



# ABSCHLUSSBERICHT

IGF-Vorhaben 17693 BR

27. Februar 2015

Methodik zur Planung und Risikobewertung  
projektspezifischer globaler Produktions- und  
Logistiknetzwerke für KMU des Maschinen- und  
Anlagenbaus (PIP)

# Schlussbericht

zu dem IGF-Vorhaben

**Methodik zur Planung und Risikobewertung projektspezifischer globaler Produktions- und Logistiknetzwerke für KMU des Maschinen- und Anlagenbaus (PIP)**

der Forschungsstelle(n)

(1) Professur für Technische Logistik und  
(2) Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Logistik  
der Technischen Universität Dresden.

Das IGF-Vorhaben 17693BR der Forschungsvereinigung „Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V.“ wurde über die



im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Dresden, 27.02.2015

---

Ort, Datum

---

Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Schmidt

---

Prof. Dr. rer. pol. Rainer Lasch

# Schlussbericht

Zum Forschungsvorhaben

Methodik zur Planung und Risikobewertung projektspezifischer globaler Produktions- und Logistiknetzwerke für KMU des Maschinen- und Anlagenbaus (PIP)

Das Vorhaben 17693BR der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik e.V. (BVL) wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Zeitraum 01.03.2013 bis 30.11.2014 gefördert.

## Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Schmidt  
Technische Universität Dresden  
Professur für Technische Logistik  
Telefon: +49 351 463-32538  
[www.logistik.mw.tu-dresden.de](http://www.logistik.mw.tu-dresden.de)

Prof. Dr. rer. pol. habil. Rainer Lasch  
Technische Universität Dresden  
Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Logistik  
Telefon: +49 351 463-37470  
[www.dresden-logistik.de](http://www.dresden-logistik.de)

## Zusammenfassung

Gegenstand des Forschungsprojektes „PIP“ war die Entwicklung von Methoden, welche die Planung und Risikobewertung projektspezifischer globaler Produktions- und Logistiknetzwerke unterstützen. Dabei wurden insbesondere die Identifizierung und Bewertung möglicher Lieferanten sowie die Suche nach robusten Projektabwicklungsalternativen durch KMU des Maschinen- und Anlagenbaus betrachtet. Es wurde ein parametrisches Projektabwicklungsmodell entwickelt, welches die einzelnen Prozessschritte (Angebotsbearbeitung, Projektierung/Konstruktion, Einkauf/Fertigung, Montage, Versand) mit ihren Reihenfolgebeziehungen beschreibt. Zu diesen können Prozessalternativen (z.B. Eigenleistung, Fremdleistung durch Lieferant A, Fremdleistung durch Lieferant B) mit ihren jeweiligen Unsicherheiten in den Zielgrößen Dauer und Kosten hinterlegt werden. Somit wird eine vom spezifischen Einsatzfall losgelöste Form der Beschreibung von Projektabwicklungsalternativen für den Maschinen- und Anlagenbau verfügbar.

Eine Identifikation und Bewertung von Lieferanten erfolgt in einem mehrstufigen Prozess. Mittels der Einordnung des Beschaffungsobjekts in einem Beschaffungsportfolio wird ein angemessenes Aufwand-Nutzen-Verhältnis bei der anschließenden Lieferantenrisikobewertung erreicht. Im Ergebnis der Bewertung entsteht ein lieferantenspezifisches Risiko bei der Durchführung eines Prozessschritts, welches die Unsicherheiten in den Zielgrößen Dauer und Kosten jeweils in einer Dreiecksverteilung aggregiert.

Für eine Robustheitsbewertung einer Projektabwicklungsalternative müssen zunächst die Einzelrisiken der Prozesse zu einem Gesamtrisiko des Projekts aggregiert werden. Eine Abwicklungsalternative entspricht dabei der Auswahl einer Prozessalternative für jeden Prozess. Die Aggregation erfolgt mit einem Verfahren zur numerischen Netzwerkberechnung, das für die Anwendung auf die vorliegende Problemstellung angepasst wurde. Es ermittelt für eine bestimmte Abwicklungsalternative aus den zugrundeliegenden Dreiecksverteilungen der Prozessalternativen die Wahrscheinlichkeitsverteilungen für das Gesamtprojekt hinsichtlich Dauer und Kosten. Im Gegensatz zu einer Simulation der Projektzielgrößen liefert das Berechnungsverfahren gleichwertige Ergebnisse in kürzerer Rechenzeit, wodurch eine Bewertungsmöglichkeit für ein praxistaugliches, rasches Suchverfahren nach robusten Abwicklungsalternativen verfügbar wird.

Zwischen den Projektzielgrößen Dauer und Kosten besteht typischerweise ein Zielkonflikt. Für einen Vergleich von Projektabwicklungsalternativen, der bisher in der Praxis durch den personellen Aufwand meist unterbleibt, sowie die gezielte Suche nach robusten Abwicklungsalternativen wurde daher ein Mehrziel-Suchverfahren implementiert. Es sucht nicht nach einer möglichst optimalen Projektabwicklungsalternative, sondern nach einer Menge von effizienten Kompromisslösungen bezüglich der Projektzielgrößen. Diese werden dem Planer vorgestellt. Identifizierte, robuste Abwicklungsalternativen können zudem vom Planer angepasst werden, wodurch beispielsweise die Chancen und Risiken durch einen Austausch einzelner Lieferanten für das Gesamtprojekt bewertbar werden.

### **Fazit: Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.**

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens und die Art der Zusammenarbeit stoßen bei beteiligten Industrievertretern auf positive Resonanz. Es wurden daher Ziele und weiterer Forschungsbedarf in einem Anschlussantrag formuliert.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ausgangssituation</b> .....	<b>1</b>
1.1	Rahmenbedingungen.....	1
1.2	Stand der Technik .....	2
1.3	Anforderungen und Zielstellung .....	3
1.4	Abgeleitete Vorgehensweise .....	4
<b>2</b>	<b>Projektdurchführung</b> .....	<b>5</b>
2.1	Arbeitspakete.....	6
2.2	Verwendung der Zuwendung .....	9
2.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....	10
<b>3</b>	<b>Darstellung der Forschungsergebnisse</b> .....	<b>10</b>
3.1	Anforderungskatalog .....	11
3.2	Datenbankschema .....	12
3.3	Festlegung von Eigen- oder Fremdleistung .....	14
3.4	Lieferantenvorauswahl und Risikobewertung projektspezifischer Lieferanten .....	16
3.4.1	Beschaffungssituation .....	16
3.4.2	Lieferantenidentifikation und -vorauswahl.....	18
3.4.3	Lieferantenrisikobewertung .....	20
3.5	Suche robuster Projektabwicklungsalternativen.....	22
3.5.1	Vorgehensweise .....	22
3.5.2	Multikriterielle Optimierung mit NSGA-II.....	23
3.5.3	Ermittlung der Pareto-Front an einem Fallbeispiel .....	25
3.5.4	Umsetzung als Software-Demonstrator.....	26
<b>4</b>	<b>Bewertung der Forschungsergebnisse</b> .....	<b>30</b>
4.1	Zusammenfassung und Ausblick.....	30
4.2	Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung für KmU .....	31
4.3	Transfer der Forschungsergebnisse .....	33
<b>5</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>34</b>
5.1	Werkzeug zur Unterstützung der Festlegung von Eigen- oder Fremdleistung.....	34
5.2	Einflusskriterien bei der Festlegung von Eigen- oder Fremdleistung .....	34
5.3	Erklärung zu den bedingenden Faktoren zur Einordnung in die Beschaffungssituation.....	35
5.4	Informationsquellen zur Lieferantenidentifikation .....	37
5.5	Erläuterungen zu den Methoden der Lieferantenvorauswahl .....	38
5.6	Herleitung der Bewertungskriterien .....	39
5.7	Erläuterungen zu den identifizierten Lieferantenrisiken .....	40
5.8	Liste der Indikatoren .....	42
<b>6</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>46</b>

# 1 Ausgangssituation

Im deutschen Maschinen- und Anlagenbau stellt die kooperative Zusammenarbeit bei der Produktion komplexer, qualitativ hochwertiger Investitionsgüter mittlerweile einen wesentlichen Erfolgsfaktor dar. Das Spezialisten-Know-how und die Ressourcen zahlreicher Partner, Dienstleister und Lieferanten (im Folgenden unter dem Begriff Lieferant zusammengefasst) werden gebündelt [SCHMIDT ET AL. 2008]. Zur Umsetzung derartiger Kooperationsstrategien orientieren sich nicht nur Großunternehmen global, zunehmend gehen auch KMU internationale Partnerbeziehungen ein [NYHUIS ET AL. 2008].

Die Gründe für die zunehmend global verteilte und vernetzte Produktion sind vielfältig. Konsens herrscht darüber, dass internationale Kooperationen die Wettbewerbsfähigkeit der beteiligten Unternehmen steigern. Die Realisierung von ökonomischen Vorteilen wie die Senkung von Kosten der Produktionsfaktoren und Erschließung internationaler Absatzmärkte wurde in der Literatur bereits umfassend diskutiert [SPATH ET AL. 2008, NYHUIS ET AL. 2008]. Kooperationen werden daher meist langfristig aus strategischen Überlegungen eingegangen, wodurch sich ein Wiederholcharakter innerhalb der Projektplanung und -abwicklung einstellt.

Zusätzlich zu langfristigen, strategischen Kooperationsentscheidungen müssen bei Einzel- und Kleinserienfertigung internationale Lieferanten auftragsspezifisch einbezogen werden. Die Gründe liegen sowohl im steigenden Kostendruck als auch in den kundenindividuellen Anforderungen oder wirtschaftlich-rechtlichen Rahmenbedingungen des Exportlandes [WIENHOLDT ET AL. 2008]. Die Einbeziehung dieser Lieferanten in das komplexe Produktionsnetzwerk stellt eine besondere Herausforderung bezüglich Informationsverfügbarkeit und Bewertung der Leistungsfähigkeit dar.

## 1.1 Rahmenbedingungen

Oft bestehen *Kundenanforderungen* darin, ihre aktuellen Wertschöpfungspartner in die Auftragsabwicklung einzubeziehen [SCHMIDT ET AL. 2008, YANG&MATTFELD 2007] sowie alles aus einer Hand zu erhalten, um so die Koordinierungsaufgaben bei der Zusammenstellung der Leistungen abzugeben. Speziell im Anlagenbau sind Anfragen teilweise so gestaltet, dass der Kunde nur Angaben zum Ziel seines Vorhabens und der geografischen Lage macht. Der Auftragnehmer ist dabei gefordert, nicht nur die benötigten technischen Komponenten zu liefern, sondern auch die komplette Projektplanung in eigener Hand zu realisieren. Je komplexer und individueller das Produkt ist, desto unwahrscheinlicher ist es, dass ein KMU alle benötigten Leistungen bzw. Kompetenzen selbst bereitstellen kann [PETERMANN&KAVERINSKI 2011]. Darüber hinaus sind *wirtschaftlich-rechtliche Rahmenbedingungen* bei der Bedienung internationaler Märkte zu beachten, wie beispielsweise ein gesetzlich festgelegter Wertschöpfungsanteil im Exportland. Die Erfüllung dieses Local-Content-Requirement (LCR) zielt auf die Beschaffung von Komponenten und Leistungen im Exportland. Lokale Lieferanten sind somit in gewissem Umfang in die Auftragsabwicklung einzubeziehen [NYHUIS ET AL. 2008, YANG&MATTFELD 2007].

Durch die auftragsspezifische Einbeziehung internationaler Partner wird somit der bestehende Wiederholcharakter der Auftragsabwicklung überlagert. Im Ergebnis resultiert ein erhöhter Koordinationsaufwand sowie Unsicherheit bezüglich des Ergebnisses der Leistungserstellung. Als Konsequenz tritt der international agierende Maschinen- und Anlagenbauer gegenüber seinen Kunden als Generalunternehmer auf. Für die Auftragsabwicklung resultiert daraus die Planung, Steuerung und Ver-

antwortung eines *projektspezifischen Produktionsnetzwerkes* von weltweit bis zu mehreren Dutzend Partnern [SCHMIDT ET AL. 2008]. Abbildung 1 zeigt dessen typische Struktur anhand eines Praxisbeispiels. Zu erkennen ist, dass sowohl Tochterfirmen mit deren eigenen Partnern als auch Partner des Kunden durch auftragsbezogene Materialflüsse in die Projektabwicklung eingebunden werden müssen.

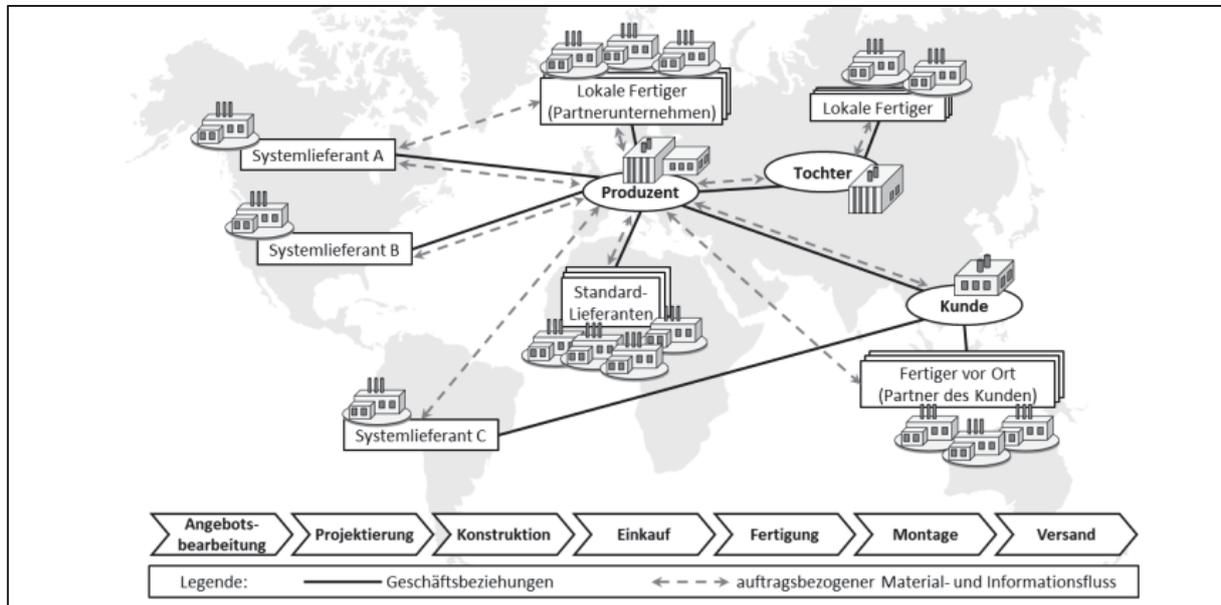


Abbildung 1: Typische Struktur eines projektspezifischen Produktionsnetzwerks

## 1.2 Stand der Technik

Eine einheitliche Systematisierung von Produktionsnetzwerken ist nicht vorhanden. Verbreitet ist jedoch die Systematisierung mittels Steuerungsform und zeitlicher Stabilität, anhand derer vier Grundtypen unterschieden werden (Abbildung 2):

- *Strategische Produktionsnetzwerke* gründen auf stabilen, langfristigen Beziehungen und werden von einem Unternehmen strategisch geführt. Es liegt eine hohe Wiederholhäufigkeit von Produktionsaufträgen mit derselben Partnerkonstellation vor (Bsp.: Automobilindustrie) [SYDOW&MÖLLERING 2004, LASCH 2014].
- *Virtuelle Produktionsnetzwerke* sind zeitlich befristete Zusammenschlüsse rechtlich und wirtschaftlich selbstständiger Unternehmen, die gegenüber Dritten als eine Einheit auftreten. Die Koordination erfolgt mittels Informations- und Kommunikationssystemen [SYDOW 2010].
- *Regionale Produktionsnetzwerke* bestehen meist aus KMU und zeichnen sich durch räumliche Nähe aus. Anstatt auf einer strategischen Netzwerkführerschaft gründet sich die Zusammenarbeit auf gemeinsam vereinbarten informellen Regeln. Es ist eine stabile Mitgliedschaft im Netzwerk erforderlich, dem sogenannten Netzwerkpool, aus dem heraus aufgabenspezifische Kooperationen erfolgen [ZSCHORN 2007].
- *Projektnetzwerke* sind analog zu virtuellen Produktionsnetzwerken als zeitlich befristete Zusammenschlüsse selbstständiger Unternehmen gekennzeichnet. Im Gegensatz zu diesen fehlt jedoch ein dauerhaft vorhandener Netzwerkpool als Basis zur temporären Kooperation sowie infolgedessen auch eine durchgängige informationstechnische Unterstützung. Daraus resul-

tiert ein Mangel an Informationen (u. a. in Bezug auf Kompetenzen, Ressourcen und finanzielle Situation) über mögliche Kooperationspartner. Beziehungen zwischen den Mitgliedern bleiben nach Projektabschluss latent vorhanden und bieten Anknüpfungspunkte für weitere Projekte [SYDOW&MÖLLERING 2004]. Der Netzwerktyp ist häufig in den Branchen „Maschinen- und Anlagenbau“ sowie „sonstiger Fahrzeugbau“ anzutreffen. Als Synonyme werden in der Literatur auch die Begriffe „projektspezifisches Produktionsnetzwerk“ und „temporäres Produktionsnetzwerk“ verwendet.

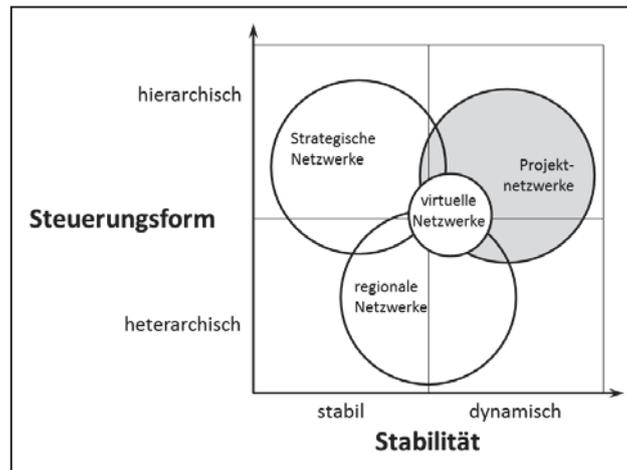


Abbildung 2: Produktionsnetzwerk-Typologie [Syd10]

Zusammenfassend handelt es sich sowohl bei strategischen als auch bei regionalen und virtuellen Produktionsnetzwerken um dauerhafte Beziehungen, obgleich bei letztgenannten die Abwicklung konkreter Aufträge in dynamischen („aktivierten“) Netzwerken erfolgt. Projektspezifische Produktionsnetzwerke bilden hingegen den allgemeineren Fall einer auftragsspezifischen Vernetzung ohne Einschränkung auf ein vorab eingegrenztes Partnerangebot. Der konstante, sich wiederholende Projektanteil ist bei diesen immer auch um auftragsspezifische Anteile ergänzt.

In der wissenschaftlichen Literatur existieren mehrere Lösungsansätze zur Planung von Produktionsnetzwerken, die als Softwaredemonstratoren oder kommerzielle Standardlösungen vorliegen [MÜLLER 2006, NYHUIS ET AL. 2008, OEDEKOVEN&OSTERLOH 2008, PRINZ&OST 2010, LANZA ET AL. 2010]. Es ist festzustellen, dass den Herausforderungen von projektbezogenen KMU-Kooperationen mit dem derzeitigen Stand der Forschung jedoch nur unzureichend entsprochen wird. Existierende Lösungsansätze und Software fokussieren auf die Analyse und Optimierung konstanter, langfristiger Netzwerkbeziehungen. Für deren Anwendung ist zumeist eine umfassend verfügbare Datenbasis zwingend erforderlich. In der Anbahnungsphase einmaliger, auftragsbezogener Zusammenarbeit ist diese Voraussetzung aufgrund der projektspezifischen Anteile nicht zu erfüllen. Weiterhin ist eine Bewertung möglicher Abwicklungsalternativen (beispielsweise die Wahl eines Produktionsstandortes und -partners für Komponenten) unter kurzfristigen Gesichtspunkten zu treffen, beim Aufbau strategischer Beziehung jedoch als langfristige (Investitions-)Überlegung zu sehen.

### 1.3 Anforderungen und Zielstellung

Bei weltweiter, vernetzter Produktion besteht für KMU die Gefahr des Verlusts ihres Spezialisten-Know-hows an andere Netzwerkunternehmen. Langfristig würde daraus eine Schwächung des Gesamtunternehmens resultieren. Allerdings werden in der betrieblichen Praxis Entscheidungen, ob

Leistungen kooperativ erstellt werden können oder zur Sicherung der Kernkompetenzen selbst erstellt werden sollen, unsystematisch getroffen [NYHUIS ET AL. 2008]. Zukünftige Lösungsansätze müssen daher schnell und verlässlich helfen zu bewerten, welche Leistungen, insbesondere bei Kooperationen mit ausländischen Partnern, ohne die Gefahr eines Know-how-Verlustes vergeben werden können.

