

Band 17 \_ PRODUKTION UND ENERGIE

Konrad Zimmer

ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNG ZUR  
AUSWAHL UND STEUERUNG VON LIEFERANTEN  
UND LIEFERKETTEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG  
VON NACHHALTIGKEITSASPEKTEN



Scientific  
Publishing



Konrad Zimmer

**Entscheidungsunterstützung zur Auswahl und  
Steuerung von Lieferanten und Lieferketten unter  
Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten**

## PRODUKTION UND ENERGIE

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion  
Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung

Band 17

Eine Übersicht aller bisher in dieser Schriftenreihe  
erschienenen Bände finden Sie am Ende des Buches.

# **Entscheidungsunterstützung zur Auswahl und Steuerung von Lieferanten und Lieferketten unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten**

von  
Konrad Zimmer

Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, 2016  
Referenten: Prof. Dr. rer. pol. Frank Schultmann  
Prof. Dr. rer. pol. Martin Klarmann

#### Impressum



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
KIT Scientific Publishing  
Straße am Forum 2  
D-76131 Karlsruhe

KIT Scientific Publishing is a registered trademark of Karlsruhe  
Institute of Technology. Reprint using the book cover is not allowed.

[www.ksp.kit.edu](http://www.ksp.kit.edu)



*This document – excluding the cover, pictures and graphs – is licensed  
under the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 DE License  
(CC BY-SA 3.0 DE): <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/>*



*The cover page is licensed under the Creative Commons  
Attribution-No Derivatives 3.0 DE License (CC BY-ND 3.0 DE):  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/de/>*

Print on Demand 2016

ISSN 2194-2404

ISBN 978-3-7315-0537-2

DOI 10.5445/KSP/1000055548







# Entscheidungsunterstützung zur Auswahl und Steuerung von Lieferanten und Lieferketten unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten

Zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Wirtschaftswissenschaften  
(Dr. rer. pol.)

von der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften  
des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

genehmigte  
DISSERTATION  
von  
Dipl.-Wi.-Ing. Konrad Zimmer

Tag der mündlichen Prüfung: 18. Mai 2016

Referent: Prof. Dr. rer. pol. Frank Schultmann

Korreferent: Prof. Dr. rer. pol. Martin Klarmann



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>v</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>xi</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>xvii</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung .....	1
1.2 Zielsetzung und Forschungsfrage.....	3
1.3 Lösungsweg.....	5
<b>2 Nachhaltigkeit in der Lieferkette als Herausforderung für Unternehmen .....</b>	<b>9</b>
2.1 Theoretische Grundlagen zum Begriff der Nachhaltigkeit.....	9
2.1.1 Definition und Entwicklung der Nachhaltigkeit .....	9
2.1.2 Dimensionen von Nachhaltigkeit .....	12
2.1.3 Unternehmerische Nachhaltigkeit.....	14
2.1.4 Stakeholder und deren Ansprüche .....	17
2.2 Auslöser und Treiber unternehmerischer Nachhaltigkeit.....	18
2.2.1 Externe Treiber unternehmerischer Nachhaltigkeit .....	19
2.2.2 Interne Treiber unternehmerischer Nachhaltigkeit .....	24
2.2.3 Reputations- und Nachhaltigkeitsrisiken.....	25
2.3 Nachhaltigkeit im Lieferantenmanagement .....	28
2.3.1 Verständnis des (nachhaltigen) Lieferantenmanagements .....	28
2.3.2 Bedeutung des (nachhaltigen) Lieferantenmanagements .....	33
2.3.3 Aufgaben des (nachhaltigen) Lieferantenmanagements .....	34
2.3.4 Verständnis und Ebenen der Nachhaltigkeitsleistung .....	48
<b>3 Modelle zur Entscheidungsunterstützung im nachhaltigen Lieferantenmanagement.....</b>	<b>53</b>
3.1 Entscheidungsunterstützende Modelle .....	54
3.1.1 Eingrenzung publizierter Ansätze .....	55
3.1.2 Gruppierung und Kategorisierung publizierter Ansätze .....	57
3.1.3 Literaturanalyse anhand der Gruppen und Kategorien.....	63
3.1.4 Forschungsbedarf .....	83

3.2	Modelle zur Abschätzung von Nachhaltigkeitsrisiken.....	87
3.2.1	Abschätzung ökonomischer Risiken der Lieferkette.....	88
3.2.2	Methoden der Lebenszyklusanalyse zur Abschätzung von Nachhaltigkeitsrisiken.....	89
3.2.3	Abschätzung ökologischer und sozialer Risiken in Theorie und Praxis.....	92
3.2.4	Forschungsbedarf .....	96
3.3	Schlussfolgerungen .....	99
3.3.1	Auswahl von Methoden für die Entwicklung des Risikomodells.....	102
3.3.2	Auswahl von Methoden für die Entwicklung des Leistungsmodells.....	107
<b>4</b>	<b>Mathematische Grundlagen des Risiko- und Leistungsmodells .....</b>	<b>115</b>
4.1	Input-Output-Analyse.....	115
4.1.1	Grundmodelle der Input-Output-Analyse .....	115
4.1.2	Herleitung der Zusammenhänge einer Input-Output-Tabelle .....	116
4.1.3	Mathematische Herleitung des Mengen- und Preismodells.....	119
4.1.4	Multiregionale Input-Output-Tabellen .....	123
4.2	Grundlagen zur Fuzzy-Set-Theorie .....	125
4.3	Ermittlung von Kriteriengewichtungen mit Hilfe des Fuzzy Analytic Hierarchy Process .....	129
4.4	(Fuzzy) PROMETHEE zur Bestimmung von Rangfolgen.....	137
4.4.1	PROMETHEE.....	142
4.4.2	Fuzzy PROMETHEE.....	144
<b>5</b>	<b>Entwicklung und Anwendung des Risikomodells am Beispiel eines Automobilherstellers .....</b>	<b>149</b>
5.1	Entwicklung und Aufbau der Datenbasis .....	149
5.1.1	Risikokriterien und -ausprägungen.....	149
5.1.2	Entwicklung einer Präferenzfunktion mit Nachhaltigkeitsexperten der Automobilindustrie.....	159
5.1.3	Bestimmung globaler Gewichtungen der Risikokriterien.....	168
5.1.4	Auswahl einer multiregionalen Input-Output-Tabelle.....	172
5.2	Methodik zur Berechnung ökologischer und sozialer Risiken von Lieferanten .....	173
5.2.1	Mathematische Formulierung der Berechnungsmethodik bei vollständig bekannter vorgelagerter Lieferkette .....	178
5.2.2	Mathematische Formulierung der Berechnungsmethodik bei vollständig unbekannter vorgelagerter Lieferkette .....	182

5.2.3	Mathematische Formulierung der Berechnungsmethodik bei teilweise bekannter vorgelagerter Lieferkette .....	187
5.3	Implementierung des Risikomodells .....	189
5.4	Anwendung des Risikomodells am Beispiel der Vergaben eines Automobilherstellers .....	193
5.4.1	Vorstellung der Fallstudie .....	194
5.4.2	Ergebnisse und Analyse der Fallstudie .....	197
5.4.3	Sensitivitätsanalyse der Fallstudienenergebnisse .....	210
5.5	Zusammenfassung und kritische Würdigung des Risikomodells .....	222
<b>6</b>	<b>Entwicklung und Anwendung des Leistungsmodells am Beispiel     eines Automobilherstellers .....</b>	<b>225</b>
6.1	Entwicklung eines Fragenkatalogs .....	225
6.2	Festlegung der Präferenzfunktionen und Schwellenwerte.....	228
6.3	Bestimmung von Gewichtungen zur Aggregation der Kriterienausprägungen .....	229
6.4	Implementierung des Leistungsmodells .....	238
6.5	Anwendung des Leistungsmodells am Beispiel der Auswahl eines Stahllieferanten .....	239
6.5.1	Vorstellung der Fallstudie .....	239
6.5.2	Ergebnisse und Analyse der Fallstudie .....	239
6.5.3	Sensitivitätsanalyse des Fallstudienenergebnisses .....	244
6.6	Zusammenfassung und kritische Würdigung des Leistungsmodells .....	252
<b>7</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>255</b>
7.1	Zusammenfassung der Forschungsergebnisse .....	255
7.2	Beantwortung der Forschungsfragen .....	259
7.3	Ausblick .....	262
<b>A.</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>265</b>
A.1	Daten des Risikomodells .....	265
A.2	Daten des Leistungsmodells .....	269
<b>B.</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>285</b>



# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1:	Aufbau der Arbeit .....	7
Abbildung 2.1:	Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit .....	12
Abbildung 2.2:	Konzept der unternehmerischen Nachhaltigkeit .....	17
Abbildung 2.3:	Einflussgrößen auf die Reputation eines Unternehmens.....	27
Abbildung 2.4:	Kernaufgaben des nachhaltigen Lieferantenmanagements .....	35
Abbildung 2.5:	Lieferanteneingrenzung .....	40
Abbildung 2.6:	Ebenen der Nachhaltigkeitsleistung .....	50
Abbildung 3.1:	Klassifikation der Kategorie "Modellierungsansatz" .....	60
Abbildung 3.2:	Kriterienhierarchie relevanter Aspekte im nachhaltigen Lieferantenmanagement .....	61
Abbildung 3.3:	Anzahl an veröffentlichten Modellierungsansätzen seit 1997 .....	64
Abbildung 3.4:	Betrachtete Prozessschritte der analysierten Veröffentlichungen.....	66
Abbildung 3.5:	Verteilung der Modellierungsansätze anhand der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit .....	77
Abbildung 3.6:	Ebenen und Dimensionen der Lebenszyklusanalyse.....	91
Abbildung 3.7:	Schematische Darstellung des Zusammenspiels des Risiko- und Leistungsmodells im Rahmen der Lieferantenauswahl und -steuerung .....	100
Abbildung 3.8:	Unschärfe und Aufwand der Nachhaltigkeitsbewertung in Abhängigkeit vom Modell.....	100
Abbildung 3.9:	Schematische Darstellung des um die Mindestanforderungen erweiterten Zusammenspiels des Risiko- und Leistungsmodells im Rahmen der Lieferantenauswahl .....	101

Abbildung 3.10:	Überblick über die vier Komponenten des Risikomodells.	107
Abbildung 4.1:	Modellierung der Wertschöpfungsstufen einer Lieferkette zur Erfüllung der Endnachfrage mit Hilfe der Neumann-Reihe .....	122
Abbildung 4.2:	Informationszustände in Entscheidungssituationen .....	126
Abbildung 4.3:	Eine Dreiecks-Fuzzy-Zahl und dessen Dreiecks-Zugehörigkeitsfunktion .....	127
Abbildung 4.4:	Die Zugehörigkeitsfunktionen der Dreiecks-Fuzzy-Zahlen .....	130
Abbildung 4.5:	Beispiel einer zweistufigen Kriterienhierarchie zur Strukturierung des Entscheidungsproblems.....	131
Abbildung 4.6:	Vergleich zweier Dreiecks-Fuzzy-Zahlen.....	135
Abbildung 5.1:	Vervollständigung der Risikoindikatoren und Berechnung der Ausprägungen aller ökologischen Risikokriterien auf Sektorebene in Abhängigkeit von der Datenlage .....	152
Abbildung 5.2:	Aufbau des Experiments zur Untersuchung des Zusammenhangs aus Risiko und Vergabevolumen .....	160
Abbildung 5.3:	Regressionsanalyse des Gesamtrisikos einer Vergabe bezogen auf das Risiko der Herkunft und des Wirtschaftssektors des Lieferanten sowie das Vergabevolumen. Dargestellt ist der Bereich 5 bis 1000 Millionen € .....	165
Abbildung 5.4:	Regressionsanalyse des Gesamtrisikos einer Vergabe bezogen auf das Risiko der Herkunft und des Wirtschaftssektors des Lieferanten sowie das Vergabevolumen. Dargestellt ist der Bereich 0 bis 5 Millionen €.....	165
Abbildung 5.5:	Darstellung der zu integrierenden Präferenzfunktion in das Risiko-Modell (logarithmisch) .....	168



Abbildung 5.6:	Spannweiten der maximalen und minimalen ökologischen Individualgewichtungen einzelner Experten im Vergleich zu den Gruppengewichtungen aller Experten .....	171
Abbildung 5.7:	Spannweiten der maximalen und minimalen sozialen Individualgewichtungen einzelner Experten im Vergleich zu den Gruppengewichtungen aller Experten ....	171
Abbildung 5.8:	Überblick über Funktionen, Abläufe und verwendete Datenbanken von SIERRA .....	191
Abbildung 5.9:	Das Cockpit von SIERRA bei der Berechnung einer Lieferkette .....	192
Abbildung 5.10:	Verteilung des Vergabevolumens aller 260 Vergaben auf die Herkunftsländer der Produktionsstandorte der Direktlieferanten .....	195
Abbildung 5.11:	Verteilung des Vergabevolumens aller 260 Vergaben auf die Sektoren der zu liefernden Produkte der Direktlieferanten .....	196
Abbildung 5.12:	Häufigkeit der Vergaben in Abhängigkeit von der Volumenklasse.....	196
Abbildung 5.13:	Durchschnittliche Verteilung des Vergabevolumens aller 260 Vergaben auf die Herkunftsländer der Produktionsstandorte der vorgelagerten Lieferkette .....	198
Abbildung 5.14:	Die 10 größten Veränderungen der Länderverteilung des Vergabevolumens aller Vergaben der vorgelagerten Lieferkette im Vergleich zur Länderverteilung der Direktlieferanten.....	199
Abbildung 5.15:	Durchschnittliche Verteilung des Vergabevolumens aller 260 Vergaben der vorgelagerten Lieferkette auf die Sektoren von Eora .....	199

Abbildung 5.16: Die 10 größten Veränderung der Sektorverteilung des Vergabevolumens aller Vergaben der vorgelagerten Lieferkette im Vergleich zur Länderverteilung der Direktlieferanten.....	200
Abbildung 5.17: Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten und der gesamten Lieferkette aller 260 Vergaben (Aufsteigend sortiert nach den Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten) .....	202
Abbildung 5.18: Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten und der gesamten Lieferkette aller 260 Vergaben (Aufsteigend sortiert nach dem Vergabevolumen) .....	202
Abbildung 5.19: Verteilung der Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten und Lieferketten in Risikoklassen .....	203
Abbildung 5.20: Durchschnittliches Nachhaltigkeitsrisiko der einzelnen Wertschöpfungsstufen .....	204
Abbildung 5.21: Durchschnittliche Risikoausprägungen der Direktlieferanten und Lieferketten aller Vergaben auf Ebene 1, 2 und 4 der Kriterienhierarchie .....	206
Abbildung 5.22: Verhältnis der Summe der ökologischen Kriteriengewichtungen zur Summe der sozialen Kriteriengewichtungen .....	212
Abbildung 5.23: Globale Gewichtungen des Basisszenarios und der weiteren Szenarien 1, 2 und 3 im Vergleich .....	213
Abbildung 5.24: Die 50 höchsten Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten aller 260 Vergaben der Szenarien 1 bis 3 im Vergleich zum Basisszenario (Absteigend nach den Ergebnissen des Basisszenarios sortiert) .....	214
Abbildung 5.25: Verteilung der Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten des Basisszenarios und der Szenarien 1 bis 3 auf Risikoklassen .....	215

Abbildung 5.26:	Die 50 höchsten Nachhaltigkeitsrisiken der Lieferketten aller 260 Vergaben der Szenarien 1 bis 6 im Vergleich zum Basisszenario (Absteigend nach den Ergebnissen des Basisszenarios sortiert) .....	218
Abbildung 5.27:	Mittleres Nachhaltigkeitsrisiko der Lieferketten der 260 Vergaben in Abhängigkeit vom Input-Parameter „Anzahl an Sublieferanten pro Lieferant“ .....	219
Abbildung 5.28:	Verteilung der Nachhaltigkeitsrisiken der Lieferketten aller Szenarien auf Risikoklassen .....	220
Abbildung 6.1:	Verteilung der Leistungsindikatoren auf die Kriterien und Risikolevels .....	226
Abbildung 6.2:	Spannweiten der maximalen und minimalen Individualgewichtungen pro Kriterium im Vergleich zu den jeweiligen Gruppengewichtungen .....	237
Abbildung 6.3:	Grenzwerte der Risikolevel, maximale Ausprägungen aller Risikokriterien und damit ermittelte Risikolevel je Kriterium .....	241
Abbildung 6.4:	Partielle Präordnung nach PROMETHEE I.....	242
Abbildung 6.5:	Vollständige Rangordnung nach PROMETHEE II .....	243
Abbildung 6.6:	Partielle Präordnung nach Fuzzy PROMETHEE I.....	244
Abbildung 6.7:	Vollständige Rangordnung nach Fuzzy PROMETHEE II.....	244
Abbildung 6.8:	Mittels PROMETHEE bzw. Fuzzy PROMETHEE ermittelte Ausgangs-, Eingangs- und Nettoflüsse aller Szenarien der Sensitivitätsanalyse auf Basis der Gewichtsänderungen der neun Bereiche der Kriterien-Hierarchie .....	248
Abbildung 6.9:	Mittels PROMETHEE bzw. Fuzzy PROMETHEE ermittelte Ausgangs-, Eingangs- und Nettoflüsse aller Szenarien der Sensitivitätsanalyse auf Basis der Gewichtsänderungen des Kriteriums „Kosten“ .....	251



# Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Definitionen des Begriffs „Steuerung“ .....	43
Tabelle 3.1:	Überblick veröffentlichter Literaturstudien zur nachhaltigen Lieferantenauswahl .....	55
Tabelle 3.2:	Kategorien zur Klassifizierung der identifizierten Veröffentlichungen.....	59
Tabelle 3.3:	Verteilung der Modellierungsansätze .....	68
Tabelle 3.4:	Anzahl verwendeter Methoden in Abhängigkeit von der Entscheidungssituation .....	69
Tabelle 3.5:	Ergebnisse der Kategorien „Art der Daten“, „Sourcing“, „Modellanwendung“ und „Sensitivitätsanalyse“ .....	71
Tabelle 3.6:	Klassifizierung aller Veröffentlichungen anhand des Modellierungsansatzes und des betrachteten Prozessschritts.....	73
Tabelle 3.7:	Verteilung der ökonomischen Indikatoren auf die Kriterien und Bereiche.....	79
Tabelle 3.8:	Verteilung der ökologischen Indikatoren auf die Kriterien und Bereiche.....	79
Tabelle 3.9:	Verteilung der sozialen Indikatoren auf die Kriterien und Bereiche.....	80
Tabelle 3.10:	Die jeweils zehn am häufigsten verwendeten ökonomischen, ökologischen und sozialen Indikatoren.....	81
Tabelle 3.11:	Überblick über potenzielle zukünftige Forschungsthemen.....	83
Tabelle 3.12:	Überblick über PROMETHEE-Modelle im nachhaltigen Lieferantenmanagement.....	112
Tabelle 4.1:	Schematische Darstellung einer Input-Output-Tabelle.....	118
Tabelle 4.2:	Schematische Darstellung einer multiregionalen Input-Output-Tabelle.....	124

Tabelle 4.3:	Linguistische Fuzzy-Äquivalente der Dreiecks-Fuzzy-Zahlen als Basis für die paarweisen Vergleiche .....	129
Tabelle 4.4:	Werte des Zufallsindex $ZI$ in Abhängigkeit von der Kriterienanzahl.....	133
Tabelle 4.5:	Linguistische Fuzzy-Äquivalente der Dreiecks-Fuzzy-Zahlen sowie deren Notation nach Dubois und Prade (1978).....	146
Tabelle 5.1:	Überblick über die Indikatoren zur Quantifizierung der Ausprägungen der ökologischen Risikokriterien .....	151
Tabelle 5.2:	Überblick über die Indikatoren zur Quantifizierung der Ausprägungen der sozialen Risikokriterien.....	157
Tabelle 5.3:	Fuzzy-Äquivalente der linguistischen Bewertungsmöglichkeiten .....	162
Tabelle 5.4:	Anpassungsgüte der nichtlinearen Approximation an die erfassten Datenpunkte .....	167
Tabelle 5.5:	Globale Gruppen- und Individualgewichtungen aller Risikokriterien sowie die Maxima und Minima aller Individualgewichtungen.....	170
Tabelle 5.6:	Überblick über existierende multiregionale Input-Output-Tabellen.....	173
Tabelle 5.7:	Überblick über die verwendeten Indizes des Risikomodells .....	173
Tabelle 5.8:	Überblick über die verwendeten Parameter und Variablen des Risikomodells .....	174
Tabelle 5.9:	Die 10 kritischsten Direktlieferanten hinsichtlich des Nachhaltigkeitsrisikos .....	207
Tabelle 5.10:	Die 10 kritischsten Lieferketten hinsichtlich des Nachhaltigkeitsrisikos .....	208
Tabelle 5.11:	Die 10 kritischsten Lieferketten hinsichtlich des aggregierten ökologischen Risikos.....	209

Tabelle 5.12:	Die 10 kritischsten Lieferketten hinsichtlich des aggregierten sozialen Risikos.....	209
Tabelle 5.13:	Szenarien zur Untersuchung des Einflusses der Input-Parameter auf die Risikoergebnisse .....	211
Tabelle 5.14:	Korrelationskoeffizienten der Nachhaltigkeitsrisiken der Szenarien 1 bis 3 und dem Basisszenario .....	215
Tabelle 5.15:	Die Produkte mit den höchsten Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten des Basisszenarios und deren Rangänderung in den Szenarien 1 bis 3 .....	216
Tabelle 5.16:	Rangkorrelationskoeffizienten der Nachhaltigkeitsrisiken der Szenarien 1 bis 3 und dem Basisszenario .....	217
Tabelle 5.17:	Korrelationskoeffizienten der Nachhaltigkeitsrisiken der Szenarien 1 bis 3 und dem Basisszenario.....	219
Tabelle 5.18:	Die Produkte mit den höchsten Nachhaltigkeitsrisiken der Lieferketten des Basisszenarios und deren Rangänderung in den Szenarien 1 bis 6 .....	221
Tabelle 5.19:	Rangkorrelationskoeffizienten der Nachhaltigkeitsrisiken der Szenarien 1 bis 3 und dem Basisszenario .....	222
Tabelle 6.1:	Likert-Skala und linguistische Skalen zur Bewertung der qualitativen nicht-binären Indikatoren.....	227
Tabelle 6.2:	Likert- und linguistische Äquivalente zur Überführung quantitativer Indikatoren .....	229
Tabelle 6.3:	Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Fähigkeiten“ .....	231
Tabelle 6.4:	Bereinigte globale Gruppengewichtungen der 3 Dimensionen.....	234
Tabelle 6.5:	Bereinigte Gruppengewichtungen der 9 Bereiche .....	234
Tabelle 6.6:	Bereinigte Gruppengewichtungen der 43 Kriterien .....	235
Tabelle 6.7:	Überblick potenzieller Stahllieferanten .....	239

Tabelle 6.8:	Präferenzindizes sowie Ausgangs- und Eingangsflüsse aller Lieferanten.....	242
Tabelle 6.9:	Präferenzindizes sowie Ausgangs- und Eingangsflüsse aller Lieferanten.....	243
Tabelle 6.10:	Szenarien zur Untersuchung des Einflusses der Gewichtungen auf die Rangfolgen.....	246
Tabelle A.1:	Überblick über die Effizienzwerte und Korrekturfaktoren zur Überführung der Länderindikatoren in Land-Sektor-Indikatoren .....	265
Tabelle A.2:	Liste der verfügbaren Länder der multi-regionalen Input-Output-Tabelle Eora.....	266
Tabelle A.3:	Ergebnis der Befragung von Nachhaltigkeitsexperten zur Untersuchung des Zusammenhangs der Variablen „Risiko“ und „Vergabevolumen“ und „Gesamtrisiko“ .....	267
Tabelle A.4:	Defuzzifizierte Ergebnisse der Befragung von Nachhaltigkeitsexperten zur Untersuchung des Zusammenhangs der Variablen „Risiko“ und „Vergabevolumen“ und „Gesamtrisiko“ .....	268
Tabelle A.5:	Überblick über alle Indikatoren des Leistungsmodells .....	269
Tabelle A.6:	Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Nachhaltigkeit“ .....	278
Tabelle A.7:	Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Ökonomische Aspekte“ .....	278
Tabelle A.8:	Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Ökologische Aspekte“ .....	278
Tabelle A.9:	Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Soziale Aspekte“ .....	278
Tabelle A.10:	Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Management und Organisation“ .....	279
Tabelle A.11:	Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Finanzielle Leistung“ .....	279



Tabelle A.12:	Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Fähigkeiten“ .....	279
Tabelle A.13:	Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Externe Wahrnehmung“ .....	279
Tabelle A.14:	Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Umweltpraktiken“ .....	280
Tabelle A.15:	Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Umweltleistung“ .....	280
Tabelle A.16:	Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Interne soziale Praktiken“ .....	280
Tabelle A.17:	Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Soziale Leistung“ .....	281
Tabelle A.18:	Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Externe soziale Praktiken“ .....	281
Tabelle A.19:	Globale Individualgewichtungen der Kriterien auf Ebene 4 in Abhängigkeit vom Experten.....	282
Tabelle A.20:	Globale Gewichtungen der Kriterien auf Ebene 4 pro Szenario der Sensitivitätsanalyse der Gewichtungen der neun Bereiche der Kriterien-Hierarchie .....	283



# Abkürzungsverzeichnis

AHP	Analytic Hierarchy Process
ANP	Analytic Network Process
DEA	Data Envelopment Analysis
DEMATEL	DEcision-MAking Trial and Evaluation Laboratory
DFZ	Dreiecks-Fuzzy-Zahlen
E-LCA	Environmental Life Cycle Assessment
EEIO	Environmentally Extended Input Output
ELECTRE	ELimination Et Choix Traduisant la REalité
FAHP	Fuzzy Analytic Hierarchy Process
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
LSS	land-sektorspezifisch
LCA	Life Cycle Assessment
MRIO	multiregionale Input-Output
PROMETHEE	Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations
RMSE	Root Mean Squared Error
RSS	Residual Sum of Squares
S-LCA	Social Life Cycle Assessment
SEIO	Socially Extended Input Output
SHDB	Social Hotspots Database
SIERRA	Social and EnviRonmental Risk Assessment
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
VBA	Visual Basic for Applications
VIKOR	VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
WCED	World Commission on Environment and Development



# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

In den vergangenen Jahrzehnten entstanden durch die Globalisierung und den damit verbundenen zunehmenden Anteil ausgelagerter Wertschöpfung an Lieferanten komplexe Liefernetzwerke. Grund für die Komplexität sind vor allem die Vielzahl an Direktlieferanten sowie die internationale Verflechtung von Unternehmen über mehrere Wertschöpfungsstufen. In diesem Zusammenhang ist es heutzutage keine Seltenheit, wenn fokale Unternehmen<sup>1</sup> weniger als 20% der Wertschöpfung ihrer Produkte selbst generieren und den Großteil der wertschöpfenden Tätigkeiten von Lieferanten beschaffen (vgl. Hartley und Choi 1996; Bai und Sarkis 2011).

