Alternativwerten in der Regel außerdem zu einem höheren Aufwand bezüglich Präferenzwertberechnungen und Datenabfragen. Außerdem wird durch die Angabe von Alternativwerten die Komplexität der Kriteriendefinition erhöht.

6.6.5. Testphase IV: Aufwandsanalyse

Ziel der Testphase IV war eine allgemeingültige Abschätzung der Aufwände zur Anwendung der Reduktionsverfahren, auch bezüglich Reduktionsszenarien mit erheblicher Kandidatenreduktion. Zwecks Allgemeingültigkeit und Berücksichtigung der Variabilität von Kriterienzusammenstellungen, wurde auf die Anwendung von Kriteriensets mit definierten Kriterienbasen verzichtet. Stattdessen wurden Worst- und Best-Case-Szenarien mit folgenden Eigenschaften entwickelt:

- Es wurde ein linearer Anstieg der Kriterienprioritäten angenommen. Bei vier Kriterien ergaben sich beispielsweise die Prioritäten 4 (= 4/10), 3 (= 3/10), 2 (=2/10) und 1 (=1/10).
- Da in Testphase III ermittelt wurde, dass die Verwendung von Alternativwerten eher zu einer Qualitätsminderung der Reduktion führt, wurden Kriterien ohne Alternativwerte angenommen.
- Es wurde angenommen, dass jedes Kriterium das gleiche Reduktionspotential besitzt. Im besten Fall wurde eine Reduktion von abgerundet 75 % je Kriterium, im schlechtesten Fall eine Reduktion von abgerundet 25 % angenommen.
- Um den Aufwand sowohl bezüglich kleiner als auch bezüglich großer Reduktionsmengen analysieren zu können, wurden Inputmengen mit einer Mächtigkeit von 50, 100 und 100.000 Kandidaten sowie eine gewünschte Mächtigkeit der Outputmenge (n_{SC}) von 10 Kandidaten angenommen.
- Es wurde die Effizienz der folgenden Reduktionsverfahren im Vergleich zu einer Rastersuche per Aggregation verglichen:
 - Aggregation [Potential] – None – None

- Single Criterion (ANF = 0) – Always (ARR = 0,33) – Aggregation
- Single Criterion (ANF = 0) – IR A-E Version 1.C (BIF = 1,0 | HPF = 0,5) – Aggregation
- Single Criterion (ANF = 0) – IR A-E Version 2.C (BIF = 1,0 | HPF = 0,5) – Aggregation
- Single Criterion (ANF = 0) – IR A-E Version 3.C (BIF = 1,0 | HPF = 0,5 | LDR = 0,25) – Aggregation
- Single Criterion (ANF = 0) – Lower Deviation – Aggregation
- Single Criterion (ANF = 1) – Lower Deviation – Aggregation

Die Mengen an Präferenzwertberechnungen wurden für die Aufwandsanalyse vernachlässigt, da es sich hierbei um simple Rechnungen handelt, die für jedes analysierte Verfahren auf mehrere Rechner parallelisiert werden können.

Anhand der Verfahrensauswirkungen bezüglich der Best- und Worst-Case-Szenarien wurden je Verfahren und je Reduktionsszenario, durch Bildung des arithmetischen Mittels, die im Mittel notwendigen Kriterienwertberechnungen und die daraus ableitbaren mittleren Einsparpotentiale gegenüber der Rastersuche ermittelt. Die Verläufe zur Berechnung der Kriterienausprägungen (Reduktionsverläufe) werden in Abbildung 6-14 aufgeführt. Die aus den Reduktionsverläufen abgeleiteten mittleren Einsparpotentiale werden in Abbildung 6-15 aufgeführt. Die vollständige Liste an Werten sowie Berechnungsbeispiele sind dem Anhang A11 zu entnehmen.

Auswertung der Aufwände

Bei den Verfahrensanwendungen ist eine Sättigung sowohl in Bezug auf die Menge an Kriterien als auch bezüglich der Gesamtreduktion zu erkennen. Bezogen auf die Menge berücksichtigter Kriterien ist die Sättigung am besten bei der Reduktion von 100.000 auf zehn Kandidaten, also bei einer hohen Gesamtreduktion, zu erkennen. Eine wesentliche Änderung des Effizienzverhaltens der Verfahren gegenüber der Anwendung von sechs Kriterien, wird bei Anwendung weiterer Kriterien nicht erwartet.

Da alle Verfahren eine Reduktionsentscheidung nicht zufällig durchführen, sondern anhand von Kriterienausprägungen, führen diese frühestens ab zwei betrachteten Kriterien zu einer höheren Effizienz gegenüber einer Rastersuche. Bei der Berücksichtigung von zwei Kriterien ist laut den Analysewerten kein Verfahren effizienter, als die Potentialanalyse per Aggregation (*Aggregation [Pot.]*). Hingegen haben Verfahren, die nach Anwendung des ersten Kriteriums einen Rollback durchführen, teilweise eine geringere Effizienz. Verfahren mit einem ANF über Null besitzen bei der Prüfung von zwei Kriterien kein Einsparpotential. Bezüglich Reduktionsszenarien mit drei oder mehr Kriterien sowie einer großen Gesamtreduktion (in der Analyse: $|A_{I,IR}| = 100.000$; $n_{SC} = 10$) hat die Potentialanalyse *Agg [Pot.]* eine fast 20 % geringere Effizienz gegenüber der Rastersuche, als die

Verfahren $SC(0) - IRA-E 1.C(1,0|0,25) - Agg$ und $SC(0) - LD - Agg$. Gegenüber den Verfahren $SC(0) - IRA-E 2.C(1,0|0,25) - Agg$ und $SC(0) - IRA-E 3.C(1,0|0,25|0,25) - Agg$ weist die Potentialanalyse bei der Berücksichtigung von vier Kriterien eine circa 7 % geringere, ab fünf Kriterien etwas mehr als 10 % geringere Effizienz auf.

Allgemein kann gesagt werden, dass die Reduktionsverläufe der Reduktionsverfahren, ausgenommen der Potentialanalyse, bezogen auf alle drei Inputmengen an Kandidaten ähnlich verlaufen. Bei der Potentialanalyse ist bei Erhöhung der Gesamtreduktion hingegen ein erheblicher Anstieg der Effizienz mit sättigendem Verlauf zu erkennen. Liegt bei Anwendung der Potentialanalyse die Differenz zwischen der Effizienz bei einer Reduktion von 50 auf 10 Kandidaten und der Effizienz bei einer Reduktion von 100 auf 10 Kandidaten, bei Berücksichtigung von sechs Kriterien, im Mittel bereits bei 6 % (von 26 % auf 32 %), so ist die Differenz zwischen der Effizienz bei einer Reduktion von 100 auf 10 und der Effizienz bei einer Reduktion von 100.000 auf 10 Kandidaten mit 10% (von 32 % auf 42 %) verhältnismäßig gering. Für eine genauere Abschätzung des Sättigungsverlaufes wäre die Berücksichtigung weiterer Szenarien erforderlich.

Allgemein ist die Potentialanalyse $Agg [Pot.]$ bei der Berücksichtigung von mehr als drei Kriterien ineffizienter als die anderen Methoden, mit Ausnahme der Verwendung eines ANF über Null. Die Ineffizienz steigt mit der Menge an Kriterien, wobei sich der Effizienzlevel aller Verfahren sättigt. Die Verfahren $SC(0) - IRA-E 1.C(1,0|0,25) - Agg$ und $SC(0) - LD - Agg$ erreichen bei großer Gesamtreduktion im Mittel eine maximale Effizienz von circa 60 %. Die maximale Effizienz des Verfahrens $Agg [Pot.] - N - N$ liegt im Mittel hingegen bei circa 45 %. Bei sehr geringer Gesamtreduktion wird durch $Agg [Pot.] - N - N$ im Mittel lediglich eine maximale Effizienz von circa 25 %, bei Verwendung des Reduktionsprinzips *Single Criterion* mit einem ANF von Null hingegen circa 50 % bis 55 % erreicht.

Bei einer geringen Gesamtreduktion und einer hohen Komplexität der Bestimmung von Kriterienausprägungen, ist die Potentialanalyse daher bezüglich der Effizienz im Vergleich zu den anderen Verfahren eher ungeeignet. Für eine detailliertere Einteilung ist ein Vergleich mit den zu erwartenden Qualitäten erforderlich.

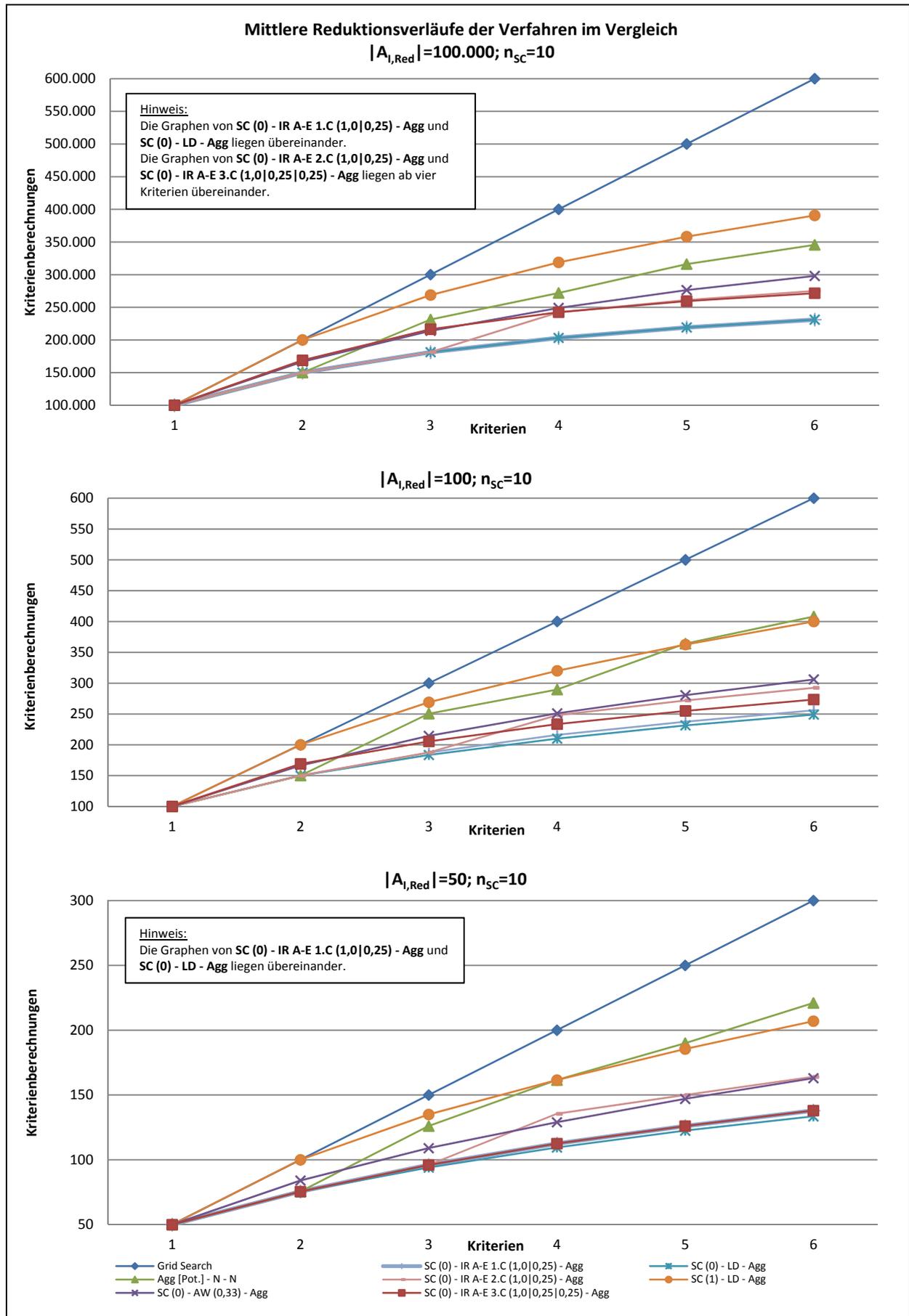


Abbildung 6-14: Mittlere Reduktionsverläufe der Reduktionsverfahren

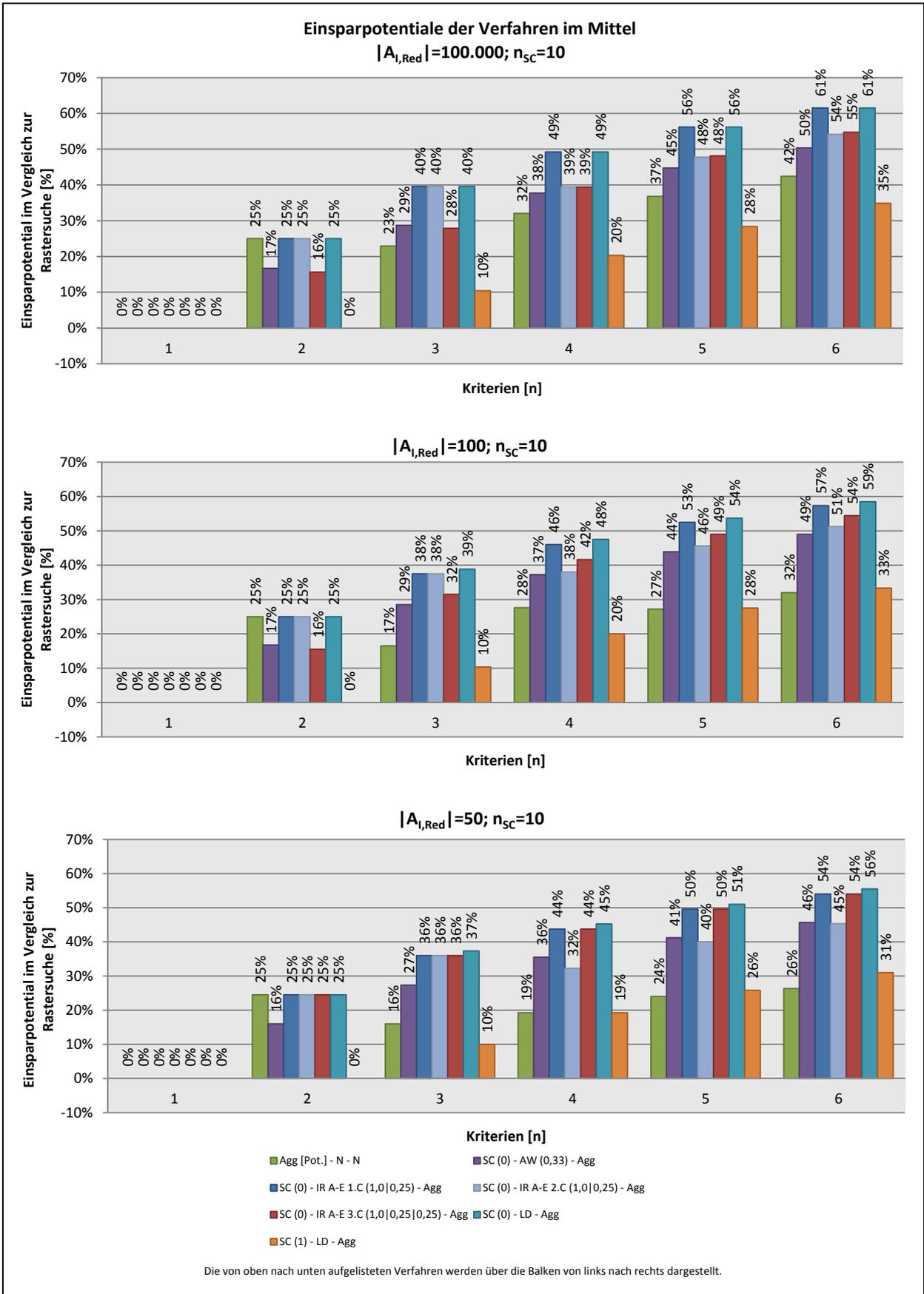


Abbildung 6-15: Mittlere Einsparpotentiale der Reduktionsverfahren

Auswertung in Kombination der Qualitätsanalyse aus den Testphasen II und III

Bei einem Vergleich der mittleren Reduktionsverläufe mit den qualitätsbezogenen Aussagen aus den vorherigen Testphasen können die folgenden Schlussfolgerungen getroffen werden:

Besteht der Kriteriensatz des Reduktionsszenarios aus maximal zwei Kriterien, so ist die Potentialanalyse per Aggregation den anderen untersuchten Verfahren vorzuziehen, da mit dieser eine optimale Qualität der Ergebnismenge und mindestens die gleiche Effizienz erreicht wird.

Handelt es sich bei dem Reduktionsszenario um ein Szenario mit geringer Gesamtreduktion, wird die gewünschte Zielmächtigkeit durch das Reduktionsprinzip *Single Kriterien* ($ANF = 0$) schnell erreicht. Bei einer geringen Inputmenge ist die Reduktion anhand von Annahmen jedoch allgemein riskant, da eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass die Menge guter Kandidaten ebenfalls gering ist. Die Anwendung eines Verfahrens, welches stabil eine gute Qualität erzielt, ist bei geringen Inputmengen demnach eher geeignet. Sind die Kriterienwerte einfach zu ermitteln, ist eine Reduktion bei geringen Inputmengen ohnehin nicht notwendig. Da die Potentialanalyse Berechnungen einspart, die Qualität der Rangbildung jedoch nicht mindert, ist diese bei geringen Berechnungsanforderungen vorzuziehen. Bei sehr komplexen Kriterienwertberechnungen und wenigen Kriterien kann zunächst eine Reduktion per Einzelkriterienvergleich in Verbindung mit den Methoden *IRA-E 1.C* oder *IRA-E 3.C* durchgeführt werden, da ein hoch priorisiertes Kriterium mit hoher Wahrscheinlichkeit eine hohe Bedeutung bezüglich der Gesamtwertigkeit besitzt. Es sollte jedoch ein früher Übergang zu einem qualitativ stabilen Verfahren stattfinden. Je mehr Kriterien geprüft werden, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Einzelkriterienvergleich nicht genügend Aussage über die Gesamtwertigkeiten gewährt. Bei komplexen Berechnungsanforderungen und vielen Kriterien kann der Einzelkriterienvergleich eingesetzt werden, sofern je Reduktionsschritt ein Rollback durchgeführt wird. Ein früher Übergang zu qualitativ stabilen Verfahren ist hier ebenfalls notwendig.

Bei großen Inputmengen, einer hohen relativen Gesamtreduktion sowie der Verwendung von drei bis vier Rankingkriterien sind die Effizienzeinbußen des Verfahrens *Agg [Pot.] – N – N* gegenüber den Reduktionsverfahren *SC (0) – {IRA-E {2,3}.C, Always} – Agg* unter Berücksichtigung der zu erwartenden Qualität vertretbar. Ab der Verwendung von fünf Kriterien liegt die Effizienz bei Anwendung der Rollbackentscheidungsmethode *Always (0,33)* um 8 % höher, als bei Anwendung des Reduktionsverfahrens *Agg [Pot.] – N – N*. Bei Anwendung der Rollbackentscheidungsmethoden *IRA-E 2.C* beziehungsweise *IRA-E 3.C* ist die im Mittel zu erwartende Effizienz sogar 11 % bis 13 % höher. Bei Betrachtung der zu erwartenden Qualität haben *IRA-E {2,3}.C* Qualitätseinbußen zu verzeichnen, schneiden im Allgemeinen jedoch gut ab. Im direkten Vergleich wäre allerdings Version *3.C* der Version *2.C* vorzuziehen, da diese das Reduktionspotential der Kriterien berücksichtigt und sich so dem jeweiligen Reduktionsszenario dynamisch anpasst.

Die Verwendung des Reduktionsprinzips *Single Criterion (0)* mit den Rollbackentscheidungsmethoden *Lower Deviation* oder *IR A-E 1.C* verspricht eine hohe Effizienz, jedoch eine unzureichende Qualität. Da die Qualitätsdefizite gegenüber der Verwendung von *IR A-E 2.C* oder *IR A-E 3.C* gerade aufgrund des fehlenden Rollbacks bei hochpriorisierten Kriterien zustande kommen, ist es nicht sinnvoll, die Reduktion zunächst mit *IR A-E 1.C* oder *Lower Deviation* zu starten und im weiteren Verlauf auf ein qualitativ stabileres Verfahren zu wechseln. Für große Inputmengen und einer hohen Gesamtreduktion sind diese Verfahren daher ungeeignet.

Da große Inputmengen tendenziell viele gute Kandidaten enthalten, bietet sich bei einer geringen Gesamtreduktion die Anwendung des Reduktionsverfahrens *SC(0) – IR A-E 3.C – Agg* an. Dieses Verfahren ist der Potentialanalyse umso mehr vorzuziehen, je komplexer die Berechnungsanforderungen sind.