Trotz der Verfügbarkeit von Kooperationsbörsen und elektronischen Datenbanken stellen die Identifikation und die Beschaffung geeigneter Informationen zur Bewertung potentieller Partner eine große Herausforderung dar. Daher arbeiten Unternehmen selten zusammen, wenn sie keine gemeinsamen Erfahrungswerte besitzen [ALT ET AL. 2005]. Die internationale Suche und Bewertung unbekannter Partner ist im Umfeld des Maschinen- und Anlagenbaus jedoch unabdingbar. Somit müssen Aspekte der Informationsverfügbarkeit bspw. aufgrund von Local-Content-Requirements stärker bei der zu entwickelnden Methodik berücksichtigt werden.

Eine Vielzahl alternativer Gestaltungsoptionen zur Verteilung der Wertschöpfungsumfänge eines Produktionsnetzwerkes führt zu einem sehr großen Lösungsraum [KAMPKER ET AL. 2010]. Zudem stehen den wirtschaftlichen Chancen einer globalen, vernetzten Produktion in der Praxis Qualitäts- und Versorgungsrisiken gegenüber. Daher ist die Eingrenzung des Lösungsraums bereits in der Angebotsphase in der Systematik zu berücksichtigen und für die konkreten Projektabwicklungsalternativen sind die wirtschaftlichen Chancen und Risiken zu bewerten.

Die Projektstruktur ist um weitere Prozessschritte (z. B. Transport, Montage) zu ergänzen. Reihenfolgebeziehungen und Abwicklungsalternativen sind softwaretechnisch zu erfassen und somit weiteren Bearbeitungs- und Optimierungsschritten zugänglich. Durch die prototypische Umsetzung in einem Software-Demonstrator prototypisch soll aufgezeigt werden, dass eine Planung und Risikobewertung der Projektabwicklung ohne spezifische Kenntnisse über elektronische Datenverarbeitung und Optimierungsverfahren möglich ist.

Für eine verbesserte Planung projektspezifischer Produktionsnetzwerke ist eine praxisgerechte Planungsmethodik erforderlich, mit der KMU bereits in der Angebotsphase aus den Anforderungen und Rahmenbedingungen eines Kundenauftrags bestehende Abwicklungsvarianten (Eigen-/Fremdleistungen, mögliche Lieferanten) identifizieren können. Diese Freiheitsgrade sind in einem Projektabwicklungsmodell zu modellieren und hinsichtlich logistischer Zielgrößen zu bewerten. Der Anwender wird somit über die zu erwartenden Risiken informiert. Im Ergebnis entsteht eine verbesserte Entscheidungsgrundlage für die Angebotsverhandlungen mit dem Kunden und die Planung des temporären Produktionsnetzwerks.

## **1.4 Abgeleitete Vorgehensweise**

Zur Erreichung der Ziele ist eine integrative Betrachtung von Projektstruktur, Lieferantenidentifikation und -bewertung sowie stochastischer Projektplanung erforderlich. Abbildung 3 zeigt diesen methodischen Ansatz zur Erstellung des Projektabwicklungsmodells. Als Voraussetzung zur Bewertung von Abwicklungsalternativen muss zunächst der konkrete Kooperationsbedarf (1) analysiert werden. Kooperationsrisiken soll dabei präventiv begegnet werden: Auf Basis der Produktstruktur ist je Element die Entscheidung zwischen Eigenleistung („make“) und Fremdleistung („buy“) zu treffen. Ferner muss ein Abgleich mit den Auftragsrahmenbedingungen (Aufteilung und Hinterlegung von Prozessschritten, Erfassung von Local-Content-Restriktionen für Prozesse etc.) erfolgen. Die erforderlichen Unteraufträge stellen interne und externe Prozesse dar, die neben der Produktion auch um weitere zu er-

bringende Prozessschritte (z. B. Konstruktion, Transporte) zu ergänzen sind. Unter Beachtung von Reihenfolgerestriktionen kann somit das Auftragsnetz als Basis-Prozessmodell (2) generiert werden.

Lieferanten, die das benötigte Produkt bzw. die benötigte Leistung anbieten oder potentiell in der Lage sind diese herzustellen, sollen mit geeigneten Verfahren der Lieferantenidentifikation selektiert und einer Vorauswahl (3) unterzogen werden. Hierzu wurden einschlägige Bewertungskriterien identifiziert, die das grundlegende Leistungspotential des Lieferanten aufzeigen und das Risiko, dass diese Leistung nicht erbracht wird, berücksichtigen. Das Basis-Prozessmodell wird mit den möglichen Lieferanten um Abwicklungsalternativen (4), d. h. um alternative Prozessschritte, ergänzt.

Um die lieferantenspezifischen Risiken zu analysieren, erfolgt eine Lieferantenrisikobewertung (5). Bezüglich der Prozesskosten und -dauer werden Schlüsselfaktoren bestimmt, die die Erfüllung der Kooperationsvorgaben maßgeblich beeinflussen. Anhand deren Ausprägung wird das Prozessmodell zu einem Projektabwicklungsmodell (6) erweitert. Somit ist je alternativem Prozessschritt eine (Dreiecks-)Verteilung für jeden Parameter vorhanden.

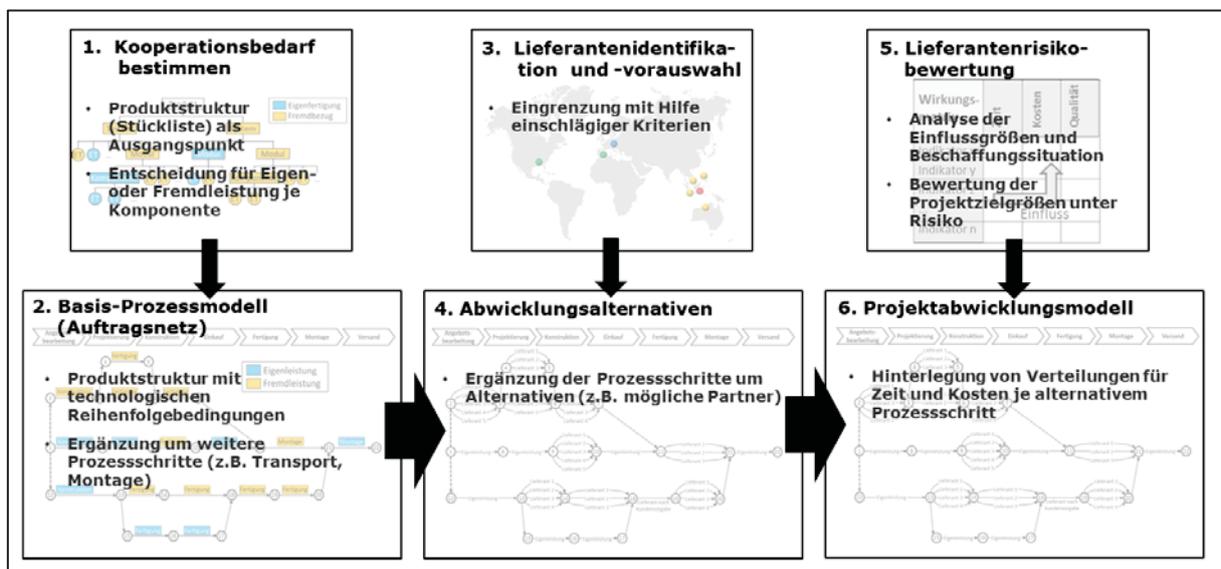


Abbildung 3: Methodischer Ansatz zur Erstellung des Projektabwicklungsmodells

## 2 Projektdurchführung

Die Finanzierung des Forschungsvorhabens wurde im Zeitraum 01.03.2013 - 30.11.2014 bewilligt. Die für die Projektbearbeitung geplanten wissenschaftlichen Mitarbeiter der Professur für Technische Logistik sowie des Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Logistik konnten erst zum 01.06.2013 hierfür eingestellt bzw. freigestellt werden. Aus diesem Grund begannen die Arbeiten am Forschungsvorhaben im Juni 2013.

Der folgende Abschnitt stellt die geplanten Arbeitspakete inhaltlich vor und dokumentiert ihre Umsetzung im Forschungsvorhaben. Im Anschluss daran werden die Verwendung der Zuwendung sowie die Notwendigkeit und Angemessenheit geleisteter Arbeit dargestellt.

## 2.1 Arbeitspakete

Aufgrund von Ergebnissen und Erkenntnissen, die während der Projektbearbeitung gewonnen wurden, ergaben sich geringfügige Veränderungen in den geplanten Arbeitspaketen, die zum Antragszeitpunkt nicht absehbar waren. Diese Änderungen wurden mit dem Projektbegleitenden Ausschuss abgestimmt. Die folgenden Arbeitspakete (AP) wurden erfolgreich bearbeitet.

### (1) Erstellung eines Anforderungskatalogs der Anwender und Ableitung von Zielkriterien

Ziel des AP 1 war es, in Zusammenarbeit mit Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses einen Anforderungskatalog für die Planung und Risikobewertung projektspezifischer Produktionsnetzwerke auszuarbeiten.

Im Ergebnis wurde durch eine umfangreiche Literaturrecherche der Stand der Technik bezüglich charakteristischer Merkmale von projektspezifischen Produktionsnetzwerken im Maschinen- und Anlagenbau zusammengetragen. Daraus konnten Anforderungen und Zielkriterien für deren Planung und Risikobewertung abgeleitet und in einem **Anforderungskatalog** ausgearbeitet werden. Diese Anforderungen wurden mit Vertretern des Projektbegleitenden Ausschusses diskutiert und mit deren Erfahrungen und Rahmenbedingungen aus der Praxis abgeglichen.

### (2) Analysemethode zur Bestimmung des eigenen Kooperationsbedarfs

Ziel des AP 2 war es, eine Methode zur Erfassung und zum Abgleich möglicher Prozessalternativen (Eigenleitung bzw. Fremdleistung durch unterschiedliche Lieferanten etc.) mit den Auftragsrahmenbedingungen (Aufteilung und Hinterlegung von Prozessschritten, Erfassung von Local-Content-Restriktionen für Prozesse etc.) zu schaffen.

Im Ergebnis wurde dementsprechend ein **Datenbankschema** für die Datenerfassung in einer anwenderfreundlichen Microsoft-Access-Datenbank entwickelt. Mit einer strukturierten und konsistenten Darstellung aller Prozesse und Prozessalternativen, ihrer Parameter und der konkreten Parameterwerte ist in diesem Arbeitspaket die Voraussetzung für die numerische Behandlung der Problemstellung geschaffen worden.

Weiterhin war es Ziel des AP 2, die Zuordnung der Prozessschritte zu den generellen Alternativen der Wertschöpfung, d.h. eine **Festlegung von Eigen- oder Fremdleistung**, methodisch zu unterstützen. Als Ergebnis wurde die Vorgehensweise eines Analytic-Network-Process (ANP) an die vorliegende Problemstellung angepasst. Für Leistungen, über deren Beschaffungsalternative der Nutzer unschlüssig ist, wird eine objektivere Zuordnung ermöglicht. Das Entscheidungsproblem wird mittels Haupt- und Subkriterien zerlegt. Der Nutzer gewichtet die Hauptkriterien und schätzt die zu erwartenden Ausprägungen der Subkriterien (beispielsweise „Produktionskosten“) für die Beschaffungsalternativen Make bzw. Buy auf einer 9-Punkte-Skala. Die Kriterien wurden aufbauend auf der Literaturrecherche aus AP 1 identifiziert und zusammen mit den Praxispartnern erörtert.

### (3) Analysemethode zur Bestimmung der Kooperationsfähigkeit möglicher Partner

Ziel des AP 3 war es, eine Methode zur Vorauswahl möglicher Projektpartner und zur aufwandsminimierten Analyse branchenspezifischer Risiken zu entwickeln. Zur Operationalisierung der Risikoparameter Zeit und Kosten wurden Verfahren zur Risikobewertung und -aggregation gesucht, um das Ergebnis als Wahrscheinlichkeitsverteilung in das Modell einfließen zu lassen.

Im Ergebnis wurden für die Identifikation und **Lieferantenvorauswahl** im ersten Schritt Informationsquellen für die Partnersuche identifiziert und im zweiten Schritt anhand der branchenspezifischen Eigenschaften Kriterien festgelegt, die für den Maschinen- und Anlagenbau von Bedeutung sind. Aus einer Übersicht an Methoden zur Vorauswahl von Lieferanten wurde das geeignetste Verfahren herausgearbeitet.

In Zusammenarbeit mit dem Projektbegleitenden Ausschuss und auf Grundlage der Rahmenbedingungen des Maschinen- und Anlagenbaus sowie aktuellen Studien zu Beschaffungsrisiken erfolgt die Auswahl der relevanten Risiken, die anhand eines Risikobewertungsverfahrens und anhand von Risikoindikatoren bewertet und quantifiziert werden. Die einzelnen Risiken wurden darauffolgend aggregiert und die Parameter Kosten und Dauer als Dreiecksfunktion dargestellt. Somit wurde als weiteres Ergebnis eine speziell auf die **Risikobewertung projektspezifischer Lieferanten** ausgerichtete Methode geschaffen.

Das Vorgehen wurde in einem Modell zusammengefasst und so dem Anwender veranschaulicht. Dabei wurden die Schritte der Analyse der Beschaffungssituation ergänzt, um eine ganzheitliche Anwendbarkeit zu ermöglichen. Die Grundlage dafür bildet ein Modell zum risikoorientierten Lieferantenmanagement, welches speziell an den Projektphasen und den Anforderungen des Maschinenbau- und Anlagenbaus angepasst wurde.

#### (4) Entwicklung einer Methodik zur Partnerauswahl und Risikobewertung

Ziel des AP 4 war es, ein Suchverfahren zu entwickeln, mit dem der Planer konkrete Projektentwicklungsalternativen erstellen, bewerten und interaktiv verbessern kann. Die Entwicklung sollte dabei auf den Ergebnissen aus AP 2 und AP 3 aufbauen.

Im Ergebnis entstand eine iterative Vorgehensweise zur **Suche robuster Projektentwicklungsalternativen**, die eine stochastische Bewertung von Projektentwicklungsalternativen sowie einen Vergleich derselben erstellt:

- Initialisierung (Operationalisierung der Risikoneigung des Planers als Ergebnisrobustheit; Festlegung der Einstellungen für den Such- bzw. Optimierungsvorgang);
- Stufe 1 – Bestimmung der Entscheidungsspanne der Projektzielgrößen (Bestimmung der Extremfälle „Abwicklungsalternative mit minimaler Projektdauer“ und „Abwicklungsalternative mit minimalen Projektkosten“; Berechnung der minimal erreichbaren Projektdauer bzw. minimal erreichbaren Projektkosten);
- Stufe 2 – Suchvorgang für effiziente, robuste Abwicklungsalternativen (Mehrzziel-Optimierung mit einem genetischen Algorithmus; Bestimmung von Pareto-optimalen Abwicklungsalternativen);
- Stufe 3 – Interaktive Veränderung der Lösungen durch den Planer (Darstellung der Extremfälle aus Stufe 1 und der Pareto-optimalen Lösungen aus Stufe 2 mit darin kombinierten Prozessalternativen; Veränderung einzelner Prozessalternativen durch den Planer und Neubewertung dieser veränderten Lösung).

Mit der Methodik wurde die Grundlage für die Unterstützung des Planers bei der Auswahl einer Prozessalternative (z.B. Eigenleistung, Fremdleistung durch Lieferant A, Fremdleistung durch Lieferant B) für jeden Prozess gelegt.

#### (5) Anpassung und Erweiterung des Berechnungswerkzeugs

Ziel des AP 5 war es, einen Software-Demonstrator zu erstellen, der die Erstellung des Projektabwicklungsmodells (Vorgangspfeilnetzplan; Risikomaße zum Alternativenvergleich) und die Erfassung und Hinterlegung von Bewertungsdaten für Prozessalternativen unterstützt. Weiterhin soll die in AP 4 entwickelte Suche implementiert werden, wobei ein bereits existierendes numerisches Berechnungsverfahren zur Bewertung möglicher Projektabwicklungsalternativen dient.

Im Ergebnis erfolgte eine **Umsetzung als Software-Demonstrator** zur Risikobewertung möglicher Projektabwicklungsalternativen. Dieser baut datenseitig auf den Ergebnissen der vorherigen Arbeitspakete auf. Das bereits an der Professur für Technische Logistik vorhandene „Baukastensystem zur effizienten Dimensionierung von Materialflusssystemen“, welches eine numerische Berechnung stochastischer Netzpläne erlaubt, wurde als Bewertungseinheit für Abwicklungsalternativen eingebunden. Insgesamt erfolgte eine Programmierung folgender Module:

- *GUI* (Grafische Benutzeroberfläche zur Erstellung des Projektabwicklungsmodells; Eingabe und –manipulation der Daten in der Microsoft-Access-Datenbank; Darstellung der Projektstruktur und Berechnungsergebnisse; interaktive Anpassung der Suchergebnisse durch den Planer).
- *Database* (Anbindung der Microsoft-Access-Datenbank an alle weiteren Module zum Datenaustausch; Verwendung des Datenbankschemas aus AP 2).
- *NetworkBuilder* (Erstellung eines Vorgangspfeilnetzplans aus einer Prozessliste mit Nachfolger-Angaben; Import von ggf. bereits existierenden Projektplänen aus Microsoft Project in das Datenbankschema).
- *Calculator* (Bewertungseinheit für Prozessabwicklungsalternativen; numerische Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen von Projektzielgrößen in einem komplexen Netzwerk).
- *Optimizer* (Steuerung des Suchprozesses mittels eines Algorithmus mit Mehrziel-Optimierung – vgl. AP 4).

#### (6) Test, Anpassung und Leistungsbewertung

Ziel des AP 6 war es, eine prototypische Anwendung der Gesamtmethodik (Erstellung von Projektabwicklungsmodellen, Identifikation und Bewertung möglicher Lieferanten, Suche nach robusten Projektabwicklungsalternativen) auf Basis realer Plandaten bereits abgeschlossener Kooperationsfallbeispiele aus mehreren Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses (PA) durchzuführen. Daraus sollten ggf. Anpassung und eine Leistungsbewertung erfolgen.

Im Ergebnis wurden Fallbeispiele in Zusammenarbeit mit Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses erarbeitet. Reale Plandaten wurden seitens beteiligter Unternehmen zusammengetragen. Die Aufbereitung der Datenbasis und deren Überführung in Projektabwicklungsmodelle erfolgte größtenteils durch Mitarbeiter der Forschungsstellen. Aus den zusammen mit Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses durchgeführten Leistungsbewertungen resultierten zudem spezifische Anpassungen der Methodik. Als Beispiel ist hier die Import-Funktion für vorhandene Projektpläne aus Microsoft Project innerhalb des Software-Demonstrators zur Risikobewertung von Projektabwicklungsalternativen zu nennen. Diese wurde zusätzlich zu dessen

geplantem Funktionsumfang programmiert, um den Aufwand des Planers zur Modellerstellung zu begrenzen.

- (7) Dokumentation und Veröffentlichung der Ergebnisse; Erstellung einer Handlungsanleitung für KMU

Ziel des AP 7 war es, den Transfer der Forschungsergebnisse durch Aufbereitung, Zusammenfassung und Publikation der Ergebnisse durchzuführen.

Im Ergebnis wurden eine Internetpräsenz erstellt sowie Erkenntnisse in Fachzeitschriften und bei wissenschaftlichen/industrienahen Veranstaltungen veröffentlicht. Weiterhin erfolgt eine Verbreitung der Erkenntnisse im Rahmen der akademischen Lehre.

Ferner sollte eine Verdichtung der gewonnenen Erkenntnisse als separater Handlungsleitfaden erstellt werden, der allgemeine, unmittelbar in der Praxis nutzbare Regeln enthält. Der Projektbegleitende Ausschuss sprach sich gegen die Umsetzung eines solchen Leitfadens aus, da die Vielfalt bereits der dort beteiligten Unternehmen nicht sinnvoll abbildbar ist. Vielmehr wurde der Wunsch geäußert, AP 5 deutlich umfangreicher als bei Antragstellung formuliert zu bearbeiten.

## 2.2 Verwendung der Zuwendung

Die Verwendung der Zuwendungen ist nachfolgend tabellarisch nach Arbeitspaketen gruppiert präsentiert.

Arbeitspaket	Personenmonate (wissenschaftlich- technisches Personal A.1)	Geräte/ Leistungen Dritter
Erstellung eines Anforderungskatalogs der Anwender und Ableitung von Zielkriterien	4	-
Analysemethode zur Bestimmung des eigenen Kooperationsbedarfs	7	-
Analysemethode zur Bestimmung der Kooperationsfähigkeit möglicher Partner	7	-
Entwicklung einer Methodik zur Partnerauswahl und Risikobewertung	6	-
Anpassung und Erweiterung des Berechnungswerkzeugs	6	-
Test, Anpassung und Leistungsbewertung	4	-
Dokumentation und Veröffentlichung der Ergebnisse; Erstellung einer Handlungsanleitung für KMU	2	-
Summe	36	-

Tabelle 1: Verwendung der Zuwendung



- Lieferantenvorauswahl und -risikobewertung (Beschaffungssituation analysieren; Sourcing-Strategie ableiten; Lieferanten hinsichtlich Dauer und Kosten der Prozessdurchführung bewerten – AP 3),
- Projektabwicklungsalternative auswählen (Projektdauer und -kosten von Abwicklungsalternativen bewerten; robuste Abwicklungsalternativen suchen – AP 4 und AP 5)

Die entwickelte Methodik zur Unterstützung der Teilaufgaben ist nachfolgend mit Bezug zu den beschriebenen Arbeitspaketen dargestellt. Die Aspekte der Steuerung identifizierter Risiken in der Abwicklungs- bzw. Betriebsphase des Projekts sind nicht Bestandteil dieses Projektes und bieten Potential für weitere Forschungsvorhaben. In einem Anschlussantrag wurde eine entsprechende Erweiterung der Methodik formuliert.