In fokalen Unternehmen führte diese starke Verlagerung der Wertschöpfung in die Lieferkette zu einer hohen Bedeutung der Beschaffungsfunktion als Schnittstelle zum Beschaffungsmarkt (vgl. Ash 2007; Dou und Sarkis 2010). Im Zuge dessen hat sich die Leistungsfähigkeit der Lieferkette zu einem entscheidenden Faktor für den Unternehmenserfolg entwickelt. Der Wettbewerb besteht demnach nicht mehr länger „nur“ zwischen Unternehmen sondern zwischen Lieferketten (vgl. Lambert und Cooper 2000; Li et al. 2006; Bai und Sarkis 2014). Als Folge der Internationalisierung des Beschaffungsmarktes wurde die Anzahl potentieller Lieferanten für alle Unternehmen größer. Insbesondere Lieferanten, die in Billiglohnländern (Entwicklungs- und Schwellenländer) ansässig sind und somit günstiger produzieren können, konnten von dieser Entwicklung profitieren. Lieferanten aus diesen Ländern sind häufig in der vorgelagerten Lieferkette eines fokalen Unternehmens angesiedelt. Ein direkter Kontakt besteht selten. In vielen Fällen agieren System- bzw. Modullieferanten oder aber Händler als Zwischenglied. Infolgedessen sind dem

---

<sup>1</sup> Ein fokales Unternehmen ist ein zentrales Unternehmen in einem strategischen Netzwerk, dem die Aufgabe der Selektion bei der Aufnahme von Unternehmen in das Netzwerk, die Koordination der spezialisierten Aktivitäten der Netzwerkunternehmen sowie die Steuerung des Wissenstransfers und die Evaluierung der erbrachten Leistungen innerhalb des Netzwerkes zufällt (Gabler 2013).

fokalen Unternehmen die Lieferanten dahinter meist nicht einmal bekannt. Zur gezielten Steuerung der Lieferkette und Absicherung der Versorgung von Produkten hat sich deshalb die Transparenz entlang der Lieferkette zu einem sehr wichtigen Faktor in der Beschaffung entwickelt.

Unter anderem bedingt durch die Globalisierung gewann parallel dazu seit den 1970er Jahren das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung zunehmend an Bedeutung. Im Zuge dessen sind Unternehmen neben den ökonomischen Anforderungen zunehmend mit Fragen der ökologischen und sozialen Verantwortung konfrontiert. Dabei werden nicht nur die Aktivitäten des Unternehmens selbst betrachtet sondern auch alle Stufen der vor- und nachgelagerten Lieferkette. Der gesamte Produktlebensweg von der Rohstoffentnahme, Materialverarbeitung und Montage über die Nutzungsphase bis zum Recycling und der Beseitigung steht somit im Fokus des Interesses. Der stetig wachsende Wertschöpfungsanteil der Lieferanten führt zu einer Verschiebung der ökologischen und sozialen Auswirkungen des eigenen Unternehmens zur vorgelagerten Lieferkette, welche somit nicht nur aus ökonomischer sondern auch aus ökologischer und sozialer Sicht an Bedeutung gewinnt (vgl. Zimmer et al. 2015). Verstärkt wird der Bedeutungszuwachs der vorgelagerten Lieferkette durch Vorprodukte, die aus Ländern stammen, die bezüglich ökologischer und sozialer Nachhaltigkeit als kritisch erachtet werden.

Inbesondere fokale Unternehmen müssen sich mit einer Fülle unterschiedlicher gesellschaftlicher Anforderungen auseinandersetzen. Trotz der häufig eingeschränkten Beeinflussbarkeit der einkaufenden Unternehmen auf die vorgelagerten Lieferketten des Direktlieferanten werden vor allem große fokale Unternehmen mit bedeutenden Markennamen (vgl. Klein 2000; Roberts 2003) durch diverse Stakeholder für die Verbesserung der ökologischen und sozialen Bedingungen entlang der vorgelagerten Lieferkette verantwortlich gemacht (vgl. Kleindorfer et al. 2005; Dai und Blackhurst 2012; Theißen und Spinler 2014). In den letzten beiden Jahrzehnten hat der Druck dieser Stakeholder dazu beigetragen, dass Unternehmen bereits ökologische und soziale Aspekte in ihrem wirtschaftlichen Handeln und zunehmend auch bei der Steuerung ihrer Direktlieferanten und vorgelagerten Lieferketten

berücksichtigen (vgl. Azzone und Bertelè 1994; Sarkis 1998; Büyüközkan 2012). Wesentliche Auslöser und Treiber dieser Entwicklung sind strengere Gesetzgebungen, ein erhöhter Wettbewerb, eine sich verschärfende Verknappung an Ressourcen und steigende Erwartungen von Aktionären, Kunden und Nicht-Regierungsorganisationen (vgl. Epstein und Roy 2001; Walker et al. 2008).

Die Integration ökologischer und sozialer Aspekte in die Lieferantenauswahl, -steuerung und -entwicklung – den drei Kernprozessen des Lieferantenmanagements – stellt dabei keine einfache Aufgabe dar (vgl. Zimmer, Fröhling und Schultmann 2015). Einkäufer müssen bereits Güter und Dienstleistungen zum günstigsten Preis, mit der besten Qualität und der höchsten Flexibilität beschaffen. Zusätzlich muss nun gewährleistet werden, dass diese auf ökologisch und sozial verträgliche Art und Weise hergestellt bzw. umgesetzt werden (vgl. Handfield et al. 2002). Dazu müssen zwei wesentliche Herausforderungen bewältigt werden: Zum einen stellt, wie bereits angesprochen, die Schaffung von Transparenz entlang der Lieferkette eine große Hürde dar. Zum anderen ist die Vergleichbarkeit von Bewertungen der Nachhaltigkeitsleistung von Lieferanten im Rahmen des Lieferantenmanagements eine Herausforderung. Auch wenn sowohl in der Praxis als auch in der wissenschaftlichen Literatur bereits eine Vielzahl an Modellen zur Entscheidungsunterstützung des Lieferantenmanagements unter Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte zu finden sind, so gibt es hinsichtlich der zwei genannten Herausforderungen nach wie vor erheblichen Forschungsbedarf.

## 1.2 Zielsetzung und Forschungsfrage

Vor diesem Hintergrund ist das Ziel dieser Forschungsarbeit die Entwicklung und Anwendung eines Ansatzes, der im Rahmen des nachhaltigen Lieferantenmanagements eines fokalen Unternehmens sowohl zur Verbesserung der Transparenz entlang der Lieferkette beiträgt als auch eine effiziente Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung von Lieferanten ermöglicht. Da es sich hierbei um zwei Ziele handelt, werden dafür zunächst zwei unabhängige Modelle entwickelt, die aber zur Erfüllung des zweiten Ziels – der effizienten Bewer-

tung der Nachhaltigkeitsleistung – gekoppelt werden. In diesem Zusammenhang wird im weiteren Verlauf der Arbeit je nach Modell entweder vom „Risiko-modell“ oder „Leistungsmodell“ gesprochen.<sup>2</sup> Das Risikomodell soll eine Abschätzung von Nachhaltigkeitsrisiken von Lieferanten, Wertschöpfungsstufen und gesamten Lieferketten hinsichtlich unterschiedlicher Risikokriterien ermöglichen und somit zur Erhöhung der Transparenz entlang der Lieferkette beitragen. Im Lieferantenmanagement soll das Modell drei wesentliche unterstützende Funktionen einnehmen: Erstens soll es in der Lieferantensteuerung Entscheidungen über die Auswahl von Lieferanten und Lieferketten im Rahmen proaktiver Lieferantenentwicklungsaktivitäten unterstützen können. Zweitens soll mit den Risikoinformationen im Rahmen der Auswahl oder Steuerung von Lieferanten leichter entschieden werden können, ob und inwieweit ein Lieferant zu spezifischen Kriterien befragt werden sollte. Drittens soll das Modell die Kenntnisse des Einkaufs hinsichtlich kritischer ökologischer und sozialer Aspekte im Rahmen der Beschaffungsmarktforschung eines Unternehmens erweitern.

Mit dem Leistungsmodell soll die Nachhaltigkeitsleistung von Lieferanten bewertet und verglichen werden können. Dadurch unterstützt es insbesondere die Entscheidungsfindung im Rahmen der Lieferantenauswahl und -steuerung. Um die Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung aufgrund der hohen Anzahl potenzieller Fragen effizienter zu gestalten, sollen die Ergebnisse des Risikomodells in das Leistungsmodell integriert werden. Im Falle hoher ökologischer und sozialer Risiken werden dem Lieferanten umfassende Fragen gestellt deren Antworten der Bewertung seiner Leistung dienen. Im Falle von niedrigen Risiken werden diese auf ein notwendiges Minimum reduziert, um unnötigen Aufwand der Informationsbeschaffung und -verarbeitung zu vermeiden.

Aus der beschriebenen Problemstellung und Zielsetzung ergibt sich für die vorliegende Arbeit folgende Forschungsfrage: Welche Kombination aus ent-

---

<sup>2</sup> Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen eines Forschungsprojekts des Karlsruher Instituts für Technologie in Zusammenarbeit mit einem deutschen Automobilhersteller. Teile dieser Arbeit wurden bereits in Zimmer, Fröhling und Schultmann (2015) und Zimmer et al. (2016) vorab publiziert (insbesondere große Teile des Kapitels 3 sowie der Abschnitte 2.3, 4.2 und 4.3). Ohne Zitat übernommene Teilmhalte dieser beiden Quellen wurden dabei ausschließlich von dem Autor der vorliegenden Dissertation erarbeitet.



scheidungsunterstützenden Methoden eignet sich, um neben den ökonomischen die wesentlichen ökologischen und sozialen Aspekte von Direktlieferanten und Lieferanten der vorgelagerten Lieferkette in die Prozesse des Lieferantenmanagements eines Unternehmens zu integrieren und effizient zu verbessern?

Diese Fragestellung kann durch die folgenden Teilfragen konkretisiert werden:

- (1) Welche ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekte sind für eine Risikoabschätzung und Leistungsbewertung von Lieferanten relevant?
- (2) Mit welchen Informationen können die Nachhaltigkeitsrisiken und die Leistungsausprägungen von Lieferanten hinsichtlich dieser Aspekte bestimmt werden?
- (3) Welche entscheidungsunterstützenden Methoden eignen sich zur Abschätzung von Nachhaltigkeitsrisiken von Lieferanten und Lieferketten insbesondere vor dem Hintergrund eine erhöhte Transparenz der vorgelagerten Lieferkette zu erreichen?
- (4) Welche entscheidungsunterstützenden Methoden eignen sich zur Bewertung und Vergleichbarkeit der Nachhaltigkeitsleistung von Lieferanten?
- (5) Wie kann der Prozess der Leistungsbewertung von Lieferanten effizienter gestaltet werden?

## 1.3 Lösungsweg

Zur Beantwortung der im vorangegangenen Kapitel aufgeworfenen Fragestellung dieser Arbeit wird in Kapitel 2 zunächst auf die Entwicklung und Auslöser der Nachhaltigkeitsdiskussion im Allgemeinen und im Unternehmenskontext eingegangen. Wichtige Bestandteile dieses Kapitels sind die Erklärung der wesentlichen verwendeten Fachbegriffe dieser Arbeit, die Vorstellung eines neuen Rahmenkonzepts des nachhaltigen Lieferantenmanagements sowie die Beschreibung und Definition der darin enthaltenen Prozessschritte und Aufgaben.

In Kapitel 3 folgt ein Überblick über den Stand der Wissenschaft hinsichtlich der erläuterten Zielsetzung und Forschungsfrage dieser Arbeit. Dazu werden die bisher veröffentlichten entscheidungsunterstützenden Modelle anhand der Prozessschritte des nachhaltigen Lieferantenmanagements vorgestellt. Des Weiteren wird auf Methoden der Öko- und Sozialbilanzierung eingegangen, die als methodische Basis zur Abschätzung ökologischer und sozialer Risiken dienen können. Ziel dieses Kapitels ist das Aufzeigen der Stärken und Schwächen bisher veröffentlichter Modelle und die Ableitung eines zukünftigen Forschungsbedarfs. Darauf aufbauend werden abschließend das Konzept des zu entwickelnden Risiko- und Leistungsmodells beschrieben sowie die dafür verwendeten Methoden begründet.

Die zur Entwicklung der beiden Modelle benötigten mathematischen Grundlagen der Input-Output-Analyse, der Fuzzy-Set-Theorie, des Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) sowie der (Fuzzy) PROMETHEE (**P**reference **R**anking **O**rganization **M**ETHOD for **E**nrichment **E**valuations) werden in Kapitel 4 beschrieben.

Die Entwicklung und Anwendung des Risikomodells am Beispiel eines Automobilherstellers erfolgt in Kapitel 5. Hierzu wird zunächst auf die Datenbasis und die mathematische Formulierung der Berechnungsmethodik eingegangen bevor anschließend die Beschreibung der Implementierung von SIERRA (**S**ocial and **E**nvi**R**onmental **R**isk **A**ssessment) und dessen Anwendung am Beispiel von Vergaben eines Automobilherstellers erfolgt.

Kapitel 6 widmet sich der Entwicklung und Anwendung des Leistungsmodells. Nachdem im ersten Schritt der Fragenkatalog und die damit verbundenen Indikatoren erläutert werden, folgt anschließend die für (Fuzzy) PROMETHEE benötigte Bestimmung der Präferenzfunktionen und Gewichtungen sowie die Beschreibung der Implementierung des Leistungsmodells. Das Kapitel schließt mit einer Anwendung des Leistungsmodells am Beispiel der Lieferantenauswahl eines Automobilherstellers.

Abschliessend fasst Kapitel 7 die Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf mögliche zukünftige Forschungsarbeiten.

Abbildung 1.1 fasst den Aufbau der Arbeit zusammen.

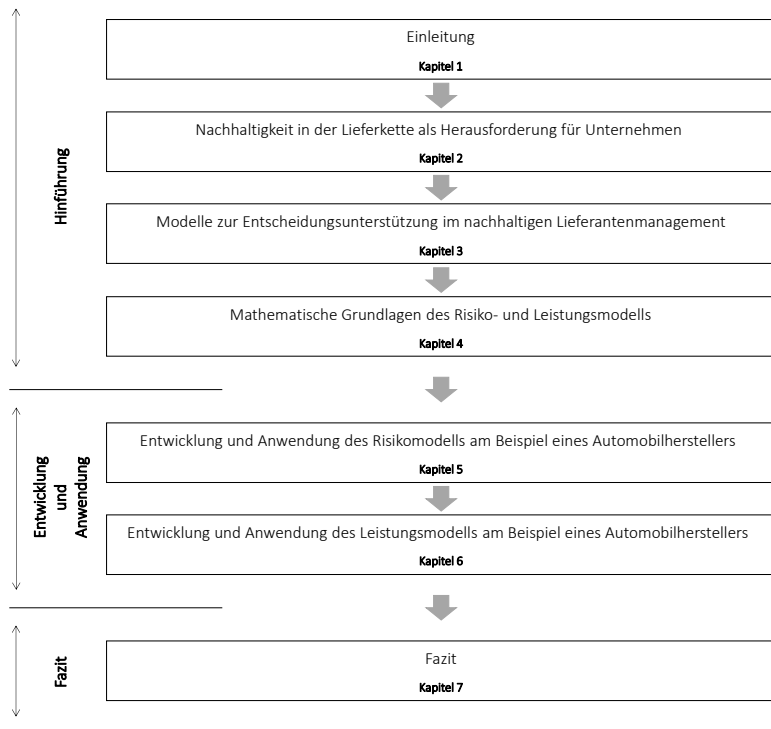


Abbildung 1.1: Aufbau der Arbeit



## 2 Nachhaltigkeit in der Lieferkette als Herausforderung für Unternehmen

Die folgenden Abschnitte geben einen Einblick in das Themenfeld Nachhaltigkeit und dessen Eingang in das Lieferantenmanagement. Zur Vermittlung eines gemeinsamen Verständnisses werden wesentliche Definitionen, Strukturen und Prozesse des Begriffs der Nachhaltigkeit und des nachhaltigen Managements eingeführt.

### 2.1 Theoretische Grundlagen zum Begriff der Nachhaltigkeit

#### 2.1.1 Definition und Entwicklung der Nachhaltigkeit

Das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung hat sich seit den 1990er Jahren aufgrund eines stetig steigenden Bewusstseins der Gesellschaft für ökologische und soziale Missstände als eine international anerkannte Zielsetzung etabliert (vgl. Loew 2004). Der Begriff der „Nachhaltigkeit“ geht bereits auf den Beginn des 18. Jahrhunderts zurück und stammt ursprünglich aus der Forstwirtschaft. Damals forderte der Oberberghauptmann Hans Carl von Carlowitz in seinem Werk „Sylvicultura Oeconomica“ erstmals eine nachhaltige Nutzung von Wäldern (vgl. Grober 2002; Bretzke 2012). Aufgrund des hohen Holzverbrauchs im Zuge des damaligen Bergbaus verlangte er nur noch so viel Holz zu schlagen wie nachwächst. Daraus geht auch der Leitgedanke „von den Zinsen zu leben und nicht vom Kapital“ hervor (Colsman 2013).

Die heutige seit den 1970er Jahren geführte gesellschaftspolitische Auseinandersetzung gewann insbesondere durch die Globalisierung sowie die zunehmenden Umwelt- und Armutprobleme (vgl. Loew 2004) an Bedeutung. Erste größere Aufmerksamkeit erhielt in diesem Zusammenhang der 1972 veröffentlichte Bericht „Die Grenzen des Wachstums“ des Club of Rome (vgl. Bretzke 2012). Dieser prognostizierte einen globalen Zusammenbruch des

Gesellschafts- und Wirtschaftssysteme als Ergebnis des schnellen Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums und des damit einhergehenden hohen Ressourcenverbrauchs (Meadows et al. 2009). Den entscheidenden Meilenstein im Rahmen der Nachhaltigkeitsdebatte bildete aber der 1987 veröffentlichte Brundtlandbericht "Our common future" der WCED<sup>1</sup>. Dieser lieferte eine erste in der Breite anerkannte und bis heute prägende Definition, die den Begriff der nachhaltigen Entwicklung als eine Entwicklung versteht, „that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs“ (WCED 1987). Kernelement dieser Definition ist somit insbesondere die Priorisierung der Bedürfnisse der armen Menschen dieser Welt sowie die Absicherung der Bedürfnisse zukünftiger Generationen. Auch wenn dieses Konzept gemäß der Kommission als Basis zur Lösung globaler ökologischer, ökonomischer und sozialer Missstände dienen sollte (vgl. Koplin 2006), bot die generische Formulierung noch große Interpretationsspielräume. Dies erschwerte die Ableitung konkreter Handlungsempfehlungen für Wirtschaft, Bevölkerung und Politik bis heute (vgl. Colsman 2013).

Als Folge dieser Berichte entstanden eine Reihe weiterer Definitionen, in denen die Autoren jeweils gewisse Aspekte des Themenbereichs hervorhoben. Seinerzeit analysierte Kastenholz et al. (1996) die gegenwärtige Literatur und fand bereits 60 unterschiedliche Definitionen. Grund dieser Vielfalt sind die verschiedenen Forschungsdisziplinen, Naturverständnisse, Wertvorstellungen und Interessen. Auch wenn die unterschiedlichen Definitionen keine klare Kategorisierung zulassen, können fünf wesentliche Elemente abgeleitet werden, die für nahezu alle Definitionen gelten (Koplin 2006; Schmidt 2013):

- Anthropozentrischer Fokus: Befriedigung menschlicher Bedürfnisse
- Intragenerative Gerechtigkeit: Gerechte Verteilung von Ressourcen und Wohlstand zwischen verschiedenen Bevölkerungsgruppen (z.B. Industrie- und Entwicklungsländer, alte und jungen Menschen)

---

<sup>1</sup> World Commission on Environment and Development

- Intergenerative Gerechtigkeit: Gerechte Verteilung von Ressourcen und Wohlstand zwischen heutiger und zukünftiger Generationen
- Globale, gesamtgesellschaftliche Orientierung
- Ökonomische, ökologische und soziale Entwicklung als drei integrative Bestandteile

Ein weiterer wichtiger Schritt der historischen Entwicklung stellt die UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro des Jahres 1992 dar. Ihre Einberufung durch die Vereinten Nationen erfolgte aufgrund des Brundtland-Berichts und wurde zum Symbol für ein neues Bewusstsein der Weltgemeinschaft bezüglich einer gemeinsamen Verantwortung (vgl. Müller-Christ 2001). Damit verbunden war die Forderung an die teilnehmenden 178 Staaten zu weltweiten Maßnahmen einer besseren Entwicklungs-, Sozial-, Umwelt- und Wirtschaftspolitik beizutragen (vgl. Enquete-Kommission 1998). Im Zusammenhang dieser internationalen Diskussion setzte sich die Erkenntnis durch, dass nur durch intensive globale Zusammenarbeit die natürlichen Lebensgrundlagen des Menschen erhalten werden können und daher entwicklungspolitische Aspekte integriert werden müssen (vgl. Umweltbundesamt 1998). Im Rahmen dieser Konferenz verpflichtete sich die internationale Staatengemeinschaft schließlich dazu, das Leitbild der Nachhaltigen Entwicklung auf nationaler und globaler Ebene in konkrete politische Maßnahmen umzusetzen (vgl. Grunwald und Kopfmüller 2012). Im Zuge dessen wurde allerdings Kritik an der Ausgestaltung der verabschiedeten Dokumente geübt, da keine überprüfbaren Verpflichtungen für die beteiligten Vertragsstaaten formuliert wurden. Trotz dieser Schwächen ging von der Konferenz in Rio de Janeiro ein starker, anhaltender Impuls aus. Eine Reihe weiterer bedeutender Aktivitäten beschäftigte sich anschließend mit der Umsetzung von nationalen und internationalen Nachhaltigkeitszielen. In diesem Zusammenhang sei die Weltbevölkerungskonferenz 1994 in Kairo, der Weltsozialgipfel 1995 in Kopenhagen, die Klimakonferenz 1997 in Kyoto, der Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung 2002 in Johannesburg und die wiederum in

Rio de Janeiro stattfindende United Nations Conference on Sustainable Development „Rio +20“ im Jahr 2012 erwähnt.