Mengen Kriterien	Kleine Inputmenge	Große Inputmenge mit geringer Gesamtreduktion	Große Inputmenge mit hoher Gesamtreduktion
1 bis 2	Agg [Pot.] – N – N		
3 bis 4 geringer Komplexität	Agg [Pot.] – N – N	Agg [Pot.] – N – N	Agg [Pot.] – N – N
3 bis 4 hoher Komplexität	SC(0) – IR A-E {1,3}.C – Agg mit frühem Übergang zu Agg [Pot.] – N – N	Agg [Pot.] – N – N oder SC(0) – IR A-E 3.C – Agg	Agg [Pot.] – N – N
Über 4 geringer Komplexität	Agg [Pot.] – N – N	Agg [Pot.] – N – N oder SC(0) – IR A-E 3.C – Agg	Agg [Pot.] – N – N oder SC(0) – IR A-E 3.C – Agg mit Übergang zu Agg [Pot.] – N – N
Über 4 hoher Komplexität	SC(0) – {IR A-E 2.C, AW} – Agg mit frühem Übergang zu Agg [Pot.] – N – N	SC(0) – IR A-E 3.C – Agg	SC(0) – IR A-E 3.C – Agg mit Übergang zu Agg [Pot.] – N – N

Tabelle 6-11: Empfehlung der Verfahrensanwendung auf Basis der Testphasen II bis IV

Explizite Aufwandsanalyse der Potentialanalyse

Da die Potentialanalyse per Aggregation die beste Qualität erzielt, jedoch in einigen Fällen als vergleichbar ineffizient gilt, wurde eine ausführlichere Analyse derer Aufwände durchgeführt. Zur Verfahrensanalyse wurde die Potentialanalyse auf insgesamt 88 Testszenarien angewendet, deren Parameter der Tabelle 6-12 entnommen werden können.

Es wurden acht unterschiedlich priorisierte Kriteriensets aus dem im Kapitel 4 vorgestellten Kriterienbaukasten zusammengestellt. Damit wurde zum einen das Reduktionsverhalten in Bezug auf eine gleiche relative Gesamtreduktion von 80 %, zum anderen bezüglich unterschiedlichen relativen Gesamtreduktionen ermittelt.

Kriterien											Reduktion			
c			Prioritäten (absolut)								$n_{SC} = 20\%$		$n_{SC} = 10$	
Name	\otimes	Wert	C_1	C_2	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	$ A_{I,Red} $	n_{SC}	$ A_{I,Red} $	n_{SC}
Entfernung	\leq	200	12	4	6	1	5	2	3	2	1000	200	1000	10
Bewertung	\geq	4,0	10	7	5	2	6	1	4	1	750	150	750	10
FSC-Zertifizierung	$=$	1	9	8	4	3	3	4	5	6	500	100	500	10
Konkurrenzprodukte	$=$	0	8	9	3	4	4	3	6	5	250	50	250	10
Vorgängeraufträge	\geq	3	7	10	2	5	1	6	1	4	100	20	100	10
Unternehmensbestehen	\geq	25	4	12	1	6	2	5	2	3	50	10	50	10

Tabelle 6-12: Kriteriensets und Reduktionsmengen zur Aufwandsanalyse zu Agg [Pot.] – N – N

Ein Effizienzvergleich kann anhand der Graphen in Abbildung 6-16 und Abbildung 6-17 vorgenommen werden. Eine Aufführung aller Analysewerte und Graphen ist dem Anhang A11 zu entnehmen.

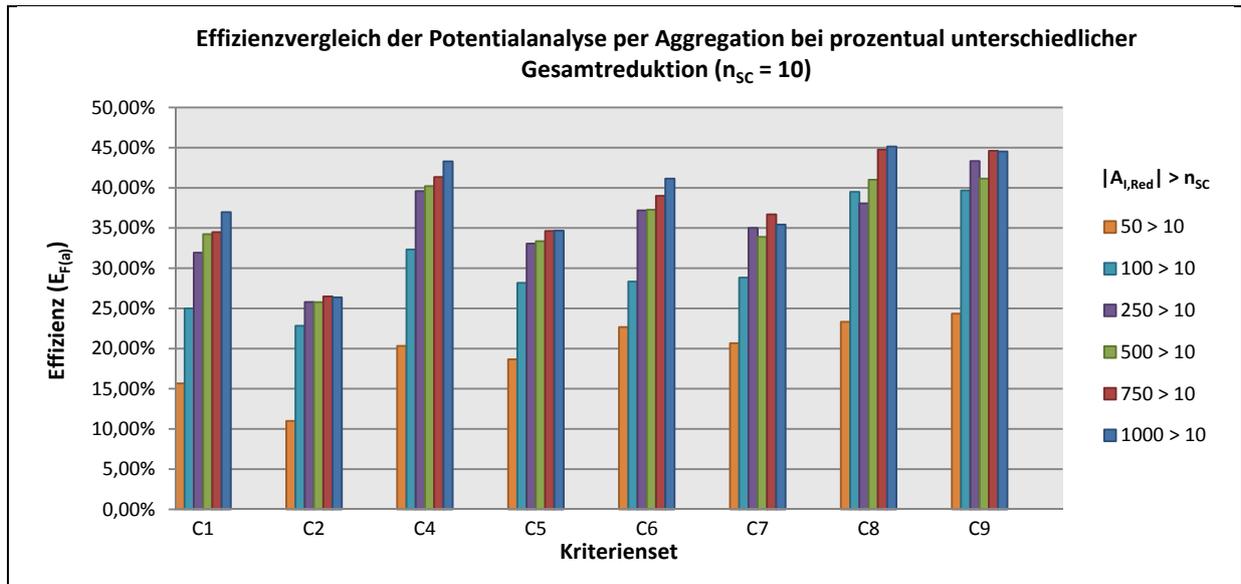


Abbildung 6-16: Effizienzvergleich der Potentialanalyse bei gleicher relativer Gesamtreduktion

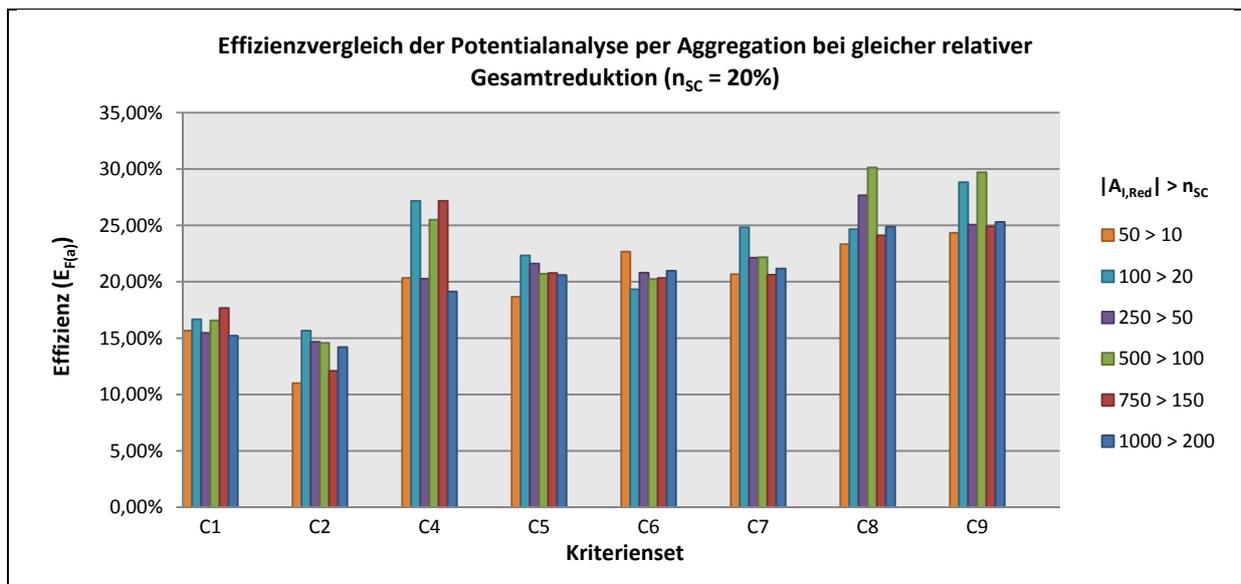


Abbildung 6-17: Effizienzvergleich der Potentialanalyse bei prozentual unterschiedlicher Gesamtreduktion

Die Graphen lassen vermuten, dass das Reduktionsverhalten der Potentialanalyse per Aggregation, bei einem festen Set an Kriterien, weniger von der zu reduzierenden Inputmenge, als von der Gesamtreduktion abhängt. Je größer die relative Gesamtreduktion ist, desto höher ist auch das

Einsparpotential, wobei ein Sättigungsverlauf zu erkennen ist (siehe Abbildung 6-16). Bei den durchgeführten Testszenarien lagen alle ermittelten Einsparpotentiale der Potentialanalyse per Aggregation gegenüber der Rastersuche unter 45 %. Eine wesentlich höhere Effizienz ist nicht zu erwarten.

Aus den Graphen geht außerdem hervor, dass das Kriterienset einen erheblichen Einfluss auf die Effizienz des Reduktionsverfahrens hat. Zu erwähnen ist, dass für die unterschiedlichen Kriteriensets immer die gleichen Kriterien, jedoch unterschiedliche Prioritäten verwendet wurden. Die Kriteriensets C_4 bis C_9 sind durch einen linearen Prioritätsabfall gekennzeichnet. Die Prioritäten beeinflussen zum einen die Anwendungsreihenfolge der Kriterien, zum anderen den Eintritt der frühestmöglichen Reduktion per Potentialanalyse. Die Potentialanalyse führt frühestens zur Reduktion, wenn die Hälfte der Prioritäten verarbeitet wurde. Bei den Kriteriensets C_1 und C_2 führt demnach frühestens die Anwendung des dritten Kriteriums, bei den anderen Kriteriensets bereits die Anwendung des zweiten Kriteriums zu einer Reduktion. Die Effizienzunterschiede ergeben sich jedoch nicht nur anhand des Reduktionsbeginns, sondern ebenfalls durch die Kriterienreihenfolge. Zwischen den Kriteriensets C_4 bis C_9 existieren, die gleiche Inputmenge und angedachte Zielmächtigkeit betreffend, immerhin Effizienzunterschiede zwischen 4 % bis zu circa 11,5 %.

Fazit zur Testphase IV

Die bisherigen Testphasen haben gezeigt, dass die Potentialanalyse per Aggregation in vielen Fällen das geeignetste Reduktionsverfahren darstellt, da diese eine maximale Stabilität bezüglich der Qualität der Ergebnismenge liefert. Den Ergebnissen aus Testphase IV ist jedoch ebenfalls zu entnehmen, dass es in einigen Fällen aufgrund der verhältnismäßig geringen Effizienz sinnvoll sein kann, zumindest temporär auf andere Reduktionsverfahren auszuweichen.

So können Reduktionsverfahren besonders bei Szenarien mit großen Inputmengen und vielen Reduktionskriterien zu einer erheblichen Effizienz gegenüber einer Rastersuche führen. Bei Verwendung der Potentialanalyse ist hierbei ein Einsparpotential wesentlich über 45 % allerdings nicht zu erwarten.

6.6.6. Testphase V: Auswirkungen von Zufallsreduktionen

Werden Kriterien bei der Reduktion ignoriert, also eine Zufallsreduktion durchgeführt, kann der Aufwand für die Rangbildung erheblich reduziert werden. Bei einer großen Inputmenge kann davon ausgegangen werden, dass in dieser viele gute Kandidaten enthalten sind. In der Testphase V sollte analysiert werden, unter welchen Bedingungen und bis zu welchem Grad eine zufällige Reduktion von Kandidaten möglich ist, ohne dass erhebliche Qualitätsverluste zu erwarten sind. Erkenntnisse

aus dieser Analyse sollten zu der Entwicklung einer effizienteren Variante der Potentialanalyse führen.

Verfahrensaufbau

Zur Qualitätsanalyse der Zufallsreduktion wurde diese auf insgesamt 40 Testszenarien angewendet. Die verwendeten Kriteriensets sowie Reduktionsmengen können der Tabelle 6-13 entnommen werden.

Kriterien							Reduktion			
C			Prioritäten (absolut)				$n_{SC} = 20\%$		$n_{SC} = 10$	
Name	⊗	Wert	C_4	C_5	C_6	C_7	$ A_{I,Red} $	n_{SC}	$ A_{I,Red} $	n_{SC}
Entfernung	≤	200	6	1	5	2	1000	200	1000	10
Bewertung	≥	4,0	5	2	6	1	750	150	750	10
FSC-Zertifizierung	=	1	4	3	3	4	500	100	500	10
Konkurrenzprodukte	=	0	3	4	4	3	250	50	250	10
Vorgängeraufträge	≥	3	2	5	1	6	100	20	100	10
Unternehmensbestehen	≥	25	1	6	2	5				

Tabelle 6-13: Kriteriensets und Reduktionsmengen zur Analyse der Zufallsreduktion

Bei der Anwendung des Reduktionsverfahrens ($RDM(RI = 0,1) - N - N$) wurden je Reduktionsschritt 10 % der gesamt zu reduzierenden Menge an Kandidaten ($|A_{I,Red}| - n_{SC}$) zufällig entfernt. Bei einer Mächtigkeit der Inputmenge von 1000 Kandidaten ($|A_{I,Red}| = 1000$) und einer Outputmenge von 200 Kandidaten ($|A_{O,Red}| = 200$) ergibt sich je Reduktionsschritt beispielsweise eine Reduktion von 80 Kandidaten. Je Reduktionsschritt wurden der Wertigkeitsindex (V) sowie die Precision bezogen auf die Relevanzmenge ($prec_{A_{Rel}}$) ermittelt. Um die Ergebnisse zumindest im zeitlich machbaren Rahmen stochastisch abzusichern, wurden je Testszenario zehn Verfahrensanwendungen durchgeführt und das arithmetische Mittel als Repräsentant des jeweiligen Szenarios dargestellt.

Auswertung

Im ersten Schritt wurden die Ergebnisse bezogen auf die unterschiedlichen Kriteriensets verglichen. Aus diesem Vergleich lässt sich schließen, dass die Zusammensetzung des Kriteriensets, eine Gleichverteilung der Kandidatenwertigkeiten vorausgesetzt, eine vernachlässigbare Auswirkung auf das Reduktionsergebnis ausübt. Umgekehrt kann anhand der Ergebnisse die Schlussfolgerung gezogen werden, dass es sich bei den berücksichtigten Kandidatenmengen um solch gleichverteilte Mengen handelt. In Abbildung 6-18 wird beispielhaft der Vergleich bezüglich einer Reduktion von 500 auf 100 Kandidaten aufgeführt. Die Graphen der unterschiedlichen Kriteriensets wurden anhand des arithmetischen Mittels zu einem Graphen zusammengefasst. Die Verteilung der Kandidatenwertigkeiten zu allen Testszenarien der Zufallsreduktion können dem Anhang A13 entnommen werden.

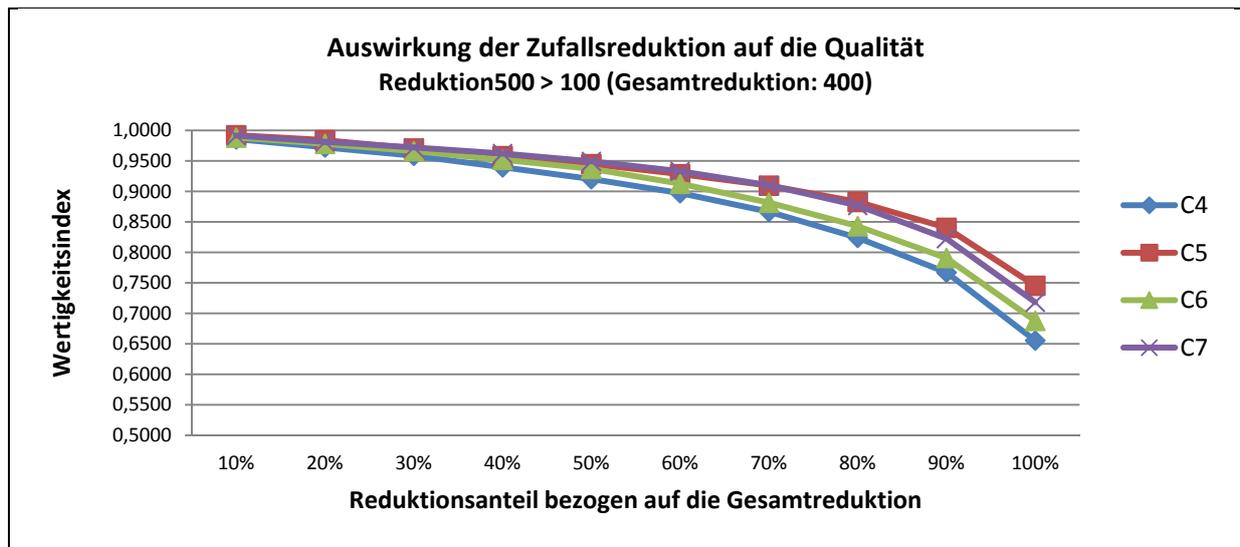


Abbildung 6-18: Auswirkungen unterschiedlicher Kriteriensets auf die Zufallsreduktion

Abbildung 6-19 führt die Graphen der Szenarien mit einer Reduktion auf 10 Kandidaten sowie einer Reduktion auf 20 % der Inputmenge auf. Die jeweiligen gemittelten Graphen werden ebenfalls gegenüber gestellt. Eine Auflistung aller Analysewerte sowie Graphen können dem Anhang A11 entnommen werden.

Allgemein kann gesagt werden, dass die Qualitätsverläufe der Zufallsreduktion bei prozentual gleicher Gesamtreduktion nahezu identisch verlaufen. Bei unterschiedlichen relativen Gesamtreduktionen verlaufen die Reduktionsverläufe ebenfalls ähnlich, wobei die Qualität stabiler zu sein scheint, je höher die Gesamtreduktion ist.

Die vollständige Reduktion zufällig durchzuführen führt in allen Fällen zu einem unbefriedigenden Ergebnis. Bis zu einer Reduktion von 60 % der Gesamtreduktion wird in allen Fällen ein relativ guter Wertigkeitsindex über 0,9 erreicht. Bis zu einer Reduktion von 50 % wird sogar noch ein Wertigkeitsindex über 0,94 und bei einer Reduktion von 20 % ein Wert um die 0,98 erreicht. Bei einer hohen Gesamtreduktion (im Test: von 1000, 750 und 500 Kandidaten auf 10 Kandidaten) wird sogar noch ein Wertigkeitsindex über 0,9 erzielt, wenn 80 % der zu reduzierenden Menge zufällig eliminiert werden.

Fazit zur Testphase V

Besonders bei einer hohen Gesamtreduktion kann die Effizienz der Reduktion durch einen hohen Anteil zufällig eliminierter Kandidaten erheblich gesteigert werden, ohne dass gravierende Einbußen in der Qualität zu erwarten sind. Je mehr gute Kandidaten in der Kandidatenmenge zu erwarten sind, desto mehr Kandidaten können zufällig eliminiert werden, ohne die Qualität erheblich einzuschränken.