### 3.1 Anforderungskatalog

Die Anforderungen wurden in die zwei Bereiche methodische und funktionale Anforderungen unterteilt (vgl. Abbildung 5). Methodische Anforderungen spiegeln die Wünsche der Anwender wider, welche für einen Praxiseinsatz erforderlich sind. Die funktionalen Anforderungen definieren, mit welchen Funktionalitäten die Methodik umgesetzt werden soll.



Abbildung 5: Anforderungskatalog

Hinsichtlich der Bewertung von Projektabwicklungsalternativen wurden Abwägungen mit den Praxisanforderungen getroffen. Die Bewertung der Ziele „Know-How-Verlustrisiko“ und „Qualität“ als eigenständige Zielgrößen ist aufgrund der Datenlage bzw. Vielschichtigkeit der Einflussgrößen wenig praktikabel. Vielmehr erscheint es sinnvoll, auf eine Minimierung der Know-How-Verlustrisiken innerhalb der Gesamtmethodik proaktiv einzuwirken (Festlegung von Eigen- bzw. Fremdleistungen, K.O-Kriterien bei der risikoorientierten Lieferantenbewertung) sowie Qualität in seinen Auswirkungen auf Projektdauer und -kosten zu erfassen. Im Folgenden wurde diese Herangehensweise der Entwicklung der Methodik zugrunde gelegt.

## 3.2 Datenbankschema

Für die Erfassung und zum Abgleich möglicher Prozessalternativen mit den Auftragsrahmenbedingungen (Aufteilung und Hinterlegung von Prozessschritten, Erfassung von Local-Content-Restriktionen für Prozesse etc.) sowie der Auswertung erstellter Projektabwicklungsalternativen wurde ein Datenbankschema geschaffen. In diesem erfolgen die strukturierte Erfassung von Lieferanten- und Projektdaten:

- Die *Grunddaten zum Projekt* werden in der Tabelle „tbl\_project“ gesammelt.
- Die *Prozessstruktur* wird in den Tabellen „tbl\_activities“ und „tbl\_nodes“ als Vorgangspfeilnetzplan erfasst.
- Einzelne *Prozessalternativen* werden in der Tabelle „tbl\_modes“ mit den erforderlichen Verteilungsparametern für die Ausführungsdaten und -kosten gespeichert.
- Die *lieferantenspezifischen Risiken* werden in der Tabelle „tbl\_supplier“ mit den Bewertungsergebnissen in den einzelnen Risikokategorien erfasst.
- Die *Bewertungsergebnisse* gefundener Projektabwicklungsalternativen werden in der Tabelle „tbl\_configurationResult“ aufgeführt.

Für die Möglichkeit einer detaillierten Kostenanalyse von Abwicklungsalternativen und deren Vergleich wurde ein Kategoriensystem zur Erfassung der Bewertungsergebnisse entwickelt. Dieses ermöglicht es dem Planer, die Gesamtkosten nach dem Entstehungsort (intern / extern), dem Verhältnis der Kostenart (fix / variabel) und dem Beitrag zur Erfüllung von Local-Content-Restriktionen (LC-relevant / nicht LC-relevant) aufzuteilen. Anschaulich lässt sich das Kategoriensystem als ein Würfel darstellen (vgl. Abbildung 6). Aus den Würfel-Elementen, als Beispiel „externe, variable, LC-relevante Kosten“ (Parameter: „cost\_External\_Variable\_LC“), kann durch ein Zusammenfassen mit weiteren Elementen die gewünschte Auswertung vorgenommen werden.

Mit dieser strukturierten und konsistenten Darstellung aller Prozesse und Prozessalternativen, ihrer Parameter und der konkreten Parameterwerte schafft das Datenbankschema die Voraussetzung für eine numerische Behandlung der Problemstellung.

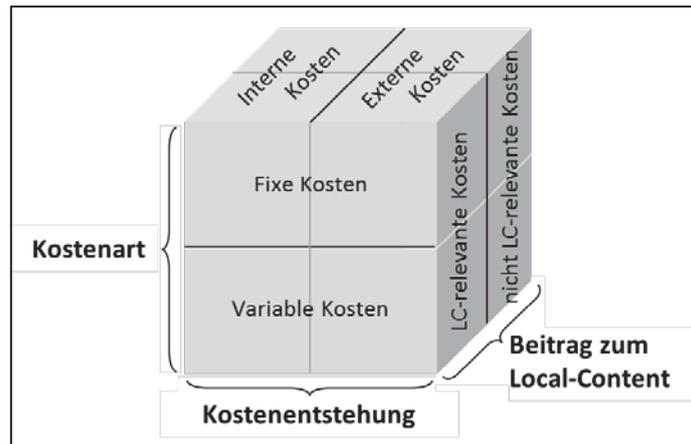


Abbildung 6: Kategoriensystem der Kostenerfassung für Projektalternativen

Eine Umsetzung erfolgte in einer anwenderfreundlichen Microsoft-Access-Datenbank. Die starke Verbreitung von Microsoft Office garantiert eine hohe Wiederverwendbarkeit und Reproduzierbarkeit bei KMU in Form einer Erfahrungsdatenbank für abgeschlossene Projekte. Zudem sind die Anwender häufig bereits mit Basisfunktionen vertraut, wodurch die praktische Handhabung erleichtert ist. Abbildung 7 stellt das Datenbankschema grafisch dar.

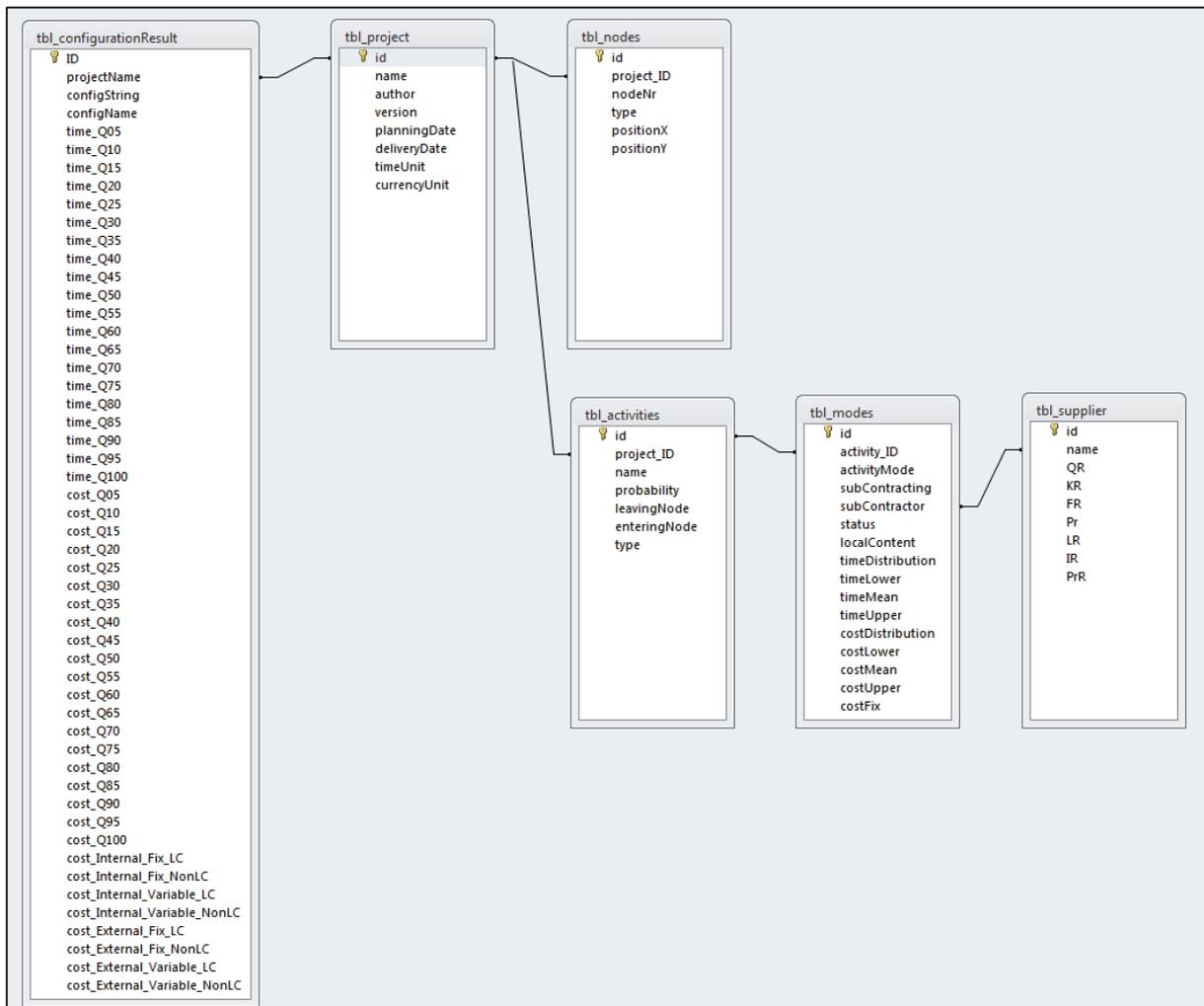


Abbildung 7: Datenbankschema in Microsoft Access

### 3.3 Festlegung von Eigen- oder Fremdleistung

Je Prozess ist bei der Projektplanung die Entscheidung zwischen Eigenleistung („make“) und Fremdleistung („buy“) zu treffen. Aufgrund der Vielzahl zu berücksichtigender Einflussgrößen stellt diese Festlegung eine *multikriterielle Entscheidungssituation* dar. In der Theorie werden der kostenrechnerische Ansatz, der Transaktionskosten- und der ressourcenbasierte Ansatz unterschieden. Ihnen gemein ist die Forderung nach einer Operationalisierung und Quantifizierung aller (Sub-)Kriterien. Eine Quantifizierung aller Einflussgrößen steht jedoch der praktischen Anwendbarkeit dieser Ansätze entgegen.

In Diskussionen mit Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses zeigte sich, dass die Festlegung von Eigen- oder Fremdleistung häufig ohne methodische Unterstützung erfolgt. Dieser Verzicht ist einerseits in der Notwendigkeit von rasch zu treffenden Entscheidungen im Projektgeschäft, andererseits im hohen Aufwand für eine quantitative Bewertung von Einflussgrößen begründet. Für die praktische Projektplanung eignen sich daher Verfahren zur multikriteriellen Entscheidungsanalyse, die durch Berücksichtigung von quantitativen als auch qualitativen Kriterien eine rasche Unterstützung für den Planer bieten.

Diese Verfahren bewerten eine begrenzte Anzahl von Alternativen hinsichtlich einer begrenzten Anzahl von Haupt- und Subkriterien. Die Entscheidung für eine Alternative erfolgt, indem die Kriterienausprägungen verschiedener Alternativen bewertet und zu einem Gesamtwert zusammengefasst werden. Im Rahmen von Make-or-Buy-Entscheidungen werden basierend auf der durchgeführten Literaturrecherche überwiegend die Ansätze „Nutzwertanalyse“ und „Analytic Network Process“ (ANP) vorgeschlagen (vgl. JHARKHARIA & SHANKAR 2007, S. 275).

Die Vorteile des ANP gegenüber der Nutzwertanalyse liegen in den Fähigkeiten, auch Wirkungsinteraktionen von Kriterien in die Entscheidung einbeziehen zu können sowie durch die netzwerkartige Problemstrukturierung eine differenziertere Kriteriengewichtung zu erreichen. Diese Eigenschaft ist besonders bei den in der Praxis untereinander in Konflikt stehenden Kriterien vorteilhaft. Weiterhin arbeitet der ANP mit aussagekräftigeren verhältnisskalierten Daten (vgl. PETERS & ZELEWSKI 2008, S. 475).

Aufgrund der genannten Vorteile wird der *Analytic Network Process* für die Unterstützung der Festlegung von Eigen- oder Fremdleistung verwendet. Für eine praktische Anwendung besteht die Notwendigkeit nach einer problemspezifischen Erfassung der relevanten Entscheidungskriterien und ihrer Abhängigkeiten. In Abstimmungen mit Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses erfolgte die Kriterienauswahl sowie die Diskussion und Hinterlegung ihrer Abhängigkeiten in einem Wirkungsdiagramm. Besonders wurde auf die Möglichkeit zur Berücksichtigung von Kernkompetenzen Wert gelegt. Anhang 5.2 stellt die Haupt- und Subkriterien dar. Die Effizienz der Bewertung kann zudem durch K.O.-Kriterien erhöht werden. Mit diesen zwingend zu erfüllenden Kriterien können Fremd- bzw. Eigenleistung ggf. bereits im Voraus ausgeschlossen werden (vgl. Abbildung 8).

Durch die Umsetzung in Microsoft Excel/VBA<sup>2</sup> erhält der Planer eine rasche Unterstützung zur objektiveren Festlegung von Eigen- oder Fremdleistung für Komponenten (Baugruppen, Einzelteile) bzw. Prozesse (Transporte, Montage). Der Aufbau ist schematisch in Anhang 5.1 dargestellt.

---

<sup>2</sup> Visual Basic for Applications (VBA) ist die Scriptsprache der Microsoft-Office-Produkte.

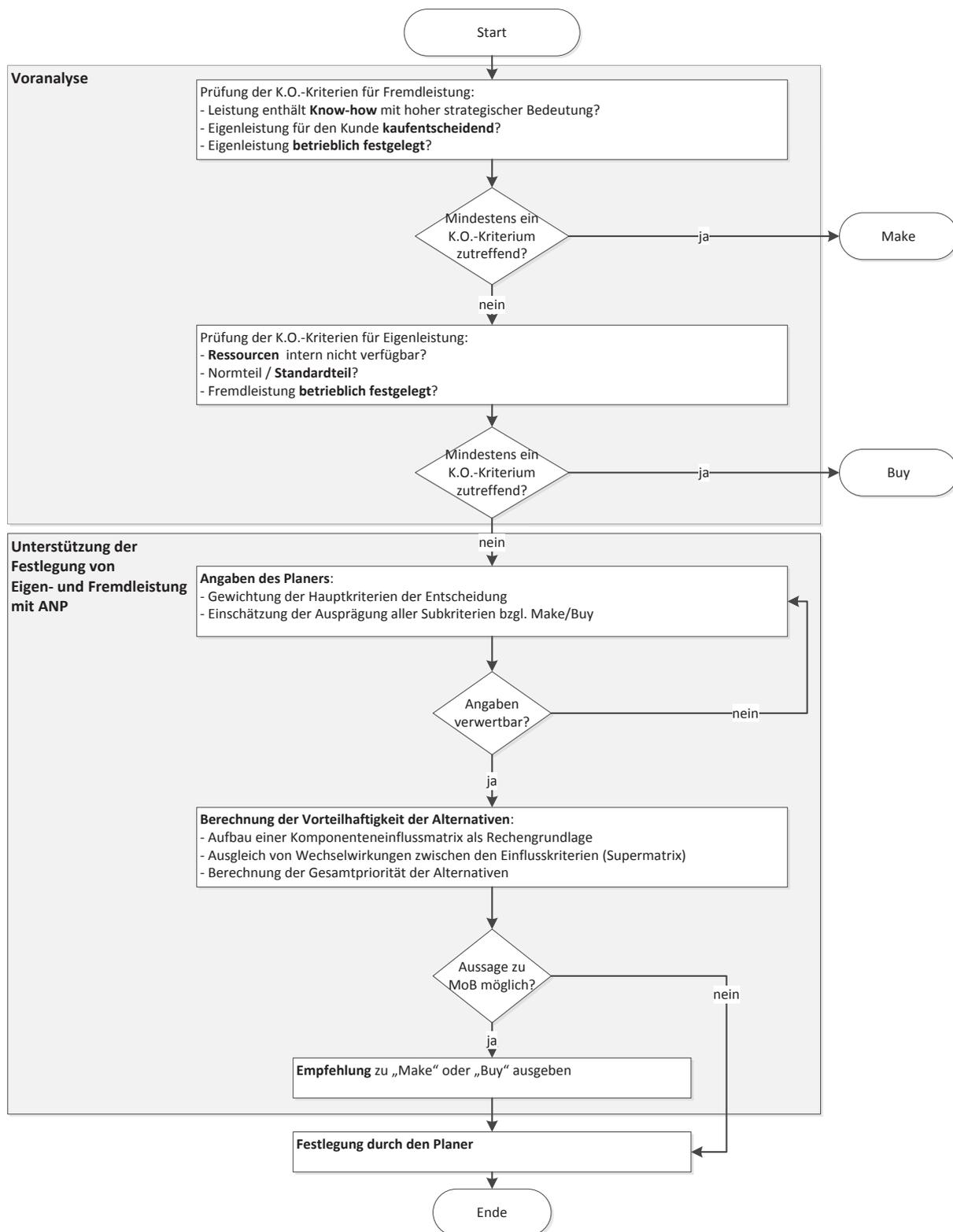


Abbildung 8: Ablaufschema zur Festlegung von Eigen- oder Fremdleistung mittels ANP

### 3.4 Lieferantenvorauswahl und Risikobewertung projektspezifischer Lieferanten

Das Ergebnis des AP 3 ist eine Methode zur Vorauswahl möglicher Projektpartner und zur aufwandsminimierten Analyse branchenspezifischer Risiken hinsichtlich der Erfüllung der Leistungsvorgaben. Zur Operationalisierung der Risikoparameter Zeit und Kosten wurden Verfahren zur Risikobewertung und -aggregation gesucht, um das Ergebnis als Risikowahrscheinlichkeitsverteilung in das Projektentwicklungsmodell einfließen zu lassen.

#### 3.4.1 Beschaffungssituation

Für die Einordnung des Beschaffungsobjekts in die Beschaffungssituation wurde das Portfolio von MASI ET AL. (2013) herangezogen. Die Einordnung in eine spezifische Beschaffungssituation erfolgt anhand zweier Dimensionen:

- Schwierigkeitsgrad des Beschaffungsmanagements
- Einfluss auf das Projekt

Daraus ergeben sich vier Beschaffungssituationen, die im Folgenden mit S1, ..., S4 abgekürzt werden (vgl. Abbildung 9). Die erste Beschaffungssituation S1 ist charakterisiert durch einen hohen Schwierigkeitsgrad im Beschaffungsmanagement und einem hohen Einfluss auf das Projekt. Typischerweise sind hier wenige kritische Beschaffungsobjekte einzuordnen, bei der die Leistung des Lieferanten einen hohen Einfluss auf die Leistung des gesamten Projektes ausübt. Die Auswahl der Lieferanten impliziert eine hohe Anzahl an Auswahlkriterien, welche wenig standardisiert sind und an eine spezifische Situation angepasst werden müssen. Beschaffungssituation S2 ist definiert durch einen hohen Schwierigkeitsgrad im Beschaffungsmanagement und einem geringen Einfluss auf das Projekt. Die Beschaffungsobjekte können als Engpassobjekte bezeichnet werden und sind sehr heterogen, was sich auch in den Bewertungskriterien widerspiegelt. Die dritte Beschaffungssituation besitzt einen geringen Schwierigkeitsgrad im Beschaffungsmanagement aber einen hohen Einfluss auf das Projekt. Der hohe Einfluss ergibt sich generell durch hohe Bestellmengen bestimmter Beschaffungsobjekte, wie z. B. Rohre oder Ventile. Dies impliziert eine hohe Bedeutung der Kosten, was sich auch in den Bewertungskriterien widerspiegeln sollte. Schlussendlich wird die vierte Beschaffungssituation durch den geringen Schwierigkeitsgrad im Beschaffungsmanagement und durch den geringen Einfluss auf das Projekt bestimmt. Hierunter fallen unkritische Beschaffungsobjekte, wie nicht projektbezogene Materialien oder Standardteile in geringen Mengen. Die Berücksichtigung von Risiken ist hier nicht sinnvoll, sodass hier eine Auswahl in Bezug auf die Kosten getroffen werden sollte. Erläuterungen zu den bedingenden Faktoren für die Einordnung in das Beschaffungsportfolio sind in Anhang 5.3 aufgeführt.

Eine Einordnung kann anhand der Erfahrung des Bewerbers erfolgen oder mit einem Analytic Hierarchy Process (AHP)<sup>3</sup> unterstützt werden. Der AHP gliedert das Entscheidungsproblem in hierarchische Teilprobleme und ermöglicht einen paarweisen Vergleich der Alternativen bezüglich eines Entscheidungskriteriums [vgl. BORKENHAGEN & LASCH 2011, S. 6.]. Der AHP muss dabei für jede Portfoliodimension einzeln durchgeführt werden, wobei die Bewertungen „eher hoch“ und „eher niedrig“ als Alternativen definiert werden.