### 2.1.2 Dimensionen von Nachhaltigkeit

Im Zuge dieser Entwicklungen hat sich ein Drei-Säulen-Modell durchgesetzt, welches Nachhaltigkeit in die drei folgenden Dimensionen aufteilt:

- ökologische Dimension
- ökonomische Dimension
- soziale Dimension

In diesem Zusammenhang meint Colman (2013), dass die „soziale“ Dimension aufgrund der zutreffenderen Bedeutung in der deutschen Sprache besser mit „gesellschaftlich“ übersetzt werden sollte. Da sich aber in der deutschsprachigen Literatur der Begriff der „sozialen“ Dimension durchgesetzt hat (vgl. Kleine 2009; Brugger 2010), wird dieser im weiteren Verlauf der Arbeit verwendet. Erstmals genannt wurde diese Aufteilung in drei Dimensionen im Brundlandt-Bericht (vgl. WCED 1987). Die zentrale Idee dahinter ist die gleichrangige Berücksichtigung der ökologischen, ökonomischen und sozialen Dimension der Nachhaltigkeit. Abbildung 2.1 stellt diesen Zusammenhang grafisch dar.

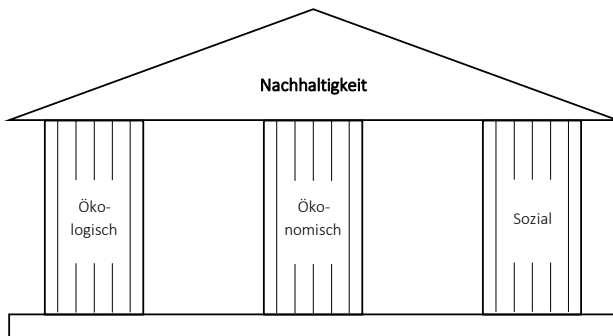


Abbildung 2.1: Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit (Corsten und Roth 2012)



Die Trennung in drei Dimensionen fand auch im Kontext der unternehmerischen Nachhaltigkeit Anklang. In Anlehnung an den englischen Begriff „bottom line“, was als Profit eines Unternehmens verstanden wird, führte Elkington (1998) den Begriff der „Triple Bottom Line“ ein. Dieser beruht ebenfalls auf dem Prinzip ökonomische, ökologische und soziale Aspekte simultan in die unternehmerischen Aktivitäten zu integrieren, mit dem Ziel der Erhaltung von Ressourcen für zukünftige Generationen (vgl. Quick und Knocinski 2006; Schmidt 2013).

Das Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit zielt im Kern darauf ab, dass bei wirtschaftlichem Erfolg eine Umwelt- und Sozialverträglichkeit realisierbar ist (vgl. Corsten und Roth 2012). Bei der Umsetzung des Drei-Säulen-Modells ist es deshalb wichtig, die gegenseitige Beeinflussung der genannten Ziele zu beachten und sie nicht separat zu betrachten (vgl. Enquete-Kommission 1998). Alle drei Dimensionen stehen im Verhältnis zueinander und beeinflussen sich gegenseitig. Die ökologische Dimension hat das Ziel ökologische Missstände zu reduzieren bzw. positive Entwicklungen zu erreichen (vgl. Colman 2013). Der Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen für Flora und Fauna steht im Zentrum dieser Betrachtung. Dabei sind insbesondere die schonende Nutzung und Sicherung natürlicher Ressourcen für nachfolgende Generationen von Bedeutung (vgl. Koplin 2006). Ziel der ökonomischen Dimension ist es gute Lebensbedingungen für alle Menschen zu schaffen und diese langfristig zu erhalten (Enquete-Kommission 1998). Die Zunahme des Wohlstands und dessen langfristige Sicherung spielen deshalb die zentrale Rolle. Intelligente und weitsichtige Wirtschaftssysteme sollen dazu führen diese Ziele bei gleichzeitiger Schonung der Ressourcen – z.B. durch Innovationen – zu erreichen. Eine geringe Arbeitslosigkeit, ein wirtschaftliches Gleichgewicht zwischen den Ländern der Welt sowie Preisstabilität können als weitere Ziele genannt werden (vgl. Schmidt 2013). Das Ziel der sozialen Dimension ist es „möglichst positive Auswirkungen auf das gesellschaftliche Umfeld“ (Colman 2013) zu erreichen. Im Vordergrund stehen dabei Chancengleichheit, Existenzsicherung, gerechte Verteilung von Ressourcen, Rechtssicherheit und Gleichberechtigung (vgl. Schmidt 2013). Darüber hinaus sind „die langfristige Sicherung sozialer Systeme, die Festigung demokrati-

scher Strukturen sowie die Frage der gerechten Verteilung von Wohlstand zwischen den heute lebenden und den zukünftigen Generationen, aber auch Fragen zu Bildung und Gesundheit“ (Koplin 2006) von Bedeutung.

Trotz seiner Etablierung in der Nachhaltigkeitsdebatte der vergangenen 25 Jahre bringt das vorgestellte Drei-Säulen-Modell mit den genannten Zielen diverse Kritikpunkte mit sich (vgl. Schmidt 2013). Insbesondere das relative Verhältnis der Säulen bzw. ihre Gleichrangigkeit wird breit diskutiert und kritisiert (vgl. Meyer-Abich 2001). Vor allem durch unterschiedliche Interessen diverser gesellschaftlicher Gruppen (z.B. Entwicklungs- und Industrieländer, Parteien, Nichtregierungsorganisationen, Unternehmen) kommt es zu scheinbar unüberwindbaren Zielkonflikten (vgl. Schmidt 2013). Paech und Pfriem (2007) argumentieren, dass die getrennte Betrachtung außerdem zu einer konkurrierenden Situation führen kann, so dass statt eines „triple-win“-Effekts nur ein Minimalkonsens als Schnittmenge der drei Dimensionen erreicht wird. Darüber hinaus wird die sehr generische Formulierung der Ziele bemängelt, die konkrete Handlungsempfehlungen offen lässt.

Auch wenn diese Kritikpunkte durchaus berechtigt sind, so ist das vorgestellte Drei-Säulen-Modell mit den genannten Zielen doch ein wichtiger Schritt in Richtung einer Operationalisierung des Leitbilds der Nachhaltigkeit. Erst mit einer strategischen Richtung können konkrete Maßnahmen zur operativen Umsetzung abgeleitet werden (vgl. Koplin 2006).

### 2.1.3 Unternehmerische Nachhaltigkeit

Im Zuge der Nachhaltigkeitsdiskussion sind Unternehmen neben den ökonomischen Anforderungen zunehmend mit Fragen der ökologischen und sozialen Verantwortung konfrontiert. Die Anforderungen beziehen sich dabei einerseits auf die ökologischen und sozialen Auswirkungen sämtlicher Aktivitäten innerhalb der Unternehmensgrenzen, andererseits aber auch auf die Auswirkungen entlang der gesamten Lieferkette von der Rohstoffentnahme und Verarbeitung über die Nutzungsphase bis zum Recycling oder der Beseitigung. Insbesondere global agierende Unternehmen müssen sich mit einer Fülle unterschiedlicher gesellschaftlicher Anforderungen auseinandersetzen.

Neben den Anforderungen an die Aktivitäten innerhalb des Unternehmens führt der stetig wachsende Wertschöpfungsanteil durch Lieferanten zu einer immer höheren Bedeutung ökologischer und sozialer Aspekte in der vorgelagerten Lieferkette (vgl. Zimmer, Fröhling und Schultmann 2015). So spielen Vorprodukte aus Ländern, die bezüglich ökologischer und sozialer Nachhaltigkeit als kritisch erachtet werden, eine besondere Rolle. Trotz der häufig eingeschränkten Beeinflussbarkeit vorgelagerter Lieferketten des Direktlieferanten werden vor allem große fokale Unternehmen mit bedeutenden Markennamen (vgl. Klein 2000; Roberts 2003) durch verschiedene Stakeholder als Verantwortliche für die Verbesserung der ökologischen und sozialen Bedingungen entlang der Lieferkette angesehen (vgl. Kleindorfer, Singhal und Wassenhove 2005; Dai und Blackhurst 2012; Theißen und Spinler 2014). Sehr treffend drücken es Krause et al. (2009) so aus: „A company is no more sustainable than its supply chain“ (Krause, Vachon und Klassen 2009). Ausgehend von dieser Entwicklung wird die erbrachte Leistung von Lieferanten und Lieferketten immer wichtiger für den Unternehmenserfolg (vgl. Handfield et al. 2002). Zur langfristigen Wettbewerbsfähigkeit hat sich daher die Integration ökologischer und sozialer Aspekte sowohl in die externen Abläufe mit Lieferanten als auch in die unternehmensinterne Organisation zu einem wichtigen Faktor entwickelt (vgl. Bai und Sarkis 2010b; Dou et al. 2014).

Das Konzept der unternehmerischen Nachhaltigkeit beinhaltet die folgenden drei zugrunde liegenden Managementbereiche (vgl. Bansal 2005; Peters 2010):

- ökologische Integrität durch „betriebliches Umweltmanagement“,
- wirtschaftlicher Erfolg durch „Wertschöpfung“,
- soziale Gerechtigkeit durch „Corporate Social Responsibility“.

Zusammenfassend erfordert eine Umsetzung unternehmerischer Nachhaltigkeit die gleichzeitige Erfüllung aller drei Dimensionen der Nachhaltigkeit (Dyllick und Hockerts 2002). Eine Definition von unternehmerischer Nachhaltigkeit beschreibt Peters (2010): „Corporate sustainability stands for the

integrated management and enhancement of a company's environmental, social and economic performance, allowing a company to accomplish benefits for the environment and/or society along with accessing strategic value for the company and its shareholders" (Peters 2010). Abbildung 2.2 stellt dieses integrative Konzept der unternehmerischen Nachhaltigkeit grafisch dar.

Die zugrunde liegenden Managementbereiche, die zur Umsetzung der drei Grundsätze führen sollen, werden im Folgenden kurz erläutert:

**Betriebliches Umweltmanagement** hat zum Ziel, den ökologischen Fußabdruck eines Unternehmens, der von Produkten und Produktionsprozessen ausgeht, zu verringern (vgl. Bansal 2005). Um dieses Ziel zu erreichen, können Unternehmen Maßnahmen ergreifen, die zur Reduzierung der ökologischen und sozialen Auswirkungen innerhalb der Unternehmensgrenzen oder entlang des gesamten Produktlebenszyklus führen.

**Wertschöpfung** ist die Basis für die ökonomische Leistungsfähigkeit und den Erfolg eines Unternehmens (vgl. Peters 2010). Aus volkswirtschaftlicher Sicht beschreibt Wertschöpfung die „Differenz zwischen dem Produktionswert und den Vorleistungen“ (vgl. Gabler 2013). Zusammenfassend geht es bei der Herstellung von Produkten oder dem Angebot von Dienstleistungen darum, einen Mehrwert für den Kunden zu erzielen.

**Corporate Social Responsibility** bezieht sich auf die soziale Dimension und beschreibt den freiwilligen Beitrag von Unternehmen zu einer nachhaltigen Entwicklung jenseits gesetzlicher Verpflichtungen (vgl. Peters 2010). Godfrey (2007) definiert Corporate Social Responsibility als „actions that are not required by law but appear to further some social good, and which extend beyond the explicit transactional interests of the firm“ (Godfrey 2007).

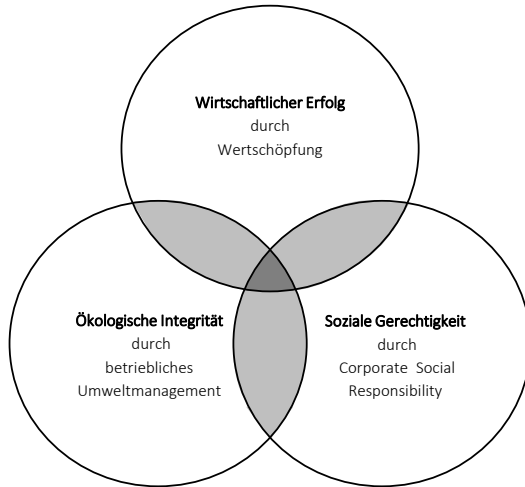


Abbildung 2.2: Konzept der unternehmerischen Nachhaltigkeit (vgl. Peters 2010)

### 2.1.4 Stakeholder und deren Ansprüche

Bei den im vorherigen Abschnitt angesprochenen gesetzlichen Verpflichtungen muss in der Betrachtung wirtschaftlicher Aktivitäten eines Unternehmens grundsätzlich zwischen „Legalität“ und „Legitimität“ unterschieden werden. „Legalität“ umfasst dabei die Einhaltung staatlicher Regulierungen und Gesetze. Dagegen wird unter „Legitimität“ die Akzeptanz der übrigen Stakeholder (Interessensgruppen) der Gesellschaft verstanden (vgl. Corsten und Roth 2012). Demzufolge müssen sich Unternehmen neben den gesetzlichen Vorgaben auch immer mit den Interessen unterschiedlicher Stakeholder auseinandersetzen (vgl. Dyllick 2003).

Daraus ergibt sich unmittelbar die Notwendigkeit, die Ansprüche verschiedener Stakeholder in Entscheidungen eines Unternehmens zu integrieren, um auf dem Absatzmarkt dauerhaft erfolgreich zu sein. Hinsichtlich der Legitimität lag der Fokus bis in die 1990er Jahre ausschließlich auf den ökonomischen Auswirkungen eines Unternehmens. Im Zuge der Nachhaltigkeitsdebatte gewinnt für Unternehmen seither die gesellschaftliche Akzeptanz ökologischer

und sozialer Auswirkungen zunehmend an Bedeutung (vgl. Corsten und Roth 2012), woraus sich der Stakeholderansatz entwickelt hat.

Zu den wichtigsten Vertretern des Stakeholderansatzes zählt Freeman (2010). Er definiert Stakeholder als „Any group or individual who can affect or is affected by the achievement of the firm's objectives“ (Freeman 2010). Nach seiner Auffassung entstehen nicht nur über Verträge, Kapital oder den Markt Ansprüche gegenüber Unternehmen sondern auch „über die reine Betroffenheit von unternehmerischen Handlungen bzw. Nichthandlungen“ (Koplin 2006). Der Begriff „Stakeholder“ fasst somit eine Vielzahl von Personen, Gruppen und Institutionen zusammen. Dazu zählen sowohl alle internen Stakeholder, die zur Leistungserstellung eines Unternehmens beitragen als auch alle externen Stakeholder, deren eigene Zielerreichung durch das Unternehmen beeinflusst wird (vgl. Koplin 2006). Als interne Stakeholder werden beispielweise Mitarbeiter, Eigentümer oder das Management gesehen. Kunden, Nicht-Regierungsorganisationen, Bürger, Staat, Medien und Konkurrenten gelten als externe Stakeholder (vgl. Thommen 1996; Koplin 2006). Das Management des Unternehmens steht insofern ständig vor der Herausforderung die unterschiedlichen und teils widersprüchlichen Interessen diverser Stakeholder in Einklang zu bringen (vgl. Koplin 2006).

## 2.2 Auslöser und Treiber unternehmerischer Nachhaltigkeit

Die wachsende Bedeutung unternehmerischer Nachhaltigkeit ist auf unterschiedliche Gründe zurückzuführen. Grundsätzlich gibt es zwei Arten die Auslöser und Treiber unternehmerischer Nachhaltigkeit zu kategorisieren. Nach Colman (2013) können diese in Push- und Pull-Faktoren unterteilt werden. Push-Faktoren fordern die Umsetzung unternehmerischer Nachhaltigkeit und üben auf Unternehmen einen entsprechenden Legitimationsdruck aus. Bedeutende Push-Faktoren sind Gesetzgeber, Nicht-Regierungsorganisationen und Medien. Pull-Faktoren hingegen schaffen Anreize, wodurch entsprechend nachhaltige Aktivitäten vorangetrieben werden. Zu den wichtigen

Pull-Faktoren zählen Kunden, Wettbewerber, Nachhaltigkeits-Rankings und Shareholder. Eine andere Möglichkeit der Kategorisierung ist angelehnt an den Stakeholder-Ansatz und damit an die Unterteilung in interne und externe Treiber (vgl. Walker, Di Sisto und McBain 2008). Interne Treiber beziehen sich dabei auf Faktoren innerhalb eines Unternehmens wohingegen unter externen Treibern unter anderem die Öffentlichkeit, Nicht-Regierungsorganisationen, die Gesetzgebung sowie Kunden verstanden werden. Im Folgenden sollen wesentliche Auslöser und Treiber unternehmerischer Nachhaltigkeit anhand dieser zweiten Kategorisierung vorgestellt werden.

### 2.2.1 Externe Treiber unternehmerischer Nachhaltigkeit

#### 2.2.1.1 Öffentlichkeit, Medien und Nicht-Regierungsorganisationen

Im Zuge der beschriebenen Nachhaltigkeitsdebatte hat sich in der Gesellschaft ein steigendes Bewusstsein für ökologische und soziale Themen entwickelt. Dadurch steht die unternehmerische Verantwortung und die implizite Forderung des nachhaltigen Wirtschaftens zunehmend im Fokus des Interesses (vgl. Ageron et al. 2012; Gopalakrishnan et al. 2012). Diese Entwicklung wird durch die steigende Bedeutung von Unternehmen für Staat und Gesellschaft zusätzlich verstärkt (vgl. Brugger 2010). Unternehmen können sowohl positive als auch negative Effekte auf die Gesellschaft haben. Einerseits werden an sie Hoffnungen geknüpft wie die Schaffung von Arbeitsplätzen und Innovationen sowie die Abgabe von Steuern. Sie tragen damit zu einem erhöhten Wohlstand der breiten Bevölkerung bei. Andererseits gibt es ebenso Befürchtungen bezüglich des unachtsamen Umgangs mit wertvollen Ressourcen, der Zerstörung des Lebensraums von Flora und Fauna sowie der Missachtung sozialer Mindeststandards. Diese negativen Effekte werden insbesondere bei der Auslagerung von Produktion und Dienstleistungen in Entwicklungsländer befürchtet. Die Ungewissheit, inwiefern ein Staat in Form von Gesetzgebungen und Regulierungen in solchen Fällen eingreifen kann und will, führte zur Bildung organisierter Gruppen aus der Bevölkerung als Gegengewicht zur machtpolitischen Position der Unternehmen (vgl. Brugger 2010). Arbeitnehmer, Konsumenten, Medienvertreter, Nicht-Regierungsorganisationen und weitere Stake-

holder können so den Unternehmen mit einem erheblichen Machtpotenzial entgegentreten. Die Möglichkeiten der Einflussnahme reichen von Boykott, Streiks bis hin zur Beeinflussung der Politik (vgl. Brugger 2010). Als Nachweis der Einhaltung ökologischer und sozialer Mindestanforderungen fordern Öffentlichkeit, Medien und Nicht-Regierungsorganisationen verstärkt Nachhaltigkeitsberichte und Zertifikate, die ein nachhaltiges Wirtschaften dokumentieren sollen (vgl. Müller 2012). Dabei werden zunehmend nicht nur die Aktivitäten innerhalb der Unternehmensgrenzen betrachtet sondern auch diejenigen der vorgelagerten Lieferkette. Vor allem Nicht-Regierungsorganisationen sehen die Hersteller als Verantwortliche für das Verhalten ihrer Lieferanten. (vgl. Koplín 2006). Infolge dessen gewinnen neben den bereits betrachteten ökonomischen Risiken wie Versorgungs- und Qualitätsproblemen von Lieferanten und Sublieferanten (vgl. Singhal et al. 2011; Heckmann et al. 2015) nun auch ökologische und soziale Risiken in Lieferketten zunehmend an Bedeutung (vgl. Foerstl et al. 2010). Vor allem Verstöße der Zulieferer gegen Umwelt- und Sozialstandards, denen sich Unternehmen selbst verpflichtet haben, führen zu negativen Pressemitteilungen und somit zu Reputationsschäden (vgl. Anderson 2005). Unternehmen werden dies in jedem Fall vermeiden wollen. Die gesellschaftliche Legitimation durch die Einhaltung von Nachhaltigkeitsstandards wird somit zu einem wichtigen Erfolgsfaktor für den Hersteller sowie sämtliche Glieder der Lieferkette (vgl. Brugger 2010).

### 2.2.1.2 Gesetzgebung und Regulierungen

Der fortschreitende Klimawandel in Verbindung mit der anthropogenen globalen Erwärmung sowie soziale Missstände haben Regierungen zur Verabschiedung schärferer Umwelt- und Sozialgesetze veranlasst. Ziel dieser Gesetze ist es die ökologischen Auswirkungen von Unternehmen einzudämmen bzw. die sozialen Missstände in Unternehmen und allgemein in der Gesellschaft zu reduzieren.

Beispiele zum Klimaschutz auf internationaler Ebene sind das „United Nations Framework Convention on Climate Change“ (UNFCCC) 1992 in Rio de Janeiro und das „Kyoto-Protokoll“ 1997. Auf Ebene der Europäischen Union wurde 2009 das „Climate and Energy Package“, häufig als „20-20-20-targets“



bezeichnet, verabschiedet. Beispiele produkt- und branchenspezifischer Gesetzgebungen sind die WEEE-Richtlinie (Waste of Electrical and Electronic Equipment) 2002/96/EG zur Verminderung von Elektroschrott, die RoHS-Richtlinie (Restriction on the Use of Hazardous Substances) 2011/65/EU zur Verwendung und Beschränkung gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräte, die ErP- Richtlinie (Energy-Related Products) 2009/125/EG als Vorgabe für die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte sowie die EU-Richtlinie 2000/53/EC zur Regelung der stofflichen Verwertung von Altfahrzeugen. Diese Gesetze zielen darauf die Umweltauswirkungen des Unternehmens und dessen Produkte zu reduzieren. Dazu werden verstärkt die Messung und Dokumentation der Umweltauswirkungen des Unternehmens und dessen Produkte in Form von Ökobilanzen und Nachhaltigkeitsberichten gefordert.

Neben den ökologischen Gesetzen gibt es ebenso Gesetzgebungen zu sozialen Aspekten der Nachhaltigkeit. Diese orientieren sich in aller Regel an den Arbeits- und Sozialstandards der Internationalen Arbeitsorganisation. Beispiele, die durch diese Gesetze reguliert werden sind Kinderarbeit, Zwangsarbeit, Chancengleichheit und Gleichberechtigung, Vereinigungsfreiheit, Arbeitslohn, Arbeitszeit, Arbeitsschutz und -gesundheit. Im Jahr 2015 wurde in diesem Zusammenhang ein allgemeiner Mindestlohn in Deutschland eingeführt.