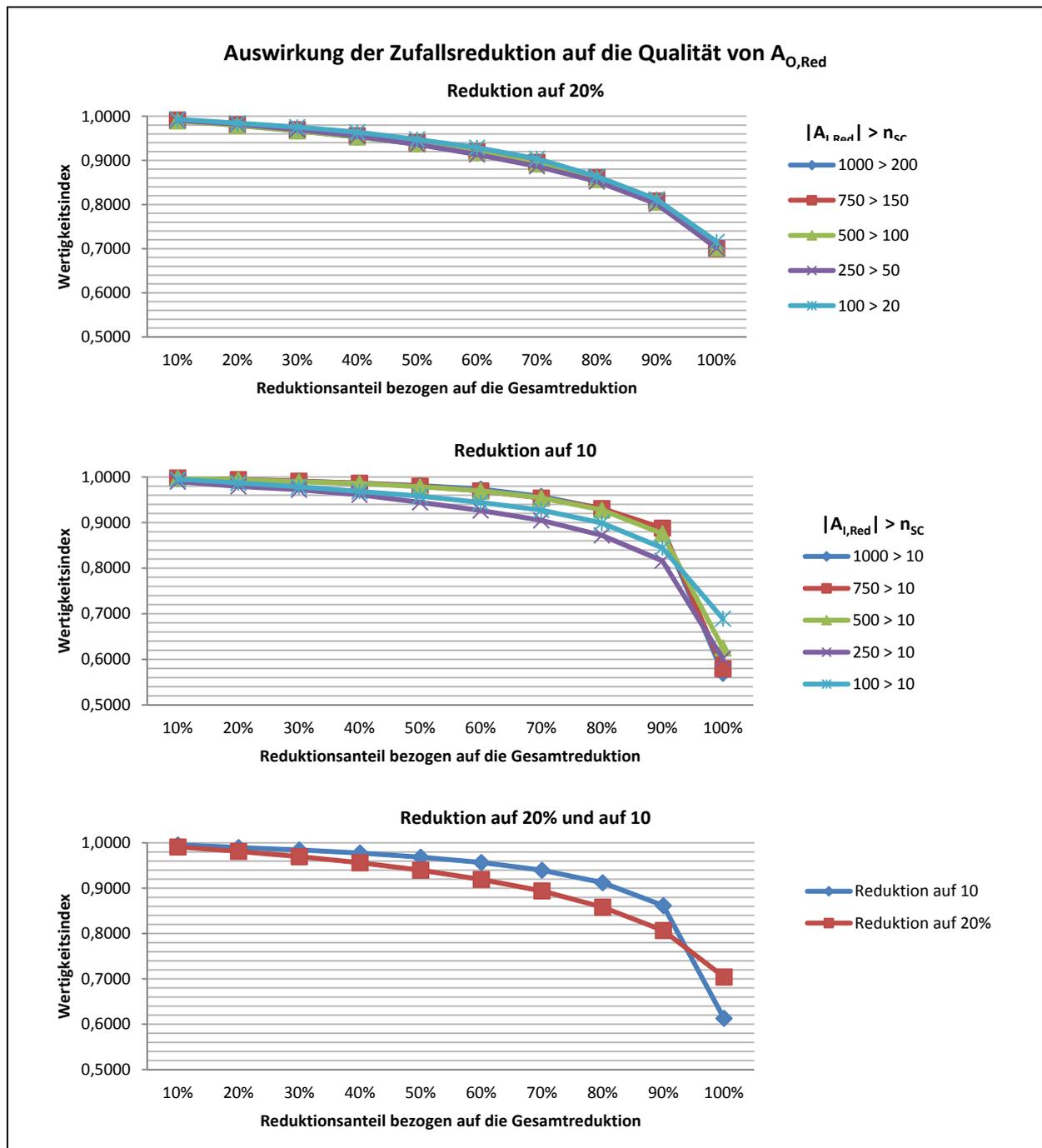


Abbildung 6-19: Auswirkung der Zufallsreduktion auf die Qualität der Ergebnismenge

6.6.7. Testphase VI: Abschlussanalyse

Da durch die Zufallsreduktion ein großer Anteil an Kandidaten reduziert werden kann, ohne einen hohen Qualitätsverlust erwarten zu müssen, liegt es nahe, dass je Kriterium viele Kandidaten ebenfalls anhand ihrer Gesamtwertigkeit eliminiert werden können, ohne erhebliche Qualitätsverluste zu erleiden. Diese Erkenntnis aufgreifend wurde das Verfahren *Agg [FI] – N – N* entwickelt, das je Reduktionsschritt eine feste Menge an Kandidaten anhand derer Gesamtwertigkeit eliminiert, wobei sich die Menge schrittweise zu eliminierender Kandidaten aus der Division der Gesamtreduktion durch die Menge an Reduktions- beziehungsweise Rankingkriterien ergibt. Wird

diese Methode wiederum mit der Potentialanalyse kombiniert, sodass je Reduktionsschritt diejenige Methode genutzt wird, die die meisten Kandidaten eliminiert, kann die Effizienz der Potentialanalyse erheblich gesteigert werden. Das Verfahren *Agg [FI + Pot.] – N – N* stellt die Kombination beider Reduktionsverfahren dar.

In einer abschließenden Testphase VI sollten die Stabilität der Aufwandseinsparung sowie der Qualität der Verfahren *Agg [FI] – N – N* und *Agg [FI + Pot.] – N – N* mit denen der bis dahin vielversprechendsten Reduktionsverfahren verglichen werden. Hierzu wurden die Verfahren auf je acht Kriteriensets mit zwei, vier und sechs Kriterien sowie einer Inputmenge der Mächtigkeit 1000 und einer angestrebten Zielmächtigkeit von zehn Kandidaten angewendet. In Abbildung 6-20 und Abbildung 6-21 werden die über alle Kriteriensets gemittelten Verläufe bezüglich der Qualität sowie der Kandidatenreduktion aufgeführt. Eine Auflistung aller Analysewerte sowie Graphen sind dem Anhang A11 zu entnehmen.

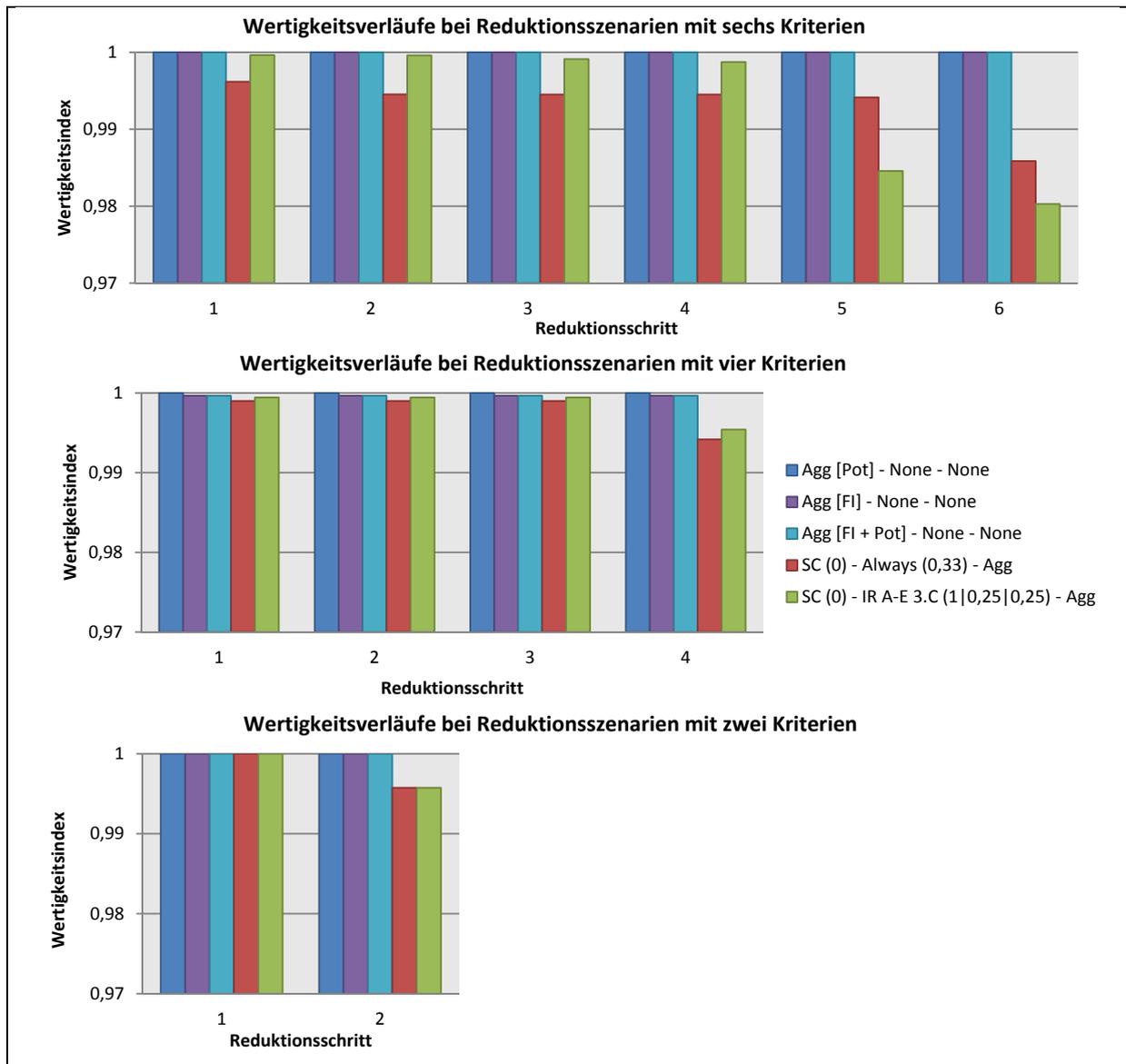


Abbildung 6-20: Mittlere Wertigkeitsverläufe der Testphase VI

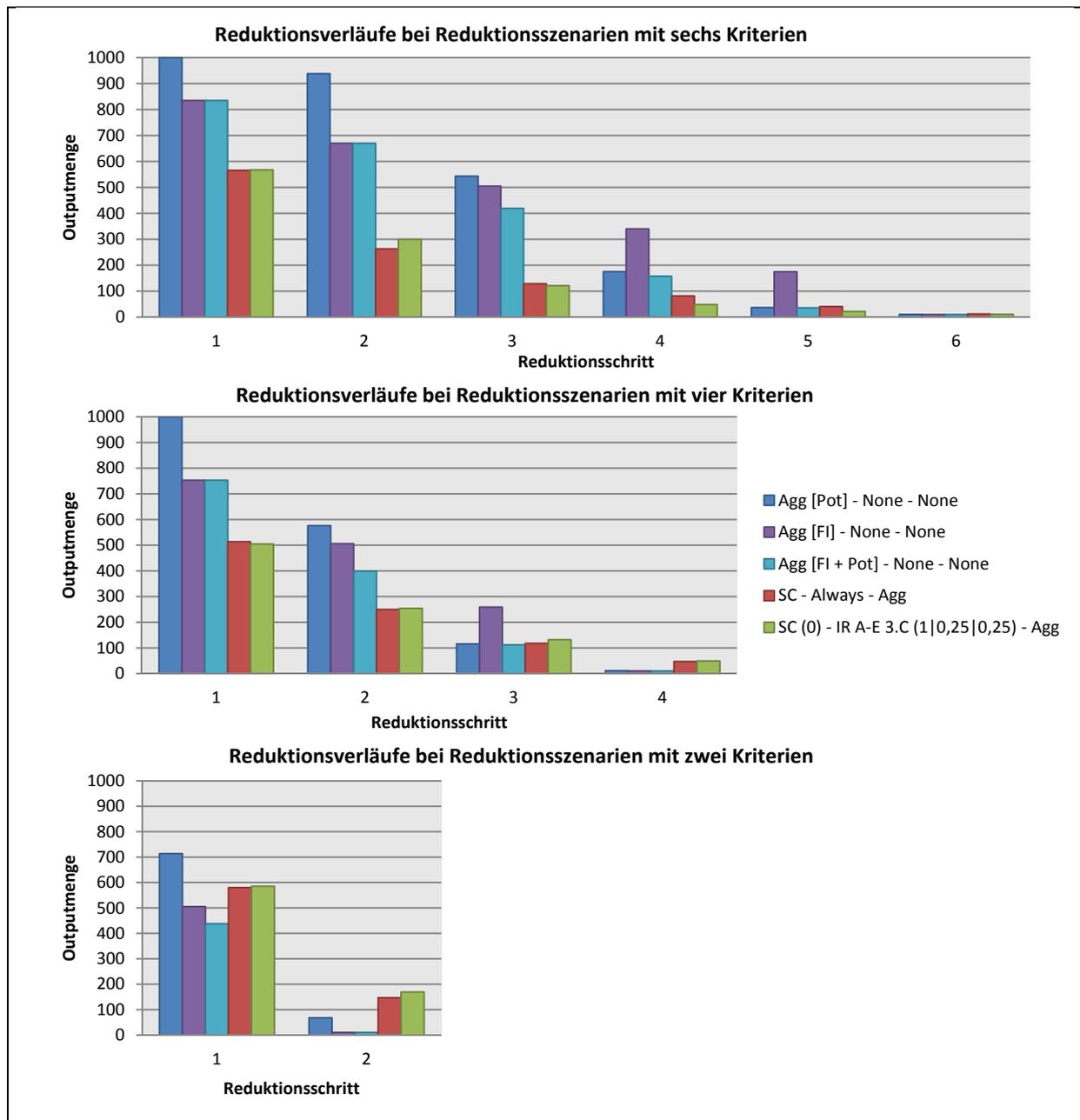


Abbildung 6-21: Mittlere Reduktionsverläufe der Testphase VI

Den Graphen ist zu entnehmen, dass die Verfahren $\{Agg [Pot.], Agg [FI], Agg [FI + Pot.]\} - N - N$, bei Reduktionsszenarien mit hoher Gesamtreduktion, stabil eine hohe Qualität erzielen. Bezogen auf die Testszenarien wurde meist der maximal mögliche Wertigkeitsindex von 1 erreicht. Bei Anwendung der Verfahren $\{Agg [FI], Agg [FI + Pot.]\} - N - N$ wurde lediglich bei einem Testszenario mit vier Kriterien ein vernachlässigbar geringerer Wertigkeitsindex von 0,9972 erreicht. Im Mittel erzielten diese Verfahren bei den Testszenarien mit vier Kriterien einen Wertigkeitsindex von 0,9997. Da auch Testszenarien mit einer sehr geringen Relevanzmenge einbezogen wurden, kann gesagt werden, dass diese Verfahren allgemein zu einer sehr guten Ergebnismenge führen.

Die Verfahren $SC(0) - \{AW(0,33), IR A-E 3.C(1|0,25|0,25)\} - Agg$ erzielen anfänglich ebenfalls gute Ergebnisse, wobei der Wertigkeitsindex im letzten Drittel des Reduktionsprozesses, besonders bei Verwendung der Heuristik $IR A-E$, erheblich absinkt.

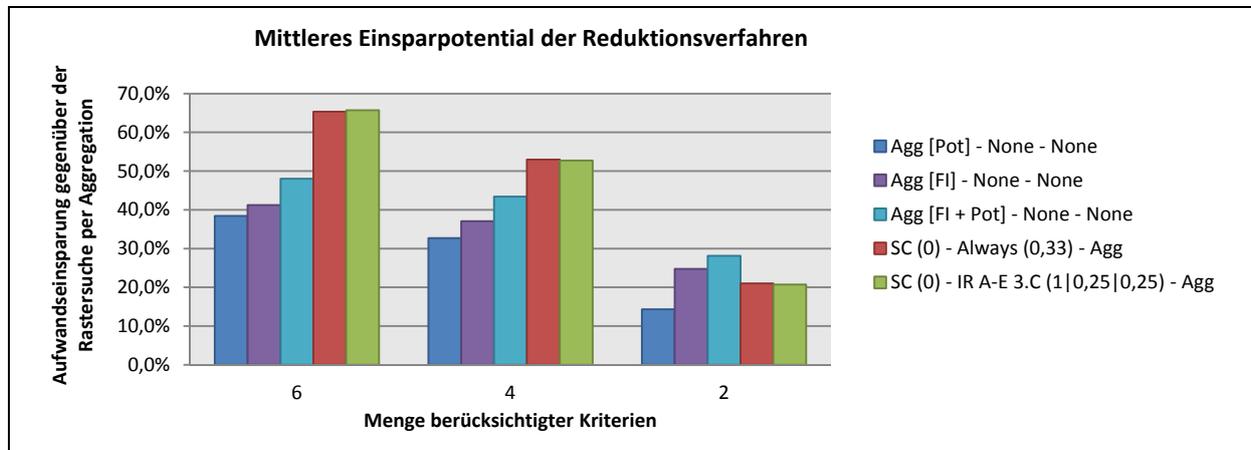


Abbildung 6-22: Mittleres Einsparpotential der Reduktionsverfahren

Die Effizienz des Verfahrens $Agg [FI + Pot.] - N - N$ ist in der Regel geringer als die der Verfahren, die das Reduktionsprinzip *Single Criterion* nutzen, jedoch erheblich höher, als die der reinen Potentialanalyse (siehe Abbildung 6-22).

Fazit zur Testphase VI

Die Ergebnisse der Testphase VI zeigen, dass das Verfahren $Agg [FI + Pot.] - N - N$ eine hohe Stabilität bezüglich der erreichten Qualität aufweist. Außerdem ist es erheblich effizienter, als die reine Potentialanalyse per Aggregation ($Agg [Pot.] - N - N$), wenn auch ineffizienter, als Verfahren auf Basis des Reduktionsprinzips *Single Criterion*.

Die Robustheit des Verfahrens ist sehr hoch. Prinzipiell hängt diese ab von:

- Menge an Kandidaten
- Verteilungen der Kandidatenwertigkeiten
- Kriterienprioritäten
- Menge an Kriterien
- Differenzierungsmöglichkeit durch die Kriterien

Die Auswirkung der Verteilung der Gesamtwertigkeiten der Kandidaten geht Richtung Null, da bei der auf Annahmen basierenden Komponente (FI) des Reduktionsverfahrens $Agg [FI + Pot.] - N - N$ keine reine Zufallsreduktion durchgeführt wird. Falls die Grundmenge an Kandidaten aus nur wenigen guten und vielen schlechten Kandidaten besteht, bestünde bei einer Zufallsreduktion das Risiko, dass einige der guten Kandidaten eliminiert wird. Bei der Reduktion anhand der temporären

Gesamtwertigkeit bestünde die Gefahr ebenfalls, besonders wenn erst wenige Kriterienprioritäten verarbeitet wurden. Da die wenigen guten Kandidaten mit hoher Wahrscheinlichkeit ebenfalls im hochpriorisierten Kriterienbereich nicht die geringsten Wertigkeiten aufweisen, ist das Risiko allerdings sehr gering.

Aufgrund dieses Verhaltens ist die Robustheit bei einer Verteilung mit einer geringen Menge an schlechten und guten, jedoch hoher Menge an mittleren Kandidaten, am geringsten einzustufen. Hier besteht in einem frühen Stadium des Reduktionsprozesses eine relativ hohe Wahrscheinlichkeit, dass gute Kandidaten aufgrund der temporären Gesamtwertigkeit von mittelmäßigen Kandidaten dominiert werden. Das Risiko, dass anhand der Berücksichtigung der temporären Gesamtwertigkeiten sehr gute Kandidaten eliminiert werden, reduziert sich mit der Menge an geprüften Kriterienprioritäten.

Die temporären Wertigkeiten hängen dabei des Weiteren von den Differenzierungsmöglichkeiten, die die Kriterien gegenüber den Kandidaten bieten, sowie von den Verteilungen der jeweiligen Kriterienausprägungen ab. Die Menge an Kriterien hat lediglich in Verbindung mit den Kriterienprioritäten eine Auswirkung auf die Robustheit. Entscheidend ist, wie hoch die relative Priorität der Kriterien in frühen Reduktionsstadien ist, welche Aussagekraft diese also bezüglich der Gesamtwertigkeit besitzen. Je mehr Entscheidungen aufgrund geringer Aussagekraft temporärer Gesamtwertigkeiten getroffen werden, desto geringer ist die Robustheit. Die durchgeführten Tests haben gezeigt, dass das Verfahren sowohl bei Szenarien mit wenigen als auch bei Szenarien mit vielen Kriterien gute Ergebnisse liefert.

Die Robustheit steigt außerdem mit der Menge an Kandidaten. Je mächtiger die Menge an Kandidaten ist, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass ausreichend gute Kandidaten enthalten sind, um mit Sicherheit eine sehr gute Ergebnismenge zu erhalten. Die Analysen haben gezeigt, dass durch das Verfahren *Agg [Fl + Pot.] – N – N* ebenfalls in Testszenarien mit einer relativ geringen Gesamtreduktion von 90 % und einer geringen Relevanzmenge, sehr gute Ergebnisse erzielt werden.

6.7. Fazit zur Verfahrensentwicklung der inkrementellen Reduktion

Die Analysen der Testphasen I bis IV haben gezeigt, dass das Reduktionsprinzip des Einzelkriterienvergleiches in Kombination mit der Rollbackentscheidungsheuristik *IR A-E* grundlegend geeignet sein kann, um eine Kandidatenreduktion anhand eines Kriteriensets vornehmen zu können. In Version 1 liefert die Heuristik jedoch besonders bei einer großen Gesamtreduktion eine zu geringe Stabilität bezüglich der Qualität. Die Berücksichtigung von Alternativwerten ist laut der Ergebnisse aus Testphase III ebenfalls nicht zweckmäßig. Diese führt eher zu einer geringeren Effizienz sowie Qualität der Kandidatenreduktion. Die Varianten A und B von *IR A-E* sind daher ebenfalls ungeeignet.