---

<sup>3</sup> Weiterführende Literatur siehe Saaty 1990.

Folgende bedingende Kriterien werden für den AHP paarweise verglichen und bewertet [vgl. MASI ET AL. 2013, S. 10; OLSEN/ELLRAM 1997, S. 104; ZAWISLA 2008, S. 111ff, JUNG ET AL. 2011, S. 613.] <sup>4</sup>:

Schwierigkeitsgrad des Beschaffungsmanagements	
Beschaffungsmarkt	Umfang an potentiellen Lieferanten
	Marktstruktur
	Marktkapazität
	Beschaffungsmarktselektion
Beschaffungsobjekt	Bedarfsart
	Technische Komplexität
	Technologischer Reifegrad
	Neuheitsgrad
	Wiederbeschaffungszeiten
Einfluss auf das Projekt	
Hinsichtlich ökonomischer Faktoren	Monetärer Wert der Beschaffung
Auswirkungen hinsichtlich der Risiken	Lieferzeit
	Kosten
	Qualität
Abhängigkeit der Anlagen- oder Maschinenqualität von dem beschafften Objekt	Technologiegrad innerhalb des Beschaffungsobjekts

Tabelle 2: Bedingende Faktoren für die Beschaffungssituation

In der Beschaffungssituation sind die Einflussrisiken in Bezug auf das Beschaffungsobjekt und den Beschaffungsmarkt aus dem Modell des risikoorientierten Lieferantenmanagements (Abbildung 4) berücksichtigt. Je nach der Beschaffungssituation können Handlungsempfehlungen bezüglich der Sourcing-Strategie gegeben werden. Nachfolgend sind diese zusammenfassend dargestellt:

<sup>4</sup> Eine genauere Beschreibung der bedingenden Faktoren sowie deren Wirkung auf die Dimensionen sind im Anhang 5.1 dargestellt.

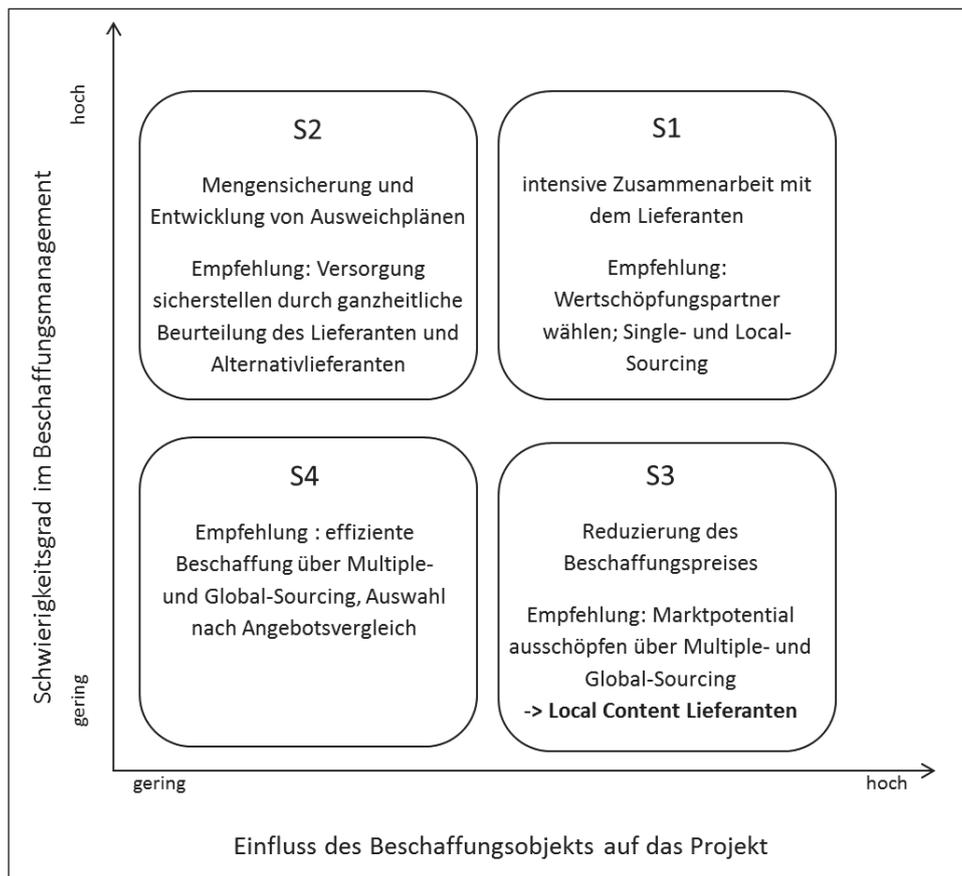


Abbildung 9: Handlungsempfehlungen zur Sourcing-Strategie [vgl. Piontek 2004, S. 127, Appelfeller/Buchholz 2011, S. 111ff.]

Wichtig für das Forschungsvorhaben ist hierbei, dass Lieferanten, die auf Grund von Local-Content-Bestimmungen in das Projekt integriert werden müssen bestenfalls aus der Beschaffungssituation S3 stammen, da diese einen hohen Einfluss auf das Projekt haben. Somit wird der geforderte Wertschöpfungsteil im Exportland auf wenige Lieferanten verteilt, wobei das Beschaffungsobjekt gleichzeitig einen geringen Schwierigkeitsgrad im Beschaffungsmanagement aufweist. Für weitere Erläuterungen zu den Handlungsempfehlungen wird auf Appelfeller/Buchholz (2005, S. 111ff.) verwiesen.

### 3.4.2 Lieferantenidentifikation und -vorauswahl

Es wurden aus der Literatur identifizierte Quellen zur Lieferantenidentifikation auf ihre Anwendbarkeit und Vorteilhaftigkeit untersucht, wobei Geschäftskontakte der Unternehmen, Datenbanken im Internet sowie die Beauftragung von Vermittlern gute Möglichkeiten zur Lieferantenidentifikation darstellen. Unter Berücksichtigung begrenzter Ressourcen des Einkäufers sollte bei der Informationssuche auf ein angemessenes Aufwand-Nutzen-Verhältnis geachtet werden [vgl. SCHUH ET AL. 2014, S. 197.]. Hier kann auf das Beschaffungsportfolio Bezug genommen werden, wobei bei der Beschaffungssituation S4, aufgrund der geringen strategischen Relevanz ein geringer, hingegen bei Beschaffungssituation S1 der höchste Aufwand betrieben werden sollte. Während das Wissen über Geschäftskontakte auf das interne Know-How zurückgreift und dadurch nur geringe Ressourcen beansprucht werden, liefern Datenbanken eine gute Möglichkeit Lieferanten und Partner zu finden, wenn keine Kontakte vorhanden sind. Erst wenn auch diese externen Quellen keine guten Ergebnisse liefern, ist die Beauftragung eines Kontaktvermittlers zu erwägen. Eine Liste mit ausgewählten Informa-

tionsquellen zur nationalen und internationalen Lieferantenidentifikation wird im Anhang 5.4 bereitgestellt.

Für die Vorauswahl von Lieferanten sind in der Literatur sechs Methoden bekannt [Vgl. DE BOER 2001, SEN ET AL. 2010, LASCH/JANKER 2007, vgl. auch Anhang 5.5]:

1. Categorical methods (Timmerman, 1986)
2. Cluster analysis (Hinkle et al., 1969; Holt, 1998)
3. Case-based-reasoning systems (Ng/Skitmore, 1995)
4. Data envelopment analysis (Aissaouri et al. 2007)
5. Faktorenanalyse (Lasch/Janker, 2007)
6. Fuzzy AHP und Max-Min Methode (Sen et al., 2010)

Da die Faktorenanalyse von Lasch/Janker das Risiko explizit berücksichtigt und die finale Lieferantenauswahl auf Grundlage des Risikos getroffen wird, stellt dieses Verfahren eine gute Möglichkeit dar, die Lieferanten risikoorientiert in einer Vorauswahl einzugrenzen. Dabei kann das Verfahren für alle Beschaffungssituationen angewendet werden und die Verdichtung lieferantenspezifischer Daten zu wenigen, den aktuellen Informationsstand widerspiegelnden Größen wird berücksichtigt. Das Verfahren durchläuft vier Schritte:

1. Festlegung der Bewertungskriterien
2. Deskriptive Analyse der Lieferantenmerkmale
3. Durchführung der Faktorenanalyse
4. Interpretation des Faktorenplots

Ausgehend von den Charakteristika des industriellen Anlagen- und Maschinenbaus werden folgende einschlägige Hauptbewertungskriterien vorgeschlagen, die anhand von Lieferantenselbstauskünften, mündlichen Lieferantenbefragungen und Befragungen der Referenzkunden bewertet werden sollten:<sup>5</sup>

Flexibilität	Kosten/Preis
Kommunikation	Kooperationsbereitschaft
Risiko	Nachhaltigkeit der Lieferanten
Lieferantenleistung	Qualität
Serviceleistung	

Tabelle 3: Bewertungskriterien Lieferantenvorauswahl

Je nach Beschaffungssituation sollte bei der Vorauswahl eine geeignete Anzahl an Kriterien und eine angemessene Gewichtung der Kriterien gewählt werden. So ist z. B. für die Beschaffungssituation S4 eine geringere Anzahl an Kriterien (Kooperationsbereitschaft oder Risiko können gegebenenfalls entfallen) und eine hohe Gewichtung des Kriteriums Preis ratsam. In Beschaffungssituation S1 sollte, aufgrund des hohen Risikos und des hohen Einflusses auf das Projekt, eine ganzheitliche Bewertung

<sup>5</sup> Herleitung siehe Anhang 5.6.

des Lieferanten stattfinden und alle Kriterien Berücksichtigung finden. Dabei könnte beispielsweise die Qualität eine höhere Gewichtung bekommen als der Preis. Diese Entscheidung ist aufgrund der Komplexität des Projektes und der Heterogenität der Beschaffungsobjekte allerdings unternehmensindividuell festzulegen. Zusätzlich wird ein Ideallieferant definiert, um diejenigen Lieferanten auswählen zu können, die den Anforderungen des Unternehmens am ehesten entsprechen. Das weitere Vorgehen der Faktorenanalyse bei der Vorauswahl von Lieferanten kann Janker (2008) und Lasch/Janker (2007) entnommen werden. Die Faktorenanalyse ermöglicht nach der subjektiven Auswahl der Kriterien eine objektive Bewertung der Lieferanten, wofür Statistik-Standardsoftware (z. B. SPSS) zur Verfügung steht.

### 3.4.3 Lieferantenrisikobewertung

Durch die Lieferantenvorauswahl konnte die Gruppe potentieller Lieferanten auf diejenigen Lieferanten eingegrenzt werden, welche die Anforderungen bestmöglich erfüllen. Ziel dieses Schrittes ist die Operationalisierung der Risikoparameter Zeit und Kosten je Lieferant. Dazu müssen im ersten Schritt die Risiken identifiziert und bewertet werden. Lieferantenrisiken werden dabei als „Risiken auf der Beschaffungsseite aufgefasst, welche von einem direkten Lieferanten ausgehen und negative Auswirkungen auf die Zielgrößen der Abnehmer haben“ [BORKENHAGEN & LASCH 2011, S. 3.]. Die Einzelrisiken werden anschließend aggregiert und als Dreiecksverteilung dargestellt. Bei der Identifikation der Risiken wurde nach derselben Methode vorgegangen wie bei der Auswahl der Bewertungskriterien für die Vorauswahl. Die Eigenschaften der Branche Anlagen- und Maschinenbau wurden als Grundlage für bestehende Risiken herangezogen. Ergänzt wurde die Liste um Risiken, die bei Studien [vgl. SCHATZ ET AL. (FRAUNHOFER-STUDIE) 2010; OLIVER WYMAN-STUDIE 2009.] zum Thema Beschaffungsrisiken als Hauptrisiken identifiziert wurden, sowie um Risiken, die im projektbegleitenden Ausschuss erarbeitet wurden<sup>6</sup> (vgl. Abbildung 10):

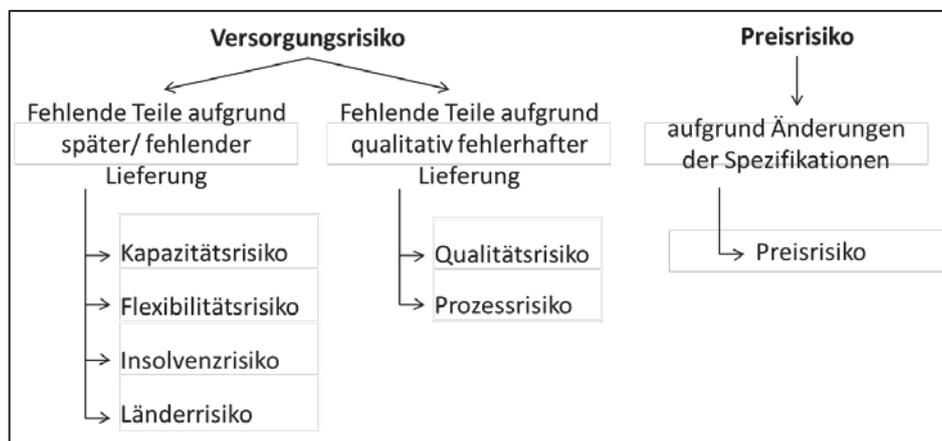


Abbildung 10: Lieferantenrisiken des Anlagen- und Maschinenbaus

Nach der Identifikation der Risiken wurden Indikatoren erarbeitet, die es dem Bewerter ermöglichen, einen Überblick über das Risikopotential zu erhalten. Es wurde eine umfassende Literaturrecherche zu den möglichen Indikatoren durchgeführt und diese anhand von drei Kriterien auf ihre Anwendbarkeit überprüft. Das erste Kriterium ist die Objektivität der Informationen. Dabei soll geprüft werden, ob die Informationen nachprüfbar sind und sich nicht auf subjektive Meinungen berufen. Die Zugänglichkeit als zweites Kriterium soll den Aufwand zur Beschaffung der Information bewerten. Die öko-

<sup>6</sup> Erläuterungen zu den Risiken sind im Anhang 5.7 zu finden, zu deren Herleitung in Anhang 5.6).

nomische Brauchbarkeit soll bewerten, ob die Aussage des Indikators zur Entscheidungsfindung beitragen kann. Sie wirkt als ein K.O.-Kriterium für die Auswahl der Indikatoren. Ist ein Indikator nicht objektiv, aber leicht zugänglich bzw. objektiv, aber schwer zugänglich, wurde er aufgenommen. Nicht leicht zugänglich heißt dabei, dass Informationen nur über ein Audit beim Lieferanten erhalten werden können. Im Anhang 5.8 sind die Indikatoren, ihre Beschreibung sowie die Informationsquellen und Risikowirkungen zusammengetragen. Durch die Indikatoren kann die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Risikos geschätzt werden. Dabei muss sich der Bewerter zwischen folgenden Aussagen entscheiden:

- Risikoeintritt während des Projektes unwahrscheinlich
- Risikoeintritt während des Projektes möglich
- Risikoeintritt während des Projektes wahrscheinlich
- Risikoeintritt während des Projektes sehr wahrscheinlich

Für die weitere Risikobewertung ist eine Schätzung der durch Risiken verursachten terminlichen und kostenmäßigen Auswirkungen mittels Risikozuschlägen notwendig. Um dabei auch die Wechselwirkungen zwischen den Risiken bewerten zu können, wurde die Probabilistic-Event-Analyse (PEA) herangezogen.<sup>7</sup> Dafür müssen dem Anwender die Wirkungszusammenhänge bekannt sein, z. B. aus vergangenen Projekten, auf Grundlage historischer Daten oder Expertenschätzungen. Dazu muss zunächst erkannt werden, welche identifizierten Risiken sich auf die Zeit oder Kosten auswirken. Darauf folgend werden die direkten (A-Auswirkungen) sowie indirekten (B-Auswirkungen) Auswirkungen geprüft, wobei A-Auswirkungen alle Folgen eines Risikos zusammenfassen, welche beim Eintritt eines Risikos in jedem Fall auftreten. B-Auswirkungen können als Folge der A-Auswirkung resultieren, sodass diesen eine bedingte Wahrscheinlichkeit zugeordnet wird. Schlussendlich erfolgt die Berechnung des Risikoerwartungswerts bezüglich Kosten und Zeit, indem die Parameter Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenshöhe multiplikativ verknüpft werden. Die Summe der Risikoerwartungswerte gibt dann die zusätzlichen erwarteten Kosten bzw. die zusätzliche Zeit an. Da die Aussagen zu den Eintrittswahrscheinlichkeiten in dem frühen Stadium des Projektes mit Unsicherheiten behaftet sind, wurden mit Hilfe der Monte Carlo-Simulation Zufallszahlen generiert und die einzelnen Risiken zu einem Gesamtlieferantenrisiko aggregiert. Die klassische PEA wurde also um Unsicherheiten bei der Bewertung ergänzt, was dem geringen Informationsstand des Bewerter in dieser Phase der Planung gerecht wird.

Für die Risikoverteilung wurde die Dreiecksverteilung ausgewählt, da sich die drei benötigten Werte Best, Base und Worst Case aus dem PEA ablesen bzw. umrechnen lassen. Diese sind in Abbildung 11 dargestellt.

---

<sup>7</sup> Eine Übersicht über Risikobewertungsmethoden gibt Alfén et al. 2010, S. 167ff.

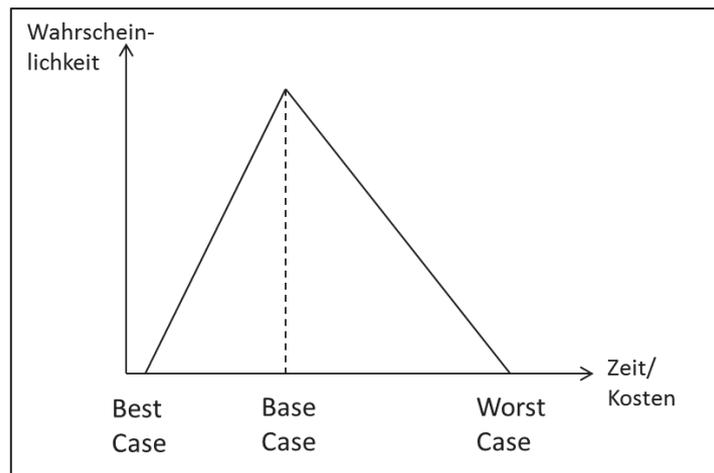


Abbildung 11: Dreiecksverteilung

Der Best Case stellt dabei den zugesagten Wert des Lieferanten dar, der Base Case kann sich über folgende Formel aus dem Erwartungswert errechnen [vgl. JAKOBY 2013, S. 165.]:

$$Base\ Case = \frac{6 * Risikoerwartungswert - Best\ Case - Worst\ Case}{4}$$

Der Worst Case ergibt sich aus der Aufsummierung der Schadenswerte ohne Berücksichtigung der Eintrittswahrscheinlichkeit. Mit diesen drei Werten können die Dreiecksfunktionen beschrieben werden, die abschließend in das Projektentwicklungsmodell eingehen.

## 3.5 Suche robuster Projektentwicklungsalternativen

### 3.5.1 Vorgehensweise

Für die Suche robuster Projektentwicklungsalternativen wird eine iterative Vorgehensweise verwendet. Diese wird im Folgenden dargestellt.

#### (1) Initialisierung

Vor dem Start des Suchvorgangs wird zunächst die Risikoneigung des Planers operationalisiert, welche die geforderte Ergebnisrobustheit eines Plans definiert. Die Ergebnisrobustheit äußert sich in der Wahrscheinlichkeit  $p$  für die Erreichung eines bestimmten Zielwertes. Statistisch entspricht dies im vorliegenden Anwendungsfall dem  $p$ -Quantil der Projektdauer bzw. der Projektkosten. Damit können konkrete Werte für die Projektdauer (in Tagen) und Projektkosten (in €) bestimmt werden, die mit der Wahrscheinlichkeit  $p$  unterschritten – das heißt als Minimierungsziel mindestens erreicht – werden. Bildhaft trennt das  $p$ -Quantil die Gesamtfläche der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, die gleich 1 ist, in eine linke Fläche mit dem Inhalt  $p$  und eine rechte Fläche mit der Fläche  $1-p$  [vgl. SIBBERTSEN & LEHNE 2012, S. 230].

Der Planer gibt somit die  $p$ -Quantile für die Projektdauer bzw. -kosten als Vergleichsmaße für den Suchvorgang vor. Beispielweise könnte ein Vergleich von Projektentwicklungsalternativen hinsichtlich des 50%-Quantils der Projektdauer (Erwartungswert) erfolgen.

#### (2) Stufe 1 - Bestimmung der Entscheidungsspanne der Projektzielgrößen:

Der Planer bestimmt zunächst die Entscheidungsspanne der Zielgrößen. Dazu werden die Projektabwicklungsalternative mit dem minimalen Erwartungswert für die Projektdauer und diejenige mit dem minimalen Erwartungswert für die Projektkosten bestimmt. Obgleich diese Abwicklungsalternativen im Hinblick auf die jeweils andere Zielgröße schlechte Werte liefern, ist hiermit eine Analyse- und Vergleichsbasis für den anschließenden Suchvorgang mit Mehrziel-Optimierung gelegt.