Die Vielzahl an Gesetzen und Regulierungen führte bereits zu einem Wandel. Mehr als 95 Prozent der 250 weltweit umsatzstärksten Unternehmen veröffentlichten schon im Jahr 2011 entsprechende Nachhaltigkeitskennziffern in Jahresabschlüssen oder separaten Nachhaltigkeitsberichten (vgl. Ganse et al. 2012). Gesetze und Regulierungen sind somit ein bedeutender Auslöser und Treiber der Nachhaltigkeit in Unternehmen (vgl. Beamon 1999; Walker, Di Sisto und McBain 2008). Bereits Handfield et al. (1997) verweisen hierbei aber auf die begrenzten Effekte reaktiver Initiativen von Unternehmen, um neue Gesetzgebungen und somit die Mindestanforderungen zu erfüllen. Im Gegensatz dazu scheinen proaktives Handeln von Unternehmen und die vollständige Integration ökologischer und sozialer Aspekte in die Unternehmensstrategie und -prozesse einen größeren Effekt zu haben. Vor allem gehen proaktive

Ansätze über die Einhaltung der Gesetzgebung hinaus und bringen im Gegensatz zu reaktivem Verhalten der Unternehmen in der Regel auch ökonomische Vorteile mit sich (vgl. Gopalakrishnan et al. 2012). Deshalb ebnet insbesondere diese proaktiven Initiativen den Weg für eine Nachhaltige Entwicklung, z. B. durch die Entwicklung und Anwendung effizienter Technologien zur Abfallaufbereitung, die effizientere Nutzung von Rohstoffen und Ressourcen sowie die Berücksichtigung sozialer und ethischer Überlegungen (vgl. Gopalakrishnan et al. 2012).

### 2.2.1.3 Kunden

Kunden fordern zunehmend nachhaltige Produkte<sup>2</sup>, die ihren ökologischen und sozialen Anforderungen gerecht werden. Hierbei tritt immer mehr die Betrachtung des gesamten Produktlebenszyklus in den Vordergrund, wodurch neben der Nutzungsphase nun auch die vorgelagerten Prozesse eines Unternehmens an Aufmerksamkeit gewinnen. Im Zuge dieser Entwicklung erwarten Kunden den Nachweis über die Einhaltung wesentlicher Mindeststandards über sämtliche Stufen der Wertschöpfungskette (vgl. Colman 2013). Dadurch sind fokale Unternehmen unmittelbar von den Leistungen seiner Zulieferer abhängig.

Die signifikante Rolle von (Privat-)Kunden als Treiber der Nachhaltigkeit wird von mehreren Autoren betont (vgl. Min und Galle 1997; Carter und Carter 1998; Walker, Di Sisto und McBain 2008; Gopalakrishnan et al. 2012; Colman 2013). Im Fokus der Kunden stehen vor allem fokale, große Unternehmen mit bedeutender Marke (vgl. Kleindorfer, Singhal und Wassenhove 2005; Dai und Blackhurst 2012; Theißen und Spinler 2014). Dabei werden Unternehmen, die keinen direkten Kontakt zu privaten Endkunden haben meist vernachlässigt, obwohl dort ebenso gravierende Missstände herrschen können wie am Beispiel des Apple Lieferanten Foxconn gezeigt werden konnte.<sup>3</sup> Je renom-

---

<sup>2</sup> Im weiteren Verlauf der Arbeit sollen unter Produkten sowohl Güter als auch Dienstleistungen verstanden werden.

<sup>3</sup> Foxconn ist ein Auftragshersteller für viele große Elektronikhersteller wie etwa Apple, Microsoft, Samsung oder Sony. Seit 2006 ist Foxconn mit scharfer Kritik in Hinblick auf schlechte Arbeitsbedingungen konfrontiert. Im Jahr 2009 und 2010 machte Foxconn aufgrund einer Serie an Suiziden wegen schlechter Arbeitsbedingungen in der Produktion Schlagzeilen (vgl. Handelsblatt, 2010).

mierter und einflussreicher Unternehmen sind, desto mehr stehen sie in der Verantwortung und desto sensibler reagieren sie auf die Anforderungen der Kunden. Eine Rufschädigung möchten die Unternehmen in jedem Fall vermeiden. Als Folge geben Unternehmen diese Forderungen an ihre Lieferanten direkt weiter. Dadurch sind auch kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) einem erheblichen Druck hinsichtlich einer nachhaltigen Entwicklung ausgesetzt. Erwartet werden hier die gleichen Anforderungen wie diejenigen, die an fokale Unternehmen gestellt werden. Es fehlt jedoch häufig an entsprechendem Wissen und finanziellen Kapazitäten (vgl. Lee und Klassen 2008). Hier muss es deshalb das Ziel sein eine partnerschaftliche Beziehung zwischen fokalem Unternehmen und dem KMU aufzubauen, um gemeinsam die Anforderungen der Kunden hinsichtlich nachhaltiger Produkte zu erfüllen (vgl. Gopalakrishnan et al. 2012). Auf diese Weise profitieren beide Partner.

### 2.2.1.4 Wettbewerber

Unternehmen können durch die Integration ökologischer und sozialer Aspekte in die internen und externen Prozesse sowie in die Produktentwicklung neben ökologischen und sozialen Verbesserungen auch finanzielle Vorteile und vor allem Reputationsgewinne erzielen. Nachhaltige Innovationen können beispielsweise zu Effizienzsteigerungen und somit neben der Einsparung von Ressourcen auch zu Kosteneinsparungen führen. Als potenzielle Technologieführer können Wettbewerber eine solche Situation nutzen, um Diskussionen über neue Industrienormen oder Gesetzgebungen zu entfachen und gezielt zu beeinflussen. Des Weiteren können dadurch eine erhöhte Aufmerksamkeit und somit Reputationsgewinne erreicht werden (vgl. Henriques und Sadorsky 1999), was zu Umsatzsteigerungen führen kann. Sie schaffen sich einen Technologievorsprung und Wettbewerbsvorteil. Andere Unternehmen müssen mit ihren Entwicklungen nachziehen, um nicht Kunden und Ansehen zu verlieren. So treibt der Wettbewerb nachhaltige Innovationen und die Integration ökologischer und sozialer Aspekte in Unternehmen voran.

### 2.2.1.5 Verknappung der Ressourcen

In Zukunft wird sich die Verknappung von Ressourcen weiter verschärfen. Die zunehmende Nachfrage wird Unternehmen in Zukunft verstärkt dazu bringen, Maßnahmen zum effizienten Umgang mit den natürlichen Ressourcen und für ihre Erhaltung zu ergreifen. Die Verknappung stellt somit einen weiteren Treiber dar. Kurzfristig betrachtet können solche Vorhaben finanzielle Nachteile für Unternehmen bringen. Langfristig gesehen werden Unternehmen durch geeignete Maßnahmen zur Senkung des Ressourcenverbrauchs immer von den reduzierten Kosten profitieren und dadurch Ihre Existenz absichern. Unternehmen aus Ländern mit geringen Rohstoffvorkommen profitieren in der Regel am stärksten von solchen Maßnahmen. Beispiele dafür sind die Abfallaufbereitung sowie die Wiederverwertung und -verwendung von Rohstoffen (vgl. Gopalakrishnan et al. 2012).

## 2.2.2 Interne Treiber unternehmerischer Nachhaltigkeit

### 2.2.2.1 Mitarbeiter

Intern spielen Mitarbeiter eine wichtige Rolle für eine nachhaltige Ausrichtung. Ein positives, nachhaltiges Image ist nicht nur wichtig, um den Anforderungen der Kunden gerecht zu werden, sondern auch, um hochqualifizierte Mitarbeiter zu rekrutieren und im Unternehmen zu halten. Eine nachhaltige Unternehmenskultur fördert die Motivation der Belegschaft und führt zu einer erhöhten Identifikation der Belegschaft mit dem Arbeitgeber. Das wiederum trägt zu einer gesteigerten Produktivität bei. Verbesserungen hinsichtlich einer nachhaltigen Entwicklung werden somit maßgeblich durch die Involvierung von Mitarbeitern hervorgerufen (vgl. Hanna et al. 2000; Walker, Di Sisto und McBain 2008).

### 2.2.2.2 Mittleres und oberes Management

Als interner Treiber unternehmerischer Nachhaltigkeit sind neben Mitarbeitern insbesondere das mittlere und obere Management zu nennen. Die persönlichen und ethischen Werte werden durch das Management in die

gesamte Organisation getragen (vgl. Walker, Di Sisto und McBain 2008). Interessanterweise wirken sich hierbei insbesondere die Aktivitäten des mittleren Managements auf die Verbesserungen aus und nicht etwa diejenigen des oberen Managements (vgl. Carter et al. 1998). Auch wenn das mittlere Management bei der Umsetzung nachhaltiger Initiativen wichtig zu sein scheint, so spielt trotzdem auch das Top Management eine bedeutende Rolle. Besonders bei grundlegenden Entscheidungen wie der Selbstverpflichtung zur Einhaltung ökologischer und sozialer Mindeststandards oder der Integration ökologischer und sozialer Aspekte in den Lieferantenauswahlprozess nimmt die Geschäftsführung nach wie vor eine entscheidende Rolle ein.

### 2.2.3 Reputations- und Nachhaltigkeitsrisiken

Als Folge der steigenden Anforderungen diverser Stakeholder und der Bedeutung der Unternehmensreputation werden Reputations- und Nachhaltigkeitsrisiken neben den klassischen Risiken bezüglich Lieferunterbrechungen, Qualitätsproblemen, Lieferzeiten und Preisschwankungen immer wichtiger. Imageschäden bzw. Reputationsverluste, Schadensersatzforderungen sowie Umsatz- und Gewinnrückgänge können aus sozialen und ökologischen Missständen resultieren und sehr weitreichende Folgen haben. Die Gefahr von Reputationsverlusten ist deshalb für die Mehrzahl der genannten externen und internen Treiber die Motivation, um die nachhaltige Entwicklung des Unternehmens voranzutreiben. Deshalb soll das Verständnis von Reputations- und Nachhaltigkeitsrisiken in diesem Abschnitt explizit diskutiert werden.

Da die soziale und ökologische Leistung die Unternehmensreputation entscheidend beeinflusst (vgl. AON 2007), kann angenommen werden, dass ein Zusammenhang zwischen Nachhaltigkeits- und Reputationsrisiken besteht. In dieser Arbeit sollen deshalb Nachhaltigkeitsrisiken als Teilmenge der Reputationsrisiken aufgefasst werden. Im Folgenden wird zunächst der Begriff der Reputation und der Reputationsrisiken erörtert bevor im Anschluss näher auf Nachhaltigkeitsrisiken eingegangen wird.

### 2.2.3.1 Reputationsrisiken

Warren Buffet sagte einmal: „It takes 20 years to build a reputation and five minutes to ruin it. If you think about that, you'll do things differently.“ (Gaultier-Gaillard et al. 2009). Dieses Zitat verdeutlicht die hohe Bedeutung von Reputations- und damit verbundenen Nachhaltigkeitsrisiken im Unternehmen. In der Literatur wird die Reputation häufig als die Differenz zwischen Erfahrungen und Erwartungen dargestellt. (vgl. Harpur 2002; Rayner 2003). Diese Erfahrungen bilden jedoch nicht immer zwangsläufig die Realität objektiv ab (vgl. Rayner 2003). Larkin (2003) versteht unter Reputation ebenfalls ein Werturteil. Er sieht Reputation „as a reflection of how well or how badly different groups of interested people – stakeholders – view a commercial name“ (Larkin 2003). Aus diesen beiden Definitionen von Reputation lässt sich schließen, dass ein Unternehmen eine gute Reputation genießt, wenn es durchweg die Erwartungen der Stakeholder erfüllt oder übertrifft. Wie das Zitat von Warren Buffet deutlich macht, verbreiten sich Missstände, die negativ auf die Unternehmensreputation einwirken, im digitalen Zeitalter sehr schnell und können weitreichende Folgen für das betroffene Unternehmen haben. Um eine gute Unternehmensreputation zu wahren, ist deshalb die kontinuierliche Identifikation und Steuerung aufkommender Differenzen zwischen den Erfahrungen und Erwartungen von Stakeholdern mit Hilfe eines risikoorientierten Ansatzes erforderlich (vgl. Gaultier-Gaillard, Louisot und Rayner 2009).

Reputationsrisiken sollten sehr allgemein verstanden werden und alle Risiken beinhalten, die einen Einfluss auf die Reputation des Unternehmens haben. Rayner (2003) definiert Reputationsrisiken dementsprechend als „any action, event or circumstance that could adversely or beneficially impact an organisation's reputation“ (Rayner 2003). Diese Definition verdeutlicht, dass Reputationsrisiken nicht nur nachteilige sondern auch positive Effekte zur Folge haben können. Abbildung 2.3 gibt einen Überblick über die wesentlichen Einflussgrößen auf die Reputation eines Unternehmens.

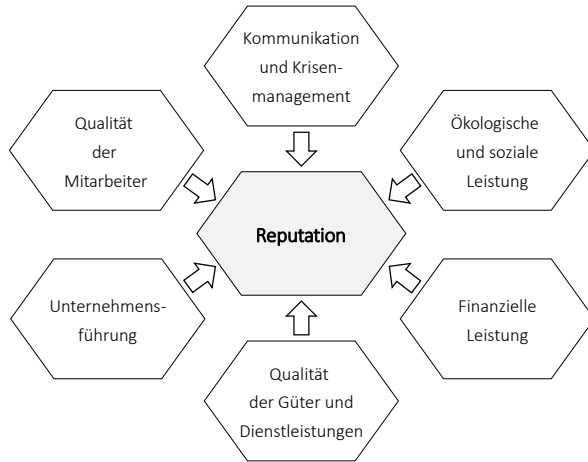


Abbildung 2.3: Einflussgrößen auf die Reputation eines Unternehmens  
(vgl. Rayner 2003; Bebbington et al. 2008)

### 2.2.3.2 Nachhaltigkeitsrisiken

Bezogen auf das Lieferantenmanagement verursachen klassische Beschaffungsrisiken durch eine Unterbrechung des Güter-, Dienstleistungs- oder Finanzstroms einen Schaden für das Unternehmen (vgl. Bode et al. 2011). Nachhaltigkeitsrisiken grenzen sich davon jedoch ab und haben in den meisten Fällen anstatt einer Unterbrechung der genannten Flüsse eine negative Reaktion der Stakeholder zur Folge (vgl. Hofmann et al. 2014). Im Zusammenhang unternehmerischer Nachhaltigkeit haben in letzter Zeit vor allem Nicht-Regierungsorganisationen die Verletzlichkeit der Unternehmensreputation als Druckmittel für eine Verbesserung der sozialen und ökologischen Bedingungen genutzt (vgl. Roberts 2003; Hofmann et al. 2014). Dabei stehen nicht nur unternehmensinterne Aktivitäten im Fokus der Nicht-Regierungsorganisationen sondern auch alle Ereignisse entlang der vorgelagerten Lieferketten. Hofmann et al. (2014) bezeichnen deshalb die sozialen und ökologischen Risiken entlang der Lieferkette „as a condition or a potentially occurring event within a focal firm’s supply chain, which may provoke harmful stakeholder reactions“. Diese Definition untermauert wieder die Bedeutung der Stakehol-

der im Zusammenhang unternehmerischer Nachhaltigkeit und der damit verbundenen Risiken. Nachhaltigkeitsrisiken beziehen sich grundsätzlich auf drei zentrale Bereiche (vgl. Hofmann et al. 2014):

- Ökologische Risiken: Input-bezogene Aspekte (Wasser, Rohstoffe, Energiequellen, -verbrauch), Output-bezogene Aspekte (Emissionen, Recycling, Abfall)
- Soziale Risiken: Arbeitsbedingungen, Entlohnung, Bildung, Gesundheit, Kinderarbeit
- Ethische Risiken: Korruption, Geldwäsche, Bestechung

Da sich diese Arbeit nicht mit ethischen Risiken befasst, sollen im weiteren Verlauf dieser Arbeit und in Anlehnung an Henke et al. (2013) unter Nachhaltigkeitsrisiken lediglich ökologische und soziale Risiken verstanden werden.

## 2.3 Nachhaltigkeit im Lieferantenmanagement

### 2.3.1 Verständnis des (nachhaltigen) Lieferantenmanagements

Im Vergleich zum Thema Beschaffung gibt es in der betriebswirtschaftlichen Literatur nicht viele Beiträge, die sich explizit mit dem Thema des Lieferantenmanagements und insbesondere dessen Definition und den zu Grunde liegenden Aufgaben beschäftigen. Grundsätzlich kann das Lieferantenmanagement aber als ein Teilgebiet der Beschaffung angesehen werden (vgl. Janker 2008; Czaja 2009; Hofbauer et al. 2009; Large 2009; Toporowski et al. 2012). Die Aufgaben des Lieferantenmanagements sind in der wissenschaftlichen Literatur aber nach wie vor nicht eindeutig definiert. Es existiert eine Vielfalt an Auslegungen des Begriffs, die teilweise weit auseinander gehen (vgl. Janker 2008; Czaja 2009). Das Aufgabenspektrum reicht von rein operativen Aufgaben bis hin zu komplexen Managementkonzepten (vgl. Toporowski, Stephan und Kellner 2012). Häufig wird der Begriff in der Literatur auch ohne



vorherige Definition verwendet (vgl. Bevilacqua und Petroni 2002; Choy und Lee 2003; Ricardo Aláez-Aller 2010; Zhu et al. 2010; Tate et al. 2012).

Trotz der Vielfalt an Definitionen lassen sich klare Gemeinsamkeiten erkennen: So begreift ein Großteil der Autoren das Lieferantenmanagement als Prozess mit verschiedenen Schritten (vgl. Toporowski, Stephan und Kellner 2012). Dabei werden meist die Lieferantenbewertung, -auswahl, -steuerung und -entwicklung als elementare Schritte des Lieferantenmanagements verstanden (vgl. Glantschnig 1994; Harting 1994; Carr und Pearson 1999; Amin und Razmi 2009; Foerstl et al. 2010; Akamp und Müller 2013; Zimmer, Fröhling und Schultmann 2015). Für Carr und Pearson (1999) umfasst das Lieferantenmanagement „the activities of identifying, qualifying, selecting, evaluating, developing, and certifying suppliers. [...] to insure the firm has an adequate pool of suppliers to provide the materials and services needed by the firm.“ Ähnlich sehen Foerstl et al. (2010) die Lieferantenauswahl, Lieferantenbewertung und die Lieferantenentwicklung als Kernprozesse des Lieferantenmanagements. Andere Autoren fokussieren die Definition des Lieferantenmanagements mehr auf den Aspekt der Beziehung und Kooperation zwischen dem Abnehmer und Lieferanten und gehen weniger auf konkrete Aufgaben oder den Prozess des Lieferantenmanagements ein. Large (2009) bezeichnet in diesem Zusammenhang das Lieferantenmanagement knapp als das „Management von Lieferanten-Abnehmer-Beziehungen“. Auch Lifart (1997) betont die Bedeutung einer partnerschaftlichen Beziehung zwischen Lieferant und Abnehmer (vgl. Czaja 2009). Im Gegensatz zu diesen auf die Lieferantenbeziehung fokussierten Definitionen geht Wagner (2002) bei seinem Verständnis von Lieferantenmanagement dagegen sowohl auf die Lieferantenbeziehung als auch auf die wesentlichen Prozessschritte ein. Für ihn „umfasst Lieferantenmanagement die Gestaltung, Lenkung und Entwicklung von Lieferantenportfolios und Lieferantenbeziehungen. Die drei wesentlichen Aktivitäten sind das „Management der Lieferantenbasis (Reduktion, Selektion und Bewertung von Lieferanten), Lieferantenentwicklung und Lieferantenintegration“ (Wagner 2002). Genauso umfassend begreift auch Wannewetsch (2005) das Lieferantenmanagement als „das Management der gesamten Lieferantenbasis, der einzelnen Lieferantenbeziehungen sowie der

Beschaffungsprozesse“. Anstatt eines Prozesses verstehen andere Autoren das Lieferantenmanagement auch als einen „geschlossenen Regelkreis“, der die Lieferantenbewertung, -auswahl und -entwicklung beinhaltet (vgl. Maron und Brückner 1998).

Auch wenn sich die einzelnen Definitionen im Detail stark unterscheiden, so können trotzdem zusammenfassend drei wesentliche Gemeinsamkeiten festgehalten werden. Erstens wird das Lieferantenmanagement als Prozess verstanden, der in der Regel die Schritte Lieferantenauswahl, -entwicklung und -steuerung als wesentliche Elemente enthält. Zweitens spielt die Lieferantenbewertung eine übergeordnete Rolle, da sie immer Bestandteil dieser Elemente ist (vgl. Zimmer, Fröhling und Schultmann 2015). Drittens befasst sich das Lieferantenmanagement immer mit dem Aufbau, der Steuerung und der Auflösung von Lieferanten-Abnehmer-Beziehungen.

Das primäre Ziel des Lieferantenmanagements ist die Stärkung der Wettbewerbsposition des Unternehmens durch optimales Management der Lieferanten-Abnehmer-Beziehungen und der Lieferantenbasis. Dabei verfolgt das Lieferantenmanagement mehrere Zielkriterien und ist dadurch mit multikriteriellen Entscheidungen konfrontiert. In der wissenschaftlichen Literatur werden in diesem Zusammenhang deshalb neben der Kostensenkung vor allem die Zielkriterien Qualität, Versorgungssicherheit, Innovation und Flexibilität genannt (vgl. Dickson 1966; Cheraghi et al. 2004; Czaja 2009; Toporowski, Stephan und Kellner 2012; Zimmer, Fröhling und Schultmann 2015). Aufgrund der zunehmenden Auslagerung von Wertschöpfungsanteilen an Lieferanten gewinnt auch die Leistung der vorgelagerten Lieferkette verstärkt an Bedeutung, weshalb diese als sechstes Ziel genannt werden kann. Für einen Überblick über verwendete Kriterien zur Nachhaltigkeitsbewertung von Lieferanten soll an dieser Stelle auf die Ergebnisse einer umfangreichen Kriterienanalyse in Abschnitt 3.1.3.4 verwiesen werden. Zwischen diesen Zielkriterien gibt es sowohl komplementäre als auch konkurrierende Zielbeziehungen. So kann eine erhöhte Flexibilität zu einer verbesserten Versorgungssicherheit führen. Eine Senkung der Einkaufspreise bei gleichbleibender Qualität der gelieferten Produkte ist dagegen weniger wahrscheinlich.

Im Zuge der Nachhaltigkeitsdebatte haben sich mittlerweile ökologische und soziale Verbesserungen als weitere Teilziele des Lieferantenmanagements etabliert. Die Kombination aus der zunehmenden Bedeutung der Lieferkette (vgl. Abschnitt 2.3.2) und der unternehmerischen Nachhaltigkeit (vgl. Abschnitt 2.1.3) haben bereits dazu geführt, dass Unternehmen neben ökonomischen auch ökologische und soziale Aspekte in ihr Lieferantenmanagement integriert haben (vgl. Govindan et al. 2013; Azadnia et al. 2015). Konkret bedeutet dies, dass Unternehmen neben den genannten ökonomischen Zielen auch ökologische und soziale Aspekte in den Kernprozessen des Lieferantenmanagements (Lieferantenauswahl, -steuerung und -entwicklung) berücksichtigen (vgl. Zimmer, Fröhling und Schultmann 2015). Die Integration von Nachhaltigkeit in das Lieferantenmanagement scheint demnach ein notwendiger Schritt zur langfristigen Wettbewerbsfähigkeit der fokalen Unternehmen und ihrer Lieferketten zu sein (vgl. Nagel 2003; Bai and Sarkis 2010; Fu et al. 2012; Dou, Zhu and Sarkis 2014). In der wissenschaftlichen Literatur wird dann von einem nachhaltigen Lieferantenmanagement oder einer nachhaltigen Beschaffung gesprochen (vgl. Zimmer, Fröhling und Schultmann 2015). Auch wenn beide Begriffe in der wissenschaftlichen Literatur häufig verwendet werden (vgl. Foerstl et al. 2010; Pagell et al. 2010; Reuter et al. 2010; Miemczyk et al. 2012), konnten im Rahmen einer Literaturrecherche lediglich die zwei folgenden verwandten Definitionen gefunden werden. Nach Genovese et al. (2013) ist die nachhaltige Beschaffung „just concerned with a single corporate function [...] in a supply chain [...] and a high degree of sustainability awareness (as all three dimensions of sustainability are taken into account)“. Demnach beschränkt sich die nachhaltige Beschaffung auf ein Unternehmen einer Lieferkette und berücksichtigt dort alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit. Im Gegensatz dazu definieren Pagell, Wu und Wasserman (2010) nachhaltige Beschaffung als „managing all aspects of the upstream component of the supply chain to maximize triple bottom line performance“. Sie haben ein breiteres Verständnis von nachhaltiger Beschaffung, indem sie die gesamte vorgelagerte Lieferkette zum Betrachtungsbereich einer nachhaltigen Beschaffung zählen. Der Begriff umfasst demnach das Management aller Aktivitäten eines beschafften Guts oder einer Dienstleistung entlang der

Lieferkette hinsichtlich ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte. Überträgt man diese Erkenntnis auf die vorgestellten Definitionen des traditionellen Lieferantenmanagement, so müssen für ein nachhaltiges Lieferantenmanagement ökonomische, ökologische und soziale Aspekte in die Lieferantenbewertung und somit in die drei Kernprozesse Lieferantenauswahl, -entwicklung und -steuerung integriert werden. Außerdem sind alle drei Aspekte beim Aufbau, der Steuerung und der Auflösung von Lieferanten-Abnehmer-Beziehungen zu berücksichtigen. Vor dem Hintergrund der zu erwartenden ökologischen und sozialen Missstände in der vorgelagerten Lieferkette müssen Unternehmen nicht nur Direktlieferanten sondern alle Glieder der vorgelagerten Lieferkette im Blick haben (vgl. Hutchins und Sutherland 2008), um den größten Nutzen aus einem nachhaltigen Lieferantenmanagement ziehen zu können. Dementsprechend spielt ein nachhaltiges Lieferantenmanagement in der Gestaltung einer möglichst nachhaltigen Lieferkette eine bedeutende Rolle, da es ökonomische, ökologische und soziale Leistungsverbesserungen entlang der gesamten Lieferkette fördert und fordert (vgl. Lamming und Hampson 1996; Ofori 2000; Handfield et al. 2002; Svensson 2007; Vergheze und Lewis 2007; Büyüközkan 2012; Büyüközkan und Çifçi 2012a).