Relativ gute Ergebnisse, sowohl bezüglich kleiner als auch großer Reduktionsszenarien, liefern die Varianten *IRA-E 2.C* und *IRA-E 3.C*, wobei die Version 3.C vorzuziehen ist, da sich deren Rollbackentscheidung dem Reduktionsszenario anpasst.

Anhand der Analysen konnten Methoden ermittelt werden, die eine wesentlich höhere Stabilität bezüglich der Qualität gewährleisten. Eine optimale Qualität garantiert die Potentialanalyse per Aggregation. Nachteil dieses Verfahrens ist jedoch dessen vergleichsweise geringe Effizienz.

Mittels der Ergebnisse aus der Analyse der Zufallsreduktion (Testphase V) konnte das Verfahren *Agg [FI + Pot.] – N – N* entwickelt werden, das sowohl eine sehr hohe Stabilität bezüglich Qualität aufweist als auch eine wesentlich höhere Effizienz, als die Potentialanalyse. Auch wenn das Verfahren bezüglich vieler Szenarien ineffizienter ist, als der Einzelkriterienvergleich mit der Heuristik *IRA-E 3.C*, so fällt die Wahl für die inkrementelle Reduktion im BUW-Outsourcingnetzwerk zugunsten der Qualität auf das Verfahren *Agg [FI + Pot.] – N – N*. Ein weiterer nicht zu unterschätzender Vorteil des Verfahrens ist, dass dieses lediglich durch die Kriterienparameter parametrisiert werden muss.

Sofern ein Kenntnis über die Werteverteilung der Kandidaten besteht, kann die Effizienz der Reduktion unter Umständen durch eine im Vorfeld durchgeführte Zufallsreduktion erheblich gesteigert werden. Besteht annähernd eine Gleichverteilung, so haben die Analysen aus Testphase V gezeigt, dass circa 30 % der Kandidaten zufällig eliminiert werden können, ohne die Qualität des Ergebnisses signifikant zu reduzieren. Bei einer sehr hohen Gesamtreduktion ist der Anteil sogar höher. Bei den in Testphase V durchgeführten Analysen wurde bei den Testszenarien mit Inputmengen von 1000, 750 und 500 Kandidaten und einer Zielmächtigkeit von zehn Kandidaten ein Wertigkeitsindex über 0,9 erreicht, wenn 80 % der Kandidaten zufällig ausselektiert wurden. Bis zu einer zufälligen Reduktion von 50 % der Kandidaten, ergab sich ein Wertigkeitsindex von circa 0,98 (siehe Abbildung 6-19).

7. Prototypische Umsetzung

Die prototypische Umsetzung erfolgt exemplarisch für ein Kooperationsnetzwerk in der Druckindustrie. Der Prototyp dient zur Prüfung der Umsetzbarkeit der in Kapitel 4 beschriebenen automatisierten, auftragsbezogenen Suche nach externen Fertigungsmöglichkeiten sowie zur Durchführung der in Kapitel 6 vorgestellten Analysen. Im Folgenden werden der Fokus und die Einschränkungen des Prototyps, die verwendete Softwareumgebung sowie ein Überblick über die Umsetzung aufgeführt.

7.1. Fokus und Einschränkungen der Implementierung

Im Fokus der prototypischen Umsetzung steht die vollautomatisierte Suche nach externen Fertigungsmöglichkeiten. Diese beginnt mit der Anlage des externen Parametersatzes und endet mit der Auflistung externer Fertigungsmöglichkeiten, mit zugehörigen Kosten und möglichen Lieferterminen. Außerdem umfasst der Prototyp Werkzeuge, mit denen Testszenarien angelegt und unterschiedliche Verfahren zur inkrementellen Reduktion analysiert werden können. Die Datenmodelle und Methoden zur Durchführung der Fremddienstleistersuche sind branchenunspezifisch. Die im Prototyp implementierten Daten sowie die Berechnungsmethoden von Prozesszeiten und -kosten sind exemplarisch auf die Druckindustrie bezogen.

7.1.1. Umsetzung des Datenmodells

Das in Abschnitt 3.3 beschriebene Datenmodell, auf das die Methoden zur Durchführung der Fremddienstleistersuche im BUW-Outsourcingnetzwerk zugreifen, wurde vollständig im Prototyp implementiert.

7.1.2. Umfang der Benutzeroberfläche (GUI)

Die GUI (Graphical User Interface) des Prototyps bietet Oberflächen für:

- Evaluation von Verfahren zur Durchführung der inkrementellen Reduktion
- Simulation der vollautomatischen Fremddienstleistersuche
- Generierung virtueller Netzwerkteilnehmer
- Berechnung von Arbeitsplatzkosten
- Berechnung von Routingmöglichkeiten, inklusive Prozess- und Setupzeiten

Mit Ausnahme der Generierung von Netzwerkteilnehmern für Evaluationszwecke werden über die GUI lediglich Möglichkeiten zur Parametrisierung von Such- beziehungsweise Evaluationsszenarien

sowie deren Speicherung und Ausführung zur Verfügung gestellt. Auf Oberflächen zur Anlage weiterer Daten im Datenmodell wurde verzichtet.

7.1.3. Parametersatz

Die Anlage des Parametersatzes findet im Prototyp manuell über die GUI statt. Der im Prototyp genutzte Parametersatz beinhaltet lediglich Auftragsdaten sowie obligatorische und optionale Suchkriterien, da diese Parameter für die Durchführung und Analyse der während der Forschungsarbeit erarbeiteten Matchingmethoden ausreichen. Für den Realbetrieb wäre hingegen eine automatisierte oder zumindest vom System unterstützte Generierung des Parametersatzes sinnvoll, bei der Erfahrungswerte, beispielsweise über das Filterpotential und die Aussagekraft bestimmter Parametrisierungen, einfließen.

7.1.4. Parallelisierung der Kommunikation

Bei der Angebotseinholung werden die Kapazitätsprüfung sowie die Angebotskalkulation auf den Systemen der Fremddienstleister ausgeführt. Hierzu ist aus Gründen der Effizienz sowie der Ausfallsicherheit eine Parallelisierung und Zusammenführung von Webservices erforderlich. Der Prototyp ruft die Fremddienstleistersysteme sequentiell auf. Es bestehen jedoch Bibliotheken, die den Anforderungen der Parallelisierung gerecht werden und für den Realbetrieb verwendet werden können.

7.1.5. Routing, Durchlaufzeitberechnung und Kapazitätsprüfung

Das Routing von Aufträgen stellt die Grundlage der Kapazitätsprüfung dar. Bei der Analyse, über welche Ressourcen ein Produkt gefertigt werden kann, vergleicht der Prototyp globale Ressourceneigenschaften mit den Anforderungen der Prozesse beziehungsweise Prozessgruppen. Modulare Bauweisen von Ressourcen werden noch nicht berücksichtigt. Des Weiteren werden Ressourcen einschränkende Einplanungskriterien, beispielsweise Mindestauflagen, nicht berücksichtigt.

Für die Berechnung der Durchlaufzeit einzelner Routings werden Rüstzeiten und Bearbeitungszeiten der einzelnen Prozessschritte aufsummiert. Weitere Zeiten, beispielsweise Puffer- und Transportzeiten zwischen den Prozessschritten, fließen nicht in die Berechnungen ein. Das Ergebnis des Routings und der Durchlaufzeitberechnung am Beispiel eines Flyers führt Abbildung 7-1 auf.

Die Kapazitätsprüfung erfordert den Zugriff auf die Daten der elektronischen Plantafel. Dieser Zugriff wird im Prototyp über eine Plantafelsimulation ausgeführt. Die Simulation generiert zwischen dem Zeitpunkt des Simulationsaufrufs und dem spätmöglichen Fertigstellungszeitpunkt des Auftrages, zu jeder Ressource der zu prüfenden Routingmöglichkeiten, einen zufälligen Satz freier sowie

belegter Zeitfenster (Slots). Zur Kapazitätsprüfung werden die Routingmöglichkeiten über Schedulingalgorithmen in die freien Slots der Verarbeitungsressourcen eingeplant. Umgesetzt ist eine Einplanung nach dem Prinzip „first come first served“. Demnach werden zuerst erfasste Prozesse auch als erstes eingeplant, wobei Prozessabhängigkeiten und parallel durchführbare Prozesse berücksichtigt werden. In erster Näherung wird Material als verfügbar angenommen.

Product Information

chosen product: DigFab11_Flyer_02 (ID: 25)

Product Properties		
Property	Value	Unit
colors_perfecting	0	count
colors_straight	4	count
format_length_unfolded	210	mm
format_width_unfolded	74	mm
grammage	300	g/m2
media_type	Paper	tab_mediatype
colorset_straight	CMYK	tab_colorset
lot	100000	count
paper_grade	MattCoated	tab_mediagrade

Calculated Routing Sets

Routing Scenarios					
		1			
Scenario	Total Process Time				
Scenario 1	2 h : 21 m : 13 s				
Detailed Scenario Information					
Pos.	Process	Resource	Process Time	Setup Time	Total Time
1	DigFab11_Flyer_02_Exposing	DigFab11 Luescher CTP-UV Xpose 260	0 h : 12 m : 0 s	0 h : 5 m : 0 s	0 h : 17 m : 0 s
2	DigFab11_Flyer_02_Printing	DigFab11 Speedmaster XL 105-4-L	0 h : 6 m : 40 s	1 h : 29 m : 0 s	1 h : 35 m : 40 s
3	DigFab11_Flyer_02_Cutting	DigFab11 Polar Mohr 137 XT Autotrim	0 h : 7 m : 33 s	0 h : 21 m : 0 s	0 h : 28 m : 33 s
Scenario 2	2 h : 26 m : 57 s				
Detailed Scenario Information					
Pos.	Process	Resource	Process Time	Setup Time	Total Time
1	DigFab11_Flyer_02_Exposing	DigFab11 Luescher CTP-UV Xpose 260	0 h : 12 m : 0 s	0 h : 5 m : 0 s	0 h : 17 m : 0 s
2	DigFab11_Flyer_02_Printing	DigFab11 Speedmaster CD 102-4	0 h : 10 m : 15 s	1 h : 29 m : 0 s	1 h : 39 m : 15 s
3	DigFab11_Flyer_02_Cutting	DigFab11 Polar Mohr 137 XT Autotrim	0 h : 8 m : 42 s	0 h : 22 m : 0 s	0 h : 30 m : 42 s

Abbildung 7-1: Routing und Durchlaufzeitberechnung (GUI-Ausschnitt)

7.1.6. Kalkulation

Die zur Auftragskalkulation exemplarisch verwendeten Berechnungsmethoden und Daten orientieren sich an den Kosten- und Leistungsgrundlagen für Klein- und Mittelbetriebe in der Druck- und Medienindustrie 2007, des Bundesverbandes Druck und Medien e.V. (bvdm) [Bvd07].

7.1.7. Umsetzung der Prozesse zur Ermittlung von Fertigungsmöglichkeiten

Es wurde die vollautomatisierte Suche nach externen Fertigungsmöglichkeiten umgesetzt. Diese nutzt im Kern alle Methoden, die von der Suche nach internen Fertigungsmöglichkeiten sowie der

Suche nach externen Fertigungsmöglichkeiten mit manuellen Teilschritten aufgegriffen werden. Die Prozessschritte der drei Suchprozesse können der Tabelle 7-1 entnommen werden. Auf die Umsetzung des Zwischenrankings sowie des kriterienbasierten Angebotsrankings wurde bei der prototypischen Umsetzung verzichtet, da diese dieselben Methoden verwenden, die bei der inkrementellen Reduktion zur Ermittlung temporärer Kandidatenwertigkeiten verwendet werden. Für die Implementierung wären in der Logikschicht des Systems lediglich neue Matchingfilter (Berechnungsvorschriften für Suchkriterien) und in der Datenschicht gegebenenfalls weitere Eigenschaften anzulegen. Des Weiteren berücksichtigt der Prototyp noch nicht den vollständigen Rollback von in der inkrementellen Reduktion durchgeführten Kriterienanwendungen, falls die Angebotseinholung keine fristgerechten Angebote liefert.

Verarbeitungsmodul	Interne Suche	Externe Suche	
		Manuelle Teilschritte	Vollautomatisiert
Erstellung des Parametersatzes	X	X	X
Vorselektion		X	X
Inkrementelle Reduktion		X	X
Routing	X	X	X
Kapazitätsprüfung	X	X	X
Zwischenranking		X	
Kalkulation / Angebotserstellung	X	X	X
Angebotsranking	X	X	X

Tabelle 7-1: Gegenüberstellung der Prozessschritte der Suchmöglichkeiten im BUW-Outsourcingnetzwerk

7.2. Softwareumgebung OpenFred

Zur prototypischen Umsetzung des BUW-Outsourcingnetzwerkes wurde die Softwareumgebung *OpenFred* verwendet. *OpenFred* ist eine Forschungsplattform, die seit dem Jahr 2008 im Lehr- und Forschungsgebiet Produktionsplanung und -steuerung, des Fachbereiches E der Bergischen Universität Wuppertal entwickelt wird. Teilaspekte des Systems wurden erstmals 2009 unter dem Titel „iProPlan – Job Planning and Simulation in a Digital Factory Environment“¹⁴ [Hem09] veröffentlicht. Das System stellt Funktionalitäten und Datenstrukturen zur Verfügung, mit denen umfangreiche Workflows innerhalb von Unternehmen der Fertigungsindustrie abgebildet, simuliert, unterstützt und ausgeführt werden können. [Ope13] [Hem10]

Zum Aufbau des Prototyps des BUW-Outsourcingnetzwerkes wird das *OpenFred*-Framework verwendet, um die externe Systemebene der Netzwerkteilnehmer (Middleware) sowie die Systemebene der *TTP* abzubilden.

Das serverbasierte und plattformunabhängige *OpenFred*-System basiert auf *JavaEE* (Java Enterprise Edition) und nutzt eine Drei-Schichten-Architektur. Es findet eine Trennung zwischen Daten-, Logik- und Präsentationsschicht statt.

¹⁴ *iProPlan* war die vorherige Bezeichnung des Systems.

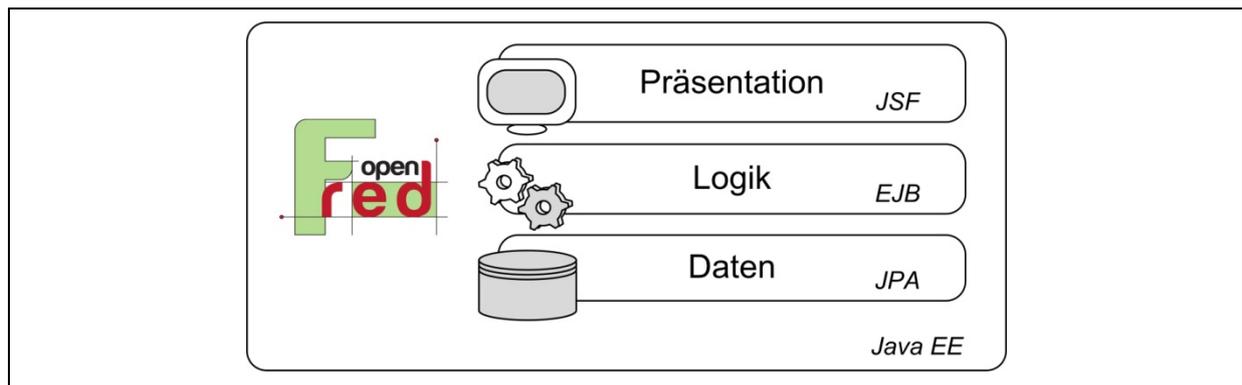


Abbildung 7-2: Drei-Schichten-Architektur von OpenFred

Die Daten werden in einer relationalen Datenbank abgelegt. Der Zugriff findet über die *JPA* (Java Persistence API) statt. Diese Schnittstelle ermöglicht ein Mapping zwischen Objekten und relationaler Datenhaltung. Zur Umsetzung der *JPA* wird das Framework *Hibernate* angewendet. Die Verarbeitungsroutinen, beispielsweise die Methoden zur Fremddienstleistersuche, werden in der Logikschicht anhand von *EJB*-Objekten (Enterprise JavaBeans) angelegt. Auf der Präsentationsebene wird die *JSF*-Technologie (Java Server Faces) verwendet, ein Standard zur Erstellung serverseitiger Nutzerschnittstellen. Zur Darstellung wird lediglich ein Internetbrowser benötigt. Das System läuft auf einem Open Source *JBoss* Applikationsserver der Firma *Red Hat*.¹⁵ [Hem10]

Die Netzwerkkommunikation zwischen den Rechnersystemen findet über *Webservices* statt, wobei die Datenpakete als *XML-Streams* übertragen werden. Für die Konvertierung zwischen *XML* und *Java*-Objekten, die zur Datenverarbeitung verwendet werden, nutzt der Prototyp *JAXB* (Java Architecture for XML Binding).

7.3. Umsetzung

Über den Prototyp des *BUW-Outsourcingnetzwerkes* können sowohl eine voll automatisierte Suche nach Fremddienstleistern, beginnend mit der Anlage des Parametersatzes, bis hin zur Ausgabe von Angebotslisten als auch die Evaluation verschiedener Verfahren zur inkrementellen Anbieterreduktion durch optionale Kriterien durchgeführt werden. Zur Unterstützung bietet der Prototyp die Möglichkeit zur Generierung einer beliebigen Menge an Netzwerkteilnehmern.

7.3.1. Generierung von Netzwerkteilnehmern

Über die *GUI* lässt sich eine beliebige Menge an Netzwerkteilnehmern mit zugehörigem Namenspräfix anlegen. Exemplarisch sind dies Unternehmensrepräsentanten der Druckindustrie. Über die *Nutzeroberfläche* kann die Anzahl an Netzwerkteilnehmern sowie ein zugehöriger Namenspräfix vergeben werden. In der Logikschicht des Systems sind Methoden hinterlegt, mit

¹⁵ Weiterführende Literatur und Verweise auf die Spezifikationen der Standards und Frameworks können [Ora13, Ora13a, Ora13b, Hib13 u. Jbo13] entnommen werden.

denen die Nutzer sowie zugehörige Eigenschaften (Unternehmensstandort, -größe et cetera), Produktportfolien und Ressourcen in der Datenschicht angelegt werden.

Es werden lediglich Eigenschaften angelegt, die bei der Durchführung von Suchverfahren über die im System verankerten Matchingfilter geprüft werden. In der Regel handelt es sich um zufällig zugewiesene, gleichverteilte Eigenschaften. Eine Ausnahme stellt die Zuweisung der Unternehmensgröße dar. Hierzu wird die Verteilung der Beschäftigungsgrößenklassen in der Druckindustrie vom Jahr 2011 [Bvd12, S. 4] verwendet.

Die Zuweisung von Ressourcen findet auf Basis der Produktportfolien statt. Einem Nutzer werden jeweils die Ressourcen zugeordnet, die für die Produktion dessen angebotener Produkte erforderlich sind. Produktportfolien werden zufällig, in Form festgelegter Portfoliopakete, zugewiesen.

Über die GUI kann zu den Netzwerkteilnehmern eine Historie über Outsourcingaktivitäten angelegt werden. Die betroffene Teilnehmergruppe kann über die Angabe des Namenspräfixes eingeschränkt werden. Für jeden Teilnehmer wird eine Auftragshistorie als outsourcender Betrieb und eine als Fremddienstleister angelegt. Bei der Anlage wird auf Konsistenz geachtet. Von einem Unternehmen outsourcete Aufträge werden in dessen Historie als outsourcender Betrieb und bei den jeweiligen Outsourcingpartnern in die Historie als Fremddienstleister eingetragen.

7.3.2. Evaluationstool für die inkrementelle Reduktion

Da die Verarbeitung komplexer Matchingszenarien mit einem erheblichen Aufwand verbunden ist, wurde für die Anwendung von Verfahren zur inkrementellen Reduktion ein Simulator in die Planungsumgebung *OpenFred* implementiert. Das Evaluationstool ermöglicht die Zusammenstellung, Speicherung und Ausführung von Reduktionsszenarien zur inkrementellen Reduktion.

In einem Reduktionsszenario werden ein Ausgangsszenario, bestehend aus einer Inputmenge an potentiellen Fremddienstleistern, dem outsourcenden Unternehmen, einem outzusourcenden Produkt, parametrisierbarer Kriterienbasen, die gewünschte Mächtigkeit der Outputmenge sowie parametrisierte Verarbeitungsobjekte für die Rastersuche, die inkrementelle Reduktion und das Ranking der Outputmenge festgelegt. Die Verarbeitungsobjekte der Rastersuche und der Rangbildung der Ergebnismenge werden über die Angabe einer Rankingmethode (Aggregation oder *PROMETHEE II*) sowie eines Satzes parametrisierter Kriterien definiert. Zur Durchführung der inkrementellen Reduktion werden in deren Verarbeitungsobjekt das Reduktionsverfahren, bestehend aus Reduktions-, Rollbackentscheidungs- und Rollbackmethode, sowie die Suchkriterien parametrisiert hinterlegt. Ein Parametrisierungsbeispiel für das Verarbeitungsobjekt der inkrementellen Reduktion wird in Abbildung 7-3 aufgeführt.