(3) Stufe 2 - Suchvorgang für effiziente, robuste Abwicklungsalternativen

Stufe 2 stellt den Kern der iterativen Vorgehensweise dar. Zur Suche robuster Abwicklungsalternativen wurde ein genetischer Algorithmus mit Mehrziel-Optimierung implementiert, da zwischen den Projektzielgrößen Dauer und Kosten typischerweise ein Zielkonflikt besteht.

Der Algorithmus sucht nicht nach einer möglichst optimalen Projektabwicklungsalternative, sondern nach einer Menge von effizienten Kompromisslösungen bezüglich der Projektzielgrößen. Hierbei wird die mathematische Eigenschaft der Dominanz angewandt: eine Abwicklungsalternative dominiert eine andere, falls diese in mindestens einer Projektzielgröße besser und in keiner schlechter ist. Die so gefundenen effizienten Abwicklungsalternativen, welche bezogen auf den gesamten Suchraum von keiner anderen dominiert werden, heißen „Pareto-optimal“ [vgl. DEB ET AL. 2002, S. 186].

(4) Stufe 3 - Interaktive Veränderung der Lösungen durch den Planer

Die gefundenen Pareto-optimalen Lösungen werden dem Planer vorgestellt. Die darin kombinierten Prozessalternativen werden tabellarisch angezeigt. Eine Veränderung einzelner Prozessalternativen durch den Planer kann vorgenommen werden, um beispielsweise Managemententscheidungen für die Durchführung einzelner Prozesse oder Was-wäre-wenn-Analysen durchzuführen. Die so erstellte Projektabwicklungsalternative kann anschließend ebenfalls bewertet und mit den Pareto-optimalen Lösungen verglichen werden.

### 3.5.2 Multikriterielle Optimierung mit NSGA-II

Der Konflikt zwischen den Projektzielgrößen Dauer und Kosten stellt ein mehrkriterielles Optimierungsproblem dar. Planer sind bei Projekten typischerweise mit dieser Herausforderung konfrontiert. Dementsprechend wurde die Problemstellung bereits mehrfach theoretisch untersucht und ist in der Literatur als „Time-Cost-Tradeoff-Problem“ bekannt [vgl. z.B. LI ET AL. 2014, S. 6]. Zur Lösung werden Genetische Algorithmen mit Mehrziel-Optimierung eingesetzt.

Ein Algorithmus, der nachweislich eine rasche Suche nach Pareto-optimalen Lösungen bei zwei konfliktären Zielen durchführt, ist der genetische Algorithmus NSGA-II („Nondominated Sorting Genetic Algorithm, Version 2“; vgl. DEB ET AL. 2002, S. 183 ff.):

- Die Suche genetischer Algorithmen ist von der Evolution natürlicher Lebewesen inspiriert. Ein Individuum, d.h. im vorliegenden Anwendungsfall eine bestimmte Projektabwicklungsalternative, besitzt eine „Fitness“, die die Lösungsgüte hinsichtlich der zu optimierenden Ziele ausdrückt. Der Suchprozess läuft über mehrere Generationen ab. Für erzeugte Individuen wird in jeder Generation basierend auf ihrer Fitness entschieden, ob diese für die Erzeugung der nächsten Generation verwendet werden. Eltern-Individuen mit hoher Fitness werden se-

lektiert, um in der kommenden Generation Kinder zu erzeugen. Diese Nachkommen haben oft gleich hohe oder höhere Fitnesswerte.

- Speziell bei der Mehrziel-Optimierung mit dem NSGA-II wird die Fitnessbewertung nach der mathematischen Eigenschaft der Dominanz angewandt. Eine Projektabwicklungsalternative dominiert eine andere, falls diese in mindestens einer Projektzielgröße besser und in keiner schlechter ist. Alle Individuen einer Generation werden durch diesen Vergleich zu Dominanz-Rängen zugeordnet. Eine Vorgabe, welches Ziel wichtiger ist – d.h. eine Gewichtung der Zielgrößen durch den Planer – entfällt somit [vgl. DEB ET AL. 2002, S. 186; Abbildung 12].

Für den Suchvorgang wurde der NSGA-II-Algorithmus mittels freier Software-Bibliotheken implementiert. Für diese Suche nach robusten Abwicklungsalternativen in Stufe 2 wird der Algorithmus mit seinen Standardeinstellungen verwendet (vgl. DEB ET AL. 2002, S. 193, u.a. wird eine Populationsgröße von 100 Individuen eingesetzt).

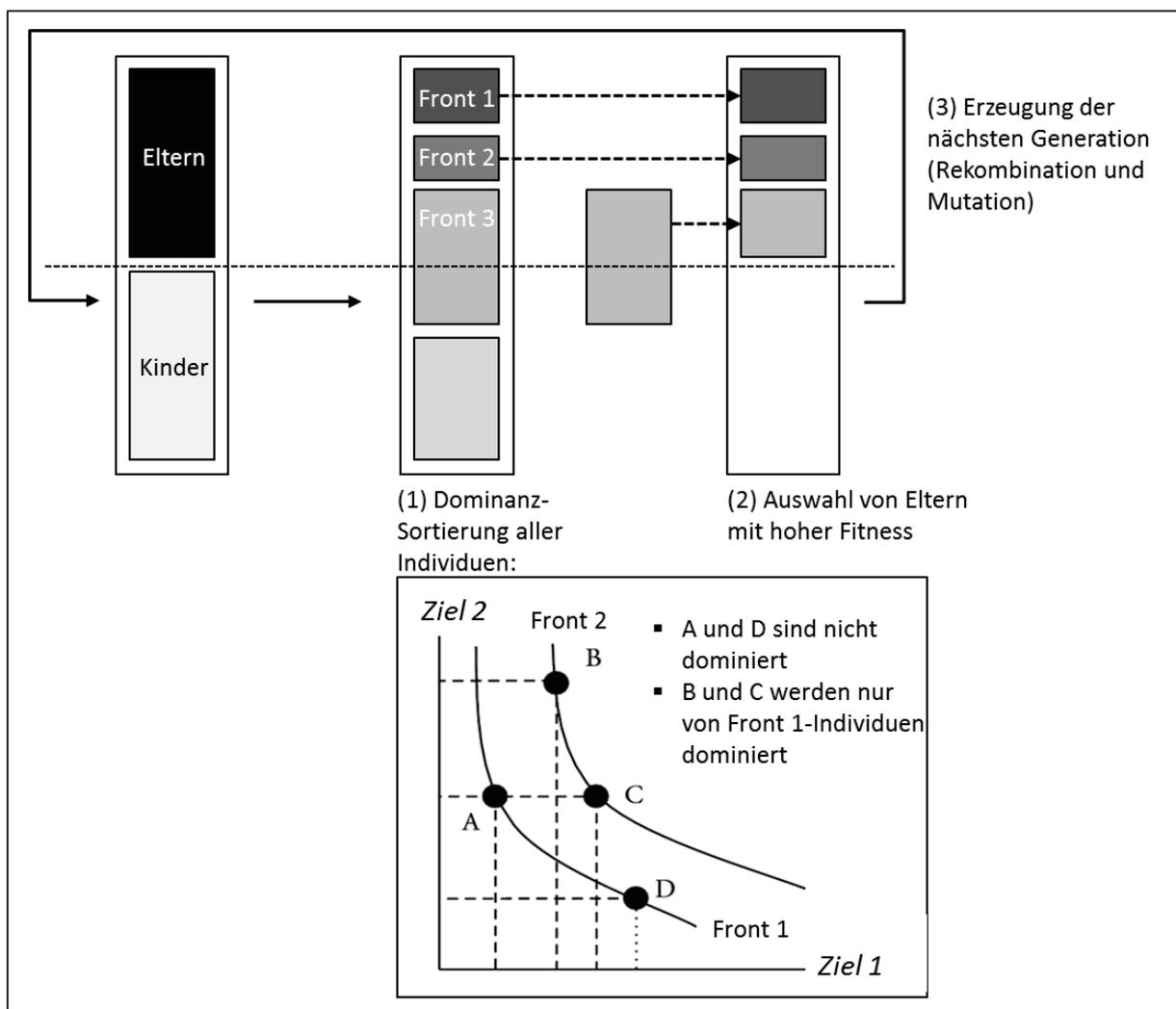


Abbildung 12: Mehrziel-Optimierung mit NSGA-II (in Anlehnung an Deb et al. 2002, S. 186)

Eine Modifikation des Algorithmus für die vorliegende Problemstellung wurde bei der Initialisierung der Suche in Stufe 1 vorgenommen. Abweichend vom originalen Vorgehen des Algorithmus werden nicht alle Individuen der Startpopulation zufällig ausgewählt. Die ersten beiden Individuen stellen die

Extremfälle dar, durch welche die jeweils minimal möglichen Werte der Projektzielgrößen (Startlösung 1: Schnellste Projektabwicklungsalternative, Startlösung 2: Kostengünstigste Projektabwicklungsalternative) definiert werden. Mit der Modifikation wird einerseits erreicht, dass die Extremfälle mit Sicherheit in der Betrachtung inbegriffen sind. Zum anderen soll eine raschere Annäherung der Suche an die Pareto-Front erreicht werden.

### **3.5.3 Ermittlung der Pareto-Front an einem Fallbeispiel**

Im Folgenden wird die Suche nach robusten Projektabwicklungsalternativen an einem Fallbeispiel zur Lieferung einer kundenspezifischen Werkzeugmaschine vorgestellt.

Das Projekt beinhaltet 56 Prozesse (Angebotsbearbeitung, Einkauf, Fertigung, Montage, Transporte, Inbetriebnahme vor Ort) mit durchschnittlich zwei Prozessalternativen (Eigenleistung bzw. Fremdleistung durch verschiedene Lieferanten). Durch diese Kombinationsmöglichkeiten entsteht für den Planer ein Lösungsraum von ca. 1,8 Milliarden möglichen Projektabwicklungsalternativen.

Die Suche robuster Abwicklungsalternativen wurde mit dem als Software-Demonstrator umgesetzten Verfahren durchgeführt. Die Berechnung und Speicherung der Ergebnisse einer Projektabwicklungsalternative dauert auf einem leistungsfähigen Notebook ca. 1,05 Sekunden. Diese Berechnungsgeschwindigkeit bei der Suche ist durch Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses als praxistauglich eingestuft.

Der Planer sucht im Beispiel nach Lösungen, bei denen die geforderte Robustheit jeweils als 50%-Quantil der Projektkosten und -dauer operationalisiert wurde. Der Vergleich von Projektabwicklungsalternativen während der Suche erfolgt also auf Basis des Erwartungswerts der Projektzielgrößen.

Abbildung 13 stellt die besten mit dem NSGA-II gefundenen Projektabwicklungsalternativen nach zehn Generationen dar. An der Pareto-Front ist deutlich der typische Zielkonflikt zwischen Projektkosten und -dauer zu erkennen. Extremfälle sind ebenfalls dargestellt. Die kostengünstigste Projektabwicklungsalternative ist nach der Optimierung weiterhin Bestandteil der Pareto-Front. Für die schnellste Projektabwicklungsalternative wurden dominierende Abwicklungsalternativen gefunden, die aber im Hinblick auf die Projektdauer (zwingend) gleiche Werte aufweisen.

Die vier gefundenen Pareto-optimalen Lösungen werden dem Planer vorgestellt. Sie bilden den Ausgangspunkt für ggf. weitere Anpassungen und Neubewertung der veränderten Lösung durch den Planer. Verwendete Prozessalternativen innerhalb der Lösungen können dazu tabellarisch angezeigt sowie für weitere Analysen exportiert werden.

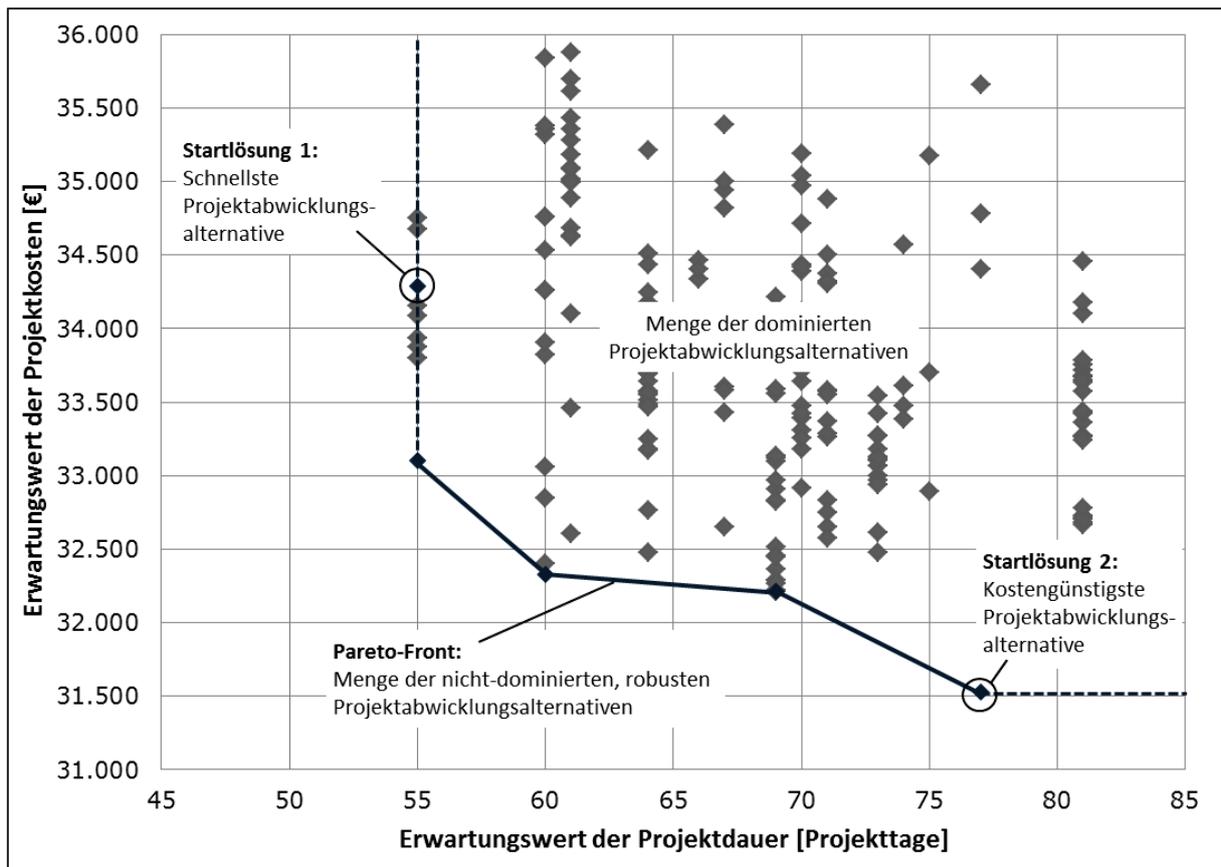


Abbildung 13: Visualisierung gefundener Projektentwicklungsalternativen und der Pareto-Front eines Fallbeispiels

### 3.5.4 Umsetzung als Software-Demonstrator

Für die Risikobewertung möglicher Projektentwicklungsalternativen und die Suche robuster Lösungen wurde ein Software-Demonstrator erstellt. Der Demonstrator unterstützt den Planer interaktiv bei

- der Modellierung der Projektentwicklung in Form eines Vorgangspfeilnetzplans,
- der Erfassung und Hinterlegung von Bewertungsdaten für Prozessalternativen,
- der Suche nach robusten, effizienten Projektentwicklungsalternativen sowie bei
- der Anpassung und Neubewertung gefundener Projektentwicklungsalternativen.

Die in Java 8 programmierten und entsprechend verknüpften Module werden nachfolgend dargestellt.

#### Modul: Graphical User Interface (GUI)

Die GUI ist in vier grundlegende Abschnitte unterteilt (vgl. Abbildung 14):

1. Windows-Menüleiste,
2. Projektentwicklungsmodell,
3. Datenbasis und
4. Visualisierung.

Mit einer aus zahlreichen Anwendungen bekannten *Windows-Menüleiste* wird der Demonstrator gesteuert. Sie dient insbesondere dazu,

- ein Projektabwicklungsmodell anzulegen, zu öffnen und zu speichern (Menü „File“);
- die Visualisierung anzupassen (Menü „View“);
- die Suche mit Mehrziel-Optimierung zu starten und eine Neubewertung von interaktiv angepassten Projektabwicklungsalternativen vorzunehmen (Menü „Evaluation“) sowie
- die Nutzereinstellung für das Suchverfahren ( $p$ -Quantile für Projektdauer und -kosten, die als Vergleichsgröße innerhalb des Suchverfahrens genutzt werden sollen) und die Sucheinstellungen des NSGA-II (u.a. Populationsgröße) vorzunehmen (Menü „Settings“).

Im Abschnitt *Projektabwicklungsmodell* werden die einzelnen Prozesse und ihre hinterlegten Prozessalternativen in einer Baumstruktur dargestellt. Eine alphabetische Sortierung zum leichteren Auffinden von Prozessen kann vorgenommen werden.

Ist ein Prozess- bzw. eine Prozessalternative selektiert, werden im Abschnitt *Datenbasis* die hinterlegten Bewertungsdaten angezeigt. Innerhalb dieses Abschnitts können weitere Prozesse bzw. Prozessalternativen hinterlegt werden. Dazu dienen die in der unteren rechten Ecke je nach Kontext veränderlichen Buttons (in Abbildung 14 ist eine bereits angelegte Prozessalternative ausgewählt, weshalb der Button zum Speichern veränderter Bewertungsdaten angezeigt wird).

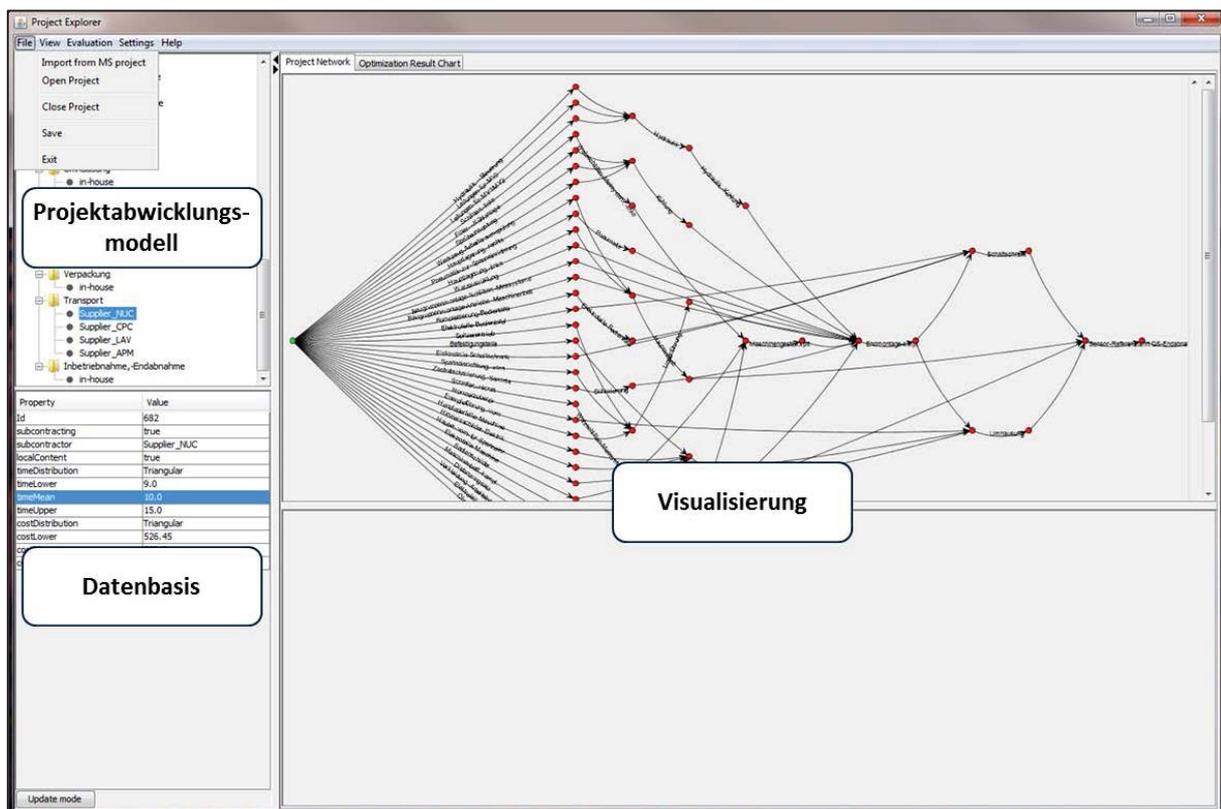


Abbildung 14: Grafische Benutzeroberfläche (GUI)

Der Abschnitt *Visualisierung* besteht aus zwei Reitern. Im ersten wird das Projektnetzwerk als Vorgangspfeilnetzplan (oberer Teil) und die Bewertungsergebnisse nach durchgeführtem Suchverfahren tabellarisch dargestellt (unten). Auf dem zweiten Reiter kann die Wahrscheinlichkeitsverteilung der

Projektzielgrößen einer erstellten Projektabwicklungsalternative als Dichte- und Verteilungsfunktion dargestellt werden.