Die Unterschiede zu den Zielen des traditionellen Lieferantenmanagements liegen im Wesentlichen in der Erweiterung durch ökologische und soziale Kriterien und die Betrachtung der gesamten Lieferkette. In Anlehnung an die obige Diskussion zu den Definitionen des traditionellen Lieferantenmanagements bedeutet dies, dass für ein nachhaltiges Lieferantenmanagement in allen Kernprozessen (Lieferantenauswahl, -entwicklung und -steuerung) die gesamte Lieferkette und neben ökonomischen auch ökologische und soziale Aspekte betrachtet werden müssen. Das nachhaltige Lieferantenmanagement umfasst somit die Auswahl, Steuerung und Entwicklung von Lieferanten und deren Lieferketten mit dem Ziel, die Nachfrage des Unternehmens nach Gütern und Dienstleistungen zu decken und gleichzeitig die ökonomischen, ökologischen und sozialen Bedingungen aller beteiligten und betroffenen Organisationen und Menschen entlang der Lieferkette zu verbessern.

### 2.3.2 Bedeutung des (nachhaltigen) Lieferantenmanagements

Die Beschaffung und somit auch das Lieferantenmanagement haben in den letzten Jahrzehnten einen starken und tiefgreifenden Wandel erlebt. Die ursprüngliche Aufgabe bestand in der Umsetzung dispositiver Aufgaben wie Angebotsvergleich, Anfragebestellungen, Bestellwesen und Preisverhandlungen (vgl. Hofbauer, Mashhour und Fischer 2009). Das Lieferantenmanagement hatte somit einen sehr operativ geprägten Charakter und wurde lange Zeit nicht als wichtige und potenziell wertschöpfende Unternehmensfunktion verstanden. Das oberste Ziel war lediglich die Realisierung von Kosteneinsparungen (vgl. Hofbauer, Mashhour und Fischer 2009; Hartmann 2010). Seit den 1980er Jahren hat sich dieses Verständnis jedoch maßgeblich verändert. Dazu haben unter anderem die zunehmende Globalisierung der Märkte und die damit verbundene Erschließung neuer Absatz- und Beschaffungsmärkte, anspruchsvollere Kundenwünsche, kürzere Produktlebenszyklen und die steigende Innovationsgeschwindigkeit beigetragen. Insbesondere führten die technologischen und qualitativen Verbesserungen der Produktion aus Niedriglohnländern zu einer Verschärfung der Wettbewerbssituation. Als Konsequenz dieser Entwicklungen passten die davon betroffenen Unternehmen ihre Einkaufsorganisation, -strategie und -prozesse an, was primär zu einer Konzentration auf die Kernkompetenzen des Unternehmens und zu einer Auslagerung der weniger bedeutenden Güter und Dienstleistungen zu den Lieferanten führte.

Anfangs wurden dabei nur einfache Dienstleistungen und Güter ausgelagert. Im Laufe der Zeit wurden diese Auslagerungen aber weiter ausgedehnt, so dass es mittlerweile keine Seltenheit mehr ist, wenn auch strategisch bedeutende Güter und Dienstleistungen bis hin zu ganzen Unternehmensbereichen an Lieferanten vergeben werden (vgl. Czaja 2009). In Extremfällen wie z.B. der Automobilindustrie führte das zu einem Wertschöpfungsanteil der Lieferkette von über 80% des Fahrzeugs (vgl. Hartley und Choi 1996; Bai und Sarkis 2011; Dölle 2013). Durch die Auslagerung können zwar Risiken bezüglich Entwicklungs-, Produktions- und Investitionskosten an die Lieferanten abgewälzt und auch Verbesserungen der Zielkriterien Qualität, Versorgungssicherheit, Inno-

vation und Flexibilität erreicht werden, nichtsdestotrotz resultiert daraus eine gestiegene Abhängigkeit von Lieferanten und somit ein potenzieller Machtverlust. In Folge der verringerten Wertschöpfungstiefe des eigenen Unternehmens und der Verschiebung zu Lieferanten auf vorgelagerten Wertschöpfungsstufen nimmt außerdem die Komplexität der Lieferkette in jeglicher Hinsicht zu. In Bezug auf die Nachhaltigkeit und den damit verbundenen Nachhaltigkeitsrisiken führt diese Verschiebung zu einer erhöhten Verantwortung entlang der Lieferkette insbesondere für fokale Unternehmen (vgl. Abschnitt 2.1.3).

Lieferanten und Lieferketten haben sich somit zu einem wichtigen Faktor für den Unternehmenserfolg entwickelt (vgl. Handfield et al. 2002). In diesem Zusammenhang wird in der wissenschaftlichen Literatur auch nicht mehr nur vom Wettbewerb zwischen Unternehmen sondern auch zwischen deren Lieferketten gesprochen (vgl. Lummus und Vokurka 1999; Lambert und Cooper 2000; Albino et al. 2002; Li et al. 2006; Antai 2011; Antai und Olson 2013; Bai und Sarkis 2014). Zusammenfassend hat diese Verschiebung der Wertschöpfung in die Lieferkette dazu geführt, dass das Lieferantenmanagement heutzutage eine sehr wichtige Rolle im Unternehmen einnimmt.

### 2.3.3 Aufgaben des (nachhaltigen) Lieferantenmanagements

Um für den weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit ein einheitliches Verständnis zu gewährleisten, soll im Folgenden das Konzept des nachhaltigen Lieferantenmanagements konkretisiert werden. Hierfür sollen die Grundlagen der drei Kernprozesse Lieferantenauswahl, -steuerung und -entwicklung sowie darüber hinausgehende Überlegungen hinsichtlich ökologischer und sozialer Aspekte in Lieferketten vorgestellt und diskutiert werden.

Die nachhaltige Lieferantenauswahl, -steuerung und -entwicklung können als unabhängige aber in einer Wechselbeziehung stehende Kernprozesse des nachhaltigen Lieferantenmanagements angesehen werden (Zimmer, Fröhling und Schultmann 2015). Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 2.4 dargestellt und soll im Folgenden näher beschrieben werden.

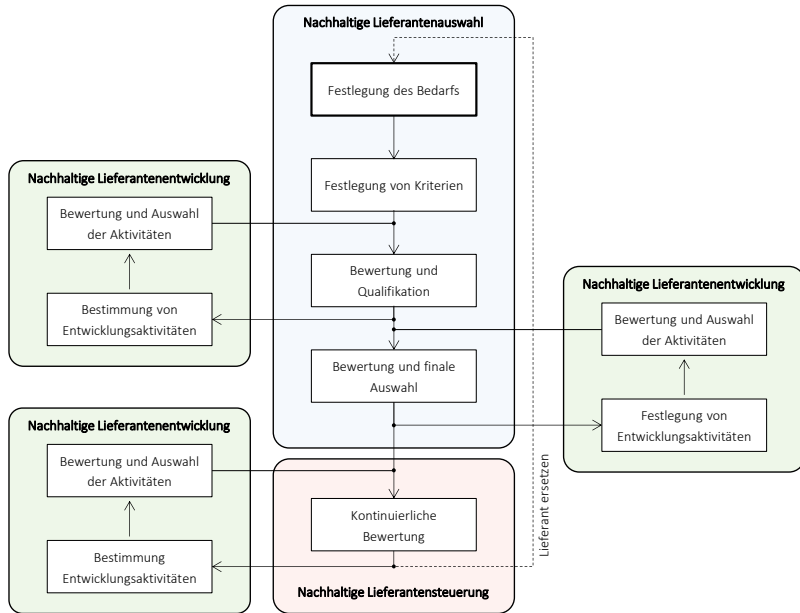


Abbildung 2.4: Kernaufgaben des nachhaltigen Lieferantenmanagements (Zimmer, Fröhling und Schultmann 2015)

Die Lieferantenauswahl umfasst mehrere Schritte (vgl. de Boer et al. 2001; Igarashi et al. 2013): In der Regel beginnt sie mit der Festlegung des Bedarfs an Gütern oder Dienstleistungen, der Spezifikationen und der damit verbundenen Anforderungen. Darauf aufbauend werden die Bewertungskriterien und -fragen bestimmt, die in den darauf folgenden Schritten zur Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung eines Lieferanten herangezogen werden. Üblicherweise finden diese Kriterien und Anforderungen nicht nur in der Lieferantenauswahl Verwendung sondern auch in der Leistungsbewertung im Rahmen der Lieferantensteuerung und -entwicklung. Als nächstes wird der Beschaffungsmarkt analysiert. Dabei werden Lieferanten identifiziert, die den angefragten Bedarf liefern können oder könnten<sup>4</sup> und die die festgelegten Mindestanforderungen erfüllen. Um über die Qualifikation des Lieferanten für

<sup>4</sup> Siehe dazu die Erläuterung des Begriffs Lieferantenaufbau in Kapitel 2.3.3.3.

die finale Auswahl entscheiden zu können, wird die Erfüllung der Mindestanforderungen des Lieferanten überprüft und bewertet. Abschließend findet eine finale und detaillierte Leistungsbewertung und Auswahl unter den qualifizierten Lieferanten statt (vgl. Zimmer, Fröhling und Schultmann 2015), die in der Regel über eine Bewertung von Mindestanforderungen hinausgeht.

Die Lieferantensteuerung folgt direkt auf die Lieferantenauswahl (vgl. Kleinsorge et al. 1992; Ittner et al. 1999). Die kontinuierliche Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung im Rahmen der Lieferantensteuerung dient als Basis für das Ausphasen von schlechten Lieferanten, als Auslöser für Entwicklungsaktivitäten bei Lieferanten und als Mittel zur kontinuierlichen Steuerung des Fortschritts und Erfolgs dieser Aktivitäten oder deren Leistungsfähigkeit allgemein (vgl. Zimmer, Fröhling und Schultmann 2015).

Der Lieferantenentwicklungsprozess wird im Allgemeinen durch die Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung eines Lieferanten im Rahmen der Lieferantenauswahl oder der Lieferantensteuerung ausgelöst (vgl. Hahn et al. 1990). Dabei ist zu beachten, dass sich die drei dargestellten Lieferantenentwicklungsprozesse aus Abbildung 2.4 im Detail unterscheiden: Das Ziel des Entwicklungsprozesses, der im Rahmen der Lieferantenqualifikation ausgelöst wird, liegt in der Erfüllung der gesetzten Mindestanforderungen, wohingegen der in der finalen Auswahl und kontinuierlichen Bewertung ausgelöste Entwicklungsprozess vor allem Leistungsverbesserungen zum Ziel hat, die weit über die Mindestanforderungen hinausgehen. In beiden Fällen der Lieferantenauswahl kann das Ziel sowohl der Aufbau neuer Lieferanten also auch die bloße Leistungsverbesserung bezüglich bestimmter Kriterien sein. Sobald die Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung abgeschlossen ist und ein entsprechendes Verbesserungspotenzial identifiziert worden ist, beginnt der Lieferantenentwicklungsprozess, in dem geeignete Aktivitäten oder Entwicklungsprogramme erarbeitet werden (vgl. Hahn, Watts und Kim 1990). Anschließend wird die erwartete Wirkung der verschiedenen potenziellen Aktivitäten abgeschätzt und die besten zur Umsetzung ausgewählt. Zur Überprüfung der Wirksamkeit der ausgewählten Entwicklungsaktivitäten wird nach der Umsetzung die Nachhaltigkeitsleistung des Lieferanten oder der Lieferkette erneut



bewertet. Im Falle der Lieferantenauswahl ist es das Ziel, den Lieferanten für die finale Auswahl qualifizieren oder ihn als besten auswählen zu können. Im Fall der Lieferantensteuerung geht es darum zu prüfen, inwiefern die verbesserte Leistungsfähigkeit als Folge der Entwicklungsaktivitäten nun den Anforderungen seitens des Abnehmers genügt.

Zwischen dem traditionellen und dem nachhaltigen Lieferantenmanagement gibt es in allen drei Kernprozessen zwei wesentliche Unterschiede. Zum einen werden die Kriterien zur Nachhaltigkeitsbewertung um ökologische und soziale Kriterien erweitert. Zum anderen gewinnen Lieferanten in der vorgelagerten Lieferkette mehr an Bedeutung (vgl. Abschnitt 2.1.3). Im Folgenden sollen die Aufgaben der drei Kernprozesse zum besseren Verständnis detaillierter erläutert werden.

### 2.3.3.1 Nachhaltige Lieferantenauswahl

Viele Autoren halten die Lieferantenauswahl für die wichtigste Aufgabe im Lieferantenmanagement (vgl. Willis et al. 1993; Ghodspour und O'Brien 1998; Muralidharan et al. 2002; Araz und Ozkarahan 2007; Wu et al. 2007). Der Grund dafür liegt vor allem darin, dass vor der finalen Auswahl des Lieferanten die beste Verhandlungssituation für das einkaufende Unternehmen besteht. Vor der Auswahl kann wesentlich Einfluss auf die gesteckten Beschaffungsziele wie z.B. eine Kostenreduzierung oder Qualitätsverbesserung genommen werden. Die Lieferantenauswahl trägt somit maßgeblich zur Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens bei (vgl. Ghodspour und O'Brien 2001).

Primäres Ziel der Lieferantenauswahl ist die Identifikation, Bewertung und Auswahl eines Lieferanten, der den zukünftigen Bedarf des Unternehmens decken und gleichzeitig den Anforderungen bei deren Bereitstellung bestmöglich erfüllen kann. Akman und Piskin (2013) definieren dazu die Lieferantenauswahl als einen Prozess, in dem das Unternehmen einen Lieferanten identifiziert und bewertet und eine vertragliche Bindung mit ihm eingeht. Je nach Beschaffungsstrategie werden für die Belieferung eines Beschaffungsobjekts an Stelle eines einzigen Lieferanten bewusst auch mehrere Lieferanten gesucht. In der Lieferantenauswahl wird dann allgemein zwischen dem Single

sourcing und dem Multiple sourcing unterschieden. Während das Single sourcing allgemein als die Bedarfserfüllung eines Produkts durch einen Lieferanten verstanden werden kann (Treleven und Bergman Schweikhart 1988), so wird beim Multiple sourcing der Bedarf nach diesem Produkt durch mehrere Lieferanten gedeckt. Im Fall des Multiple sourcing muss das Unternehmen neben der Auswahl der besten Lieferanten auch die optimale Verteilung der benötigten Mengen auf diese bestimmen (vgl. Ghodsypour und O'Brien 1998; Kannan et al. 2013).

Die hohe Bedeutung der Lieferantenauswahl gilt auch für die Umsetzung ökologischer und sozialer Beschaffungsziele. Insbesondere, wenn es um Anforderungen bezüglich vorgelagerter Lieferanten geht, mit denen kein direktes Vertragsverhältnis besteht, spielt die Beeinflussbarkeit eine große Rolle (vgl. Zhu, Dou und Sarkis 2010). Neben der Verhandlungsposition heben Meixell und Gargeya (2005) auch allgemein die Schlüsselrolle der Lieferantenauswahl im supply chain design hervor, da mit der Auswahl nicht nur die Entscheidung über den Direktlieferanten sondern in der Regel auch über die vorgelagerte Lieferkette getroffen wird. In diesem Zusammenhang sprechen manche Autoren auch von einer 'green supply chain supplier selection' (vgl. Tsai und Hung 2009).

Werden im Zusammenhang der Nachhaltigkeit die einzelnen Prozessschritte einer Lieferantenauswahl aus Abbildung 2.4 detaillierter betrachtet, so müssen für eine nachhaltige Lieferantenauswahl alle vier Schritte um ökologische und soziale Aspekte erweitert werden. Beim ersten Schritt der Festlegung des Bedarfs und der Anforderungen geht es darum zu bestimmen was, wie, warum und wieviel durch einen zu bestimmenden Lieferanten geliefert werden soll (vgl. Koppelman 2000). Dieser Schritt kann mit Blick auf die finale Auswahl am Ende des Lieferantenauswahlprozesses schnell in den Hintergrund geraten, was auch dazu führte, dass die Bedarfsanalyse in der entsprechenden Beschaffungsliteratur der 90er Jahre zunächst vernachlässigt wurde (vgl. Koppelman 2000). Die Festlegung der Anforderungen ist aber die Grundlage für die Ableitung geeigneter Bewertungskriterien, für die Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung und somit letztlich auch für die finale

Auswahl. Deshalb leistet dieser Schritt nicht nur einen entscheidenden Beitrag zur Qualität der Entscheidungsfindung in der Lieferantenauswahl sondern auch in den anderen beiden Kernprozessen des nachhaltigen Lieferantenmanagements – der Lieferantensteuerung und -entwicklung. Aus diesem Grund spielt die Integration ökologischer und sozialer Aspekte in diesen ersten Schritt ebenso eine bedeutende Rolle. Aufbauend auf den ökonomischen, ökologischen und sozialen Anforderungen werden im zweiten Prozessschritt entsprechende Kriterien und Fragen festgelegt, um im späteren Verlauf die relevanten Informationen zur Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung zur Verfügung zu haben. Dort können neben der Selbstauskunft des Lieferanten auch Expertenschätzungen und Erfahrungen des einkaufenden Unternehmens einfließen. Der Schritt der Lieferantenidentifikation und -qualifikation hat zunächst das Ziel die Lieferanten zu bestimmen, die das Beschaffungsobjekt bereits herstellen oder herstellen könnten (vgl. Koppelman 2000). Dabei werden bestehende und neue potenzielle Lieferanten in Erwägung gezogen. Für die gezielte Beeinflussung des Beschaffungsmarktes spielt deshalb der an die Lieferantenqualifikation angehängte Prozess der Lieferantenentwicklung eine entscheidende Rolle (vgl. 2.3.3.3). Gerade für angestrebte neue Produktentwicklungen wird der gesamte Beschaffungsmarkt auf potenzielle Lieferanten analysiert. Neben der Lieferantenidentifikation ist das Ziel dieses Schrittes auch die Lieferanteneingrenzung bzw. Lieferantenqualifikation. Dazu werden die zur Verfügung stehenden Lieferanten auf Ihre Eignung geprüft. Dies erfolgt meist durch die Abfrage von Mindestanforderungen, die der Lieferant erfüllen muss. Da die ökologischen und sozialen Missstände häufig in der vorgelagerten Lieferkette zu erwarten sind, muss je nach Beschaffungsobjekt bei der Abfrage im Rahmen der nachhaltigen Lieferantenauswahl, sofern bereits festgelegt, auch die vorgelagerte Lieferkette mit einbezogen werden. Konkret bedeutet das, dass in Abhängigkeit vom Nachhaltigkeitsrisiko des Beschaffungsobjekts ökologische und soziale Mindestanforderungen entlang der Lieferkette überprüft werden sollten. Für einen effizienten Umgang mit der meist sehr hohen Anzahl an potenziellen Lieferanten und deren Lieferketten hat sich die Lieferantenqualifikation in der Praxis bereits seit langem als Standardprozess durchgesetzt. Wie in Abbildung 2.5 dargestellt, nimmt die

Anzahl an potenziellen Lieferanten im Rahmen des Lieferantenauswahlprozesses sukzessive ab während der Informationsbedarf dagegen sukzessive zunimmt. Um den Aufwand für die Informationsbeschaffung entlang der Lieferkette für alle Beteiligten in Grenzen zu halten und gezielt passende Fragen zu stellen, sollten außerdem deren Nachhaltigkeitsrisiken bestimmt werden. Dies gilt insbesondere für die detaillierte Informationsbeschaffung der finalen Auswahl. Nur so können kritische Lieferanten entlang der Lieferkette effizient identifiziert und aufkommende Nachhaltigkeitsrisiken reduziert oder idealerweise vermieden werden.

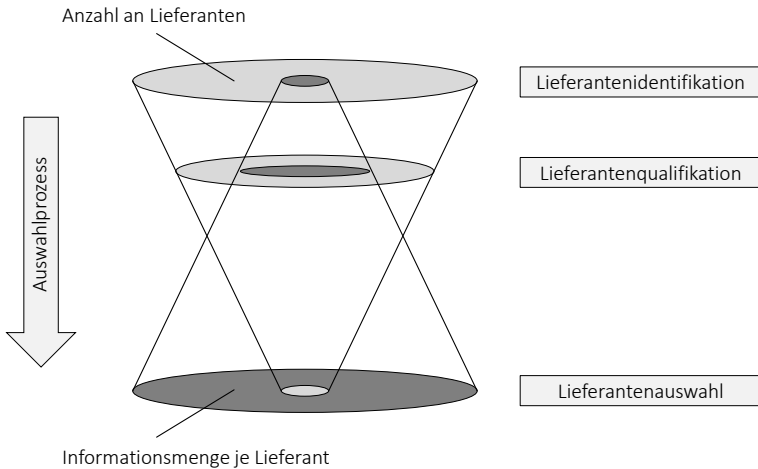


Abbildung 2.5: Lieferanteneingrenzung (Janker 2008)

Eine der Aufgaben des letzten Schritts, der finalen Auswahl, besteht darin, die Ergebnisse aus Beschaffungsmarktforschung, Selbstauskunft und gegebenenfalls aus der Auditierung zusammenzutragen (vgl. Janker 2008). Mit Hilfe dieser Informationen kann die Nachhaltigkeitsleistung systematisch ermittelt werden.<sup>5</sup> Das Ergebnis ist eine Rangfolge, die als Empfehlung und Diskussions-

---

<sup>5</sup> Die Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung kann sowohl mit einfachen als auch mit komplexen Bewertungsansätzen erfolgen. Für einen Überblick einfacher Ansätze soll an dieser Stelle auf Janker (2008) und für komplexe Ansätze auf den Abschnitt 3.1.3.3 verwiesen werden.

basis für das Entscheidungsgremium verstanden werden sollte. In der nachhaltigen Lieferantenauswahl besteht das Entscheidungsgremium, abhängig vom Beschaffungsobjekt und den damit verbundenen Nachhaltigkeitsrisiken, aus Vertretern der Fachbereiche Beschaffung, Vertrieb, Forschung und Entwicklung, Produktion, Qualität, Logistik, Datenverarbeitung und Nachhaltigkeit (vgl. Janker 2008).