Configure Reduction

Choose a Method for Reduction: max Non-Fulfillments:

Choose a Fill Up Decision: Rate For Always Rollback:

Choose a Fill Up Method:

Choose a Criterion to parametrise:

Parametrised Objects for Reference Generation						
ID	Criterion	Priority	Obj Fcn	Pref Fcn	Params	Boolean
1	Distance B2B max 200	6.0	max	Fulfillment (One Theshold)	t: 1.0 g: 1.0 b: 0.0	true
2	Provider Rating	5.0	max	Fulfillment (One Theshold)	t: 4.0 g: 5.0 b: 0.0	false
3	FSC Certificated	4.0	max	Fulfillment (One Theshold)	t: 1.0 g: 1.0 b: 0.0	false
4	Products of my Portfolio	3.0	min	Fulfillment (One Theshold)	t: 0.0 g: 0.0 b: 2.0	false
5	Previous Jobs	2.0	max	Fulfillment (One Theshold)	t: 3.0 g: 5.0 b: 0.0	false
6	Company Age	1.0	max	Fulfillment (One Theshold)	t: 25.0 g: 50.0 b: 0.0	false

Abbildung 7-3: Mögliche Parametrisierung des Verarbeitungsobjektes zur inkrementellen Reduktion im Prototyp

Verarbeitungsroutinen (Matchingfilter), anhand deren die Kriterienwerte ermittelt werden, werden nicht mittels vordefinierter Module zusammengestellt, sondern manuell in den Prototyp eingepflegt. Das Anlegen und die Parametrisierung von Kriterienbasen durch den Simulator wurden aufgrund eines hohen Aufwandes gegenüber einem geringen Nutzen nicht implementiert.

Über das Evaluationstool können sowohl die konfigurierten Reduktionsszenarien als auch Zufallsreduktionen durchgeführt werden. Der Reduktionsprozess kann detailliert auf der Konsole des Rechensystems verfolgt werden. Eine Ergebniszusammenfassung wird über die GUI ausgegeben.

Bei der Zufallsreduktion werden das Ausgangsszenario und das Verarbeitungsobjekt der Rastersuche berücksichtigt und eine Zufallsreduktion ($RDM(RI = 0,1) - N - N$) durchgeführt. Die Reduktion besteht aus zehn Reduktionsschritten, bei der jeweils zehn Prozent der Gesamtreduktion ($A_I - n_{SC}$) zufällig eliminiert werden. Nach jedem Reduktionsschritt wird der Wertigkeitsindex der temporären Ergebnismenge (n_{SC} besten Kandidaten der Outputmenge des Reduktionsschrittes) ermittelt.

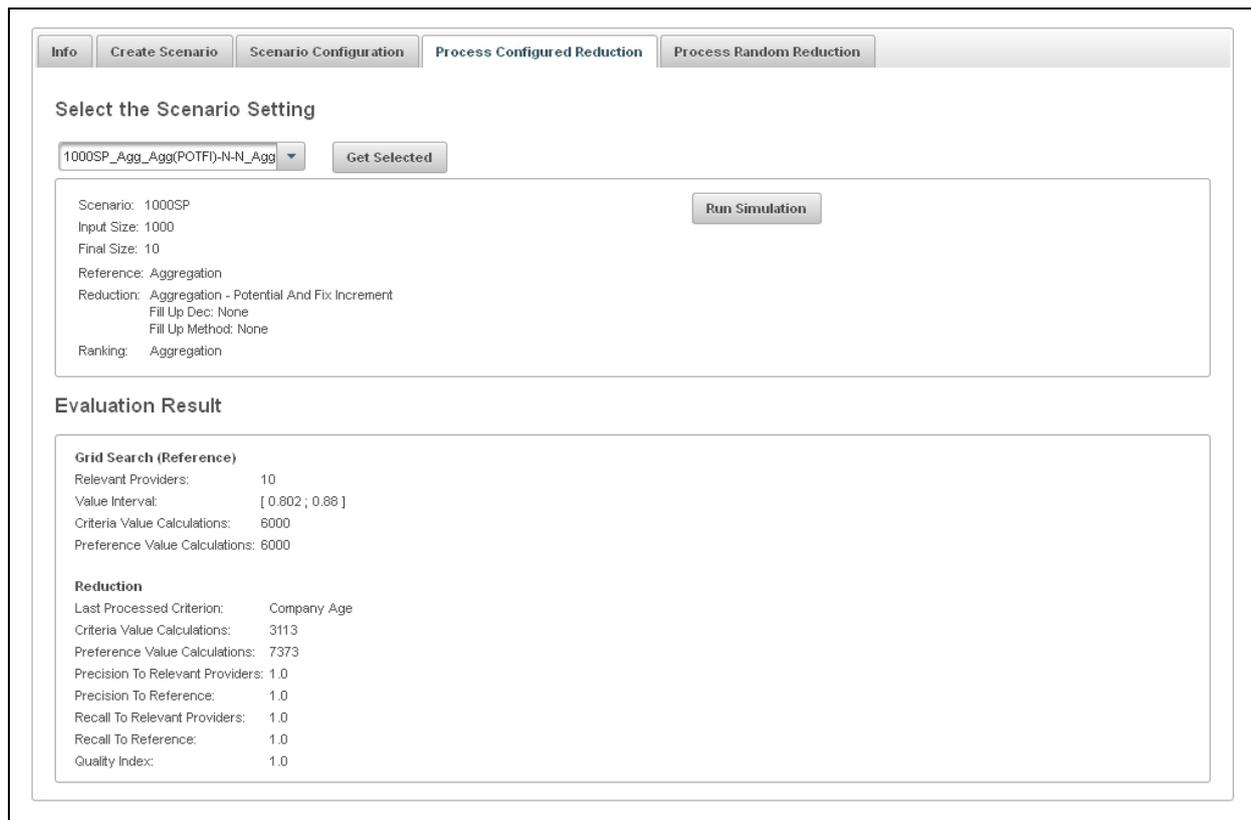


Abbildung 7-4: Ausführung einer konfigurierten inkrementellen Reduktion (GUI-Ausschnitt)

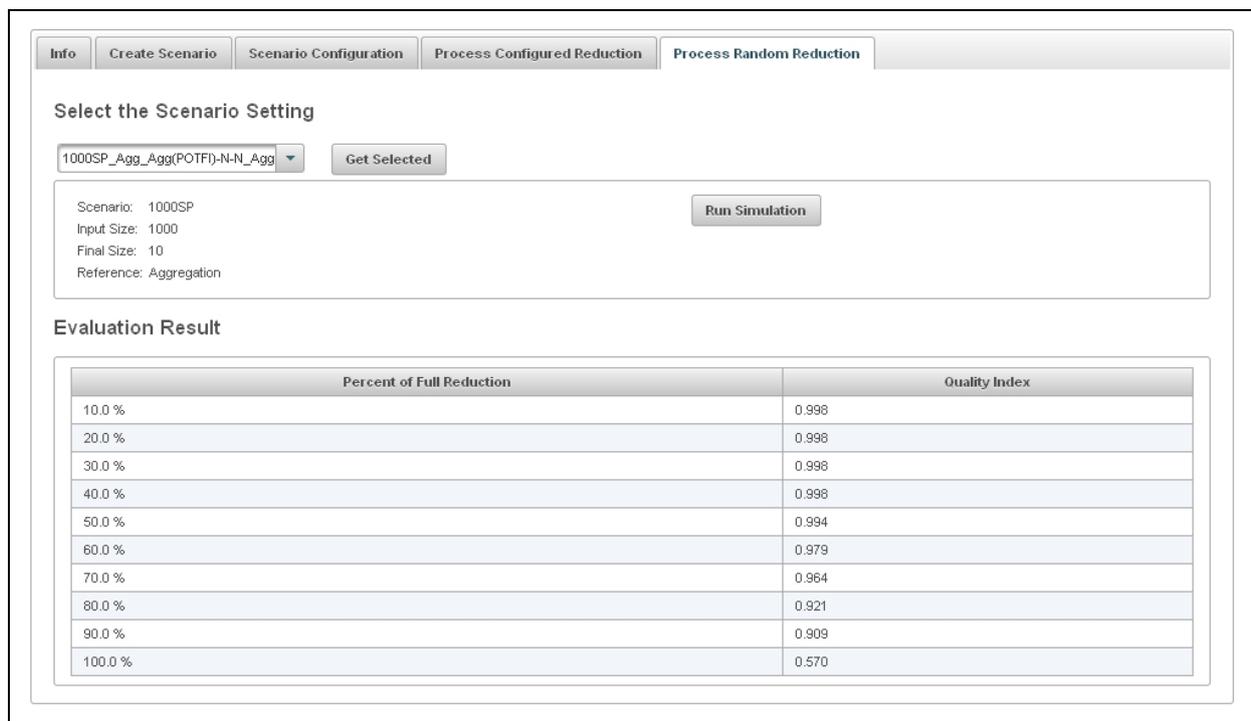


Abbildung 7-5: Ausführung einer zufälligen Reduktion (GUI-Ausschnitt)

7.3.3. Simulation der Fremddienstleistersuche

Der Prototyp ermöglicht die Durchführung einer Fremddienstleistersuche in einem realen Netzwerk. Im Rahmen der Untersuchung wurde ein Netzwerk bestehend aus 50 Druckunternehmen und der *TTP* eingerichtet. Zur Simulation muss der Prototyp auf jedem Teilnehmersystem des Netzwerkes

aufgesetzt werden. Prinzipiell kann jedes System gleichzeitig als Druckunternehmen und als *TTP* fungieren, da alle Systeme die gleiche Datenbasis nutzen. In dieser sind für die Fremddienstleistersuche erforderliche Nutzerdaten aller Netzwerkteilnehmer enthalten, beispielsweise die Zuordnung von Ressourcen, Produktportfolien und obligatorischen Fremddienstleisterkriterien. Die Kennzeichnung der Systeme als individuelle Druckunternehmen oder als *TTP* findet durch die Parametrisierung der Datenbasis statt.

Jeder Teilnehmer bekommt eine feste IP-Adresse zugewiesen. Auf dem System, das als *TTP* fungieren soll, werden alle IP-Adressen in einer Nutzertabelle den jeweiligen Druckunternehmen zugewiesen, um die eindeutige Kommunikation zwischen der *TTP* und den Netzwerkteilnehmern über Webservices zu gewährleisten. Auf den jeweiligen Systemen, auf denen die Druckdienstleister simuliert werden, wird in der Nutzertabelle parametrisiert, welches Unternehmen von dem System simuliert wird (siehe Abbildung 7-6). Des Weiteren muss in der Konfigurationstabelle die IP-Adresse der *TTP* hinterlegt werden.

network_user_id	name	address_id	network_address	actual_instance	workplace_global_scenario_id
109	Druckunternehmen 01		195.168.0.101:8080	(Null)	3
110	Druckunternehmen 02		195.168.0.102:8180	(Null)	1
111	Druckunternehmen 03		195.168.0.103:8280	(Null)	2
112	Druckunternehmen 04		195.168.0.104:8380	(Null)	3
113	Druckunternehmen 05		195.168.0.105:8080	(Null)	1
114	Druckunternehmen 06		195.168.0.106:8180	(Null)	2
115	Druckunternehmen 07		195.168.0.107:8280	(Null)	3
116	Druckunternehmen 08		195.168.0.108:8380	1	1
117	Druckunternehmen 09		195.168.0.109:8080	(Null)	2
118	Druckunternehmen 10		195.168.0.110:8180	(Null)	3

Abbildung 7-6: Nutzertabelle

Die Fremddienstleistersuche im Prototyp des Netzwerkes startet mit der Generierung eines neuen oder der Auswahl eines bereits bestehenden Parametersatzes über die GUI eines der Druckunternehmen (*SC*). Dem Parametersatz kann ein Auftrag, bestehend aus beliebig vielen vordefinierten Produkten (inklusive Auflage) und Lieferdatum, eine gewünschte Zielmenge an Fremddienstleistern (*SP*) zur Angebotseinholung, ein Satz an vordefinierten obligatorischen Kriterien sowie ein Satz an frei parametrisierbaren Rankingkriterien, beziehungsweise optionalen Kriterien, zugewiesen werden.

Im Anschluss kann eine Suche durch das Senden des Parametersatzes an die *TTP* ausgeführt werden. Auf dem System der *TTP* wird nun phasenweise die Fremddienstleisterreduktion durchgeführt. Es folgt eine Angebotseinholung bei den Fremddienstleistern der Ergebnismenge. Hierzu wird der im Parametersatz definierte Auftrag an die Systeme der jeweiligen Druckunternehmen gesendet, auf denen das Routing, die Kapazitätsprüfung sowie die Auftragskalkulation stattfinden. Die Angebote der Fremddienstleister werden an die *TTP* gesendet, dort zusammengeführt und zur Ausgabe an den outsourcenden Betrieb übertragen. Die Angebote bestehen vereinfacht jeweils aus dem Routing,

dem Preis sowie einem Liefertermin. Die Routinginformationen könnten beispielsweise dazu genutzt werden, die Angebote anhand von Produktionseigenschaften zu ranken. An das outsourcende Unternehmen sollten dabei nicht die vollständigen Routinginformationen übertragen werden. In der prototypischen Umsetzung werden lediglich Informationen zu Preisen und Lieferterminen ausgegeben. Ein Angebotsranking wird nicht durchgeführt.

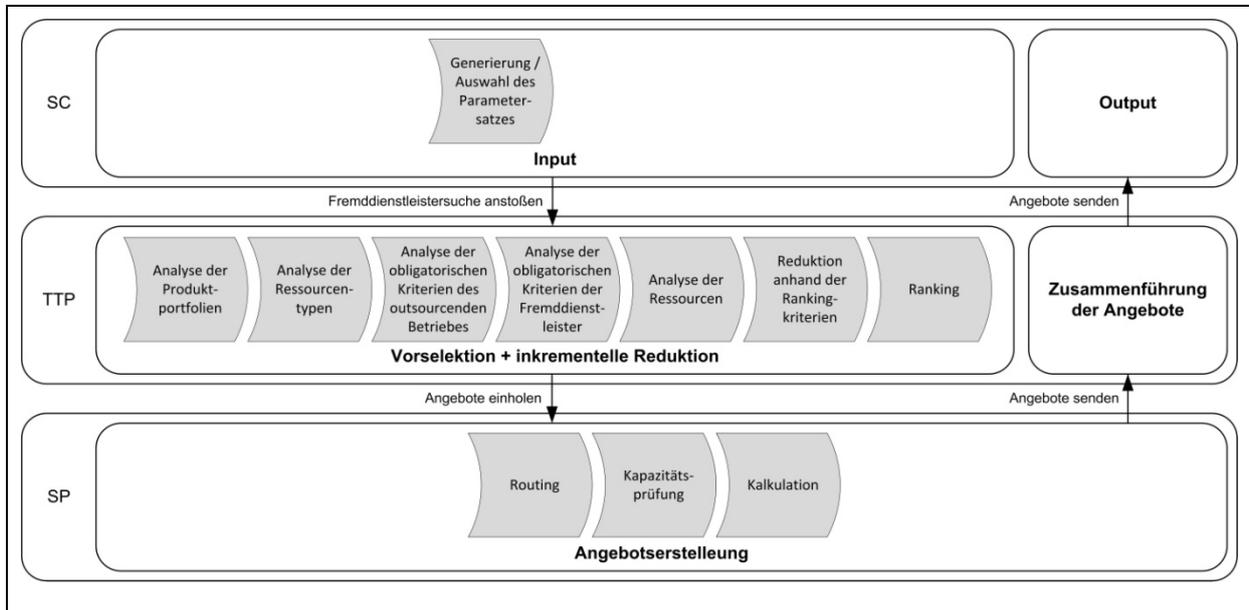


Abbildung 7-7: Prototypisch umgesetzter Ablauf der Fremddienstleistersuche

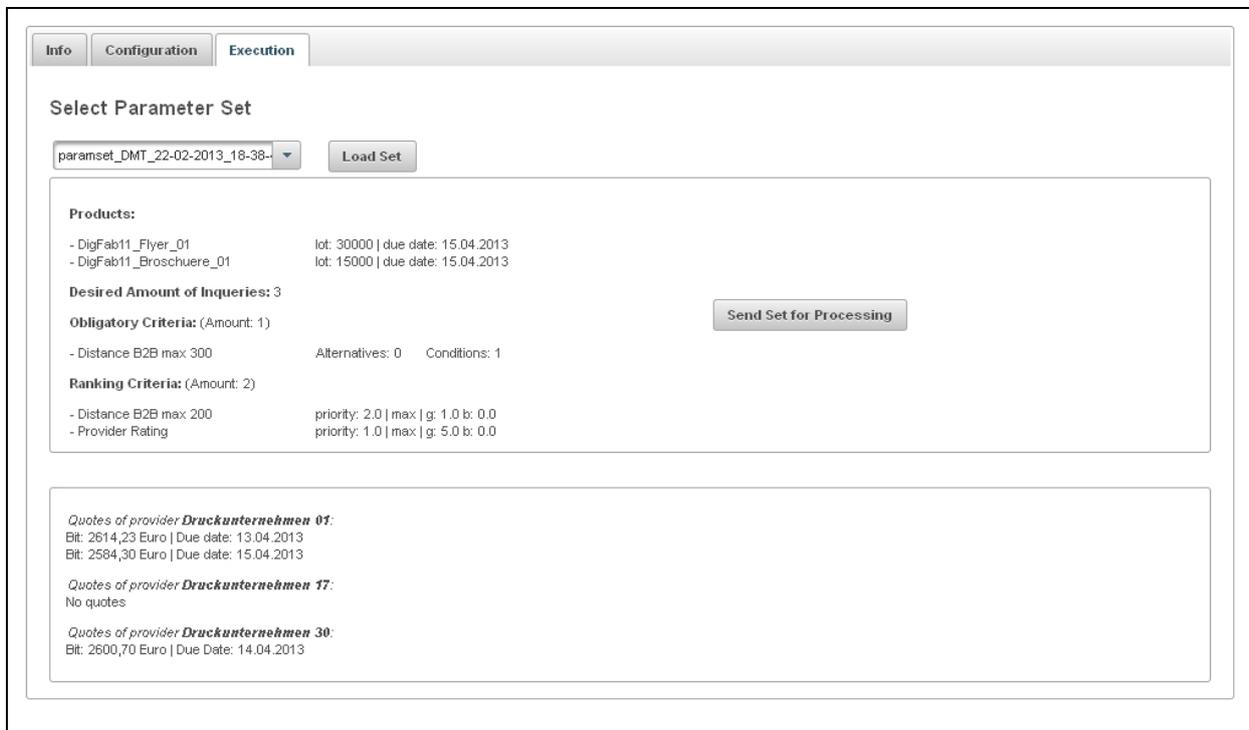


Abbildung 7-8: Ausführung der Fremddienstleistersuche (GUI-Ausschnitt)

7.4. Grenzen, Entwicklungsarbeiten und Einsatzbereiche

Durch den Prototyp kann die Umsetzbarkeit des Modells des BUW-Outsourcingnetzwerkes sowie der Matchingphasen zur Ermittlung auftragsbezogener Fertigungsmöglichkeiten aufgezeigt werden. Für den Realbetrieb eines entsprechenden Kooperationsnetzwerkes ist die Aufstellung und Implementierung weiterer elementarer Komponenten erforderlich. Kontrollen von Kooperationsaktivitäten erfordern beispielsweise die Festlegung von Prozessabläufen, Rollen, Nachrichtenflüssen und Statuspunkten, sowohl bezogen auf allgemeine als auch auf auftragsspezifische Kooperationsabläufe.

Neben für den Realeinsatz erforderlichen Entwicklungsarbeiten hinsichtlich Sicherheit, Zuverlässigkeit und Kommunikation sind Forschungs- sowie Entwicklungsarbeiten hinsichtlich der Effizienz und Qualität der Kooperationsaufbauphase sinnvoll. Wesentlich ist die Erfassung, Auswertung und Berücksichtigung wiederkehrender Datenstrukturen und Kooperationsaktivitäten.