Insgesamt wurden die relevanten Basisfunktionen für eine Suche robuster Projektabwicklungsalternativen mit der grafischen Benutzeroberfläche integriert. Nach Tests mit Vertretern von Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses ist die Durchführung der Bewertung durch die erstellte Oberfläche gewährleistet. Für eine praktikable Anwendung sehen die Testpersonen weitere Verbesserungen hinsichtlich Bedienerfreundlichkeit als erforderlich.

### **Modul: Database**

Das in AP 2 erstellte Datenbankschema (vgl. Abbildung 7) wurde in einer anwenderfreundlichen Datenbank umgesetzt. Hierfür wurde Microsoft Access 2010 aufgrund der starken Verbreitung von Microsoft Office ausgewählt.

Die Planer sind zudem häufig bereits mit Basisfunktionen der Access-eigenen Benutzeroberfläche vertraut. Die Datenbasis des Projektabwicklungsmodells kann mit dieser Oberfläche ebenfalls erstellt, angepasst und ausgewertet werden. Somit existieren neben den Funktionen, welche das GUI-Modul bietet, weitere Möglichkeiten für die Interaktion des Planers.

Innerhalb des Software-Demonstrators wurden Datenobjekte geschaffen, mit denen die einzelnen Parameter für Prozesse und -alternativen datenseitig abgebildet und bearbeitet werden können, so dass ein Datenaustausch aller Module gewährleistet ist.

### **Modul: NetworkBuilder**

Das Modul übernimmt die Erstellung eines Vorgangspfeilnetzplans. Dieser wird aus einer Prozessliste mit Reihenfolgeangaben erstellt. Dafür wurde ein existierender Algorithmus implementiert [vgl. Ossimitz 2001, S. 4f.].

In Diskussionen mit dem Projektbegleitenden Ausschuss sowie bei der Erstellung der Fallbeispiele zeigte sich, dass relevante Prozesse und deren Reihenfolgen oftmals bereits als vollständiger Projektplan vorliegen. Eine Übernahme aus gängigen Planungstools ist sinnvoll, um den Aufwand des Planers zur Modellerstellung zu begrenzen. Diese Funktionen wurden daher zusätzlich zum geplanten Funktionsumfang des Demonstrators umgesetzt.

### **Modul: Calculator**

Als Bewertungseinheit für Prozessabwicklungsalternativen dient das an der Professur für Technische Logistik entwickelte numerische Verfahren zur Bestimmung des stochastischen Verhaltens eines Netzwerks (AiF-Nr. 14046: Offenes Baukastensystem zur effizienten Dimensionierung von Materialflusssystemen). Dieses baut auf der Vorgehensweise von PERT auf. Im Unterschied zu diesem erfolgt die Berechnung nicht mehr auf der Basis statistischer Momente (Mittelwert, Varianz), sondern durch Berechnung von diskretisierten Wahrscheinlichkeitsverteilungen [vgl. MEINHARDT ET AL. 2005, S. 2 f.]. Im Ergebnis wird eine Verteilungsfunktion der betrachteten Eigenschaften, im vorliegenden For-

schungsbericht die Projektdauer und die Projektkosten, bestimmt. Die Verteilungsfunktion wird aus den stochastischen Interdependenzen aller vorgelagerten Vorgänge errechnet (vgl. Abbildung 15).

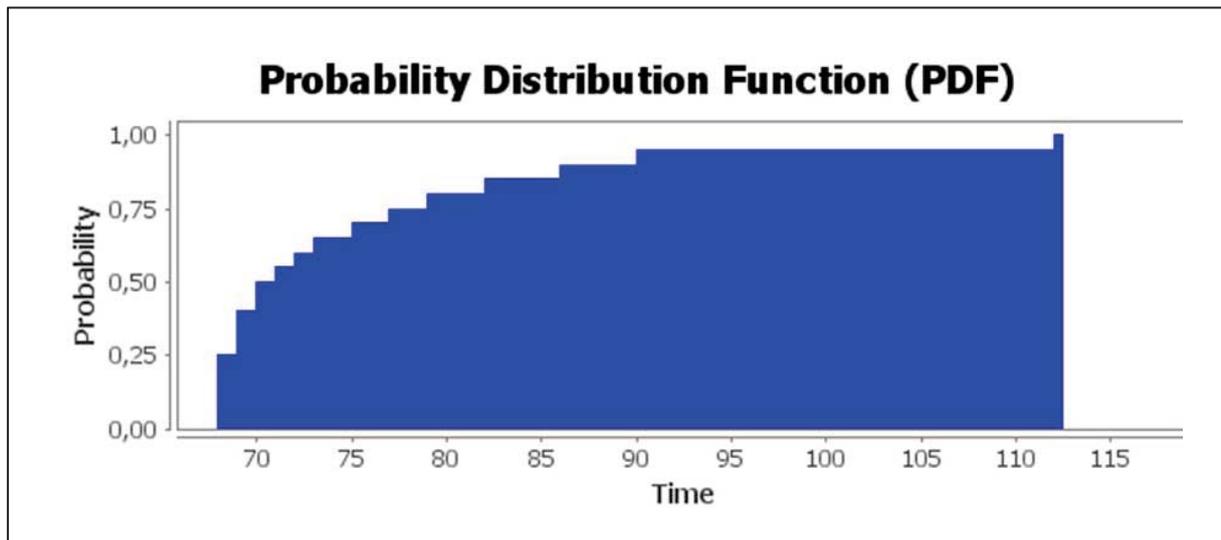


Abbildung 15: Visualisierung der Verteilungsfunktion für die Projektdauer einer Abwicklungsalternative

Dem Modul wird jeweils eine Projektabwicklungsalternative übergeben. Der Transfer der Datenbasis aus der Datenbank wurde aus Geschwindigkeitsgründen mittels XML<sup>8</sup> umgesetzt.

### Modul: Optimizer

In lizenzfrei verfügbaren Software-Bibliotheken (Open Source) ist eine Mehrziel-Optimierung mit NSGA-II verfügbar. Diese Optimierungsfunktion wurde in das Modul integriert und entsprechend des in AP 4 entwickelten Suchverfahrens nach robusten, effizienten Projektabwicklungsalternativen wurde das Modul „Optimizer“ angepasst und umgesetzt.

Das Modul setzt zudem die interaktive Anpassung einer gefundenen Lösung durch den Planer um. Hierzu wird für eine ausgewählte Projektabwicklungsalternative eine tabellarische Übersicht der darin verwendeten Prozessalternativen präsentiert. Der Planer kann die Auswahl der Prozessalternativen anpassen und die Neubewertung dieser veränderten Lösung ausführen (vgl. Abbildung 16). Weiterhin ist der Export der verwendeten Prozessalternativen als Microsoft Excel-Datei und die Vergabe entsprechender Namen für die Projektabwicklungsalternativen umgesetzt.

<sup>8</sup> Die Extensible Markup Language (XML) ist ein Format zum schnellen Datenaustausch zwischen Computersystemen.

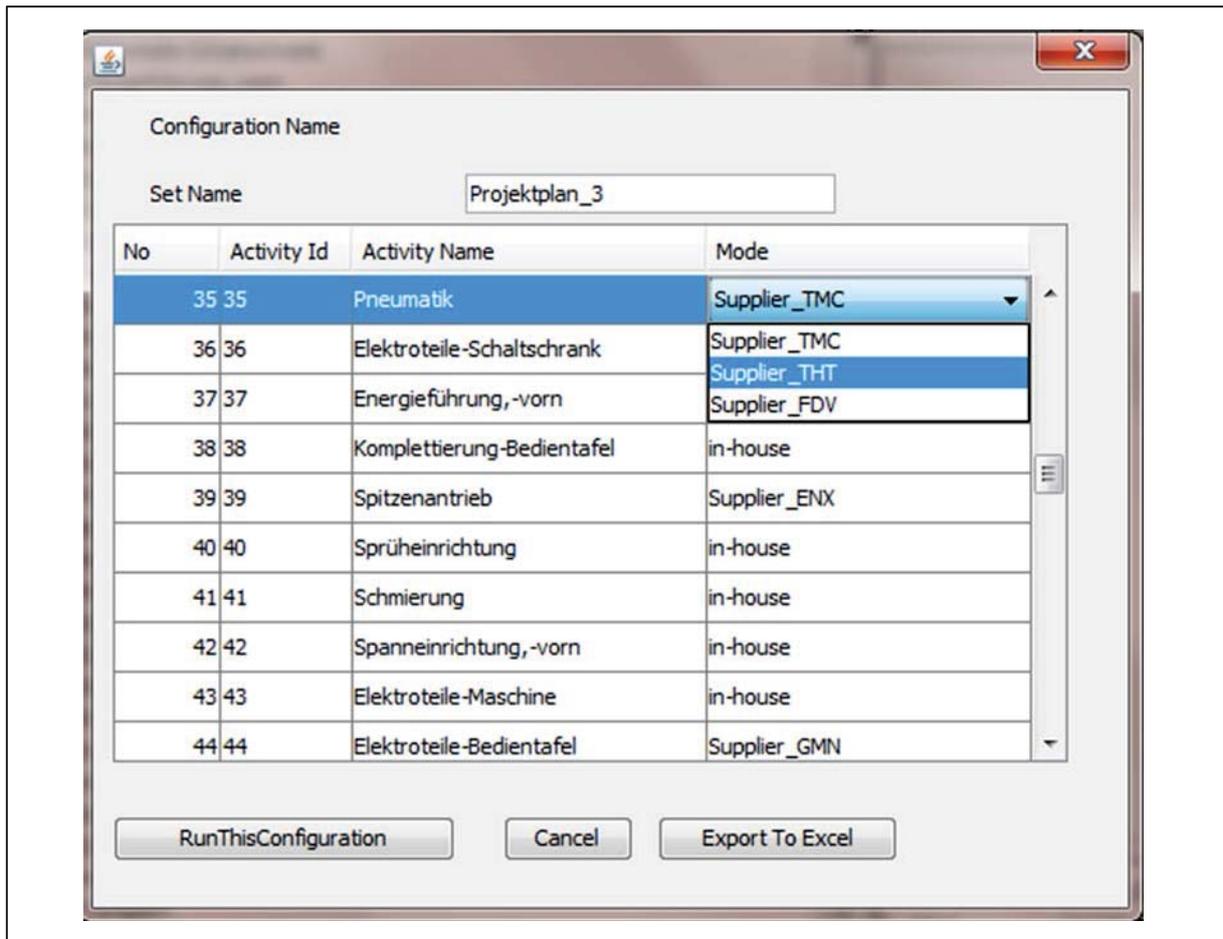


Abbildung 16: Interaktive Anpassung einer gefundenen Abwicklungsalternative durch den Planer

## 4 Bewertung der Forschungsergebnisse

### 4.1 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel des Forschungsprojektes war es, Modelle zu schaffen, welche die Planung und Risikobewertung projektspezifischer Produktionsnetzwerke ermöglichen und darauf aufbauend Methoden zu entwickeln, mit welchen die Risikobewertung einzelner Lieferanten sowie die gesamthafte Bewertung und Auswahl von Projektabwicklungsalternativen erfolgen können.

Es ist gelungen, ein parametrisches Projektabwicklungsmodell zu entwerfen, welches die einzelnen Prozessschritte (Angebotsbearbeitung, Projektierung/Konstruktion, Einkauf/Fertigung, Montage, Versand) mit ihren Reihenfolgebeziehungen abbildet. Zu diesen können Prozessalternativen (z.B. Eigenleistung, Fremdleistung durch Lieferant A, Fremdleistung durch Lieferant B) mit ihren jeweiligen Unsicherheiten in den Zielgrößen Dauer und Kosten hinterlegt werden. Somit ist nun eine vom spezifischen Einsatzfall losgelöste Form der Beschreibung von Projektabwicklungsalternativen für den Maschinen- und Anlagenbau verfügbar.

Zur Erfassung möglicher Prozessalternativen (Eigen- bzw. Fremdleistung durch unterschiedliche Lieferanten) und relevanter Auftragsrahmenbedingungen ist ein Datenbankschema entstanden. Mit der strukturierten und konsistenten Darstellung aller Prozesse und Prozessalternativen, ihrer Parameter

und der konkreten Parameterwerte wird die Voraussetzung für eine numerische Behandlung der Problemstellung geschaffen

Eine Identifikation und Bewertung von Lieferanten erfolgt in einem mehrstufigen Prozess. Mittels der Einordnung des Beschaffungsobjekts in einem Beschaffungsportfolio wird ein angemessenes Aufwand-Nutzen-Verhältnis bei der anschließenden Lieferantenrisikobewertung erreicht. Im Ergebnis der Bewertung entsteht ein lieferantenspezifisches Risiko bei der Durchführung eines Prozessschritts, welches die Unsicherheiten in den Zielgrößen Dauer und Kosten jeweils in einer Dreiecksverteilung aggregiert. Somit werden konkrete Parameterwerte jede Prozessalternative verfügbar.

Aufgrund der Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten in der Projektplanung, ist für die Auswahl einer Projektabwicklungsalternative, welche der Festlegung einer Prozessalternative für jeden Prozess entspricht, ein Suchverfahren entwickelt worden. Es liefert durch eine numerische Netzwerkberechnung umfassende Aussagen zu erwarteten Projektrisiken. Weiterhin werden dem Planer effiziente Kompromisslösungen bezüglich der Projektzielgrößen aufgezeigt. Durch die Umsetzung als Software-Demonstrator konnte nachgewiesen werden, dass das Verfahren gut zu automatisieren ist, sowie die praktische Anwendbarkeit in der Projektplanung für KMU aufgrund kurzer Rechenzeit und nicht erforderlicher Optimierungskennnisse zielführend ist. Somit wurde als Alternative zur Erstellung nur eines einzigen Projektplans mit Standardsoftware ein neues Werkzeug geschaffen, das anhand der Kenntnisse über mögliche Prozessalternativen hilft, eine robuste und den wirtschaftlichen Zielen entsprechende Projektabwicklungsalternative auszuwählen.

Bisher zielten die Forschungsarbeiten vor allem auf eine konsistente, parametrische Modellierung der Projektabwicklung sowie eine Risikobewertung und Auswahl von Alternativen vor dem Projektbeginn. In der Abwicklungsphase treten aufgrund des Projektcharakters der Zusammenarbeit auch bei umfangreicher Planung Störungen bzw. Risiken ein. Nachfolgend sind, basierend auf den entwickelten Methoden, mögliche Steuerungsmaßnahmen im Rahmen der Projektabwicklung zu beleuchten. Für eingetretene Abwicklungsrisiken fehlt bislang eine praxistaugliche Zuordnung effizienter Steuerungsmaßnahmen.

Die entwickelten Modelle und Methoden befinden sich in einem Entwurfsstadium mit Fokus auf die Projektplanung. Weitere Entwicklungen zur Ausdehnung der Betrachtung auf eine Risikosteuerung projektspezifischer Produktionsnetzwerke und sich daraus ergebende wirtschaftliche Potenziale für KMU sind demnach weiterhin wissenschaftlich zu begleiten. Hierzu zählen eine Zuordnung von Steuerungsmaßnahmen zu Abwicklungsrisiken, das Identifizieren von Ursachen und Angriffspunkten für Steuerungsmaßnahmen und die Bewertung des Nutzens von Steuerungsmaßnahmen auf die Erreichung der Projektziele. Die Notwendigkeit einer anschließenden Risikosteuerung innerhalb der Abwicklungsphase wurde von mehreren Vertretern des Projektbegleitenden Ausschusses vorgebracht und als eine zielführende Erweiterung zur ganzheitlichen Unterstützung der Zusammenarbeit diskutiert. Es wurden daher Ziele und weiterer Forschungsbedarf in einem Anschlussantrag formuliert.

## **4.2 Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung für KMU**

Anhand der erstellten Methoden und Demonstrator-Software wird aufgezeigt, wie durch eine analytische und werkzeuggestützte Herangehensweise an die Planung projektspezifischer Produktionsnetzwerke wirtschaftlich sinnvolle Lösungen gezielt gesucht werden können. KMU werden in die Lage versetzt, binnen kurzer Zeit zu erwartende Projektkosten und -dauern unterschiedlichster Prozess-

Lieferanten-Zuordnungen zu ermitteln. Eine Erhebung und Anpassung der Inputdaten ist leicht möglich und erlaubt das „Durchspielen“ von Alternativen.

Demnach konnten für KMU folgende wesentliche Ergebnisse festgehalten werden:

- Eine Identifikation und Risikobewertung projektspezifischer Lieferanten ist für KMU mit einem angemessenen Aufwand-Nutzen-Verhältnis möglich. Dauer- und Kostenrisiken bei der Durchführung eines Prozessschritts können mit entsprechenden Risikoindikatoren bewertbar gemacht werden. Somit bestehen Anknüpfungspunkte sowohl für die nachfolgende Projektplanung als auch für Entscheidungen über längerfristige wirtschaftliche Beziehungen.
- Eine vom spezifischen Einsatzfall losgelöste Form der Beschreibung von Projektabwicklungsalternativen für den Maschinen- und Anlagenbau in einem parametrischen Modell ist möglich. Die konsistente und strukturierte Erfassung von Alternativen und relevanten Auftragsrahmenbedingungen stellt die Basis für wirtschaftliche Entscheidungen zur Projektplanung dar.
- Der Software-Demonstrator zur Suche nach robusten Projektabwicklungsalternativen zeigt dem Planer anstatt eines Projektplans die durch ihn beeinflussbare Entscheidungsspanne der Projektzielgrößen und konkrete Projektabwicklungsalternativen auf. Aus diesen Vorschlägen kann ein den wirtschaftlichen Zielvorgaben entsprechender Projektplan entnommen und ggf. angepasst werden. Die Entscheidungsgrundlage zur Projektplanung wird somit verbessert.

Die unten stehende Zuordnung zu den einzelnen Fachgebieten bzw. Wirtschaftszweigen gemäß Vordruck 4.1.23 und 4.1.24 des „AiF-Leitfadens“ stellt die Breite der möglichen Ergebnisnutzung auf verschiedenen Gebieten zusammenfassend dar.