Zusammenfassend kann die nachhaltige Lieferantenauswahl „as a classical supplier selection problem in which environmental and social criteria are taken into account to select and monitor suppliers’ performances“ (Genovese et al. 2010) verstanden werden. Ein wesentlicher Unterschied zur rein ökonomischen Lieferantenauswahl ist aber die zunehmende Bedeutung der vorgelagerten Lieferkette. Im Gegensatz zur Produktqualität, den Produkteigenschaften oder den Produktkosten ist die ökologische und soziale Leistung des Produkts oder des Lieferanten leider nicht am Endprodukt nachprüfbar. Deshalb ist im Rahmen der nachhaltigen Lieferantenauswahl die Berücksichtigung der vorgelagerten Lieferkette viel wichtiger als bei rein ökonomischer Betrachtung. In Anlehnung an Akman und Piskin (2013) und Genovese et al. (2010) soll in dieser Arbeit die nachhaltige Lieferantenauswahl deshalb als Prozess verstanden werden, der geeignete Lieferanten und Lieferketten identifiziert und bewertet mit dem Ziel diejenigen auszuwählen, die bezüglich der Nachhaltigkeit entlang der gesamten Lieferkette die beste Leistung erbringen (Zimmer, Fröhling und Schultmann 2015).

### 2.3.3.2 Nachhaltige Lieferantensteuerung

Die Lieferantensteuerung dient allgemein dazu, die Leistungsfähigkeit der Lieferantenbasis zu erhalten und idealerweise zu verbessern. Um dies zu erreichen muss die Erfüllung der Anforderungen, die meist bereits im Rahmen der Lieferantenauswahl festgelegt wurden, regelmäßig überprüft werden. Diese können sich im Laufe der Zusammenarbeit auch verändern und müssen entsprechend in den Steuerungssystemen angepasst werden. Die regelmäßige Leistungsbewertung erfolgt dabei über die gesamte Dauer der Zusammenarbeit, um Defizite aufdecken und Gegenmaßnahmen frühzeitig einleiten zu können (vgl. Janker 2008). Zu den Gegenmaßnahmen zählen, wie in Abbildung

2.4 dargestellt, unter anderem die Lieferantentwicklung oder die Beendigung der Zusammenarbeit. Die Lieferantensteuerung kann deshalb auch als ein Auslöser der Lieferantentwicklung bezeichnet werden (vgl. Zimmer, Fröhling und Schultmann 2015). Damit die Ergebnisse der Lieferantenbewertung im Rahmen der Lieferantensteuerung von den Lieferanten akzeptiert werden, ist es wichtig, dass zur Vergleichbarkeit die gleichen Anforderungen an die Lieferanten gestellt (vgl. Pfohl et al. 1999) und die Kriterien und Verfahren zur Leistungsbewertung transparent kommuniziert werden (vgl. Muschinski 1998). Um Anreize zu schaffen sollten dem jeweiligen Lieferant außerdem die Ergebnisse seiner Leistungsbewertung bekannt sein (vgl. Hartmann et al. 1997). Neben der Erhaltung oder Verbesserung der Leistungsfähigkeit bestehender Lieferanten dient die Lieferantensteuerung auch dazu Erfahrungen aus der Leistungsbewertung und lieferantenspezifische Informationen in zukünftige Entscheidungen der Lieferantenauswahl einfließen zu lassen (vgl. Muschinski 1998).

Je nach Betrachtungsweise existieren zum Begriff der Lieferantensteuerung unterschiedliche Definitionen, so dass an dieser Stelle auf keiner einheitlichen Begriffsbestimmung aufgebaut werden kann. Einen Überblick bezüglich der Bandbreite der Definitionen zum Begriff „Steuerung“ bzw. „Monitoring“ verdeutlicht Tabelle 2.1.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Einige deutsche Autoren verwenden in diesem Zusammenhang das aus der englischsprachigen Literatur stammende Wort „Monitoring“ an Stelle von „Steuerung“. In dieser Arbeit sollen beide Begriffe als Synonyme verstanden werden.

Tabelle 2.1: Definitionen des Begriffs „Steuerung“

Autoren	Definition
Colsman (2003)	„Die Grundidee des Monitoring ist, dass die erbrachte Leistung kontinuierlich erfasst und visualisiert wird.“
Hervani et al. (2005)	„Organizational monitoring refers to the methods by which organizations measure, analyze, and monitor their performance in key dimensions.“
Stockmann (2007)	„Monitoring [...] ist eine Daueraufgabe, um das Management anhand organisationsinterner und -externer Daten kontinuierlich über das Verhältnis der geplanten und tatsächlichen Entwicklungen (Soll-Ist-Vergleich) zu informieren, damit dieses zielgerichtete Korrekturen vornehmen kann.“
Large (2009)	„[...] so kann Lieferantensteuerung als unternehmerische Handlung der aktiven Beeinflussung des aktuellen und zukünftigen Verhaltens, insbesondere des Leistungsverhaltens, von Mitarbeitern und Führungskräften einer Lieferantenunternehmung verstanden werden.“
Sowa (2011)	„Dabei handelt es sich um unmittelbare und systematische Erfassung, Beobachtung bzw. Überwachung eines Prozesses mittels technischer Hilfsmittel oder anderer Beobachtungssysteme.“
Hoffmann (2013)	„Monitoring is treated as regular risk identification and assessment.“
Ragazzi et al. (2012)	„The term ‘monitoring’ comes from the industrial sector, where it was used to describe of process of continuous supervision of industrial machines. The expression was subsequently adopted by other fields as well, while maintaining the original meaning of continuous data recording with regard to a specific context.“

Bei Betrachtung dieser Definitionen fallen trotz der teilweise unterschiedlichen Schwerpunkte zwei häufig erwähnte Aspekte auf. Ein großer Teil der Autoren bezeichnet die Erfassung der Leistung des Lieferanten bzw. den Soll-Ist-Vergleich und die Beschaffung der dazu benötigten Informationen als Bestandteil der Lieferantensteuerung (vgl. Colsman 2003; Hervani, Helms und Sarkis 2005; Stockmann 2007; Large 2009). Vielfach wird auch von einer kontinuierlichen, dauerhaften oder regelmäßigen Aufgabe gesprochen (vgl. Colsman 2003; Stockmann 2007; Ragazzi, Crescentini und Castelli 2012; Hoffmann 2013). Nach Lombardi (2010) kann der Aufgabenbereich der Steuerung in vier wesentliche Teilaufgaben unterteilt werden (Lombardi 2010; Ragazzi, Crescentini und Castelli 2012). Die Aufgabe der Steuerung sollte es sein

- **zu informieren** und deshalb den Fortschritt eines Prozesses hinsichtlich der spezifischen Zeitplanung und Fristen sowie der Kosten und Ressourcennutzung zu erklären.
- **zu warnen** und somit die kritischen Punkte hervorzuheben und diese den Entscheidungsträgern zu melden, welche dann entsprechend reagieren können.
- **zu beraten**, um den Entscheidungsträgern zu ermöglichen die Planung der nachfolgenden Schritte zu verbessern.
- **zu berichten** und damit den Ausgangspunkt für die Bewertung der Auswirkungen einer bestimmten Maßnahme schaffen.

In Bezug auf die Steuerung von Lieferketten bietet ein Bericht des United Nations Global Compact folgende Erklärung (UN 2012): „Ein Monitoring-System liefert Informationen darüber, ob die Lieferanten die [...] formulierten Vorgaben und Erwartungen erfüllen.“ Vergleichbar argumentiert Koplin (2006): „Monitoring umfasst die Überprüfung des Lieferanten bezüglich der Einhaltung der Lieferantenanforderung“. In Bezug auf die Integration ökologischer und sozialer Aspekte in die Lieferantensteuerung ist in der wissenschaftlichen Literatur bis heute wenig zu finden. Einige Publikationen greifen das Themenfeld zwar auf, lassen jedoch eine allgemeine Bestimmung des Begriffs der nachhaltigen Lieferantensteuerung vermissen (vgl. Davidson 2009; Štreimikienė et al. 2009; Boggia und Cortina 2010; Chee Tahir und Darton 2010; Bai und Sarkis 2012; Čuček et al. 2012; Mortensen und Jensen 2012). Bai und Sarkis (2012) halten lediglich fest: „Evaluation and Monitoring supply chain management programs is dependent on the development and application of performance measures. This evaluation becomes more complex when considering the sustainability of these supply chains.“ Entsprechend der Definition der nachhaltigen Lieferantenauswahl spielt auch in der nachhaltigen Lieferantensteuerung im Gegensatz zur rein ökonomischen Lieferantensteuerung die vorgelagerte Lieferkette eine besondere Rolle. Gerade die Informationsbeschaffung entlang der gesamten Lieferkette ist sehr schwierig und kostspielig (vgl. Parmigiani et al. 2011), weshalb auch hier eine Priorisierung



mit Hilfe der Abschätzung von Nachhaltigkeitsrisiken sinnvoll ist. Zusammenfassend wird in dieser Arbeit die nachhaltige Lieferantensteuerung als die kontinuierliche Überprüfung und Bewertung leistungsspezifischer Informationen von Lieferanten und Lieferketten hinsichtlich der Einhaltung definierter Mindestanforderungen oder Leistungsverbesserungen unter Berücksichtigung der drei Säulen der Nachhaltigkeit verstanden (Zimmer, Fröhling und Schultmann 2015).

### 2.3.3.3 Nachhaltige Lieferantenentwicklung

Die Lieferantenentwicklung hat im weitesten Sinne die Leistungsverbesserung von Lieferanten, die Weiterentwicklung der Fähigkeiten eines Lieferanten (vgl. Handfield et al. 2000) sowie den Aufbau eines neuen Anbieters zur gezielten Beeinflussung des Beschaffungsmarktes (vgl. Arnolds et al. 2013) zum Ziel. Dabei kann zwischen kurzfristigen und langfristigen Zielen unterschieden werden (vgl. Handfield et al. 2000). Wagner and Boutellier (2003) schlagen zur Kategorisierung der Lieferantenentwicklungsaktivitäten eine Unterscheidung nach (1) der Art des Lieferanten (bestehend vs. neu), (2) nach der Motivation des Abnehmers (reaktiv vs. proaktiv) sowie (3) nach der Rolle des Abnehmers (indirekt vs. direkt) vor:

- (1) Die Lieferantenentwicklung kann sich auf den Aufbau neuer Anbieter beziehen, die aufgrund fehlender Kompetenzen bisher noch nicht auf dem Beschaffungsmarkt tätig waren (vgl. Large 2009). Krause und Ellram (1997b) sehen den Aufbau neuer Lieferanten als Teil des „reverse marketing“ an und zählen diese Aktivitäten deshalb nicht zur Lieferantenentwicklung. Im Zuge dessen verstehen einige Autoren unter Lieferantenentwicklung ausschließlich jene Aktivitäten, die eine Verbesserung der Leistung/Fähigkeiten von bestehenden Lieferanten zum Ziel haben. Dieses Verständnis wird von einigen Autoren auch als „Lieferantenförderung“ (vgl. Kleinau 1995; Arnolds et al. 2013) oder als „breiterer Fokus“ der eigentlichen Lieferantenentwicklung (vgl. Hahn, Watts und Kim 1990) bezeichnet. In diesem Zusammenhang verstehen Hahn, Watts und Kim (1990) und Watts und Hahn (1993) den Aufbau von Lieferanten als Lieferantenentwicklung im engeren Sinne und die

Entwicklungsaktivitäten zur Verbesserung bestehender Lieferanten als Lieferantenentwicklung im weiteren Sinne.

- (2) Eine reaktive Lieferantenentwicklung wird meist dadurch ausgelöst, dass durch die Leistungsbewertung im Rahmen der Lieferantensteuerung eine Schwächung eines bestehenden Lieferanten festgestellt wird (vgl. Krause et al. 1998). Beispielhafte Ursachen einer reaktiven Lieferantenentwicklung sind die akute Gefahr der Verzögerung oder des Stillstands der Produktion des Abnehmers aufgrund von Qualitätsproblemen (vgl. Durst 2011). Im Gegensatz dazu beschäftigt sich die proaktive bzw. strategische Lieferantenentwicklung mit der Identifikation kritischer Produkte und Lieferanten und strebt mit vorbeugenden Entwicklungsaktivitäten eine nachhaltige Leistungsverbesserung der Lieferantenbasis an (vgl. Krause, Handfield und Scannell 1998). Ein wesentlicher Unterschied liegt somit in der vorausschauend geplanten Suche und Auswahl von Lieferanten (vgl. Batran 2008). Voraussetzungen einer proaktiven Lieferantenentwicklung sind sowohl eine hohe Bedeutung des Beschaffungsobjekts (vgl. Batran 2008) als auch die grundlegende Fähigkeit des Abnehmers Entwicklungsaktivitäten durchführen zu können (vgl. Large 2009). Dem potenziellen Nutzen der Lieferantenentwicklung steht dabei immer der dafür benötigte Aufwand gegenüber (vgl. Handfield et al. 2000; Large 2009).
- (3) Wenn der Abnehmer die Aktivitäten zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit nicht aktiv mitgestaltet und unterstützt, wird von einer indirekten Lieferantenentwicklung gesprochen. In diesem Fall werden dem betroffenen Lieferanten lediglich Leistungsdefizite aufgezeigt (vgl. Krause und Ellram 1997b; Krause und Ellram 1997a) und keine finanziellen, personellen oder materiellen Mittel zur Verfügung gestellt (vgl. Batran 2008). Werden im Gegensatz dazu aber entsprechende Mittel seitens des Abnehmers zur Lieferantenentwicklung bereitgestellt, so wird von einer direkten Lieferantenentwicklung gesprochen (vgl. Monczka et al. 1993).

Wie dieser Diskussion entnommen werden kann, herrscht wie auch bei der Lieferantenauswahl und -steuerung in der wissenschaftlichen Literatur kein einheitliches Verständnis des Begriffs der Lieferantenentwicklung. Für einen Überblick sämtlicher Auslegungen des Begriffs soll an dieser Stelle auf die Dissertation von Batran (2008) verwiesen werden. Trotz der Vielfalt findet sich in den darin zitierten Definitionen ein Aspekt, der in mehreren der Definitionen erwähnt wird. So scheint bei vielen der Autoren Einigkeit darüber zu bestehen, dass allgemein jede Aktivität, die zur Leistungsverbesserung eines Lieferanten führen soll, als Lieferantenentwicklung bezeichnet werden kann (vgl. Hartley und Choi 1996; Hartley und Jones 1997; Krause 1997; Krause, Handfield und Scannell 1998; Handfield et al. 2000). Einige Autoren beziehen sich in ihrer Definition dabei aber explizit auf die Befähigung und den Aufbau neuer Lieferanten im Rahmen des Lieferantenauswahlprozesses (vgl. Leenders 1989; Kleinau 1995; Arnold 1997; Arnolds et al. 2013). Andere wiederum zählen ausschließlich Aktivitäten zur Verbesserung der Leistung bestehender Lieferanten im Rahmen des Lieferantensteuerungsprozesses zur Lieferantenentwicklung (vgl. Hartley und Choi 1996). Wie bereits erwähnt sind für einige Autoren auch beide Bereiche Bestandteil der Lieferantenentwicklung (vgl. Hahn, Watts und Kim 1990; Watts und Hahn 1993; Wagner und Boutellier 2003).

Hinsichtlich einer nachhaltigen Lieferantenentwicklung ist der wesentliche Unterschied zur traditionellen Lieferantenentwicklung wieder die Erweiterung um ökologische und soziale Aspekte und die besondere Berücksichtigung kritischer Lieferanten in der vorgelagerten Lieferkette. In dieser Arbeit sollen deshalb unter einer nachhaltigen Lieferantenentwicklung alle Aktivitäten verstanden werden, die im Rahmen der Lieferantenauswahl und -steuerung ausgelöst werden und den Aufbau neuer Anbieter oder die Leistungsverbesserung bestehender Lieferanten und Lieferketten unter Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte zum Ziel haben.

Die Entscheidung, welche Aktivitäten für den vorliegenden Fall geeignet sind, kann wie in Abbildung 2.4 dargestellt in zwei Schritten vollzogen werden. Nachdem die Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung im Rahmen der Lieferantenauswahl oder -steuerung klare Defizite aufgezeigt hat, werden im ersten

Schritt der Lieferantenentwicklung zunächst alle potenziellen Aktivitäten zu deren Beseitigung bestimmt (vgl. Hahn, Watts und Kim 1990). Im zweiten Schritt der Lieferantenentwicklung werden die Erfolgchancen und Wirkungen dieser Aktivitäten untersucht und die potenzielle Nachhaltigkeitsleistung, die nach deren Durchführung zu erwarten ist, abgeschätzt. Abschließend werden die besten Aktivitäten ausgewählt und umgesetzt (vgl. Zimmer, Fröhling und Schultmann 2015). Dazu setzt sich ein Expertenteam zusammen, um ein entsprechendes Entwicklungsprogramm samt Zeitplanung zu entwerfen (vgl. Hahn, Watts und Kim 1990). Im Anschluss findet im Rahmen der Lieferantenauswahl oder -steuerung eine erneute Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung zur Überprüfung der tatsächlichen Leistungsverbesserung statt. Die Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung im Zuge der Lieferantenauswahl oder -steuerung hat deshalb nicht nur den Zweck einen Lieferantenentwicklungsprozess auszulösen sondern auch dessen erfolgreiche Umsetzung und Wirksamkeit zu überprüfen (vgl. Batran 2008). Zu den in der Literatur häufig genannten Aktivitäten zählen die Rückmeldung von Ergebnissen der Nachhaltigkeitsbewertung, der Wissenstransfer, die finanzielle Unterstützung, die Mitwirkung bei der Produktionsplanung und -steuerung oder der Produktentwicklung, der Mitarbeitertransfer vom Hersteller zum Lieferanten sowie eine prozessorientierte, operative oder strategische Beratung (vgl. Arnold 2004; Büsch 2007; Wouters et al. 2007; Large 2009).

### 2.3.4 Verständnis und Ebenen der Nachhaltigkeitsleistung

Wie der Beschreibung der einzelnen Prozesse und Aufgaben des vorherigen Abschnitts entnommen werden kann, nimmt die Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung eines Lieferanten eine zentrale Rolle im Lieferantenmanagement ein (vgl. Janker 2008; Bai und Sarkis 2011). Um ein gemeinsames Verständnis über die Bedeutung des Begriffs der Nachhaltigkeitsleistung zu vermitteln, soll im Folgenden in aller Kürze zunächst der Begriff der Unternehmensleistung und darauf aufbauend der Begriff der Nachhaltigkeitsleistung diskutiert werden.

Grundsätzlich kann die Unternehmensleistung „als Ergebnis der betrieblichen Tätigkeit, die aus der Verfolgung bestimmter ökonomischer Unternehmensziele resultiert“ (Sturm 2000) verstanden werden. Eine sehr ähnliche Definition sieht in der Unternehmensleistung den „Grad der Erreichung eines vorher festgelegten Ziels“ (Sturm 2000). Beide Definitionen implizieren, dass vor einer Leistungsbewertung zunächst entsprechende unternehmensweite ökonomische Ziele bestimmt werden müssen. Im Rahmen des nachhaltigen Lieferantenmanagements werden die Ziele und die davon abgeleiteten Anforderungen an den Lieferanten ebenfalls bereits im Voraus festgelegt. In der Regel erfolgt dies bereits im Produktentstehungsprozess und spätestens im Lieferantenauswahlprozess.

Die Ziele und Anforderungen, die der Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung eines Lieferanten als Basis dienen, können vereinfacht in eine Unternehmens-, Standort- und Produktebene kategorisiert werden.<sup>7</sup> In Bezug auf ökologische und soziale Aspekte sollte die Bewertung idealerweise die produktnahen Prozesse berücksichtigen, weshalb vor allem die Produkt- und Standortnachhaltigkeit im Vordergrund steht (vgl. Seuring und Müller 2008). Da sich die tatsächlichen ökologischen und sozialen Auswirkungen des Produkts in der Praxis aufgrund der hohen Komplexität und des damit verbundenen hohen Aufwands aber nicht exakt erfassen lassen und eine Vergleichbarkeit somit nicht gegeben ist, fokussieren sich die heutigen Nachhaltigkeitsanforderungen und -indikatoren fokaler Unternehmen überwiegend auf die Unternehmens- und Standortebene des Lieferanten (vgl. Brent und Labuschagne 2006). Ein Beispiel dafür sind die standardisierten Nachhaltigkeitsfragebögen der Automobil-, Chemie- und Eisenbahnindustrie, die von Lieferanten beantwortet werden müssen (Akzonobel et al. 2014; CSR Europe 2014; Ecovadis 2015). Häufig beziehen sich die Fragen auf unternehmensweite oder standortbezogene Aspekte wie etwa die Verpflichtung des Managements zu unternehmerischer Nachhaltigkeit, die Veröffentlichung eines Nachhaltigkeitsberichts, die Existenz eines Verhaltenskodex oder etwa auf den Nachweis eines Umwelt- oder Gesundheits- und Sicherheitsmanagementsystems am Standort.

---

<sup>7</sup> Hinsichtlich ökologischer und sozialer Aspekte des Standorts muss zwischen Produktions- und Verwaltungsstandorten unterschieden werden.

## 2 Nachhaltigkeit in der Lieferkette als Herausforderung für Unternehmen

In dieser Arbeit sollen unter Produktnachhaltigkeit alle ökonomischen, ökologischen und sozialen Auswirkungen des betrachteten Produkts während des gesamten Lebenszyklus sowie Maßnahmen zu dessen Verbesserung verstanden werden. Der Bereich Standortnachhaltigkeit bezieht sich dagegen auf die vorhandenen Prozesse und Auswirkungen des Standorts, der die nachgefragten Produkte herstellt bzw. die nachgefragte Dienstleistung erbringt. Die Trennungen der Auswirkungen auf Unternehmens-, Standort- und Produktebene dürfen dabei keinesfalls als scharfe Grenzen angesehen werden. Ganz im Gegenteil handelt es sich bei den Ebenen, wie in Abbildung 2.6 dargestellt, vielmehr um Teilmengen oder Untermengen der anderen. So beeinflussen z.B. Aspekte der Produktnachhaltigkeit auch immer die Nachhaltigkeitsleistung des Standorts und umgekehrt.

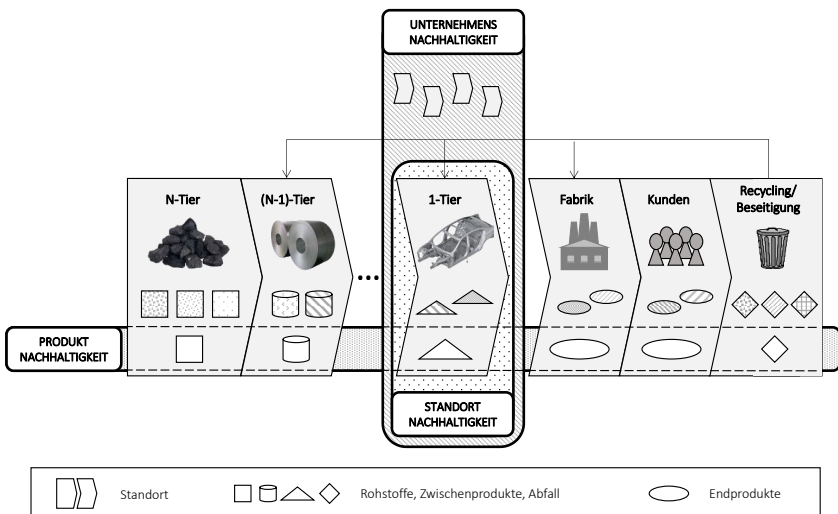


Abbildung 2.6: Ebenen der Nachhaltigkeitsleistung

Die Nachhaltigkeitsleistung eines Lieferanten kann somit allgemein als das Ergebnis der betrieblichen Tätigkeiten hinsichtlich der ökonomischen, ökologischen und sozialen Ziele und Anforderungen des einkaufenden Unternehmens auf Unternehmens-, Standort- und Produktebene verstanden werden. Vor

dem Hintergrund der Anwendung von PROMETHEE im Zuge der Entwicklung des Leistungsmodells in Kapitel 6, soll in dieser Arbeit ebenfalls das Ergebnis der betrieblichen Tätigkeiten eines Lieferanten im Vergleich zu konkurrierenden Lieferanten als Nachhaltigkeitsleistung verstanden werden.





### 3 Modelle zur Entscheidungsunterstützung im nachhaltigen Lieferantenmanagement

Die zentrale Forschungsfrage dieser Arbeit lautet: Welche Kombination aus entscheidungsunterstützenden Methoden eignet sich, um neben den ökonomischen die wesentlichen ökologischen und sozialen Aspekte vorgelagerter Lieferketten in die Prozesse des Lieferantenmanagements eines Unternehmens zu integrieren und effizient zu verbessern?