Über die Erfassung und Auswertung von Erfahrungswerten, sowohl hinsichtlich der Kollaborationsaufbauphase als auch in Bezug auf die Kollaborationsabwicklung, lässt sich der Prozess der Fremddienstleistersuche stetig verbessern. Durch die zentrale Rolle der *TTP* besteht der Vorteil, dass die Suchprozesse einzelner outsourcender Betriebe auf Basis der Aktivitäten aller Netzwerkteilnehmer verbessert werden können. Beispiele für nützliche Erkenntnisse, die durch stetige Auswertungen erlangt werden sind Informationen über:

- Einflüsse von Kriterien und deren Parametrisierung auf die Effizienz der Suche
- Aussagekraft von Kriterien hinsichtlich der zu erwartenden Fertigungsqualität
- Kriteriensatz bezogene Verteilungen von Kandidatenwertigkeiten zur Auswirkungsabschätzung von Zufallsreduktionen
- Trittbrettfahrer
- Detaillierung von Bewertungsgrundlagen (schlechte Bewertungen hinsichtlich bestimmter Produkte oder Fertigungsprozesse gelten beispielsweise nicht zwingend für andere Fertigungswege)

In der Regel werden Entscheider nicht für jede Suche neue Suchkriterien definieren, sondern auf bewährte Kriterien zurückgreifen. Eine Speicherung ermittelter Kriterienausprägungen kann daher zu einer erheblichen Effizienzsteigerung der Fremddienstleistersuche führen. Dies ist besonders hinsichtlich der Abfrage von Stammdaten der Fall, da diese über einen längeren Zeitpunkt unverändert bleiben. Es ist darauf zu achten, dass sich ändernde Daten sowie Daten neuer Netzwerkteilnehmer berücksichtigt werden. Neue Kriterienausprägungen könnten unabhängig von

konkreten Suchanfragen ermittelt oder die alten lediglich gelöscht und bei konkreten Suchanfragen neu berechnet werden. Die erste Methode führt zu einer Effizienzsteigerung der Suchdurchläufe, jedoch ebenfalls zur Durchführung unter Umständen nicht erforderlicher Berechnungen. Die zweite Methode führt hingegen nur notwendige Berechnungen durch, reduziert jedoch die Effizienz der konkreten Suchdurchläufe.

Neben dem Matching von Suchkriterien und Auftragsstrukturen könnte eine Analyse von Daten der internen Systemebene, beispielsweise aus der Logistik, der *BDE* (Betriebsdatenerfassung) und dem *CRM* (Customer Relation Management) genutzt werden, um die Matchingvorgänge stetig zu verbessern.

Der Prototyp führt die Fremddienstleistersuche hinsichtlich der Ermittlung eines einzelnen Fremddienstleisters zur Erfüllung des Auftrages aus. Das Aufsplitten von Aufträgen zur Vergabe von Teilaufträgen an unterschiedliche Fremddienstleister kann ebenfalls zur Optimierung beitragen.

Neben der Optimierung von innerhalb des BUW-Outsourcingnetzwerkes ablaufenden Prozessen, kann der Prototyp für Simulationszwecke im Sinne einer Digitalen Fabrik genutzt werden, beispielsweise zur Analyse von Routing- und Schedulingmethoden sowie automatisierter Umplanungen von Kapazitätsbelegungen.

8. Potentiale und Grenzen

Das in dieser Arbeit vorgestellte BUW-Outsourcingnetzwerk zur Unterstützung der Fremdvergabe von Fertigungsaufträgen an dynamisch wechselnde Kooperationspartner fokussiert die Entwicklung von Unternehmen in Richtung Komplettanbietermarkt. Unternehmen sind heute einem erheblichen Druck hinsichtlich Innovation und Flexibilität ausgesetzt. Nicht zuletzt durch die Schnelllebigkeit in der Entwicklung der IKT sind Märkte von einem ständigen Wandel betroffen.

Schnelle und vergleichsweise kostengünstige Transportmöglichkeiten sowie 24/7 verfügbare Angebotsportale und automatisierte Bestellvorgänge sorgen für eine erhebliche Reduktion von Standortvorteilen und ermöglichen besonders Komplettanbietern hervorragende Marktpositionen mit weitem Absatzmarkt. Ohne Kooperationen sind KMU langfristig vermutlich nicht in der Lage, gegenüber dem Angebot und den Innovationsmöglichkeiten großer Unternehmen bestehen zu können.

Seit dem Ende der 1990er Jahre findet viel Entwicklungsarbeit statt, um effiziente Kooperationen zwischen KMU zu ermöglichen. Im Vordergrund der Forschungsarbeiten und Entwicklungen stehen meist die Vereinheitlichung netzwerkbasierter Kommunikationen zwischen Kooperationspartnern sowie der Aufbau virtueller Unternehmensstrukturen durch Verknüpfung elektronischer Dienstleistungen unabhängiger Unternehmen. Den Schwerpunkt bilden meist strategische Kooperationen, bei denen während der Partnersuche anfallende Transaktionskosten, im Vergleich zu den Kooperationsleistungen, weniger ins Gewicht fallen.

Für die dynamische und auftragsbezogene Suche nach Kooperationspartnern beziehungsweise Fremddienstleistern der Fertigungsindustrie, bestehen bisher Vergabepattformen und Kapazitätsbörsen, die jedoch über einen geringen Automatisierungsgrad verfügen und bei Kleinaufträgen schnell zu vergleichsweise hohen Transaktionskosten führen.

Das BUW-Outsourcingnetzwerk greift auf Kommunikations- und Datenstrukturen existierender E-Business-Lösungen zu, hebt sich von vielen der bestehenden Netzwerkkonzepten zur Fremdvergabe jedoch durch die Integration der Suche interner sowie externer Fertigungsmöglichkeiten und einen hohen Grad an Automatisierung ab. Die Automatisierung des Netzwerkes ermöglicht die Reduktion von Transaktionskosten, was besonders bei kleinen Auftragsvolumen zu einem wirtschaftlichen Vorteil beiträgt. Gegenüber Kooperationskonzepten, die ebenfalls über automatisierte Methoden der Fremddienstleistersuche verfügen, unterscheidet sich das BUW-Outsourcingnetzwerk durch seine Ausrichtung auf die Fertigungsebene.

Eine wesentliche Anforderung an die Suche nach Fertigungsmöglichkeiten, stellt die hohe Varianz an Produktausführungen sowie Produktionsmöglichkeiten dar. Im BUW-Outsourcingnetzwerk müssen diese über die Matchingmethoden erfüllt werden. Die Definition von effizient vergleichbaren

Standardprodukten ist in der Praxis nicht ohne weiteres möglich. Für eine automatisierte Suche ist jedoch ein hohes Maß an Effizienz der Suchalgorithmen Voraussetzung. Deshalb wurde in dieser Arbeit ein auf mehrere Phasen basierender Verfahrensweg zur möglichst effizienten Suche nach Fertigungsmöglichkeiten vorgestellt, der neben der Prüfung der Verarbeitungsfähigkeit die potentiellen Fremddienstleister anhand von obligatorischen und optionalen Suchkriterien bewertet und selektiert. Besonders ist hierbei das in dieser Arbeit herausgearbeitete inkrementelle Verfahren zur Kandidatenreduktion anhand rangbildender Kriterien hervorzuheben, dessen Einsatzmöglichkeiten weit über die Fremddienstleistersuche im BUW-Outsourcingnetzwerk hinaus gehen.

Für die prototypische Umsetzung des BUW-Outsourcingnetzwerkes wurde sich der Strukturen der Druckbranche bedient. Die Druckbranche stellt für den Test des BUW-Outsourcingnetzwerkes eine gute Zielgruppe dar:

- Die Produktpalette der Druckbranche ist sowohl im Hinblick auf die Produktvarianten als auch bezüglich der Produktfertigung vielseitig.
- In der Industrie besteht mit *JDF* bereits ein Standard, der sowohl Auftragsanforderungen als auch Prozessanforderungen beschreibt und sich in die Auftragsstruktur des BUW-Outsourcingnetzwerkes überführen lässt.
- Druckanbieter sind häufig dazu aufgefordert, Aufträge anzunehmen, die mehrere Produkte mit häufig geringer Auflage beinhalten. Beispielsweise werden Urlaubsfotos häufig nicht nur als einfache Fotoausdrucke bestellt, sondern ebenfalls als Poster, Leinwand oder Fotobuch.
- Die Branche ist durch KMU geprägt, obwohl einige Großunternehmen wie *Flyeralarm* einen erheblichen Einfluss auf den Konsumentenmarkt ausüben.

Das Matchingkonzept zur Fremddienstleistersuche ist unberührt dessen branchenunabhängig.

8.1. Potentiale und Grenzen des BUW-Outsourcingnetzwerkes

Mit dem BUW-Outsourcingnetzwerk wird eine Plattform zur Verfügung gestellt, um effizient und dynamisch Partnerschaften mit Fremddienstleistern zur Fertigung einzelner oder eines Satzes an klar strukturierten Produkten zu ermöglichen.

Chancen des dynamischen Kooperationskonzeptes gegenüber langfristigen Partnerschaften

Technisch gesehen hängt der Einsatz des BUW-Outsourcingnetzwerkes größtenteils davon ab, in wie weit sich die in der jeweiligen Branche bestehenden Auftragsstrukturen in das BUW-Outsourcingnetzwerk-Datenmodell übertragen lassen. In der Praxis liegen die Gründe für mögliche Einschränkungen des Einsatzfeldes jedoch an anderen Faktoren. Zu diesen gehören Einschränkungen

von Seite des Endkunden, der zum Beispiel seine sensiblen Daten nicht in einem anonymen Netzwerk sehen möchte. Weiter kann die Gefahr des Abwerbens und somit Verlustes von Folgeaufträgen gegen die Fremdvergabe an unbekannte Fremddienstleister sprechen.

In solchen Fällen wird eine Fremdvergabe an einen bekannten, langfristig bewehrten Kooperationspartner, mit dem keine Konkurrenzbeziehungen und vertraglich geregelte Vereinbarungen bezüglich B2B-Endkunden bestehen, einer dynamischen Vergabe vermutlich vorgezogen.

Nicht zu vernachlässigende Vorteile langfristiger Beziehungen sind neben dem Vertrauen häufig gegenseitige Kenntnisse über Unternehmensstrukturen sowie untereinander abgestimmte Abwicklungsprozesse. Es ergeben sich Erfahrungen bezüglich Qualität und Zuverlässigkeit der Fremdfertigung. Des Weiteren besteht bei der horizontalen Kooperation eine hohe Wahrscheinlichkeit von Gegenaufträgen. Langfristige Partnerschaften führen häufig jedoch zu einem Abhängigkeitsverhältnis und zu einer Vernachlässigung aktueller Marktsituationen. Dies sind negative Einflüsse, die zu Wechselbarrieren führen können.

An diesen Wechselbarrieren setzt ein wesentlicher Vorteil der in dieser Arbeit behandelten dynamischen Suche nach Partnern für kurzfristige Kooperationen an. Diese führt zu einem ständigen Überblick über die aktuelle Marktsituation. Weiter werden einige Herausforderungen, die dynamische Kooperationsbeziehungen bergen, durch das Konzept des BUW-Outsourcingnetzwerkes gelöst. Durch die Verwendung eines Bewertungssystems sowie der zentralen Netzwerkverwaltung über die *TTP* werden Zuverlässigkeitsrisiken abgebaut sowie eine Vertrauensbasis aufgebaut. Sensible Daten, die für effiziente Suchprozesse benötigt werden, werden potentiellen Kooperationspartnern nicht direkt übermittelt, sondern durch die *TTP* verarbeitet.

Des Weiteren kann durch die zentrale Erfassung und Auswertung von Erfahrungswerten aller Netzwerkteilnehmer sowie anhand von Lernprozessen ein gegenüber dem langjährig aufgebauten Vertrauen langfristiger Kooperationen alternatives Vertrauensbild zur Unterstützung der dynamischen Kooperation aufgebaut werden. Dieses kann ein Defizit eigener Kooperationserfahrungen kompensieren.

Durch die *TTP* kann die Einhaltung von Vertragsvereinbarungen durch die Überwachung klar geregelter Kommunikationswege und Prozessabläufe geprüft werden. Vertragsvereinbarungen sowie die geregelten Abläufe führen zu definierten Rollen und Klarheit. Definierte Abläufe sorgen dafür, dass Zeit- und Kosteneinsparungen in der Anbahnungsphase nicht durch erhöhte Zeit- und Kostenaufwände, durch beispielsweise schlechte Kommunikationswege und Abstimmungen, kompensiert beziehungsweise dominiert werden.

Die indirekte Kommunikation über die *TTP* sorgt während der Kollaborationsaufbauphase für einen gewissen Grad an Anonymität und somit Gleichberechtigung der Netzwerkteilnehmer. Sofern nicht anhand der Suchkriterien explizit erwünscht, werden Teilnehmer nicht nach deren Aufstellung beziehungsweise Präsentation am Markt ausgewählt, sondern anhand derer auftrags- und suchkriterienbezogenen Eignung. Ungewollte Informationsvergaben, beispielsweise an die direkte Konkurrenz, können durch Festlegung obligatorischer Kriterien, sowohl durch den outsourcenden Betrieb als auch durch die Fremddienstleister, vermieden werden.

Eine durchgängige indirekte Kommunikation über die *TTP* ist nur bedingt möglich, da in der Ausführungsphase direkte Kommunikationswege, zum Beispiel zur Umsetzung kurzfristiger Auftragsänderungen, erforderlich sein können. Die Überwachung dieser Kommunikation sowie die Aktualisierung von beispielsweise Vertragsvereinbarungen durch die *TTP* erfordern hier tiefgreifende Schnittstellen zur internen Systemebene der Netzwerkteilnehmer.

Grenzen hinsichtlich der Outsourcinganforderungen

Die Anwendung eines flexibel erweiterbaren Eigenschaftenmodells, auf das wesentliche Phasen der Fremddienstleistersuche im BUW-Outsourcingnetzwerk basieren, sowie die Verwendung allgemeingültiger Matching- und Datenstrukturen, ermöglichen einen branchenunabhängigen Einsatz. Wesentlich für eine einfache Implementierung und Anpassung der von den Fremddienstleistern angebotenen Fertigungsmöglichkeiten ist, dass diese nicht durch Prozessbeschreibungen, sondern durch Ressourcen und deren Eigenschaften definiert werden.

Einschränkungen können hinsichtlich der standardisierten Beschreibung der Auftragsstrukturen, aufgrund der Verwendung definierter Kommunikationswege und Prozessabläufe sowie des hohen Automatisierungsgrades der Suche nach Fertigungsmöglichkeiten, bestehen. In Netzwerken kann es außerdem immer zu Konflikten kommen, die sich nicht über Automatismen regeln lassen. Je komplexer die Auftragsstrukturen sind, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Problemen, beispielsweise durch Fehlinterpretationen.

Weiter kann es sein, dass die Überführung von Auftragsanforderungen in die von der Middleware benötigte Auftragsstruktur gegebenenfalls nicht ohne weiteres vollautomatisiert möglich ist. Die erforderlichen Anpassungen wirken der angestrebten Einsparung von Transaktionskosten entgegen. Je einfacher die Auftragsstrukturen sind, desto geringer ist der Aufwand.

Weiter besteht eine Einschränkung hinsichtlich der Suchkriterien zur Fremddienstleistereingrenzung. Diese können zwar prinzipiell beliebig gewählt werden, erfordern jedoch eine Implementierung derer Ausprägungsermittlung und können daher nicht von den Nutzern angelegt werden. In der Regel findet die Implementierung in der Logikschicht des Systems statt. In einigen Fällen reicht eine Parametrisierung in der Datenschicht aus. Weiter müssen die komplementären Daten von den

Nutzern zur Verfügung gestellt werden. Einige primäre Suchkriterien, beispielsweise die Qualität, können nur indirekt, durch Verwendung sekundärer Kriterien, beispielsweise durch die Prüfung von Zertifikaten, verwendeten Prozessstandardisierungen und Bewertungen, ermittelt werden.

Effizienz der Fremddienstleistersuche im BUW-Outsourcingnetzwerk

Das BUW-Outsourcingnetzwerk führt eine Suche nach Fremddienstleistern auf Fertigungsebene aus. Zur effizienten Suche verwendet das BUW-Outsourcingnetzwerk einen in mehrere Phasen eingeteilten Matchingprozess, der das Suchfeld anhand einer schrittweisen Reduktion eingrenzt, bevor Zugriffe auf Fremdsysteme zur Prüfung komplexer Prozessstrukturen durchgeführt werden.

Um eine höhere Effizienz und Qualität durch Umstrukturierung der Selektionsstrukturen und Nutzung gespeicherter Daten zu erreichen, sollten innerhalb des BUW-Outsourcingnetzwerkes Erfahrungswerte erfasst und berücksichtigt werden. Informationen, die zu einer Effizienzsteigerung beitragen können, sind beispielsweise:

- Wiederkehrende Strukturen in unterschiedlichen Suchläufen

Es ist sehr realistisch, dass unterschiedliche Suchanfragen Kriterien verwenden, die die gleichen Anforderungen an die Berechnung der Kriterienausprägungen stellen. Da diese Berechnungen sehr komplex sein können, bietet sich die Speicherung und Wiederverwendung der Berechnungsergebnisse an. Es muss jedoch sichergestellt werden, dass Werte neu berechnet werden, wenn sich deren Grunddaten ändern.

- Vermeidung redundanter Abfragen durch die Erfassung redundanter Strukturen

Innerhalb eines Auftrages kann es vorkommen, dass verschiedene Prozesse die gleichen Anforderungen an die Maschinenressourcen stellen. In diesem Fall bieten sich Verarbeitungsroutinen an, die die Verarbeitbarkeit aller Prozesse anhand einer einzigen Berechnung prüfen.

8.2. Potentiale und Grenzen des kriterienbasierten Reduktionskonzeptes

Wesentlicher Bestandteil der Konzeptentwicklung des BUW-Outsourcingnetzwerkes ist die Ermittlung effizienter und qualitativ stabiler Methoden zur kriterienbasierten Kandidatenreduktion. Aktuelle Verfahren zur multikriteriellen Ermittlung geeigneter Kandidaten, beispielsweise für die Partnersuche in Kontaktbörsen, basieren auf dem vollständigen Wissen über die Kriterienausprägungen. Eine Rastersuche über alle Kandidaten und Kriterien erfordert in diesem Fall lediglich die Durchführung von Präferenzwertberechnungen. Diese stellen vergleichsweise geringe Rechenanforderungen.

Die in dieser Forschungsarbeit erarbeitete inkrementelle Reduktion geht hingegen von vollständiger Unwissenheit über Kriterienausprägungen und damit einer leeren Evaluationsmatrix aus. Im Gegensatz zu den Präferenzwertberechnungen kann die Ermittlung von Kriterienausprägungen beliebig komplex sein. Wie in dieser Arbeit aufgeführt und analysiert, bestehen Reduktionsverfahren, die durch eine Reduktion dieser Berechnungen eine erhebliche Effizienzsteigerung von Suchverfahren, ohne Einbußen in der Qualität des Suchergebnisses, ermöglichen.

Einsatzmöglichkeiten und Relevanz

In dem Fall des BUW-Outsourcingnetzwerkes werden sicherlich nur wenige Fälle bestehen, in denen die Berechnungen einzelner Kriterienausprägungen kritische Auswirkungen auf die Dauer des Suchprozesses haben, da die Grunddaten zur Berechnung, beispielsweise Standortdaten für die Entfernungsermittlung, bekannt sind. Kritische Aufwandsunterschiede zwischen der Rastersuche und dem Reduktionsverfahren ergeben sich daher eher bei extrem großen Kandidatenmengen. Je höher der Aufwand für die Wertermittlung ist, desto geeigneter ist die Verwendung eines Reduktionsverfahrens. Somit besteht bereits bei Kandidatenmengen geringer Mächtigkeit die Möglichkeit einer merklichen, relevanten Effizienzsteigerung.

Grundlegende Bedingung für den Einsatz der vorgestellten inkrementellen Reduktion ist die Übertragbarkeit der zu lösenden Problemstellung in eine Evaluationsmatrix. Demnach müssen die Kandidaten und die Kriterien, anhand derer die Kandidaten bewertet werden, sowie die Parameter dieser Kriterien bekannt sein. Da eine Aggregationsmethode die Basis der Kandidatenreduktion darstellt, ist für eine repräsentative Problembeschreibung eine gute Kenntnis über die Problemeigenschaften erforderlich. Fehlt diese Kenntnis, so kann dies zu Fehleinschätzungen bei der Kriterienparametrisierung führen, die beispielsweise den Bedeutungsverlust hoch priorisierter Kriterien zur Folge haben können.