<b>Fachgebiete</b>	<b>Hauptsächliche Nutzung</b>	<b>Nutzung auch möglich</b>
Konstruktion		✓
Produktion	✓	
Betriebswirtschaft, Organisation	✓	
<b>Wirtschaftszweige</b>		
Maschinenbau (29)	✓	
Fahrzeugbau (34/35)	✓	
Erbringung von Dienstleistungen (72/74)		✓
Baugewerbe (45)		✓

**Tabelle 4: Nutzen in Fachgebieten und Wirtschaftszweigen**

### 4.3 Transfer der Forschungsergebnisse

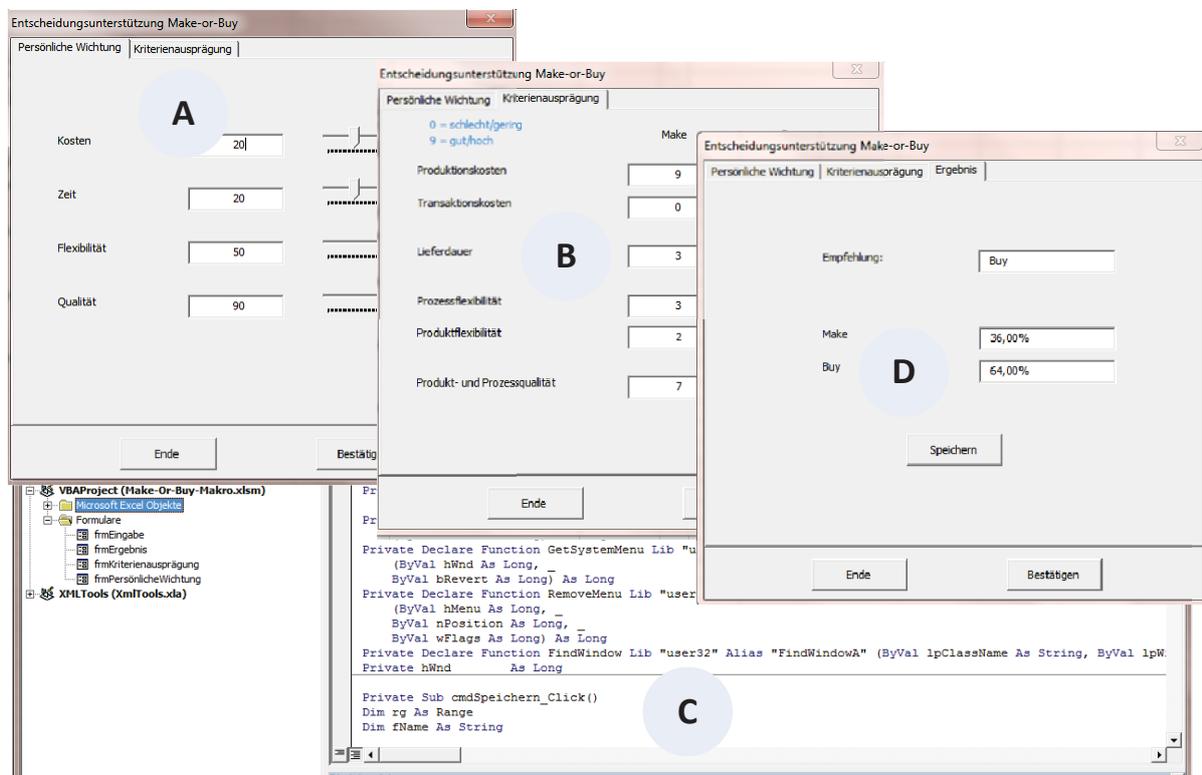
Maßnahme	Ziel/Beschreibung	Zeitraum	Fortschritt
Projektbegleitender Ausschuss	Ausführliche und fortlaufende Diskussion mit den Vertretern der Unternehmen im PA	Gesamte Laufzeit	erledigt
Ansprache weiterer Interessierter Unternehmen	Gewinnung weiterer produzierender Unternehmen zur Mitarbeit im PA, Problemsensibilisierung und Diskussion	Gesamte Laufzeit	erledigt
Internetpräsenz	Darstellung und Verbreitung von Forschungsziel und -ergebnissen, Ansprache produzierender KMU zur Mitarbeit	ab 08/2013	erledigt
Wissenschaftliche/ Industriennahe Vorträge	Vortrag im Rahmen von Fachkolloquien (z.B. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik [WGTL])	2014/15	In Vorbereitung für 2015
	Vorträge im Rahmen der für die Industrie ausgerichteten Kolloquien (z.B. Institutskolloquium der Professur Technische Logistik, VDMA-Arbeitskreis „Montage & Logistik“)	2014/15	erledigt
Wissenschaftliche Publikationen	Veröffentlichung in Fachzeitschriften und e-Journals	ab 06/2014	erledigt
	Erstellung einer Dissertationsschrift angestrebt, welche durch die Sächsische Staatsbibliothek der Öffentlichkeit zugänglich ist	ab 03/2015	in Arbeit
Beratung von Unternehmen	Beratung von Unternehmen bei der Planung temporärer Produktionsnetze	ab 11/2014	erledigt
Übernahme der Ergebnisse in die akademische Lehre	Lehrveranstaltungen (TL): „Produkt und Produktionsprozess“, „Projektmanagement“		in Arbeit
	Lehrveranstaltungen (LOG): „Logistik Management“, „Mathemat. Planungsverfahren“		
	Bearbeitung von Teilaufgaben im Rahmen von Diplom-/Master-Arbeiten an beiden Professuren und damit Verbreitung der Erkenntnisse bei Absolventen der TU Dresden	ab 10/2014	erledigt

## 5 Anhang

### 5.1 Werkzeug zur Unterstützung der Festlegung von Eigen- oder Fremdleistung

Der Aufbau des Werkzeugs stellt sich wie folgt dar:

- Eingabemaske für die Gewichtung der Hauptkriterien [A]
- Eingabemaske für die Ausprägungen der Subkriterien bezüglich Make oder Buy [B]
- Berechnungsmodell des ANP in Microsoft Excel VBA [C]
- Ausgabemaske für die Entscheidungsempfehlung [D]



### 5.2 Einflusskriterien bei der Festlegung von Eigen- oder Fremdleistung

Hauptkriterium	Subkriterium	Beschreibung
Kosten	Produktionskosten	Summe der zu erwartenden Kosten für die Herstellung bzw. den Einkauf der Komponente/des Prozesses.
	Transaktionskosten	Summe der zu erwartenden Kosten für die Organisation und Abstimmung bei der Herstellung bzw. dem Einkauf der Komponente/des Prozesses. Hierunter fallen ebenso Transportkosten.

Zeit	Lieferdauer	Zu erwartende Dauer für die Herstellung bzw. den Einkauf der Komponente/des Prozesses (Kernkompetenz: Fertigung).
Flexibilität	Prozessflexibilität	Fähigkeit, mit vorhersehbaren als auch unvorhersehbaren Störungen des geplanten Ablaufs umzugehen (Kernkompetenz: Projektmanagement).
	Produktflexibilität	Fähigkeit, die Herstellung der Komponente bzw. die Durchführung des Prozesses zu initialisieren (Kernkompetenzen: Konstruktion und Projektierung).
Qualität	Produkt- bzw. Prozessqualität	Fähigkeit, die Herstellung der Komponente bzw. die Durchführung des Prozesses in Übereinstimmung mit den gestellten Ansprüchen zu realisieren (Kernkompetenzen: Qualitätsmanagement und -überwachung).

### 5.3 Erklärung zu den bedingenden Faktoren zur Einordnung in die Beschaffungssituation

Schwierigkeitsgrad des Beschaffungsmanagements			
Kategorie	Bedingender Faktor	Beschreibung	Wirkung
Beschaffungsmarkt	Umfang an potentiellen Lieferanten	Geringe Anzahl potentieller Lieferanten kann zu Versorgungsrisiken aber auch zu Abhängigkeits- und Preisrisiken führen	Je geringer die Anzahl an potentiellen Lieferanten, umso höheres Risiko
	Marktstruktur	Wettbewerb der Lieferanten (Monopol, Polypol)	Risikopotential im Monopol tendenziell höher
	Marktkapazität	Es wird die Marktgröße, Marktwachstum, Anzahl Abnehmer und Lieferanten betrachtet	Je geringer die Kapazität, desto höher das Risikopotential
	Beschaffungsmarktselektion	Geografische Verteilung der Lieferanten (lokal, global)	Globale Lieferanten bieten tendenziell höheres Risikopotential
Beschaffungsobjekt	Bedarfsart	Unterscheidung zwischen Rohstoffen, Bauteilen, Modulen und Systemen	Höheres Risiko bei Modulen und Systemen, da höhere Anforderungen

	Technische Komplexität	Anzahl der Subsysteme und deren Systembeziehungen	Je höher die Anzahl an Subsystemen und Systembeziehungen, desto höher das Risiko
	Technologischer Reifegrad	Spiegelt sich in der verwendeten Technologie wider	Je geringer der Reifegrad, desto höheres Risikopotential
	Neuheitsgrad	Datenlage aus früheren Beschaffungen	Je höher der Neuheitsgrad, umso höher das Risikopotential
	Wiederbeschaffungszeiten	Können u. a. durch Kapazitäts- oder Ressourcenengpässen entstehen	Je höher die Wiederbeschaffungszeit, umso höher das Risikopotential
Einfluss auf das Projekt			
Hinsichtlich ökonomischer Faktoren	Monetärer Wert der Beschaffung	Wertmäßiger Anteil des Beschaffungsobjekts am Endprodukt	Je höher der Wert, desto höher der Einfluss
Auswirkungen hinsichtlich der Risiken	Lieferzeit	Schaden bei Nicht-Konformität des Lieferanten auf die Lieferzeit	Je höher der Schaden, desto höher der Einfluss
	Kosten	Schaden bei Nicht-Konformität des Lieferanten auf die Kosten	Je höher der Schaden, desto höher der Einfluss
	Qualität	Schaden bei Nicht-Konformität des Lieferanten auf die Qualität	Je höher der Schaden, desto höher der Einfluss
Abhängigkeit der Anlagen- oder Maschinenqualität von dem beschafften Objekt	Technologiegrad innerhalb des Beschaffungsobjekts	Wie stark wird die Qualität der Maschine/Anlage durch die Qualität des Beschaffungsobjekts beeinflusst	Je höher die Beeinflussung, desto höher der Einfluss

**Tabelle 5: Bedingende Faktoren zur Einordnung des Beschaffungsobjekt in eine Beschaffungssituation**

## 5.4 Informationsquellen zur Lieferantenidentifikation

In der folgenden Tabelle sind potentielle Informationsquellen zusammengetragen:<sup>9</sup>

Inländische Lieferanten/Partner		
Informationsquelle	Beschreibung	Beispiele und Adressen
Internet-Datenbanken und Firmenverzeichnisse	Es sind meist Unternehmensprofile und Kontaktdaten hinterlegt und gegebenenfalls Bewertungen zum Lieferanten	www.wlw.de, www.hoppenstadt.de, www.europages.de; eine Übersicht gibt: www.einkaufsmanager.net oder linksammlungen.zlb.de/2.9.2.1 0.0.html
Firmen-Informationssysteme der IHK und HKW	Geben Überblick über potentielle Partner-Unternehmen	www.dihk.de, www.handwerk.de
Kooperationsbörsen	Suche nach Kooperationen in konkreten Sparten in der gesuchten Region möglich	www.ihk-kooperationsboerse.de
Suchmaschinen	Durch Eingabe von Suchbegriffen können weitere Datenbanken gesucht werden	z.B. www.google.de; www.bing.de
Weitere Kontaktvermittler	Wirtschaftsprüfer, Steuerberater, Banken, Betriebsberater, Anwälte, Freunde, Bekannte, Geschäftspartner	
Ausländische Lieferanten/Partner		
Bundesagentur für Außenwirtschaft	Aktuelle Informationen über Auslandsmärkte (Wirtschaftslage, Branchentrend, Zollregelungen, Ausschreibungen, Geschäfts- und Kooperationswünsche), Kontaktstellen für über 150 Länder	Außenwirtschaftsportal www.ixpos.tal www.ixpos.de
Auslandshandelskammer	In 50 Länder der Welt vertreten, vom BMWi gefördert, Vermittlung von Geschäftspartnern, Produktberatung, Projektberatung, Erstellung von Marktstudien	www.ahk.de
Generalkonsulate/ Amtliche Vertretung	Dort, wo keine AHK vertreten sind, beraten sie bei Ausschreibungen öffentl. Institutionen; Kontakt zu amtlichen Stellen; Suche nach Kontaktpartnern	
Ausländische Vertretungen	Stellen kostenlos Adressen ihres Heimatlandes zur Verfügung; Kontakt über ausländisches Amt	

<sup>9</sup> Vgl. Schuh et al. 2014, S. 226; BMWi 2003, S. 18 ff.; BME 2006, S. 56ff.

Industrie- und Handelskammern im Inland	Auch überregional Adressen von Unternehmen erhältlich	
Ausländische Wirtschaftsinstitutionen	Kammern und Wirtschaftsverbände als Ansprechpartner; Kammerverzeichnis	www.worldchambers.com
Fachverbände		z. B. BME – Bundesverband für Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik e. V.
Online- Datenbanken	Möglichkeit online weltweit anhand bestimmter Kriterien nach Lieferanten zu suchen	www.worldindustrialreporter.com; www.thomasnet.com; www.BME QualitySourcing.com

Tabelle 6: Informationsquellen für die Lieferantenidentifikation

## 5.5 Erläuterungen zu den Methoden der Lieferantenvorauswahl

**Categorical Method:** Timmerman (1986) empfiehlt die „categorical method“, um bekannte oder aktuelle Lieferanten anhand von Kriterien unter Berücksichtigung historischer Daten und der Erfahrung des Käufers zu bewerten. Dabei werden die Kriterien in drei Kategorien eingeteilt: positiv, neutral und negativ. Die Einzelbewertungen werden zu einer Gesamtbewertung kombiniert und in eine der drei Kategorien eingeordnet. Die negativen Aspekte der Methode sind zum einen die Gleichgewichtung der einzelnen Kriterien und zum anderen die starke Sensitivität auf Bewertungsänderungen, welche auf objektiven Beurteilungen basieren<sup>10</sup>.

**Cluster Analysis:** Die Cluster Analysis ist eine Basismethode aus der Statistik und kann auf eine Gruppe von Lieferanten angewendet werden, die anhand von Punktzahlen beschrieben werden. Dabei werden die Lieferanten mit Hilfe eines Klassifikationsalgorithmus in Gruppen eingeordnet, sodass der Unterschied zwischen den Lieferanten einer Gruppe minimal und zwischen den Gruppen untereinander maximal ist.

**Case-based-reasoning (CBR):** Das CBR ist eine softwarebasierte Datenbank, die dem Entscheidungsträger nützliche Informationen aus früheren, ähnlichen Situationen bereitstellt. Es löst eine neue Problemstellung, indem es Lösungen aus früheren Problemen adaptiert.

**Data Envelopment Analysis (DEA):** Dies ist eine Methode, die Lieferanten in die zwei Gruppen effiziente und ineffiziente Lieferanten einteilt. DEA gehört zur mathematischen Programmierung und errechnet die relative Effizienz eines Lieferanten, welches sich aus dem Verhältnis zwischen dem gewichteten Output (Nutzenkriterien) und dem gewichteten Input (Kostenkriterien) ergibt.

**Fuzzy AHP und Max-Min Methode:** Diese Methode nutzt den Fuzzy AHP, um die Gewichtungen der Kriterien zur Vorauswahl von Lieferanten zu bestimmen, den Max-Min-Ansatz zur Maximierung und Minimierung der Lieferantenleistung bezüglich dieser Kriterien und schlussendlich einen nicht-parametrischen statistischen Test, um eine effiziente Gruppe an Lieferanten zu identifizieren.

<sup>10</sup> Vgl. Talluri 2002, S. 173, Aissaoui et al. 2007, S. 3521.

## 5.6 Herleitung der Bewertungskriterien

Nachfolgend wird die Herleitung der Bewertungskriterien zur Vorauswahl der Lieferanten erläutert<sup>11</sup>:

**Langfristigkeitscharakter des Projekts:** Die Projektdurchlaufzeiten im Anlagen- und Maschinenbau können sich über Monate oder sogar Jahre erstrecken. Während dieser Zeit können Einflüsse des Projektumfelds (z. B. politische, rechtliche) oder Modifikationen auf Grund von Kundenwünschen zum Tragen kommen. Kann der Lieferant nicht flexibel auf diese Änderungen reagieren, kann es zu Risiken in Bezug auf die Projektzeit oder -kosten kommen.

**Internationalität:** Aufgrund der technischen Komplexität, der kundenindividuellen Spezifitäten und des monetären Wertes der Anlagen und Maschinen ist eine international ausgerichtete Beschaffungsstrategie erforderlich, die Anforderungen an die Kommunikation aufgrund des hohen Abstimmungsbedarfs stellt.

**Hohe Risiken:** Aufgrund der Charakteristik des Anlagen- und Maschinenbaus entstehen hohe Risiken beim Generalunternehmer, denen Gewinnpotentiale gegenüberstehen. Risiken entstehen aus technischer und qualitativer Sicht, da wegen der Komplexität des Produktes ein hohes qualitatives als auch quantitatives Maß an Technik und Technologie erforderlich ist. Weiterhin entstehen Risiken aus wirtschaftlicher Sicht, da der Generalunternehmer das Projekt vorfinanzieren muss und Kosten kalkuliert, die aufgrund des Neuheitsgrades und der Komplexität recht unsicher sind und letztendlich aus politischer Sicht, die Risiken im Unternehmensumfeld aber auch unternehmenspolitisch berücksichtigt.

**Komplexität der Beschaffungsobjekte:** Da der Wertschöpfungsanteil von Unternehmen im Anlagen- und Maschinenbau immer mehr abnimmt, weil sich diese auf die Kernkompetenzen konzentrieren, fungieren diese als Systemintegratoren. Die erhöhte Komplexität der Beschaffungsobjekte birgt aber gleichzeitig hohe Anforderungen an die Auswahl des Lieferanten, insbesondere an deren technisches und technologisches Know-how und an die Serviceleistung.

**Auftragsfinanzierung:** Zum einen entstehen bereits vor einem Geschäftsabschluss hohe Kosten für die Projektentwicklung und zum anderen erwarten Kunden vom Anbieter mittel- bis langfristige Finanzierungskonzepte. Somit stellen die Kosten des Lieferanten einen hohen Stellenwert dar, welche es bei der Vorauswahl zu berücksichtigen gilt.

**Diskontinuität:** Die Beschaffung ist quantitativ hohen Schwankungen ausgesetzt, sodass Unternehmen des Anlagen- und Maschinenbaus häufig einen geringen Stellenwert bei den Lieferanten einnehmen, da keine festen und langfristigen Abnahmemengen realisiert werden können. Durch die ungünstige Machtverteilung sollte die Kooperationsbereitschaft einen hohen Stellenwert in der Vorauswahl der Lieferanten einnehmen.

**Unternehmen als Generalunternehmer:** Der Wunsch des Kunden, alles aus einer Hand zu bekommen, zwingt Unternehmen der Branche dazu, die Rolle des Generalunternehmers einzunehmen. Qualitative Mängel und Zeitverzögerungen werden also dem Unternehmen zugesprochen, sodass eine gründliche Auswahl der Lieferanten bezüglich Qualität und Ruf erforderlich ist, um das Image des eigenen Unternehmens nicht zu gefährden.

---

<sup>11</sup> Charakteristik zusammengefasst aus Voigt 2010, S. 24ff., Narr 2013, S. 13ff., Ernst 2001, S. 26ff.

## 5.7 Erläuterungen zu den identifizierten Lieferantenrisiken

Die Studie der Fraunhofer Gesellschaft und die Aussagen des PA haben verdeutlicht, dass Lieferverzögerungen aufgrund ungesicherter **Lieferantenkapazitäten** ein großes Risiko für Unternehmen des Anlagen- und Maschinenbaus darstellen. Dabei wird ein direkter Zusammenhang zwischen der Fertigungstiefe und Lieferverzögerungen durch ungenügende Kapazitäten beim Lieferanten gesehen<sup>12</sup>. Lieferverzögerungen können zu einer Verzögerung des gesamten Projektes führen und damit die Kosten, z. B. durch Vertragsstrafen, beeinflussen.

Aus der Langfristigkeit eines Projektes, welches sich gegebenenfalls über mehrere Jahre erstrecken kann, können sich Änderungen bezüglich der Spezifikationen des Beschaffungsobjektes von Seiten des Kunden oder Änderungen bezüglich der Rahmenbedingungen des Exportlandes ergeben. Können Lieferanten nicht flexibel auf diese Änderungen reagieren, kann es zu Lieferverzögerungen kommen oder schlimmstenfalls zur Nicht-Erfüllung der Leistung. Auch besteht hier das Risiko, dass die zusätzlichen Kosten des Lieferanten auf das Unternehmen umgeschlagen werden. Es sind also zusammenfassend **Flexibilitätsrisiken** zu betrachten, welche sich sowohl auf die Projektzeit als auch auf die Projektkosten auswirken können.

Lieferanteninsolvenzen können die gesamte Lieferkette betreffen und haben nicht nur den Ausfall von Teilen zur Folge. Der Lieferausfall kann außerdem zu Produktionsstörungen sowie zu Zeit- und Ressourcenverlusten führen, aber auch Garantieleistungen sowie die Ersatzteilversorgung sind gefährdet und können in höheren Kosten resultieren. Das **Insolvenzrisiko** sollte demnach ein wichtiger Betrachtungsgegenstand bei der Risikobewertung darstellen.

**Länderrisiken** entstehen zum einen durch die globale Ausrichtung der Unternehmen, um Kostensenkungspotentiale zu nutzen und zum anderen durch Local-Content-Anforderungen des Exportlandes. Das Länderrisiko fasst einige Einzelrisiken zusammen, die Auswirkungen auf die Zeit und die Kosten des Anlagen- und Maschinenbauprojekts haben können, wie Währungsschwankungen, Naturkatastrophen, politische Stabilität und Rahmenbedingungen, Qualitätsverständnis, Kultur, Durchsetzbarkeit von Rechten usw. im jeweiligen Beschaffungsland.

**Qualitätsrisiken** treten auf, wenn durch individuelle Lieferantenfehler Produktionsinputs nicht den erforderlichen qualitativen Spezifikationen entsprechen.<sup>13</sup> Besonders eine mangelnde Qualitätskontrolle könnte hierfür eine Ursache sein.<sup>14</sup> Dies kann zur Folge haben, dass die fehlerhaften Produkte nachgearbeitet oder die Teile neu beschafft werden müssen, was sich negativ auf die Zeit und Kosten des Projektes auswirken können.

Grund für eine unzureichende Qualität der zu beschaffenden Teile könnten instabile Fertigungsprozesse beim Lieferanten sein<sup>15</sup>. Außerdem können Risiken aufgrund von Störungen beim Informationsfluss entstehen<sup>16</sup>, die Auswirkungen auf die Größen Kosten und Zeit haben können. **Prozessrisiken** sollten somit in der Risikobewertung der Lieferanten Berücksichtigung finden.

---

<sup>12</sup> Vgl. Schatz et al. 2010, S. 40.

<sup>13</sup> Vgl. Matook et al. 2009, S. 244.

<sup>14</sup> Vgl. Schatz et al. 2010, S. 41.

<sup>15</sup> Vgl. Schatz et al. 2010, S. 43.

<sup>16</sup> Vgl. Borkenhagen/Lasch 2011, S. 4.

**Preisrisiken** entstehen durch einen unvorhergesehenen Anstieg des Teilepreises durch den Lieferanten<sup>17</sup>, z. B. durch Änderungen an den Teilespezifikationen. Dies hat einen direkten Einfluss auf die Kosten des zu beschaffenden Teils.

---

<sup>17</sup> Vgl. Borkenhagen/Lasch 2011, S. 4.