In diesem Kapitel soll der Stand der Forschung zu dieser Frage dargestellt werden. Dabei sollen die Stärken und Schwächen der jeweiligen Methoden und Modelle herausgearbeitet, der Forschungsbedarf für zukünftige Arbeiten dargestellt sowie geeignete Methoden für diese Arbeit ausgewählt werden. Im Abschnitt 3.1 wird zunächst ein Überblick über die unterschiedlichen entscheidungsunterstützenden Modelle des nachhaltigen Lieferantenmanagements gegeben. Betrachtet werden ausschließlich Arbeiten, die im direkten Zusammenhang mit dessen drei Kernprozessen stehen. Modelle zur Abschätzung ökologischer und sozialer Bilanzen und Risiken fanden bislang keinen Einzug in die wissenschaftlichen entscheidungsunterstützenden Modelle des nachhaltigen Lieferantenmanagements, obwohl sie zu dessen effizienter Gestaltung und frühzeitiger Informationsbereitstellung beitragen können. Deshalb wird auf diese explizit in Abschnitt 3.2 eingegangen.

Aufbauend auf der Forschungsfrage dieser Arbeit und den Erkenntnissen der Literaturrecherche wird im Anschluss in Abschnitt 3.3 zunächst das Grundkonzept des zu entwickelnden Ansatzes, bestehend aus Risiko- und Leistungsmodell, erläutert. Danach werden jeweils für das Risiko- und Leistungsmodell die inhaltlichen Anforderungen festgelegt, bevor abschließend jeweils die Auswahl der verwendeten Methoden, die zur Erfüllung der inhaltlichen Anforderungen des Risiko- bzw. Leistungsmodells verwendet werden, begründet wird.

Durch dieses Vorgehen wird gewährleistet, dass sowohl die Zielsetzung dieser Arbeit als auch mehrere der identifizierten Forschungslücken aufgegriffen werden.

## 3.1 Entscheidungsunterstützende Modelle

In der Literatur gibt es bereits eine Vielzahl an Modellen, die die Entscheidungsfindung im Rahmen des nachhaltigen Lieferantenmanagements auf unterschiedliche Art unterstützen. Wie in Tabelle 3.1 dargestellt konnten vier verwandte Literaturstudien gefunden werden, die den Stand der Forschung im Bereich der nachhaltigen Lieferantenauswahl analysiert haben. Diese fokussieren sich auf Arbeiten, die ausschließlich ökologische Aspekte berücksichtigen. Sie vernachlässigen somit die sozialen Gesichtspunkte der nachhaltigen Lieferantenauswahl. Viel bedeutender ist aber die Tatsache, dass über die Hälfte aller wissenschaftlichen Arbeiten des nachhaltigen Lieferantenmanagements erst zwischen 2012 und 2014 veröffentlicht wurden.<sup>1</sup> Diese wurden deshalb nicht in den vier Literaturstudien von Igarashi, de Boer und Fet (2013), Genovese et al. (2013), Govindan et al. (2015) und Nielsen et al. (2014) berücksichtigt. Zu den beiden weiteren Kernprozessen des nachhaltigen Lieferantenmanagements – der Lieferantensteuerung und -entwicklung – konnten darüber hinaus überhaupt keine Literaturstudien gefunden werden. Aus diesen Gründen soll im Folgenden eine umfangreiche Literaturstudie zum Stand der Wissenschaft in entscheidungsunterstützenden Modellen des nachhaltigen Lieferantenmanagements vorgestellt werden.

Um den Stand der Forschung und mögliche Forschungslücken bei solch einer Vielzahl an Publikationen strukturiert herauszuarbeiten, wird die Literaturstudie systematisch durchgeführt. Das Vorgehen orientiert sich dabei an Lage Junior und Godinho Filho (2010) und beinhaltet die folgenden vier Schritte:

---

<sup>1</sup> Zwischen 2012 und 2014 wurden 89 von 143 Veröffentlichungen veröffentlicht (siehe dazu Kapitel 3.1.3.1).

- (1) Durchführung einer Literaturrecherche zu entscheidungsunterstützenden Modellen der Lieferantenbewertung im Rahmen des nachhaltigen Lieferantenmanagements (Literatursammlung)
- (2) Entwicklung geeigneter Kategorien (Kategorisierung)
- (3) Vorstellung der gesammelten Literatur anhand der Kategorien (Literaturanalyse)
- (4) Diskussion der Literaturanalyse und Vorschläge zukünftiger Forschungsbereiche (Ergebnisse)

Tabelle 3.1: Überblick veröffentlichter Literaturstudien zur nachhaltigen Lieferantenauswahl

Autor (Jahr)	Zeitspanne	Anzahl analysierter Beiträge	Dimension(en) von Nachhaltigkeit	Fokus der Arbeit
Igarashi, de Boer und Fet (2013)	1991-2011	60	Ökologisch	Rahmenkonzept, analytische und empirische Untersuchungen
Genovese et al. (2013)	1997-2010	28	Ökologisch	Rahmenkonzept, analytische Untersuchung, Fallstudie
Govindan et al. (2015)	1997-2011	32	Ökologisch	Analytische Untersuchung, Kriterien der Lieferantenauswahl
Nielsen et al. (2014)	1997-2014	57	Ökologisch	Rahmenkonzept, Kriterien der Lieferantenauswahl

Die Eingrenzung der zu analysierenden Literatur wird in Abschnitt 3.1.1 beschrieben. Die Kategorisierung als zweiter Schritt wird in Abschnitt 3.1.2 vorgestellt. In Abschnitt 3.1.3 werden die Ergebnisse der Literaturanalyse erläutert. Abschließend erfolgt in Abschnitt 3.1.4 die Vorstellung potenzieller zukünftiger Forschungsthemen.

### 3.1.1 Eingrenzung publizierter Ansätze

Eine möglichst scharfe Abgrenzung zu analysierender Publikationen ist ein elementarer Bestandteil einer systematischen Literaturstudie (vgl. Seuring und Müller 2008). Als Basis für die Abgrenzung dieser Literatursammlung dienen deshalb folgende Punkte:

- (1) In dieser Literaturstudie werden ausschließlich in englischer Sprache verfasste und von Experten begutachtete Veröffentlichungen wissenschaftlicher Fachzeitschriften und Tagungsbände betrachtet. Die Fachbeiträge müssen dabei formale qualitative oder quantitative Modelle vorstellen, die die Entscheidungsfindung in mindestens einem der in Abbildung 2.4 dargestellten Schritte im Rahmen des nachhaltigen Lieferantenmanagements unterstützen.
- (2) Folglich werden theoretische, konzeptionelle oder empirische Arbeiten, Veröffentlichungen in anderen Sprachen sowie Beiträge aus Fachbüchern nicht berücksichtigt (z.B. allgemeine empirische Studien zu Bewertungskriterien oder Strukturgleichungsmodelle).
- (3) Arbeiten, die sich in dem Forschungsbereich Lieferantenmanagement ausschließlich auf ökonomische Aspekte fokussieren, werden ebenfalls nicht betrachtet. Diesbezüglich soll auf die bereits existierenden Literaturstudien der klassischen Lieferantenauswahl verwiesen werden (vgl. Weber et al. 1991; Degraeve et al. 2000; de Boer, Labro und Morlacchi 2001; Ho et al. 2010; Agarwal et al. 2011; Wu und Barnes 2011; Chai et al. 2013; Aguezzoul 2014).
- (4) Veröffentlichte Modelle, die sich auf die Bewertung oder Optimierung spezifischer Bereiche von Lieferanten oder Lieferketten konzentrieren (z.B. Optimierung von Transportnetzen, Reverse Logistics Modelle) ohne einen direkten Bezug zu den in Abbildung 2.4 dargestellten Prozessschritten aufzuweisen, sind ebenfalls nicht Bestandteil dieser Literaturstudie.

Im Allgemeinen gibt es vier verschiedene Möglichkeiten eine Literaturrecherche bzw. -sammlung durchzuführen (vgl. Igarashi, de Boer und Fet 2013; Brandenburg et al. 2014):

- (1) Suche nach Schlüsselbegriffen in elektronischen Literaturdatenbanken
- (2) Suche in spezifischen Fachzeitschriften

- (3) Analyse bereits veröffentlichter thematisch verwandter Literaturstudien
- (4) Nutzung von Querverweisen verwandter Literatur.

Mit Ausnahme der Suche in spezifischen Fachzeitschriften wurden alle Möglichkeiten der Literaturrecherche genutzt. Zum effizienten Vorgehen wurde zunächst mit der Analyse der vier verwandten Literaturstudien aus Tabelle 3.1 begonnen. Auf diese Weise konnten 54 Veröffentlichungen gefunden werden, die zur oben beschriebenen Abgrenzung passen. Im zweiten Schritt wurden neun wichtige elektronische Datenbanken (Scopus, CrossRef, EBSCOhost, ScienceDirect, Emerald Insight, Springer Link, Taylor & Francis Online, Wiley Online Library and Google Scholar) nach verwandter Literatur durchsucht. Dazu wurden verschiedene Gruppen von Schlüsselwörtern kombiniert. Die erste Gruppe enthielt die Schlüsselwörter „sustainable“, „green“, „environmental“, „ecological“ und „social“. Die zweite Gruppe enthielt „supply chain“, „supplier“, „partner“ und „vendor“ und die dritte Gruppe beinhaltete die Begriffe „performance“, „evaluation“, „selection“, „monitoring“ und „development“. Insgesamt wurden so in den Datenbanken 100 unterschiedliche Kombinationen von Schlüsselbegriffen gesucht. Beispiel solcher Kombinationen sind „sustainable partner evaluation“ or „social supplier development“. Darüber hinaus wurde das Zeichen “\*” als Platzhalter verwendet, um auch Arbeiten mit leichten Abänderungen von Schlüsselbegriffen zu erfassen (vgl. Igarashi, de Boer und Fet 2013).<sup>2</sup> Mit Hilfe dieser Datenbanksuche konnten insgesamt 131 relevante Veröffentlichungen gefunden werden. Abschließend konnten im dritten Schritt durch die Nutzung von Querverweisen weitere zwölf Arbeiten gefunden werden. So ergab sich eine Gesamtanzahl von 143 relevanten Veröffentlichungen, welche den oben gelisteten Eingrenzungen entsprachen.

### 3.1.2 Gruppierung und Kategorisierung publizierter Ansätze

Um eine systematische Literaturstudie durchführen zu können, ist die Einführung von Kategorien zur Klassifizierung der identifizierten Veröffentlichungen

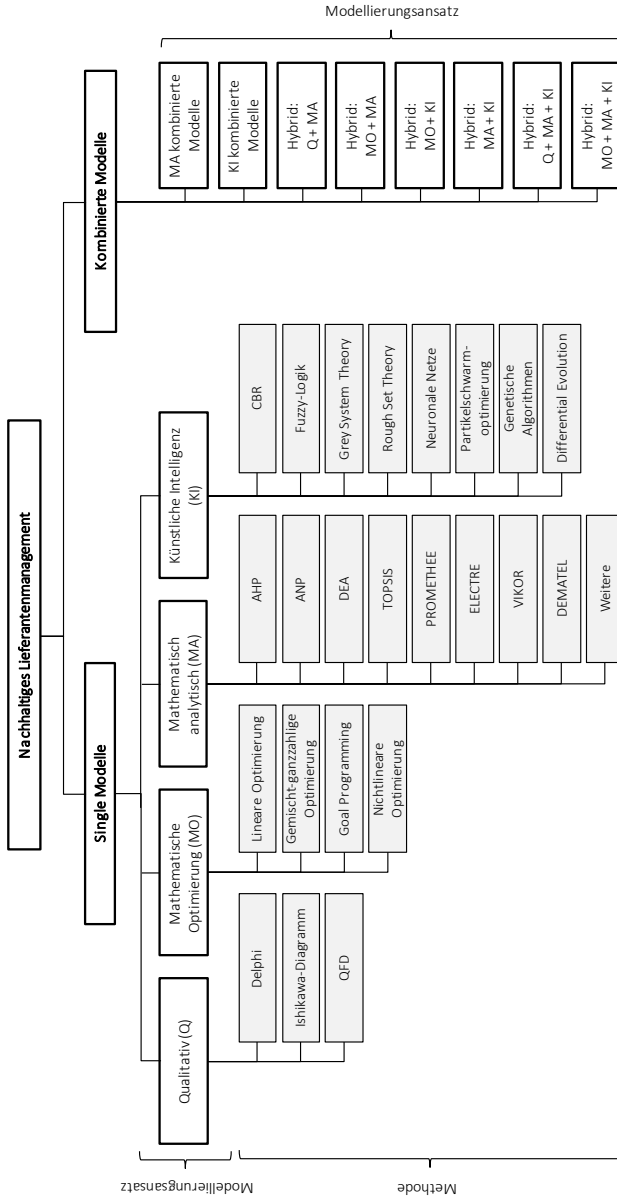
---

<sup>2</sup> Ein Beispiel solch leichter Abänderungen sind „sustainability“ und „sustainable“.

unabdingbar. Aus diesem Grund wurden 12 Kategorien definiert, die wiederum den drei Gruppen „Lieferantenmanagement“, „Modellierung“ und „Operationalisierung von Nachhaltigkeit“, wie in Tabelle 3.2 dargestellt, zugeordnet werden können. Unter „Operationalisierung von Nachhaltigkeit“ soll hierbei verstanden werden, wie Autoren die drei Säulen der Nachhaltigkeit messbar und unterscheidbar machen. Vor der Analyse der 143 wissenschaftlichen Beiträge wurden diese Kategorien zunächst deduktiv von verwandten Literaturstudien abgeleitet und während der Inhaltsanalyse induktiv angepasst und ergänzt (vgl. Seuring und Müller 2008; Brandenburg et al. 2014). Die Kategorien „Industrie“ und „Fokus der Lieferkette“ stammen aus Veröffentlichungen von Wu und Barnes (2011) und Igarashi, de Boer und Fet (2013). Die Kategorie „Prozessschritt im nachhaltigen Lieferantenmanagement“ basiert auf den dargestellten Zusammenhängen in Abbildung 2.4. Die Gruppe Modellierung setzt sich aus den Kategorien „Modellierungsansatz“, „Entscheidungssituation“, „Art der Daten“, „Sourcing“, „Modellanwendung“ und „Sensitivitätsanalyse“ zusammen. Diese wurden mit Ausnahme der Kategorie „Modellierungsansatz“ induktiv bestimmt. Die Klassifikation der „Modellierungsansätze“ ist in Abbildung 3.1 dargestellt und baut auf den Arbeiten von Chen (2011), Bruno et al. (2012), Kannan et al. (2013) und Brandenburg et al. (2014) auf. In der Kategorie „Sourcing“ soll zwischen Single sourcing und Multiple sourcing Entscheidungen unterschieden werden. In Anlehnung an Treleven und Bergman Schweikhart (1988) soll in dieser Arbeit unter Single sourcing eine Beschaffungssituation verstanden werden, in der ein frei wählbarer Lieferant den Gesamtbedarf eines bestimmten Produkts des einkaufenden Unternehmens befriedigen kann. Im Gegensatz dazu soll eine Beschaffungssituation, in der mehr als ein Lieferant den Gesamtbedarf des einkaufenden Unternehmens befriedigt als Multiple sourcing bezeichnet werden (vgl. Treleven und Bergman Schweikhart 1988). Deshalb werden nur Modellierungsansätze, die die Auswahl der besten Lieferanten zur Belieferung des gleichen Produkts sowie die mengenmäßige Aufteilung auf diese Lieferanten vorschlägt, dem Attribut Multiple sourcing zugeordnet (vgl. Kannan et al. 2013).

Tabelle 3.2: Kategorien zur Klassifizierung der identifizierten Veröffentlichungen

Gruppe	Kategorie	Attribute
Lieferantenmanagement	Industrie	Automobil, Chemie und Pharmazie, Elektronik, Lebensmittel, Bergbau, Papier, Textil, weitere
	Fokus der Lieferkette	Direktlieferanten, vorgelagerte Lieferkette
	Prozessschritte des nachhaltigen Lieferantenmanagements	Festlegung des Bedarfs Festlegung von Kriterien Bewertung und Qualifikation Bewertung und finale Auswahl Kontinuierliche Bewertung Festlegung von Entwicklungsaktivitäten Bewertung und Auswahl der Aktivitäten
Modellierung	Modellierungsansatz	Qualitativ (Q), Mathematische Optimierung (MO), Mathematisch analytisch (MA), Künstliche Intelligenz (KI), MA kombiniert, KI kombiniert, Hybrid: Q + MA, Hybrid: MP + MA, Hybrid: MP + KI, Hybrid: MA + KI, Hybrid: Q + MA + KI, Hybrid: MP + MA + KI (Siehe dazu Abbildung 3.1)
	Entscheidungssituation	Festlegung von Kriterien und Entwicklungsaktivitäten, Bestimmung von Kriteriengewichtungen, Bewertung zur Entscheidungsfindung
	Art der Daten	Expertenmeinung, Lieferanteninformationen oder Kombinierte Informationen
	Sourcing	Single sourcing oder Multiple sourcing
	Modellanwendung	Theoretisches Modell (keine Anwendung), numerisches Beispiel, reale Fallstudie
	Sensitivitätsanalyse	Ja oder Nein
Operationalisierung von Nachhaltigkeit	Dimension der Nachhaltigkeit	Ökologisch, sozial, ökonomisch-ökologisch, sozio-ökonomisch, sozio-ökologisch oder übergreifend (rein ökonomische Beiträge werden nicht betrachtet)
	Bereiche und Kriterien	Siehe dazu Abbildung 3.2
	Hierarchiestufen	2, 3, 4 Ebenen oder nicht angegeben



AHP: Analytic Hierarchy Process, ANP: Analytic Network Process, CBR: Case Based Reasoning, DEA: Data Envelopment Analysis, DEMATEL: Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory, ELECTRE: Elimination Et Choix Traduisant la Réalité, PROMETHEE: Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation, QFD: Quality Function Deployment, TOPSIS: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, VIKOR: Visekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje

Abbildung 3.1: Klassifikation der Kategorie "Modellierungsansatz" (Angelehnt an Chen (2011); Bruno et al. (2012); Kannan et al. (2013); Brandenburg et al. (2014))



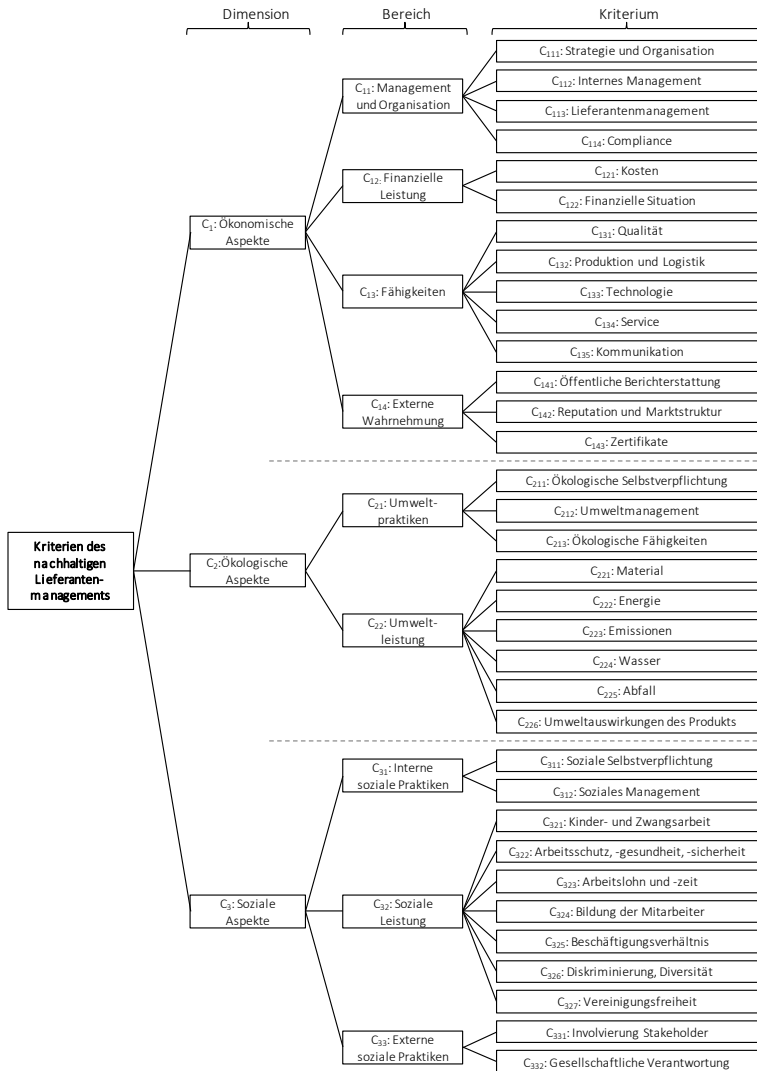


Abbildung 3.2: Kriterienhierarchie relevanter Aspekte im nachhaltigen Lieferantenmanagement (Angelehnt an Benoît (2009); Lee et al. (2009); Bai und Sarkis (2010a); Benoît et al. (2010); Sloan (2010); Govindan, Khodaverdi und Jafarian (2013); GRI (2013))

Hinsichtlich der Gruppe „Operationalisierung von Nachhaltigkeit“ werden die Veröffentlichungen anhand der möglichen Kombination der drei „Dimensionen der Nachhaltigkeit“ klassifiziert. Darüber hinaus werden die verwendeten Kriterien und Indikatoren den in Abbildung 3.2 dargestellten „Bereichen und Kriterien“ zugeordnet. Die Anzahl der „Hierarchiestufen“ wird ebenfalls untersucht.

Mit dem Ziel, eine für das nachhaltige Lieferantenmanagement geeignete und umfassende Kriterienhierarchie in Zusammenarbeit mit Experten aus Wissenschaft und Praxis zu entwickeln und damit die verwendeten Kriterien und Indikatoren strukturiert darstellen zu können, wurde im Rahmen dieser Promotion eine umfangreiche Analyse verwendeter Kriterien, Indikatoren und veröffentlichter Hierarchien durchgeführt. Ein erster Entwurf entstand auf Basis veröffentlichter Hierarchien von Benoît (2009), Lee et al. (2009), Bai und Sarkis (2010a), Benoît et al. (2010), Sloan (2010), Govindan, Khodaverdi und Jafarian (2013) und GRI (2013). Die hierarchische Struktur wurde, wie in einigen anderen Studien des nachhaltigen Lieferantenmanagements (vgl. Sloan 2010; Chiouy et al. 2011; Erol et al. 2011; Shaik und Abdul-Kader 2011; Azadnia et al. 2013; Govindan, Khodaverdi und Jafarian 2013), entsprechend der drei Säulen der Nachhaltigkeit aufgeteilt. Darauf aufbauend wurde die initiale Kriterienhierarchie mit Hilfe der Erkenntnisse aus der Kriterienanalyse induktiv verfeinert. In einem letzten Schritt wurde die sich daraus ergebende Kriterienhierarchie in mehreren Fachgesprächen mit 11 Experten aus der Automobilindustrie (6 Experten), der chemischen Industrie (2 Experten) und der Wissenschaft (3 Forscher) validiert. Die involvierten Experten der Industrie arbeiteten entweder in der Unternehmensstrategie, der Produktentwicklung oder im Einkauf und zählten in ihrem Arbeitsbereich ökologische oder soziale Aspekte zu Ihren Kernthemen. Die Erkenntnisse aus den Expertengesprächen wurden zur Finalisierung der Hierarchie integriert. Aus diesem Vorgehen resultierte die endgültige Kriterienhierarchie mit den 3 Ebenen „Dimension“, „Bereich“ und „Kriterium“ wie in Abbildung 3.2 dargestellt. Unter „Kriterium“ soll in dieser Arbeit eine Gruppe thematisch verwandter „Indikatoren“ verstanden werden. „Indikatoren“ sind qualitative oder quantitative Werte,

die in den untersuchten Fachbeiträgen verwendet wurden, um die Leistung von Lieferanten oder Lieferketten zu bewerten.

Bei der Durchführung der Inhaltsanalyse wurde das beschriebene systematische Vorgehen mit größtmöglicher Sorgfalt durchgeführt, um eine Replizierbarkeit und die erforderliche Präzision zu gewährleisten (vgl. Seuring und Gold 2012).