Da die Kandidatenreduktion anhand des in dieser Arbeit aufgestellten Reduktionsverfahrens kriterienweise und nicht kandidatenweise ausgeführt wird, gilt als weitere Randbedingung für deren Einsatz, dass ein direkter Zugriff auf die zur Berechnung erforderlichen Grunddaten der Kandidaten, beziehungsweise ein geringer Fixaufwand des Zugriffes besteht. Der Fixaufwand je Kandidaten bezeichnet den Aufwand, der je Kriterium, unabhängig von den Kriterienmerkmalen, erbracht werden muss.

Werden die Randbedingungen erfüllt, so gehen die Einsatzmöglichkeiten der inkrementellen Reduktion über die Zeiteinsparung in rechnergestützten Systemen hinaus, bei denen die zur Rangbildung erforderlichen Grunddaten der Kandidaten in der Regel bekannt sind. Die Aufwandseinsparung kann sich ebenfalls auf andere Aufwände beziehen. Entstehen je

Ausprägungsermittlung Kosten, kann ein Reduktionsverfahren wie das hier vorliegende beispielsweise zu einer erheblichen Kosteneinsparung führen.

Verbesserungsmöglichkeiten

In der vorliegenden Arbeit wird ein erster Ansatz zur Aufwandsreduktion in multikriteriellen Auswahlverfahren vorgestellt. Während der Verfahrensaufstellung und -analyse konnten nicht alle Verfahrensmöglichkeiten berücksichtigt werden. Wie eine Analyse der Verteilungen der Kandidatenwertigkeiten (siehe Anhang A13) ergeben hat, beziehen sich die in dieser Arbeit durchgeführten Tests des Weiteren auf eher gleichverteilte Wertigkeitsverteilungen.

In dieser Arbeit hat sich herausgestellt, dass das Reduktionsverfahren *Agg (FI + Pot.) – N – N* (siehe Abschnitt 6.5) in Bezug auf eine Kandidatenmenge unbekannter Wertigkeitsverteilungen stabil und mit akzeptabler Effizienz zu einer Ergebnismenge hoher Qualität führt. Bei diesem Reduktionsverfahren werden die Ausprägungen der Suchkriterien in Reihenfolge der abfallenden Kriterienprioritäten ermittelt. Die Kandidaten werden je Kriterium auf Basis ihrer temporären Gesamtwertigkeiten, hinsichtlich deren Potential zum globalen Optimum zu gehören und/oder anhand einer festgelegten Reduktionsmenge je Kriterium, reduziert.

Es ist nicht auszuschließen, dass Verfahren bestehen, die zu besseren Ergebnissen führen. Beispielsweise kann die Effizienz durch die Vorlagerung einer Zufallsreduktion erheblich gesteigert werden. Die Auswirkungen der Zufallsreduktion auf die Qualität wurden in dieser Arbeit in Bezug auf annähernd gleichverteilte Kandidatenmengen analysiert. Um ebenfalls Aussagen über Auswirkungen auf andere Verteilungen und somit über die Eignung für unbekanntes Kandidatenmengen treffen zu können, sind weitere Analysen mit entsprechenden Repräsentanten erforderlich.

Eine Methodengruppe, die in dieser Arbeit nicht analysiert wurde und mit deren Verfahren die Effizienz eines multikriteriellen Auswahlverfahrens ebenfalls erheblich gesteigert werden kann, ist die Gruppe der Stichprobenverfahren. Wie bei der Zufallsreduktion ist eine erhebliche Auswirkung der Kandidatenwertigkeiten auf die Qualität zu erwarten.

8.3. Fazit

Mit dem BUW-Outsourcingnetzwerk steht eine Plattform zur automatisierten, dynamischen und auftragsbezogenen Suche nach Fremddienstleistern zur Verfügung, deren Fokus auf der Analyse der Fertigungsebene liegt. Im Unterschied zu bestehenden Konzepten, die zur Ermittlung passender Dienstleister hinsichtlich klar definierbarer Geschäftsprozesse hauptsächlich auf ein Mapping zwischen angeforderten und angebotenen Prozessen setzen, nutzt das BUW-Outsourcingnetzwerk zur Ermittlung passender Fertigungsstrukturen ein Matching zwischen Prozessanforderungen und Ressourceneigenschaften. Dies ermöglicht zum einen eine schnelle Implementierung sowie

Anpassung bei Änderungen auf der Fertigungsebene, zum anderen müssen bei flexibel fertigen Produkten nicht alle Fertigungsvarianten anhand von Prozessen definiert werden. Des Weiteren ist der Suchprozess durch die Integration unternehmensinterner Fertigungsstrukturen nicht auf die Ermittlung externer Fertigungsmöglichkeiten begrenzt. Wesentlich für den branchenunabhängigen Einsatz und eine einfache Anpassung an neue Fertigungsstrukturen ist das verwendete Eigenschaftenmodell.

Der hohe Automatisierungsgrad erfordert eine hohe Effizienz der Suchanfragen, die im BUW-Outsourcingnetzwerk durch einen mehrstufigen Reduktionsprozess erreicht wird. Bei einer erheblichen Menge potentieller Fremddienstleister und komplex zu ermittelnder Kriterienausprägungen, die das Anforderungsprofil der Suche erheblich beeinflussen, profitiert die Effizienz besonders von der inkrementellen Reduktion.

Die Einschränkungen des BUW-Outsourcingnetzwerkes liegen weniger in dessen technischen Umsetzbarkeit, als in der Akzeptanz hinsichtlich dynamisch wechselnder Partnerschaften. Das BUW-Outsourcingnetzwerk stellt daher einige Methoden zur Verfügung, um diese Barriere zu überwinden. Die Verwaltung der Kooperationsaktivitäten durch die unparteiische *TTP* ermöglicht die Einhaltungskontrolle von Vertragsvereinbarungen und eine indirekte Kommunikation während der Kooperationsaufbauphase, bei der den Fremddienstleistern sensible Daten verborgen bleiben. Weiter werden durch definierte Abläufe in dieser Phase Abstimmungsdefizite vermieden. Diese Methoden sowie die Bereitstellung von Vertrauensbildern anhand von Bewertungssystemen und der Analyse von Erfahrungswerten, reduzieren Zuverlässigkeitsrisiken und können helfen, in der Praxis die Akzeptanz für eine dynamische Suche von Fremddienstleistern zu verbessern.

Abkürzungsverzeichnis / Notation

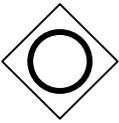
Die Erläuterungen der folgenden Ausdrücke gelten, sofern an den entsprechenden Textstellen keine anderen Äußerungen getroffen werden. Die Notation ist nicht alphabetisch, sondern nach Zusammengehörigkeit geordnet. Sollten Erläuterungen zu Ausdrücken fehlen, so werden diese bei Verwendung ausreichend erläutert.

Ausdruck	Erläuterung
Parteien des BUW-Outsourcingnetzwerkes	
<i>TTP</i>	Trusted Third Party (zentrale Einheit des Netzwerkes)
<i>SC</i>	Outsourcender Betrieb / Service Consumer
<i>SP</i>	Fremddienstleister / Service Provider
Matching	
$A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\}$	Menge an Kandidaten (z.B. Fremddienstleister)
n	Anzahl aller Kandidaten
i	Index des aktuellen Kandidaten
n_{SC}	Von dem SC angelegte Zielmächtigkeit an Kandidaten
$C = \{c_1, c_2, \dots, c_j, \dots, c_m\}$	Menge an Kriterien
m	Anzahl aller Kriterien
j	Index des aktuellen Kriteriums
k	Anzahl der bisher verarbeiteten Kriterien
$f(a)$	Kriterienausprägung eines Kandidaten
w_j	Gewicht des Kriteriums c_j
<i>Grid</i>	Rastersuche
<i>Red</i>	Reduktion
<i>Ref</i>	Referenz
A_I	Inputmenge / Eingangsmenge an Kandidaten
A_O	Outputmenge / Ergebnismenge an Kandidaten
A_{I,c_j}	Inputmenge an Kandidaten für die Verarbeitung des Kriteriums c_j
A_{O,c_j}	Outputmenge an Kandidaten der Verarbeitung des Kriteriums c_j
$A_{I,Red}$	Inputmenge eines Reduktionsprozesses

$A_{O,Red}$	Outputmenge eines Reduktionsprozesses
A_{Ref}	Referenzmenge bzw. globales Optimum an ermittelten Kandidaten
$A_{Ref,PII}$	Durch PROMETHEE II ermittelte Referenzmenge
$A_{Ref,Agg}$	Durch Aggregation ermittelte Referenzmenge
A_{Rel}	Relevanzmenge. Menge an relevanten Kandidaten
$P_j(a)$ bzw. $P_j(a, b)$	Präferenzfunktion zum Kriterium c_j
p	Obere Werteschränke bei PROMETHEE
q	Untere Werteschränke bei PROMETHEE
g	Obere Werteschränke bei der Aggregation
b	Untere Werteschränke bei der Aggregation
t	Erfüllungsschränke bei der Einzelkriterienbetrachtung
$d_j(a, b)$	Differenz zwischen den Kriterienausprägungen zweier Kandidaten
$F_j[d_j(a, b)]$	Die Differenz (d_j) fließt unverändert in die Präferenzfunktion ein
$F_j[-d_j(a, b)]$	Die Differenz (d_j) fließt mit einem Faktor von -1 die Präferenzfunktion ein
$\pi(a, b)$	Multi-Kriterien-Präferenz-Index
$\Phi^+(a)$	Positiver Präferenzfluss
$\Phi^-(a)$	Negativer Präferenzfluss
$\Phi(a)$	Nettofluss der Präferenzen
rec	Recall
$prec$	Precision
V	Wertigkeitsindex einer Kandidatenmenge; Es werden die besten n_{SC} Kandidaten berücksichtigt
$E_{f(a)}$	Effizienz bezüglich der Berechnung von Kriterienausprägungen
$E_{P(a)}$	Effizienz bezüglich der Berechnung von Präferenzwerten

Prozessmodelle [vgl. Ber11]

	Start
	Durch eine Nachricht initiiertes Start

	Ende
	Sequenzfluss; Enthält zum Teil den Status, bei dem dieser Fluss gewählt wird
	Eine Aufgabe beziehungsweise Arbeitseinheit
	Kennzeichnung einer Aufgabe als zugeklappten Teilprozess
	Kennzeichnung eines nicht ausgearbeiteten zugeklappten Teilprozesses
	Kennzeichnung einer Aufgabe als parallel mehrfach ausgeführte Aufgabe
	Kennzeichnung einer Aufgabe als Kompensation
	Zwischenereignis; Kennzeichnet im angewendeten Fall einen Status
	Zwischenereignis; Kennzeichnet den Eingang einer Nachricht
	Ausgelöster Link
	Eingetretener Link
	Exklusives Gateway
	Inklusives Gateway
	Artefakt / Anmerkung
	Ausgelöste Kompensation
	Angeheftete Kompensation

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Innovationspotentiale, Wettbewerbssituation und Innovationsstrategien [Pic03, S. 3]	3
Abbildung 1-2: Hauptgründe für die Fremdvergabe von Aufträgen in der Druckindustrie [Mei12, S. 10]	7
Abbildung 1-3: Outsourcingpartnerschaften in der Druckindustrie [Mei12, S. 11 f.]	8
Abbildung 1-4: BUW-Outsourcingnetzwerk – Konzeptüberblick	10
Abbildung 2-1: Beschaffungsprozess [nach Wir01a, S. 154 u. Wir01, S. 315 ff.].....	16
Abbildung 2-2: Gliederungsebenen des E-Procurements [Bae10, S. 55]	16
Abbildung 2-3: Formen des elektronischen Handels [nach Pro08, S. 6]	18
Abbildung 2-4: E-Procurement-Lösungen auf Basis der ABC-XYZ-Analyse [Sto07 S. 14 u. S. 19].....	20
Abbildung 2-5: Die wichtigsten E-Business-Standards [Pro08, S. 4].....	22
Abbildung 2-6: Ablauf von klassischem EDI [Lau10, S. 502]	23
Abbildung 2-7: Grundmodell der Virtuellen Fabrik [Bul09, S. 323]	27
Abbildung 2-8: Rollen in der Virtuellen Fabrik [Bul09, S. 324]	28
Abbildung 2-9: Kommunikationsablauf mit ebXML [Mer01]	29
Abbildung 2-10: Infrastruktur von myOpenFactory [Din07, S. 23]	30
Abbildung 2-11: Middleware von web-Pilarcos (Architektur und Nachrichtenfluss) [Kut06, S. 189] .	31
Abbildung 2-12: Dreischichten-Modell des Prozessmatchings von DIBPM [Nor06, S. 7].....	32
Abbildung 3-1: Architektur des BUW-Outsourcingnetzwerkes (basierend auf eSRA)	36
Abbildung 3-2: Fremdvergabeprozess im BUW-Outsourcingnetzwerk.....	39
Abbildung 3-3: Definieren von Eigenschaften	45
Abbildung 3-4: Matchingprinzip unter Verwendung des Eigenschaftenobjektes [nach Hem09, S. 50]	46
Abbildung 3-5: Produktaufbau mittels Auftragsknoten	47
Abbildung 3-6: Kardinalität bei der Anlage der Produkthierarchie	48
Abbildung 3-7: Kardinalität bei der Anlage der Verarbeitungsreihenfolge von Knoten	49
Abbildung 3-8: Verarbeitungsreihenfolge einer Buchproduktion	50
Abbildung 3-9: Kardinalität bei der Anlage der Berechnungsreihenfolge von Knoten	51

Abbildung 3-10: Produktklassifikation nach eCl@ss und GPC [Sch10 S. 72 u. 78]	53
Abbildung 4-1: Methodenübersicht zur Prüfung von Fertigungsmöglichkeiten	56
Abbildung 4-2: Prüfung interner Fertigungsmöglichkeiten	57
Abbildung 4-3: Prüfung externer Fertigungsmöglichkeiten mit manueller Aushandlung.....	58
Abbildung 4-4: Prüfung externer Fertigungsmöglichkeiten mit automatischer Aushandlung.....	58
Abbildung 4-5: Daten des Parametersatzes	61
Abbildung 4-6: Reduktionsphasen der Fremddienstleistersuche.....	66
Abbildung 4-7: Prozessmodell der Vorselektion	66
Abbildung 5-1: Kriterienprüfung bei der Aggregation	83
Abbildung 5-2: Kriterienprüfung bei PROMETHEE I	85
Abbildung 5-3: PROMETHEE Präferenzfunktionen [Bra05, S. 170]	86
Abbildung 6-1: Entscheidungsset beim Erreichen oder Unterschreiten von n_{SC}	92
Abbildung 6-2: Rechenaufwand bezogen auf die Komplexität des Kriterienmatchings sowie Menge an Kriterien	93
Abbildung 6-3: Auswirkungen auf die Outputmenge bezogen auf Filterpotential von Kriterien und Inputmenge.....	94
Abbildung 6-4: Qualität der Ergebnismenge bezogen auf die Menge an Folgekriterien	95
Abbildung 6-5: Qualität der Ergebnismenge bezogen auf die Priorität von Kriterien.....	96
Abbildung 6-6: Fallbetrachtung zur Entscheidungsfindung.....	98
Abbildung 6-7: Mengenbeziehungen im Reduktionsprozess	107
Abbildung 6-8: Auswirkung unterschiedlicher Faktorisierung von $MLD_{x\text{Left}}$	108
Abbildung 6-9: Wertigkeitsindex bei Mengenverschiebung auf der Werteskala.....	109
Abbildung 6-10: Wertigkeitsindex bei unterschiedlicher Werteverteilung innerhalb der Ergebnismengen.....	110
Abbildung 6-11: Testphasen zur Analyse der inkrementellen Reduktion	120
Abbildung 6-12: Auswirkungspotential einzelner Kriterien auf das Reduktionsverhalten der analysierten Verfahren	125
Abbildung 6-13: Präferenzwertberechnungen Aggregation vs. PROMETHEE II.....	137
Abbildung 6-14: Mittlere Reduktionsverläufe der Reduktionsverfahren.....	151

Abbildung 6-15: Mittlere Einsparpotentiale der Reduktionsverfahren.....	152
Abbildung 6-16: Effizienzvergleich der Potentialanalyse bei gleicher relativer Gesamtreduktion ...	155
Abbildung 6-17: Effizienzvergleich der Potentialanalyse bei prozentual unterschiedlicher Gesamtreduktion	155
Abbildung 6-18: Auswirkungen unterschiedlicher Kriteriensets auf die Zufallsreduktion	158
Abbildung 6-19: Auswirkung der Zufallsreduktion auf die Qualität der Ergebnismenge.....	159
Abbildung 6-20: Mittlere Wertigkeitsverläufe der Testphase VI.....	160
Abbildung 6-21: Mittlere Reduktionsverläufe der Testphase VI	161
Abbildung 6-22: Mittleres Einsparpotential der Reduktionsverfahren	162
Abbildung 7-1: Routing und Durchlaufzeitberechnung (GUI-Ausschnitt)	167
Abbildung 7-2: Drei-Schichten-Architektur von OpenFred	169
Abbildung 7-3: Mögliche Parametrisierung des Verarbeitungsobjektes zur inkrementellen Reduktion im Prototyp	171
Abbildung 7-4: Ausführung einer konfigurierten inkrementellen Reduktion (GUI-Ausschnitt).....	172
Abbildung 7-5: Ausführung einer zufälligen Reduktion (GUI-Ausschnitt)	172
Abbildung 7-6: Nutzertabelle.....	173
Abbildung 7-7: Prototypisch umgesetzter Ablauf der Fremddienstleistersuche	174
Abbildung 7-8: Ausführung der Fremddienstleistersuche (GUI-Ausschnitt)	174

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1:	Eingrenzung des operativen Outsourcings im Kooperationskontext [nach Bec07, S. 18]	5
Tabelle 3-1:	Beispiele der Produktklassifikation im Prototypen des BUW- Outsourcingnetzwerkes.....	54
Tabelle 4-1:	Beispielszenario aus Sicht des outsourcenden Betriebes.....	59
Tabelle 4-2:	Beispielszenario aus Sicht der Fremddienstleister	60
Tabelle 4-3:	Zur Konzeptanalyse verwendete Kriterienbasen	63
Tabelle 4-4:	Übersicht über Matchingverfahren der Vorselektion	73
Tabelle 4-5:	Beispiel einer manuell durchgeführten Vorselektion.....	74
Tabelle 5-1:	Aufbau einer Evaluationsmatrix	80
Tabelle 5-2:	Wahl der Präferenzfunktion der Aggregationsmethode hinsichtlich der Zielfunktion des Kriteriums.....	84
Tabelle 5-3:	Parametrisierung der Präferenzfunktionen von PROMETHEE hinsichtlich der Zielfunktion des Kriteriums.....	87
Tabelle 6-1:	Evaluationsmatrix ohne boolesche Präferenzskala	122
Tabelle 6-2:	Evaluationsmatrix mit boolescher Präferenzskala	122
Tabelle 6-3:	Parametrisierung der Kriterien in Testphase I.....	123
Tabelle 6-4:	Priorisierung der Kriteriensets in Testphase II	132
Tabelle 6-5:	Analysewerte der Verfahrensanwendung auf Szenario $S_{C1,45,10}$ (Rollbackmethode: Aggregation).....	133
Tabelle 6-6:	Analysewerte der Verfahrensanwendung auf Szenario $S_{C2,45,10}$ (Rollbackmethode: Aggregation).....	134
Tabelle 6-7:	Analysewerte der Verfahrensanwendung auf Szenario $S_{C1,1000,10}$ (Rollbackmethode: Aggregation).....	135
Tabelle 6-8:	Analysewerte der Verfahrensanwendung auf Szenario $S_{C2,1000,10}$ (Rollbackmethode: Aggregation).....	136
Tabelle 6-9:	Priorisierung des Kriteriensets der Testphase III	146
Tabelle 6-10:	Auswirkungen von Alternativwerten auf das Reduktionsergebnis (Ausschnitt aus Anhang A11)	146

Tabelle 6-11:	Empfehlung der Verfahrensanwendung auf Basis der Testphasen II bis IV	154
Tabelle 6-12:	Kriteriensets und Reduktionsmengen zur Aufwandsanalyse zu Agg [Pot.] – N – N..	155
Tabelle 6-13:	Kriteriensets und Reduktionsmengen zur Analyse der Zufallsreduktion	157
Tabelle 7-1:	Gegenüberstellung der Prozessschritte der Suchmöglichkeiten im BUW- Outsourcingnetzwerk	168

Anhangsverzeichnis

Es folgt eine Auflistung der Anhänge der vorliegenden Ausarbeitung. Da die Anhänge zum Teil nicht in für den Druck geeigneter Form vorliegen, sind diese in elektronischer Form beigefügt.