## 5.8 Liste der Indikatoren

In der folgenden Tabelle sind die Indikatoren zu den jeweiligen Risiken dargestellt. Zusätzlich sind die Informationsquellen (Lieferant-A steht für Lieferantenaudit, Lieferant-SA steht für Lieferantenselbstauskunft) und die Indikatorenwirkungen auf das Lieferantenrisiko gegeben<sup>18</sup>

Risiko	Indikator	Beschreibung	Informationsquelle	Wirkung
Kapazitätsrisiko (KR)	Kapazitätsauslastung Fertigung	Verfügt der Lieferant über die notwendigen Anlagen, um antizipierte Bedarfe zu decken? Eine sehr hohe Auslastung verhindert u.U. die Erfüllung der Bedarfsmenge.	Lieferant - A	Je höher Indikator, desto höher das KR
	Kapazitätsauslastung Personal	Verfügt der Lieferant über das notwendige Personal, um antizipierte Bedarfe zu decken? Eine sehr hohe Mitarbeiterauslastung verhindert u.U. die Erfüllung der Bedarfsmengen.	Lieferant - A	Je höher Indikator, desto höher das KR
	Lagerkapazität Endprodukte	Wie lange kann der Lieferant Bedarfe aus seinem Endlager heraus decken? Je höher die Lagerreichweite im Endlager, desto mehr kann der Lieferant interne Produktionsverzögerungen durch Lagerbestände ausgleichen.	Lieferant - SA	Je höher Indikator, desto höher das KR
	Lagerkapazität Material	Wie lange kann der Lieferant seine Materialbedarfe aus seinem Materiallager heraus decken? Je höher die Lagerreichweite im Materiallager, desto unabhängiger ist der Lieferant von Untertierlieferanten bzw. Materialengpässen.	Lieferant - SA	Je höher Indikator, desto höher das KR
	Reifegrad der Technologie	In welchem Entwicklungsstadium befindet sich die Technologie? Je höher der Reifegrad einer Technologie, umso zuverlässiger kann er die geforderte Ausbringungsmenge produzieren.	Lieferant - A	Je höher Indikator, desto geringer das KR

<sup>18</sup> Vergleiche hierzu Narr 2013, S. 223ff., Locker/ Grosse-Ruyken. 2013, S. 195, Disselkamp/Schüller 2004, Jung et al. 2011, S. 612ff., Krampf 2014, S.52. Zusätzlich wurden Indikatoren des PA hinzugefügt.

Flexibilitätsrisiko (FR)	Flexibilität bei der Kapazitätsaufstockung	Wie leicht fällt es dem Lieferanten, seine Kapazitäten zu erhöhen? Je kontinuierlicher bereits gearbeitet wird, desto schwerer fällt dem Lieferanten die Steigerung der Ausbringungsmenge durch Änderung des Schichtbetriebs.	Lieferant - SA	Je höher Indikator, desto geringer das FR
	Flexibilität bezügl. Spezifikationsänderungen	Kann der Lieferant flexibel auf kurzfristige Änderungen reagieren? Die Bereitschaft, Spezifikationsänderungen auch kurzfristig durchzuführen, weist auf eine gute Flexibilität hin.	Lieferant - SA	Je höher Indikator, desto geringer das FR
Insolvenzrisiko (IR)	Bonität	Verfügt der Lieferant nicht über ausreichend liquide Mittel oder kann er keinen Gewinn mehr erwirtschaften, besteht das Risiko der Insolvenz.	Auskunfteien wie Creditreform, D&B, S&P, Fitch, Moody's	Je höher Indikator, desto geringer das IR
	Entwicklung der Mitarbeiterzahl	Fluktuation oder Mitarbeiterabbau können ein Hinweis auf wirtschaftliche Probleme im Unternehmen sein.	Lieferant - SA	Je besser Indikator, desto geringer das IR
	Gewinneinbruch	Wie stellt sich die Erfolgssituation des Lieferanten dar? Ein Gewinneinbruch deutet auf Probleme bezüglich der Ertragskraft im Unternehmen hin.	Lieferant - Bilanz	Je besser Indikator, desto geringer das IR
	Politische und wirtschaftliche Stabilität	Stabile politische Systeme implizieren Verlässlichkeit in die politischen und rechtlichen Verfahren sowie dass staatliche Entscheidungen nachvollziehbar und vorhersehbar sind. Bei hohem Risiko besteht die Gefahr, dass selbst zuverlässige Lieferanten auf Grund von äußeren Einflüssen nicht liefern können.	Recherche siehe Anhang 5.4	Je höher Indikator, desto geringer das LR
Qualitätsrisiko (QR)	Gefahr von Naturkatastrophen/ Terror	Befindet sich der Lieferant in einem Land mit einer hohen Katastrophen- bzw. Terrorgefahr (z.B. durch Flut, Tsunami, Erdbeben)?	Recherche siehe Anhang 5.4	Je höher Indikator, desto höher das LR
	Zertifikate	Sind alle erforderlichen bzw. zusätzliche Zertifikate vorhanden?	Lieferant - SA	Je mehr Zertifikate, desto geringer QR
	Patente	Hat der Lieferant relevante Patente? Patente schließen auf gute	Lieferant - SA	Je mehr Patente,

	Kenntnisse mit dem Verfahren oder dem Produkt.		desto geringer QR
Garantien/Gewährleistungen	Welche Garantieleistungen bietet der Lieferant? Garantiezusagen generieren ein höheres Vertrauen in die Leistungsfähigkeit des Lieferanten.	Lieferant - SA	Je besser die Garantieleistung, desto geringer das QR
Qualitätssicherungssystem	Für die langfristige Sicherung der Produktqualität, sollte der Lieferant über durchgängige Qualitätssicherungssysteme verfügen.	Lieferant - A	Je besser das QSS, desto geringer QR
Landestypische Qualitätsstandards	Welches Qualitätsverständnis herrscht am Standort des Lieferanten.	Recherche siehe Anhang 5.4	Je näher Standard an eigenen Vorstellungen, desto geringer QR
Aussage von Referenzen	Welche Bewertung geben Referenzkunden des Lieferanten? Haben Referenzkunden gute Erfahrungen mit dem Lieferanten gemacht, ist das ein Indikator für gute qualitative Leistungen des Lieferanten.	Referenzen	Je besser die Aussagen, desto geringer das LR
Aussagekräftige Referenzen	Sind die angegebenen Referenzkunden anspruchsvolle Kunden? Wenn Lieferanten den Ansprüchen qualitätsbewusster Kunden genügen, kann auf ein geringes Qualitätsrisiko geschlossen werden.	Lieferant - SA	Je mehr Referenzen, desto geringer das QR
Erfahrungen mit Prozessen/ Komponenten des Abnehmers	Wie gut beherrscht der Lieferant die Fertigung gemäß den vorgegebenen Spezifikationen? Langjährige Erfahrungswerte mit bestimmten Bauteilen verhindert die Fehlerwiederholung und erhöht das Fertigungs-Know-how.	Lieferant- A	Je höher Indikator, desto geringer das PR
Know-how Materialverwendung/-bezug	Wie viel Erfahrung hat der Lieferant mit dem verwendeten Material? Langjährige Erfahrungswerte mit bestimmten Materialien verhindert die Fehlerwiederholung.	Lieferant- A	Je höher Indikator, desto geringer das PR
Vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen	Wie gut stellt der Lieferant die Funktionsfähigkeit der Maschinen mit vorbeugenden Instandhaltungsmaßnahmen sicher? Eine regelmäßige Instandsetzung reduziert das Risiko eines unvorhersehbaren Ma-	Lieferant- A/ Lieferant - SA	Je besser die Instandhaltungsmaßnahmen, desto ge-

		schinenausfalls.		ringer PR
Preisrisiko (PrR)	Steigende Rohmaterialkosten	Wie ist die Volatilität der Rohmaterialpreise auf dem Markt und können diese Preise an den Kunden weitergegeben werden?	Recherche siehe Anhang 5.4	Je geringer Indikator, desto geringer das PrR
	Währungsschwankungen	Welchen Schwankungen unterliegt der Wechselkurs? Externer Einfluss auf die Kosten der Beschaffung.	Recherche siehe Anhang 5.4	Je höher Indikator, desto höher das PrR
	Kostenerhöhung durch Auftragsänderungen	Werden die Änderungen an Spezifikationen an den Kunden übertragen?	Vertragsgestaltung	Keine Festlegung im Vertrag, höheres PrR

## 6 Literatur

- Aissaoui, N.; Haouari, M.; Hassini, E. (2007): Supplier Selection and lot sizing modeling: a review. *Computer and Operations Research*, 34(12), S. 3516-3540, 2007.
- Alt, R. Legner, C.; Österle, H. (2005): Virtuelle Organisation - Konzept, Realität und Umsetzung. In: HMD - Praxis der Wirtschaftsinformatik (42), H. 242, 2005, S. 7-20.
- Alfen, H. W.; Riemann, A.; Leidel, K.; Daube, D.; Frank-Jungbecker, A.; Gleißner, W.; Wolfrum, M. (2010): Lebenszyklusorientiertes Risikomanagement für PPP-Projekte im öffentlichen Hochbau: Abschlussbericht zum Forschungsprojekt. Schriftenreihe der Professur Betriebswirtschaftslehre im Bauwesen, Bauhaus-Universität Weimar, 2010.
- Appelfeller, W.; Buchholz, W. (2011): Supplier Relationship Management - Strategie, Organisation und IT des modernen Beschaffungsmanagements. Gabler Verlag, 2. Auflage, Wiesbaden, 2011.
- BME (2006): Leitfaden zur Internationalisierung der Beschaffung. Download: [http://www.bme.de/fileadmin/bilder/YP/fachthemen/einkauf\\_und\\_logistik/leitfaden\\_zur\\_internationalisierung\\_der\\_beschaffung.pdf](http://www.bme.de/fileadmin/bilder/YP/fachthemen/einkauf_und_logistik/leitfaden_zur_internationalisierung_der_beschaffung.pdf) (abgerufen am 01.07.2014), 2006.
- Borkenhagen, S.; Lasch, R. (2011): Entwicklung eines Ansatzes zur Bewertung von Lieferantenrisiken unter Einsatz des Analytic Network Process (ANP). In: Sucky, E., Asdecker, B., Dobhan, A., Haas, S., Wiese, J. (Hrsg.): Logistikmanagement – Herausforderungen, Chancen und Lösungen, Band 1, University of Bamberg Press, Bamberg, 2011.
- De Boer, L.; Labro, E.; Morlacchi, P. (2001): A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing and Supply Chain*, 7 (2), S. 75-89, 2001.
- Deb, K.; Pratap, A.; Agarwal, S.; Meyarivan, T. (2002): A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, 6(2), 182-197.
- Disselkamp, M.; Schüller, R. (2004): Lieferantenrating- Instrumente, Kriterien, Checklisten. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2004.
- Ernst, M. (2002): Beschaffungsmanagement eines Anlagenbauers in globalisierten Märkten. Shaker Verlag, Aachen, 2002.
- Hinkle, C. L.; Robinson, P. J.; Green, P. E. (1969): Vendor evaluation using cluster analysis. *Journal of Purchasing*, 5 (3), S. 49-58, 1969.
- Holt, G. D. (1998): Which contractor selection methodology? *International Journal of Project Management*, 16 (3), S. 153-164, 1998.
- Jakoby, W. (2013): Projektmanagement für Ingenieure- Ein praxisnahes Lehrbuch für den systematischen Projekterfolg. Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2013.
- Janker, C. G. (2008): Multivariate Lieferantenbewertung – Empirisch gestützte Konzeption eines anforderungsgerechten Bewertungssystems. Deutscher Universitäts-Verlag/ GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2008.
- Jharkharia, S.; Shankar, R. (2007): Selection of logistics service provider: An analytic network process (ANP) approach. *Omega*, 35(3), 274-289.

- Jung, K.; Lim, Y.; Oh, J. (2001): A Model for Measuring Supplier Risk: Do Operational Capability Indicators Enhance the Prediction Accuracy of Supplier Risk? *British Journal of Management*, Vol 22, 609-627, 2001.
- Kampker, A.; Schuh, G.; Kupke, D. (2010): Production Network Design: Vorgehensweise zur systematische Konfiguration von Produktionsnetzwerken. In: *wt Werkstattstechnik online* (100), H. 4, 2010, S. 259-263.
- Krampf, P. (2014): *Beschaffungsmanagement- Eine praxisorientierte Einführung in Materialwirtschaft und Einkauf*. Vahlen, 2. Auflage, München, 2014.
- Lanza, G.; Ude, J.; Dorner, M. (2010): Simulation globaler Wertschöpfungsnetzwerke: Modellbeschreibung zur quantitativen Bewertung und Risikoanalyse. In: *wt Werkstattstechnik online* (100), H. 4, 2010, S. 271-276.
- Lasch, R. (2014): *Strategisches und operatives Logistikmanagement: Prozesse*. Springer Gabler, Wiesbaden, 2014.
- Lasch, R.; Janker, C. G. (2007): Risikoorientiertes Lieferantenmanagement. In: Vahrenkamp, R.; Siepermann, M. (Hrsg.): *Risikomanagement in Supply Chains: Gefahren abwehren, Chancen nutzen, Erfolg generieren*. Erich Schmidt Verlag, Berlin, S. 111-132, 2007.
- Li, M.; Wu, G. (2014). Robust Optimization for Time-Cost Tradeoff Problem in Construction Projects. In *Abstract and Applied Analysis* (Vol. 2014). Hindawi Publishing Corporation.
- Locker, A.; Grosse-Ruyken, P. T. (2013): *Chefsache Finanzen in Einkauf und Supply Chain- Mit Strategie-, Performance- und Risikokonzepten Millionenwerte schaffen*. Springer Gabler, Wiesbaden, 2013.
- Masi, D.; Micheli, G. J. L.; Cagno, E. (2013): A meta-model für choosing a supplier selection technique within an EPC company. *Journal of Purchasing and Supply Chain*, 19, S. 5-15, 2013.
- Matook, S.; Lasch R.; Tamaschke R. (2009): "Supplier development with benchmarking as part of a comprehensive supplier risk management framework." *International Journal of Operations & Production Management* 29.3 (2009): 241-267.
- Meinhardt, I.; Sunarjo, F.; Marquardt, H. (2005): Bestimmung des stochastischen Zeitverhaltens in Supply Chains. In: *Logistics Journal*, Vol. 2005, Iss. November, S. 1-11.
- Müller, E. (2006): SFB 457 – Hierarchielose regionale Produktionsnetze: Theorien, Modelle, Methoden und Instrumentarien. In: *Vernetzt planen und produzieren: VPP 2006*: Müller, E.; Spanner-Ulmer, B. (Hrsg.). Chemnitz: Technische Universität Chemnitz, Institut für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme, 2006, S. 11-30.
- Narr, C. (2013): *Kooperatives Lieferantenmanagement im Maschinen- und Anlagenbau*. Apprimus Wissenschaftsverlag, Aachen, 2013.
- Ng, S. T.; Skitmore, R. M. (1995): CP-DSS: decision support system for contractor pre-qualification. *Civil Engineering Systems: decision Making Problem Solving*, 12(2), S. 133-160, 1995.
- Nyhuis, P.; Nickel, R.; Tullius, K. (2008): Einleitung. In: Nyhuis, P.; Nickel, R.; Tullius, K. (Hrsg.): *Globales Varianten Produktionssystem*, PZH Produktionstechnisches Zentrum GmbH, Garbsen 2008, S. 11-26.

- Oedekoven, D.; Osterloh, J. (2008): Net-Check: Wie gut ist Ihr Produktionsnetzwerk? In: UdZ Unternehmen der Zukunft - FIR-Zeitschrift für Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung (2008), H. 1, S. 27-29.
- Oliver Wyman: Studie „Risikomanagement im Einkauf“. Download: [http://www.oliverwyman.de/media/ManSum\\_Charts\\_Supplier\\_Risk.pdf](http://www.oliverwyman.de/media/ManSum_Charts_Supplier_Risk.pdf) (abgerufen am 28.07.2014), 2009.
- Olsen, R. F.; Ellram, L. M. (1997): A Portfolio Approach to Supplier Relationships. *Industrial Marketing Management*, 26, S. 101-113, 1997.
- Ossimitz, G. (2001): Einführung in die Netzplantechnik, Universität Klagenfurt, URL: [www.aitbiz.com/koch/dokumente/PM/Allgemeines/netzplan.pdf](http://www.aitbiz.com/koch/dokumente/PM/Allgemeines/netzplan.pdf), zuletzt abgerufen am 15.02.2015.
- Petermann, L.; Kaverinski, S. (2011): Trends und Entwicklungen in der Schüttgutförderertechnik. In: Krause, F.; Günther, W.; Kattfeld, A. (Hrsg.): Tagungsbericht Fachtagung Schüttgutförderertechnik 2011, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 14.-15. September 2011, Magdeburg 2011.
- Peters, M.; Zelewski, S. (2008): Der Analytic Network Process (ANP) als Technik zur Lösung multikriterieller Entscheidungsprobleme unter Berücksichtigung von Abhängigkeiten zwischen Kriterien. *Wirtschaftswissenschaftliches Studium*, 37. Jahrgang, Heft 9.
- Prinz, A.; Ost, S. (2010): Schlussbericht "NetPIAn": Durchgängiges, methodengestütztes Verfahren für die "Netzwerk-Planung und -Analyse" produzierender KMU zur Senkung der Gesamtkosten durch optimierte Konfiguration und Wertschöpfungsstrukturen (NetPIAn). Stuttgart, 2010.
- Piontek, J. (2004): Beschaffungs-Controlling. Oldenbourg Verlag, 3. Auflage, 2004.
- Saaty, T. L. (1990): How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, Volume 48, Issue 1, 5 September 1990, S. 9–26.
- Schatz, A.; Mandel J.; Hermann M. (2010): Studie Risikomanagement in der Beschaffung 2010: Eingesetzte Strategien und Methoden, organisatorische Verankerung, Bedeutung und Reifegrad des Risikomanagements in der Beschaffung in der Industrie; Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart 2010.
- Schuh, G.; Hoppe, M.; Schubert, J.; von Mangoldt, J. (2014): Lieferantenauswahl. In: Schuh, G. (Hrsg.): Einkaufsmanagement – Handbuch Produktion und Management 7, 2. Auflage, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2014.
- Schmidt, C.; Schweicher, B.; Walber, B.; Wienholdt, H. (2008): Referenzmodell überbetrieblicher Koordinationsprozesse. In: SCHUH, G. (Hrsg.): Effiziente Auftragsabwicklung mit myOpenFactory, Carl Hanser Verlag, München Wien 2008, S. 73-88.
- Sen, C. G.; Sen, S.; Basligil, H. (2010): Pre-Selection of supplier through an integrated fuzzy analytical hierarchy process and max-min methodology. *International Journal of Production Research*, Vol. 48, No. 6, S. 1603-1625, 2010.
- Sibbertsen, P.; Lehne, H. (2012): Statistik: Einführung für Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler. Springer-Verlag, Heidelberg, 2012.

- Spath, D.; Hirsch-Kreinsen, H.; Kinkel, S. (2008): Organisatorische Wandlungsfähigkeit produzierender Unternehmen - Unternehmenserfahrungen, Forschungs- und Transferbedarfe, Fraunhofer IAO, Stuttgart 2008.
- Sydow, J. (2010): Management von Netzwerkorganisationen – Zum Stand der Forschung. In: Sydow, J. (Hrsg.): Management von Netzwerkorganisationen, 5. Auflage, Gabler, Wiesbaden 2010, S. 373-470.
- Sydow, J.; Möllering, G. (2004): Produktion in Netzwerken – Make, Buy & Cooperate, Verlag Franz Vahlen, München 2004
- Timmerman, E. (1986): An Approach to vendor performance evaluation. *Journal of purchasing and Supply Management*, 22(4), S. 543-552, 1986.
- Thurow, M.; Kleinbauer, M.; Urbansky, A. (2006): Der Kooperationslebenszyklus im Anlagenbau. In: Schenk, M.: Branchenleistungsverzeichnis und Kundenmanagement im Anlagenbau. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2006.
- Voigt, K.-I. (2010): Risikomanagement im Anlagenbau: Konzepte und Fallstudien aus der Praxis. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2010.
- Wienholdt, H.; Schmidt, C.; Schweicher,, B.; Walber, B. (2008): Grundlagen der überbetrieblichen Auftragsabwicklung. In: Schuh, G. (Hrsg.): Effiziente Auftragsabwicklung mit myOpenFactory, Carl Hanser Verlag, München Wien 2008, S. 6-30.
- Yang, J.; Mattfeld, D. (2007): Entscheidungsunterstützung für die Ressourcenallokation im internationalen Großanlagenbau. In: GÜNTHER, H.-O. / MATTFELD, D. / SUHL, L. (Hrsg.): Management logistischer Netzwerke, Physica-Verlag, Heidelberg 2007.
- Zawisla, T.: Risikoorientiertes Lieferantenmanagement. TCW Transfer-Centrum GmbH & Co. KG, München, 2008.
- Zschorn, L. (2007): Quantifizierung von Unsicherheiten in auftragsbezogenen Produktionsnetzen, Diss., Technische Universität Chemnitz, Chemnitz 2007.