- A1: Umfrage zum operativen Outsourcing von Druckprodukten
- A2: Überblick über Definitionen zum Kooperationsbegriff
- A3: Modularisierung von Ressourcen
- A4: Klassifizierung von Produkten am Beispiel der Druckbranche
- A5: BPM der Suche nach Fertigungsmöglichkeiten
- A6: BPM der Rollbackentscheidungsheuristik IR A-E
- A7: Manuelle Verfahrensentwicklung zur Kandidatenreduktion
- A8: Aggregation und PROMETHEE - Anwendungsbeispiele
- A9: Entwicklungsphasen zur Bestimmung der Relevanzmenge
- A10: Ausführliche Analyse der Testphase I
- A11: Analysewerte der Testphasen II bis VI
- A12: Rohdaten der Testphasen II und III
- A13: Wertigkeitsverläufe der Eingangsmengen aus Testphase V

Literaturverzeichnis

- [Aal03] Aalst, W.M.P. van der; Hofstede, A.H.M. ter; Kiepuszewski, B.; Barros, A.P. (2003) Workflow patterns. In: Distributed and Parallel Databases 14:1. Kluwer Academic Publishers. S. 5-51. DOI: 10.1023/A:1022883727209
- [Alo99] Alonso, G.; Fiedler, U.; Hagen, C.; Lazcano, A.; Schuldt, H.; Weiler, N. (1999) WISE: Business to Business E-Commerce. In: Proceedings of the 9th International Workshop on Research Issues in Data Engineering: Information Technology for Virtual Enterprises (RIDE-VE'99). Sydney, Australien. S. 132-139. ISBN: 0-7695-0119-2; DOI: 10.1109/RIDE.1999.758645
- [Ang11] Angelov, S.; Vonk, J.; Grefen, P.; Vidyasankar, K. (2011) Enhancing business collaborations with client-oriented process control. In: International Journal of Cooperative Information Systems 20:1. World Scientific. S. 1-37. DOI: 10.1142/S0218843011002171
- [Arn07] Arnold, U.; Schnabel, M. (2007) Electronic Reverse Auctions – Nutzung von IT-Unterstützung bei der Beschaffung direkter Güter. In: Brenner, W.; Wenger, R. (Hrsg.) Elektronische Beschaffung – Stand und Entwicklungstendenzen. Springer Berlin, Heidelberg. S. 83-103. ISBN: 9783540340188
- [Aus06] Ausschuss für Definitionen zu Handel und Distribution (2006) Katalog E: Definitionen zu Handel und Distribution. Institut für Handelsforschung an der Universität zu Köln. Köln, 5. Auflage. ISBN: 9783935546263
- [Bae10] Bächle, M.; Lehmann, F. R. (2010) E-Business – Grundlagen elektronischer Geschäftsprozesse im Web 2.0. Reihe: Lehrbuch kompakt. Oldenbourg München. ISBN: 9783486583625
- [Bec07] Becker, T.; Dammer, I.; Howaldt, J.; Killich, S.; Loose, A. (2007) Netzwerkmanagement – Mit Kooperation zum Unternehmenserfolg. Springer Berlin, Heidelberg. ISBN: 9783540718918
- [Ber11] Berliner BPM-Offensive (2011) BPMN 2.0 – Business Process Model and Notation. Verfügbar unter: <http://bpmb.de/poster> (zuletzt geprüft: 05.04.2013)
- [Bol01] Bollhalter, S.; Eisen, S.; Millarg, K. (2001) Mehr Flexibilität durch Kooperation. Die Virtuelle Fabrik – ein erfolgreiches Kooperationsmodell. In: Schuh, G.; Fahrni, F. (Hrsg.) Technologiemanagement als Treiber nachhaltigen Wachstums. Shaker Aachen. S. 107-117. ISBN: 9783826559990
- [Bor06] Borhardt, A. (2006) Koordinationsinstrumente in virtuellen Unternehmen. DUV Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1. Auflage. ISBN: 9783835005310

- [Bra84] Brans, J.-P.; Mareschal, B.; Vincke, Ph. (1984) PROMETHEE: a new family of outranking methods in multicriteria analysis. In: Operational Research '84. Amsterdam. S. 477-490
- [Bra94] Brans, J.-P.; Mareschal, B. (1994) How to decide with Prométhée. Université Libre de Bruxelles und Vrije Universiteit Brussel. Verfügbar unter: <http://homepages.ulb.ac.be/~bmaresc/PromWeb.htm> (zuletzt geprüft: 03.04.2013)
- [Bra94a] Brans, J.-P.; Mareschal, B. (1994) The PROMCALC & GAIA decision support system for multicriteria decision aid. In: Decision Support Systems. 12: 4-5. S. 297–310
- [Bra05] Brans, J.-P.; Mareschal, B. (2005) PROMETHEE METHODS. In: Figueira, E. et al. (Hrsg.) Multiple Criteria Decision Analysis. Reihe: International Series in Operations Research & Management Science, Band 78. Springer New York. S. 163-195. ISBN: 9780387230672
- [Bre07] Brenner, W.; Wenger, R. (2007) Anforderungen an Electronic Sourcing Systeme. In: Brenner, W. (Hrsg.); Wenger, R. (Hrsg.) Elektronische Beschaffung – Stand und Entwicklungstendenzen. Springer Berlin, Heidelberg. S. 1-21. ISBN: 9783540340188
- [Bul09] Bullinger, H.-J.; Spath, D.; Warnecke, H.-J.; Westkämper, E. (2009) Handbuch Unternehmensorganisation – Strategien, Planung, Umsetzung. Reihe: VDI-Buch. Springer Berlin, Heidelberg, 3. Auflage. ISBN: 9783540875956
- [Bvd07] bvdm – Bundesverband Druck und Medien e.V. (2007) Kosten- und Leistungsgrundlagen für Klein- und Mittelbetriebe in der Druck- und Medienindustrie – 48. Ausgabe. Print & Media Forum AG, Wiesbaden
- [Bvd12] bvdm – Bundesverband Druck und Medien e.V. (2012) Die deutsche Druckindustrie in Zahlen, Ausgabe 2012 (Art.-Nr. 82 501). Wiesbaden
- [Cen06] Europäisches Komitee für Normung (CEN) (2006) CEN Workshop Agreement CWA 15556-3:2006 (E). Verfügbar unter: <ftp://ftp.cen.eu/CEN/Sectors/List/ICT/CWAs/CWA15556-03-2006-Mar.pdf> (zuletzt geprüft: 03.04.2013)
- [Din07] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2007) PAS 1074 – myOpenFactory: Prozess- und Datenstandard für die überbetriebliche Auftragsabwicklung. Ref. Nr. PAS 1074:2007-09. Beuth Berlin
- [Ebt01] ebTA (2001) ebXML Technical Architecture Specification v1.0.4. Verfügbar unter: <http://www.ebxml.org/specs/index.htm> (zuletzt geprüft: 03.04.2013)
- [Ebx11] Europäisches ebXML-Informationszentrum (Internetseite) <http://www.ebxml.eu.org/Deutsch/deutsch.htm> (aufgerufen am 19.10.2011, Stand: 02.03.2009)
- [Ebx13] ebXML (Internetseite) <http://www.ebxml.org/> (aufgerufen am 03.01.2013)

- [Ett03] Etter, C. (2003) Nachgründungsdynamik neugegründeter Unternehmen in Berlin im interregionalen Vergleich - Interaktionseffekte zwischen Unternehmen, unternehmerischem Umfeld, Kooperationsbeziehungen und unternehmerischem Erfolg. Dissertation an der Freien Universität Berlin. Verfügbar unter: http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivate_000000001314/ (zuletzt geprüft: 03.04.2013)
- [Ewg12] European Working Group on Multicriteria Decision Aiding (Internetseite) <http://www.cs.put.poznan.pl/ewgmca/> (aufgerufen am: 06.12.2012)
- [Fig05] Figueira, J. (2005) ELECTRE METHODS. In: Figueira, E. et al. (Hrsg.) Multiple Criteria Decision Analysis. Reihe: International Series in Operations Research & Management Science, Band 78. Springer New York. S. 133-162. ISBN: 9780387230672
- [Gab12] Effizienz. Gabler Wirtschaftslexikon (Internetseite) <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/effizienz.html> (aufgerufen am: 31.10.2012)
- [Gab13] Stammdaten. Gabler Wirtschaftslexikon (Internetseite) <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/stammdaten.html> (aufgerufen am: 10.02.2013)
- [Gau05] Gauß, W. (2005) Dokumentations- und Ordnungslehre – Theorie und Praxis des Information Retrieval. Springer Berlin, Heidelberg, 5. überarbeitete Auflage. ISBN: 9783540238188
- [Gel99] Geldermann, J. (1999) Entwicklung eines multikriteriellen Entscheidungsunterstützungssystems zur integrierten Technikbewertung. Dissertation am Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP) / Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU) Universität Karlsruhe (TH). VDI Düsseldorf. ISBN: 9783183105168.
- [Goe12] Gödert, W.; Lepsky, K.; Nagelschmidt, M. (2012) Informationserschließung und automatisches Indexieren. Reihe: X.media.press. Springer Berlin, Heidelberg. ISBN: 9783642235122
- [Gre03] Grefen, P.; Luswig, H.; Angelov, S. (2003) A Three-Level Framework for Process and Data Management of Complex E-Services. In: International Journal of Cooperative Information Systems. 12:4. World Scientific. S. 487-531. DOI: 10.1142/S0218843003000838
- [Hau04] Hauschild, W.; Wallacher, L. (2004) Ad-hoc-Befragung über Unternehmenskooperationen - Ergebnisse für das Jahr 2003. In: Wirtschaft und Statistik. Heft 9/2004. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden. S. 1009-1016
- [Hem09] Hemmer, H.; Meiser, S.; Kisner, T.; Kühn, W. (2009) Job Planning and Simulation in a Digital Factory Environment. In: 22nd International Conference on Computers and Their Applications In Industry and Engineering (CAINE). San Francisco, USA. S. 48-53

- [Hem10] Hemmer, H.; Kühn, W.; Meiser, S. (2010) openFred – An Open Source Digital Factory for Education and Research. In: Sanchez, J.; Zhang, K. (Hrsg.) Proceedings of World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2010. Chesapeake, VA: AACE. S. 2527-2532. ISBN: 1880094835
- [Hib13] Hibernate - Relational Persistence for Java and .NET (Internetseite) <http://www.hibernate.org/> (aufgerufen am 15.02.2013)
- [Koe05] König, A. (2005) E-Business@Print: Internet-Based Services and Processes. Reihe: X.media.publishing. Springer Berlin, Heidelberg. ISBN: 3540275290
- [Jbo13] JBoss Community (Internetseite) <http://www.jboss.org/> (aufgerufen am 15.02.2013)
- [Koe11] Köksalan, M.; Wallenius, J.; Zionts, S. (2011) Multiple Criteria Decision Making – From Early History to the 21st Century. World Scientific New Jersey. ISBN: 9789814335584
- [Kut01] Kutvonen, L.; Haataja, J.; Silfver, E.; Vähäaho, M. (2001) Pilarcos architecture. Technical report, Department of Computer Science, University of Helsinki. C-2001-10. Verfügbar unter: <http://www.cs.helsinki.fi/research/pilarcos/> (zuletzt geprüft: 03.04.2013)
- [Kut06] Kutvonen, L.; Ruokolainen, T.; Metso, J.; Haataja J.-P. (2006) Interoperability Middleware for Federated Enterprise Application in web-Pilarcos. In: Interoperability of Enterprise Software and Applications. Springer London. S. 185-196
- [Kut08] Kutvonen, L.; Ruohomaa, S.; Metso, J. (2008) Automating Decisions for Inter-Enterprise Collaboration Management. In: Camarinha-Matos, L.; Picard, W. (Hrsg.) IFIP TC 5 WG 5.5 Ninth Working Conference on VIRTUAL ENTERPRISES, September 8-10 2008, Poznan, Poland. Reihe: IFIP International Federation for Information Processing, Band: 283, Pervasive Collaborative Networks. Springer. S. 127-134. ISBN: 9780387848365
- [Lau10] Laudon, K. C.; Laudon, J. P.; Schoder, D. (2010) Wirtschaftsinformatik: Eine Einführung. Pearson Studium München, 2. Auflage. ISBN: 9783827373489
- [Mca09] McAfee, A. (2009) Enterprise 2.0: new collaboration tools for your organization's toughest challenges. Harvard Business Press Boston (Mass.), 1. Auflage. ISBN: 9781422125878
- [Mcd12] International Society on Multiple Criteria Decision Making (Internetseite) <http://www.mcdmsociety.org> (aufgerufen am 06.11.2012)
- [Mei11] Meiser, S.; Kühn, W. (2011) Resource Capacity Search in Collaborative Print Service Networks. In: Thoben, K.-D.; Stich, V.; Ali I. (Hrsg.) (2011) Proceedings of the 2011 17th International Conference on Concurrent Enterprising (ICE 2011). FIR e. V. an der RWTH Aachen. ISBN: 9783943024050

- [Mei12] Meiser, S.; Buchhorn, J. (2012) Umfrage zum Thema Entscheidungskriterien für das operative Outsourcing von Druckprodukten – Auswertung. Verfügbar unter: <http://elpub.bib.uni-wuppertal.de/servlets/DocumentServlet?id=2887> (zuletzt geprüft: 03.04.2013)
- [Mer01] Mertz, David (2001) Understanding ebXML – Untangling the business Web of the future (Internetseite) <https://www.ibm.com/developerworks/xml/library/x-ebxml/> (aufgerufen am 05.02.2013)
- [Nor06] Norta, A.; Grefen, P. (2006) Developing a Reference Architecture for Inter-Organizational Business Collaboration Setup Systems. BETA Working Paper Series, WP 170, Eindhoven University of Technology
- [Nor07] eSourcing: electronic Sourcing for dynamic B2B collaboration (Internetseite) <http://www.cs.helsinki.fi/u/anorta/research/eSourcing/> (aufgerufen am 05.02.2013, Stand: 09.05.2007)
- [Oas06] OASIS ebXML Joint Committee (2006) The Framework for eBusiness. Verfügbar unter: <https://www.oasis-open.org/committees/download.php/17817/> (zuletzt geprüft: 03.04.2013)
- [Obe09] Oberschmidt, J.; Ludwig, J.; Geldermann, J. (2009) Ein modifizierter PROMETHEE-Ansatz zur Lebenszyklus-orientierten Bewertung der Strom- und Wärmeversorgung. Tagungsband des Workshops der GOR-Arbeitsgruppen "OR im Umweltschutz" und "Entscheidungstheorie und -praxis" vom 11. bis zum 13. März 2009 in Göttingen. Shaker Aachen. S. 41-63. ISBN: 9783832286095
- [Ope13] OpenFred (Internetseite) <http://www.pps.uni-wuppertal.de/de/forschung/forschungsplattform-openfred.html> (aufgerufen am 14.02.2013)
- [Ora13] JavaServer Faces Technology (Internetseite) <http://www.oracle.com/technetwork/java/javaee/javaserverfaces-139869.html> (aufgerufen am 15.02.2013)
- [Ora13a] Java Persistence API (Internetseite) <http://www.oracle.com/technetwork/java/javaee/tech/persistence-jsp-140049.html> (aufgerufen am 15.02.2013)
- [Ora13b] Enterprise JavaBeans Technology (Internetseite) <http://www.oracle.com/technetwork/java/javaee/ejb/index.html> (aufgerufen am 15.02.2013)
- [Pic03] Picot, A.; Reichwald R.; Wigand R. T. (2003) Die grenzenlose Unternehmung - Information, Organisation und Management. Gabler Wiesbaden, 5. Auflage. ISBN: 9783409522144
- [Pro05] PROZEUS (2005) Elektronische Marktplätze auswählen und nutzen. Stand: November 2005, Köln.

- [Pro08] PROZEUS (2008) Elektronische Marktplätze auswählen und nutzen. Stand: Oktober 2008, Köln. ISBN: 9783602450299
- [Pro11] PROZEUS – Prozesse und Standards (Internetseite) <http://www.prozeus.de/> (aufgerufen am 16.08.2011)
- [Pro12] PROZEUS Wiki (Internetseite) wiki.prozeus.de (aufgerufen am 11.01.2012)
- [Pro12a] PROMETHEE und GAIA Projektseite (Internetseite) <http://www.promethee-gaia.net> (aufgerufen am 25.04.2012)
- [Roy05] Roy, B. (2005) Paradigms and Challenges. In: Figueira, E. et al. (Hrsg.) Multiple Criteria Decision Analysis. Reihe: International Series in Operations Research & Management Science, Band: 78. Springer New York. S. 3-24. ISBN: 9780387230672.
- [Rus05] Russell, N. C.; Hofstede, A. H. M. ter; Edmond, D.; Aalst, W. M. P. van der (2005) Workflow Data Patterns: Identification, Representation and Tool Support. In: Delcambre, L.; Kop, C.; Mayr, H. C.; Mylopoulos, J.; Pastor, O. (Hrsg.) Conceptual modeling – ER 2005. 24th international conference on conceptual modeling, Klagenfurt, Austria, October 24-28, 2005. Proceedings. Reihe: Lecture Notes in Computer Science, Band: 3716. Springer Berlin, Heidelberg. S. 353-368. ISBN: 9783540293897
- [Rus05a] Russell, N. C.; Aalst, W. M. P. van der; Hofstede, A. H. M. ter; Edmond, D. (2005) Workflow Resource Patterns: Identification, Representation and Tool Support. In: Advanced Information Systems Engineering. 17th International Conference, CAiSE 2005, Porto, Portugal, June 13-17, 2005. Proceedings. Reihe: Lecture Notes in Computer Science, Band: 3520. Springer Berlin, Heidelberg. S. 216-232. ISBN: 9783540260950
- [Sch02] Schwarze, J.; Schwarze S. (2002) Electronic Commerce – Grundlagen und praktische Umsetzung. Verlag Neue Wirtschafts-Briefe Herne, Berlin. ISBN: 9783482514210
- [Sch04] Schuh, G.; Wegehaupt, P. (2004) Kooperation im Wandel – Collaborative Swarms als Antwort auf Diskontinuität. In: Luczak, H.; Stich, V. (Hrsg.) Betriebsorganisation im Unternehmen der Zukunft. Springer Berlin. S. 31-42. ISBN: 9783540205463
- [Sch06] Schuh, G.; Schmidt, C. (2006) Prozesse. In: Schuh G. (Hrsg.) Produktionsplanung und -steuerung: Grundlage, Gestaltung und Konzept. Reihe: VDI-Buch. Springer Berlin. S. 108-194. ISBN: 9783540403067
- [Sch10] Schleife, K.; Flug, M.; Stiehler, A.; Dufft, N. (2010) E-Business-Standards in Deutschland – Bestandsaufnahme, Probleme, Perspektiven. Berlecon Research Berlin. Verfügbar unter: <http://www.berlecon.de/standards> (zuletzt geprüft: 03.04.2013)

- [Sto07] Stoll, P. (2007) E-Procurement – Grundlagen Standards und Situationen am Markt. Friedr. Vieweg & Sohn Verlag GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. ISBN: 9783834802699
- [Sys06] Syska, A. (2006) Produktionsmanagement - Das A-Z wichtiger Methoden und Konzepte für die Produktion von heute. Gabler Wiesbaden. S. 24-26. ISBN: 9783834902351
- [Wan05] Wannenwetsch, H. (2005) Vernetztes Supply Chain Management – SCM-Integration über die gesamte Wertschöpfungskette. Reihe: VDI-Buch. Springer Berlin, Heidelberg. ISBN: 9783540275077
- [War97] Warnecke, H.-J. (1997) Komplexität und Agilität – Gedanken zur Zukunft produzierender Unternehmen. In: Schuh, G.; Wiendahl, H. P. (Hrsg.) Komplexität und Agilität – Steckt die Produktion in der Sackgasse? Springer Berlin, Heidelberg, New York. S. 1–8. ISBN: 3540630996
- [Wer06] Werani, T. (1999) Grundlagen des Operations Research – Mit Aufgaben und Lösungen. Springer Berlin, Heidelberg, 2. Auflage. ISBN: 9783540799733
- [Wir01] Wirtz, B. (2001) Electronic Business. Gabler Wiesbaden, 2. Auflage. ISBN: 9783409216609
- [Wir01a] Wirtz, B.; Eckert, U. (2001) Electronic Procurement – Einflüsse und Implikationen auf die Organisation der Beschaffung. In: Zeitschrift Führung und Organisation (ZFO) 70:3. S. 151-158