### **3.1.3 Literaturanalyse anhand der Gruppen und Kategorien**

#### **3.1.3.1 Deskriptive Analyse**

Die zeitliche Verteilung der 143 identifizierten Veröffentlichten im Rahmen der Literaturrecherche ist in Abbildung 3.3 dargestellt. Mit der ersten Veröffentlichung von Noci (1997) stellen Modellierungsansätze zur Entscheidungsunterstützung des nachhaltigen Lieferantenmanagements ein junges Forschungsfeld dar. Seit 2006 nimmt das Interesse im wissenschaftlichen Umfeld sehr stark zu, und es kann erwartet werden, dass sich diese Entwicklung aufgrund der gesellschaftspolitischen Diskussion weiter fortsetzt.

Die Erstautoren dieser Veröffentlichungen stammen dabei größtenteils aus Asien insbesondere aus Taiwan (36), China (19), Indien (15), Türkei (13) und Iran (10). Erst mit 10 bzw. 8 Veröffentlichungen trugen Erstautoren westlicher Nationen wie die USA bzw. Großbritannien zu diesem Forschungsfeld bei. Die Fachzeitschriften, die bisher die meisten Beiträge in diesem Forschungsfeld veröffentlichten sind das Journal of Cleaner Production (13), International Journal of Production Research (12), Expert Systems with Applications (7) und das International Journal of Production Research (7).

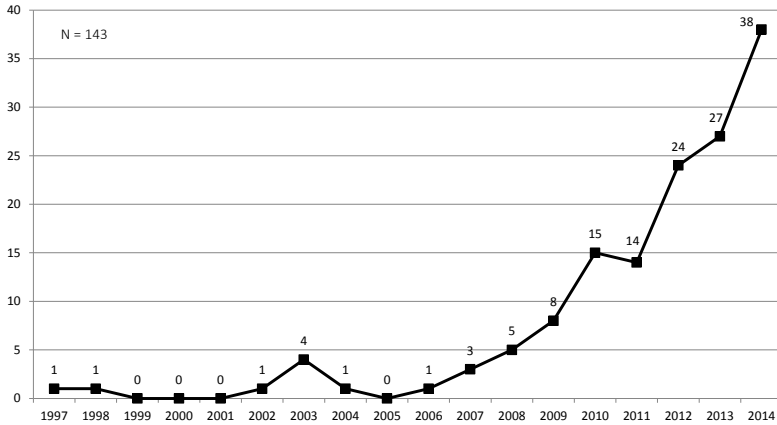


Abbildung 3.3: Anzahl an veröffentlichten Modellierungsansätzen seit 1997

#### 3.1.3.2 Literaturanalyse anhand der Gruppe „Lieferantenmanagement“

Der Großteil der veröffentlichten Modellierungsansätze wurde im Kontext der Elektronikindustrie (27) und der Automobilindustrie (26) entwickelt und angewendet. In anderen Industrien wie etwa Textil (8), Chemie und Pharmazie (7) sowie Bergbau (7) wurden deutlich seltener entscheidungsunterstützende Modellierungsansätze entwickelt und getestet. Dieser große Abstand überrascht sehr, da gerade diese Industrien ebenfalls häufig hinsichtlich ökologischer und sozialer Missstände in den öffentlichen Medien erscheinen (vgl. Anderson 2005). Die beherrschende Rolle der Beiträge, die sich auf die Automobil- und Elektronikindustrie fokussiert haben, lässt sich zum Teil mit der Zunahme an verschärften Gesetzgebungen in der Europäischen Union wie z.B. WEEE (Waste from Electronic and Electrical Equipment), RoHS (Restriction on the Use of Hazardous Substances), ErP (Ecodesign Requirement for Energy-related Product) oder der Richtlinie 2000/53/EC für Altfahrzeuge (vgl. EU 2000) erklären.

In Abbildung 3.4 ist dargestellt wie häufig welcher Prozessschritt des nachhaltigen Lieferantenmanagements mit den Modellen der Veröffentlichungen unterstützt werden soll. Die Modelle wurden entsprechend der Angabe in den

Veröffentlichungen den Prozessschritten zugeordnet. In Fällen, in denen dies nicht gegeben war, wurde das jeweilige Modell den Prozessschritten zugeordnet, die es bestmöglich unterstützen könnte. Aus diesem Grund werden Modelle, die mehrere Prozessschritte unterstützen, auch mehrfach gezählt. Die Summe der zugeordneten Beiträge in Abbildung 3.4 ist deshalb größer als die Menge der 143 untersuchten publizierten Ansätze.

Die Abbildung 3.4 zeigt auf den ersten Blick, dass der Schwerpunkt bislang auf der Lieferantenauswahl und zwar mit 118 Veröffentlichungen insbesondere auf dem Prozessschritt „Bewertung und finale Auswahl“ lag. Dieses Ergebnis stimmt sehr gut mit dem Ergebnis der Literaturstudie von Igarashi, de Boer und Fet (2013) überein. Im Gegensatz zu Igarashi, de Boer und Fet (2013) wurden Modelle, die den Prozessschritt „Bewertung und finale Auswahl“ unterstützen und die Bestimmung einer Gewichtung beinhalten, nicht automatisch zusätzlich dem Prozessschritt „Festlegung der Kriterien“ zugeordnet. Dies hängt damit zusammen, dass die Gewichtung in den meisten Fällen der Lösung des Aggregationsproblems und nicht der Priorisierung bzw. Festlegung von Kriterien dient. Deshalb wurde bei jeder der 143 Veröffentlichungen sorgfältig überprüft, ob eine Methode zur Priorisierung oder zur Gewichtung enthalten ist und inwiefern diese der „Festlegung von Kriterien“ oder der Aggregation dient. Im Rahmen dieser Literaturanalyse wurde kein Beitrag gefunden, der die „Festlegung des Bedarfs“ und die „Festlegung von Entwicklungsaktivitäten“ unterstützt. Des Weiteren ist der Abbildung 3.4 zu entnehmen, dass sowohl die Lieferantensteuerung als auch die Lieferantenentwicklung bislang selten Gegenstand der Forschungsarbeiten war. Diese bisherige Vernachlässigung der Lieferantensteuerung und Lieferantenentwicklung lässt sich teilweise damit erklären, dass die Verhandlungsstärke während des Lieferantenauswahlprozesses im Vergleich zum anschließenden Lieferantensteuerungs- und Lieferantenentwicklungsprozess als sehr viel vorteilhafter erachtet werden kann.

Der Großteil der analysierten Modellierungsansätze fokussiert sich auf Direktlieferanten. Lediglich 15 Arbeiten (10,5%) stellen Modelle vor, die Informationen der vorgelagerten Lieferanten berücksichtigen. Dieser Zusammenhang hat vier wesentliche Gründe:

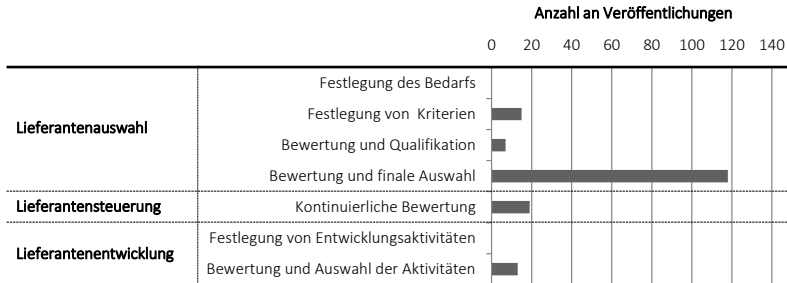


Abbildung 3.4: Betrachtete Prozessschritte der analysierten Veröffentlichungen

- (1) Während des Lieferantenauswahlprozesses sind vorgelagerte Lieferanten meist noch nicht bekannt. Das hängt damit zusammen, dass deren Auswahl oft erst nach der finalen Auswahl der Direktlieferanten durch das fokale Unternehmen erfolgt. Eine Analyse und Bewertung der vorgelagerten Lieferkette wird in solchen Fällen deshalb sehr schwierig sein.
- (2) Einkaufende Unternehmen, die einen Lieferanten auswählen, schließen in der Regel ausschließlich einen Vertrag mit dem Direktlieferanten ab. Aufgrund der Tatsache, dass kein vertragliches Verhältnis mit vorgelagerten Lieferanten besteht, und der damit verbundenen unvorteilhaften Verhandlungsposition gestaltet sich die Beschaffung relevanter Informationen und die anschließende Analyse und Durchführung von Entwicklungsaktivitäten dieser vorgelagerten Lieferanten schwierig.
- (3) Die Komplexität der Lieferketten und die exponentielle Zunahme an Untertierlieferanten entlang der vorgelagerten Lieferkette bringt eine weitere Herausforderung mit sich. Dies schlägt sich insbesondere im Umgang mit der Menge an Informationen nieder und erfordert eine systematische Vorgehensweise.

- (4) Diese Komplexität verschärft sich außerdem noch in den Branchen, in denen der technologische Wandel sehr schnell ist und Lieferanten häufiger gewechselt werden. Hier scheint ein Austausch aktueller Lieferantinformationen entlang der Lieferkette kaum mehr möglich (vgl. New und Brown 2011) und schließt eine Analyse vorgelagerter Lieferanten somit fast aus.

### 3.1.3.3 Literaturanalyse anhand der Gruppe „Modellierung“

Wie Tabelle 3.3 entnommen werden kann, wurden zu ca. 60% kombinierte Modelle und zu ca. 40% single Modelle entwickelt. Während single Modelle gewöhnlich weniger komplex sind, können kombinierte Modelle in der Regel geeigneter mit unterschiedlichen Beschaffungssituationen umgehen, da die Schwächen der einen angewandten Methode durch die Stärke der anderen kompensiert werden kann. Wie in Tabelle 3.3 dargestellt, wurden mit 58 Veröffentlichungen vor allem Methoden der künstlichen Intelligenz mit mathematisch analytischen Methoden kombiniert. Das passt sehr gut zu der Verteilung der single Modelle, bei denen ebenfalls sehr häufig Methoden der künstlichen Intelligenz und mathematisch analytische Methoden untersucht wurden.

Vereinfachend können die Entscheidungssituationen im nachhaltigen Lieferantenmanagement in „Festlegung von Kriterien oder Entwicklungsaktivitäten“, „Bestimmung von Kriteriengewichtungen“ und in „Bewertung zur Entscheidungsfindung“ zusammengefasst werden. Diesbezüglich zeigt Tabelle 3.4 eine Übersicht, aus der die Häufigkeit angewandeter Methoden in Abhängigkeit von der Entscheidungssituation entnommen werden kann. Da bei mehreren Autoren die gleiche Methode nicht nur in einer sondern manchmal in zwei oder drei Entscheidungssituation Anwendung fand, beträgt die Summe der angewendeten Methoden in Tabelle 3.4 mehr als die 143 analysierten Beiträge.

### 3 Modelle zur Entscheidungsunterstützung im nachhaltigen Lieferantenmanagement

Tabelle 3.3: Verteilung der Modellierungsansätze

Single Modelle	Qualitative (Q)	1 (0,7%)
	Mathematische Optimierung (MO)	4 (2,8%)
	Mathematisch analytisch (MA)	33 (23,1%)
	Künstliche Intelligenz (KI)	16 (11,2%)
Kombinierte Modelle	MA kombiniert	14 (9,8%)
	AI kombiniert	2 (1,4%)
	Hybrid: Q + MA	3 (2,1%)
	Hybrid: MP + MA	4 (2,8%)
	Hybrid: MP + AI	1 (0,7%)
	Hybrid: MA + AI	58 (40,6%)
	Hybrid: Q + MA + AI	2 (1,4%)
	Hybrid: MP + MA + AI	5 (3,5%)

Sehr auffällig bei diesen Ergebnissen ist die häufige Anwendung von Fuzzy-Logik (31,2%), AHP (18,8%) und ANP (11,4%). Die häufige Anwendung der Fuzzy-Logik hat zwei wesentlich Gründe: Erstens kann die Fuzzy-Logik sehr gut mit MA Methoden kombiniert werden. Zweitens berücksichtigt sie die Unschärfe sprachlicher Experteneinschätzungen. AHP und ANP haben ebenfalls die Fähigkeit mit subjektiven Meinungen umzugehen. Hier muss allerdings erwähnt werden, dass bei diesen Methoden angenommen wird, dass die befragten Experten die Fragen präzise beantworten können. Darüber hinaus können der AHP und ANP gut mit Methoden, die normalerweise ausschließlich objektive Daten verwenden, kombiniert werden (vgl. Subramanian und Ramanathan 2012). Der paarweise Vergleich des AHP fand dabei insbesondere bei der „Bestimmung von Gewichtungen“ Anwendung. Auch wenn es allgemein bisher wenige Methoden zur „Festlegung von Kriterien oder Entwicklungsaktivitäten“ gibt, scheint sich die Delphi Methode für diese Entscheidungssituation als hilfreich zu erweisen. In diesem Zusammenhang muss ergänzt werden, dass im Rahmen der Recherche kein Modell gefunden werden konnte, das die „Festlegung von Entwicklungsaktivitäten“ unterstützt.



Tabelle 3.4: Anzahl verwendeter Methoden in Abhängigkeit von der Entscheidungssituation

Verwendete Methode	Festlegung von Kriterien/Entwicklungsaktivitäten	Bestimmung von Gewichtungen	Bewertung zur Entscheidungsfindung	Summe
<b>Qualitativ (Q)</b>				
Delphi	5	0	0	5 (1,5%)
QFD	0	0	1	1 (0,3%)
Ishikawa-Diagramm	1	0	0	1 (0,3%)
<b>Mathematische Optimierung (MO)</b>				
Lineare Optimierung	0	0	8	8 (2,5%)
Gemischt-ganzzahlige Optimierung	0	0	2	2 (0,6%)
Goal Programming	0	0	2	2 (0,6%)
<b>Mathematisch analytisch (MA)</b>				
AHP	0	44	17	61 (18,8%)
ANP	0	22	15	37 (11,4%)
TOPSIS	0	0	24	24 (7,4%)
DEA	0	10	16	26 (8,0%)
DEMATEL	0	11	0	11 (3,4%)
Multiattribute Nutzentheorie	0	2	3	5 (1,5%)
VIKOR	0	0	5	5 (1,5%)
PROMETHEE	0	0	3	3 (0,9%)
<b>Künstliche Intelligenz (KI)</b>				
Fuzzy-Logik	1	54	47	101 (31,2%)
Grey Relational Analysis	0	4	12	16 (4,9%)
Rough Set Theory	1	1	4	6 (1,9%)
Neuronale Netze	0	0	3	3 (0,9%)
Genetische Algorithmen	0	0	3	3 (0,9%)
Partikelschwarmoptimierung	0	0	2	2 (0,6%)
Differential Evolution	0	0	1	1 (0,3%)
CBR	0	0	1	1 (0,3%)

Outranking Methoden wie z.B. PROMETHEE und ELECTRE sind komplexer als Methoden wie der AHP, die Nutzwertanalyse oder andere MA Methoden, was zu deren selteneren Untersuchungen und Anwendungen im nachhaltigen Lieferantenmanagement geführt haben könnte. PROMETHEE und weitere Outranking Methoden wurden in der Vergangenheit in anderen Forschungsbereichen sehr häufig verwendet, um Rangfolgen und gute Kompromisslösungen bei multikriteriellen Entscheidungssituation zu finden (vgl. Figueira et al. 2005; Behzadian et al. 2010). Ihre Tauglichkeit im Kontext des nachhaltigen Lieferantenmanagements muss dennoch erst einmal nachgewiesen werden. Im

Gegensatz zu Literaturstudien der klassischen Lieferantenauswahl (vgl. Ho, Xu und Dey 2010; Chai, Liu und Ngai 2013) wurde ELECTRE oder etwa die nicht-lineare Optimierung im nachhaltigen Lieferantenmanagement bislang nicht untersucht. Methoden wie die lineare Optimierung, gemischt-ganzzahlige Optimierung, DEMATEL oder VIKOR wurden erst seit 2011 in diesem Forschungsfeld angewendet und machen unter anderem deshalb einen geringen Anteil von 9% aus. Sehr interessant ist das stark wachsende Interesse an der DEA im Jahr 2014, in dem alleine neun von 16 Veröffentlichungen erschienen. Dies könnte damit zusammenhängen, dass Probleme entlang der gesamten Lieferkette immer wichtiger werden und dass die DEA unter anderem eine geeignete Methode ist, um die Effizienz der Glieder einer Lieferkette zu bewerten. Eine weitere interessante Erkenntnis ist die Zunahme an Modellen unter Verwendung von TOPSIS. Seit 2010 wird TOPSIS regelmäßig in diesem Forschungsbereich in Modellierungsansätzen für die „Bewertung zur Entscheidungsfindung“ integriert und insbesondere 2013 und 2014 erhielt diese Methode hohe Aufmerksamkeit, als jeweils acht Veröffentlichungen TOPSIS integrierten.

Tabelle 3.5 stellt die Ergebnisse der Literaturanalyse der verbleibenden vier Kategorien der Gruppe „Modellierung“ dar. Die seltene Nutzung realer quantitativer Lieferantendaten hängt wahrscheinlich damit zusammen, dass es bislang keine einheitlichen Indikatoren unter Lieferanten und fokalen Unternehmen gibt, nach denen gefragt werden könnte. Darüber hinaus spielt der Einfluss der ökologischen und sozialen Lieferanteninformationen auf die ökonomische Seite keine unbedeutende Rolle. Zusätzliche Informationen des Lieferanten oder seiner Unterlieferanten können die Preisverhandlungen aus Sicht des Lieferanten negativ beeinflussen, da soziale und ökologische Daten Rückschlüsse auf die Kostenstruktur des Lieferanten zulassen können. Dementsprechend fällt es Autoren leichter, Experteneinschätzungen anstelle realer quantitativer Lieferanteninformationen für erste beispielhafte Anwendungen heranzuziehen. Ideal wäre die Nutzung realer Lieferantendaten, wo möglich, und die Nutzung von Experteneinschätzungen, wo nötig.

Tabelle 3.5: Ergebnisse der Kategorien „Art der Daten“, „Sourcing“, „Modellanwendung“ und „Sensitivitätsanalyse“

Art der Daten		Sourcing		Modellanwendung		Sensitivitätsanalyse	
Expertenmeinung	91	Single sourcing	126	Theoretisches Modell	4	Ja	28
Lieferantendaten	23	Multiple sourcing	17	Numerisches Beispiel	67	Nein	100
Kombinierte Informationen	29			Reale Fallstudie	72	Nicht relevant	15

Mit 126 Veröffentlichungen hat sich der Großteil der Autoren auf Modelle zur Unterstützung von Single sourcing anstatt Multiple sourcing Entscheidungen konzentriert. Dies könnte an der im Allgemeinen geringeren Komplexität von Single sourcing Entscheidungen oder aber den generellen Vorteilen der Single sourcing Strategie liegen. Zu diesen Vorteilen zählen unter anderem eine engere und kooperative Beziehung, höhere Qualität, niedrigere Transportzeiten und Gesamtkosten und allgemeine Skaleneffekte in verschiedenen Bereichen durch die Bündelung und Vergabe an einen Lieferanten (vgl. Larson und Kulchitsky 1998; Wisner 2011). Im Hinblick auf Multiple sourcing Entscheidungen haben sich in den vergangenen Jahren Methoden der mathematischen Optimierung etabliert. Diese Arbeiten bieten eine gute Basis für zukünftige Multiple sourcing Modelle insbesondere unter Berücksichtigung der gesamten vorgelagerten Lieferkette. Die Lieferantendiversifikation durch Multiple sourcing erscheint als ein vielversprechendes Instrument, um die zunehmend häufiger auftretenden Nachhaltigkeitsrisiken entlang der Lieferkette aufgrund aufgedeckter Missstände geeignet zu steuern und ein verbessertes Risikoportfolio zu erreichen. Der hohe Anteil an numerischen Anwendungsbeispielen (67 Publikationen) und realen Fallstudien (72 Publikationen) der entwickelten Modelle ist ein guter Trend, da er insbesondere den Wissenstransfer von der Wissenschaft in die Praxis vorantreibt. Im Vergleich zur Literaturstudie von Genovese et al. (2013) hat sich somit der Anteil an realen Fallstudien von 40% auf 50% erhöht. Trotzdem konnte aber keine Veröffentlichung gefunden werden, die verschiedene Modelle auf dieselben Lieferantendaten zum Vergleich und zur Validierung anwendete.

Ein bislang vernachlässigter aber wichtiger Aspekt solcher multikriterieller Modelle zur Entscheidungsunterstützung sind Sensitivitätsanalysen (vgl. Belton und Vickers 1990). Lediglich in 28 Arbeiten wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. In 100 Beiträgen fehlte dies. In den restlichen 15 Veröffentlichungen war dies nicht sinnvoll, da zwar Gewichtungen berechnet wurden, diese aber in keinem weiteren Schritt Anwendung fanden. Sensitivitätsanalysen sind sehr hilfreich, um die Robustheit von Ergebnissen nachzuweisen, Expertengruppen in der Entscheidungsfindung zu überzeugen oder Anpassungen als Konsequenz der Analyse vorzunehmen (vgl. Dou und Sarkis 2010). Für weitere Details zu den analysierten Veröffentlichungen soll an dieser Stelle auf die im Rahmen dieser Promotion entstandene, Veröffentlichung verwiesen werden (Zimmer, Fröhling und Schultmann 2015).

In Tabelle 3.6 sind alle 143 identifizierten Veröffentlichungen in Abhängigkeit von ihrem Modellierungsansatz und von den betrachteten Prozessschritten des nachhaltigen Lieferantenmanagements genannt. Somit stellt sie gewissermaßen die Kombination der Abbildung 3.4 und Tabelle 3.3 dar. Alle Veröffentlichungen sind den Bereichen der Tabelle zugeordnet, zu denen sie einen Beitrag leisten. Da kein Beitrag gefunden werden konnte, der die „Festlegung des Bedarfs“ und die „Festlegung von Entwicklungsaktivitäten“ untersucht, wurden diese beiden Prozessschritte in Tabelle 3.6 weggelassen.

Dieser Überblick hat drei Ziele:

- (1) Alle 143 identifizierten wissenschaftlichen Beiträge sind mindestens einmal erwähnt und in Abhängigkeit von ihrem Inhalt einem Bereich zugeordnet. Dies hilft Lesern die vorgestellten Ergebnisse nachzuvollziehen und die Replizierbarkeit der Literaturstudie zu überprüfen.
- (2) Interessierte Leser können rasch selten untersuchte Forschungsbereiche und Forschungslücken identifizieren.
- (3) Mit Hilfe dieser Tabelle kann die existierende Literatur zu bestimmten Methoden oder Prozessschritten des nachhaltigen Lieferantenmanagements effizient analysiert werden.

Tabelle 3.6: Klassifizierung aller Veröffentlichungen anhand des Modellierungsansatzes und des betrachteten Prozessschritts

	Lieferantenauswahl			Lieferanten- steuerung	Lieferanten- entwicklung
Modellie- rungsansatz	Festlegung von Kriterien	Bewertung und Qualifikation	Bewertung und finale Auswahl	Kontinuierliche Bewertung	Bewertung und Auswahl der Aktivitäten
	15	7	118	19	13
Qualitativ (Q)	Enarsson (1998)	-	-	-	-
Mathematische Optimierung (MO)	-	Trapp und Sarkis (Forthcoming)	Chaabane et al. (2009); Wang et al. (2011); Zhang et al. (2014); Trapp und Sarkis (Forthcoming)	Wang, Lai und Shi (2011); Zhang et al. (2014)	Trapp und Sarkis (Forthcoming)
Mathematisch Analytisch (MA)	Chiou et al. (2011); Shen et al. (2013a); Paul und Jayant (2014)	Falatoonitoosi et al. (2014); Shi et al. (2014)	Noci (1997); Sarkis (2003); Gao und Zhou (2004); Hsu und Hu (2007); Huang und Keskar (2007); Farzad et al. (2008); Hutchins und Sutherland (2008); Hsu und Hu (2009); Dou und Sarkis (2010); Kumar und Jain (2010); Verdecho et al. (2010); Shaik und Abdul-Kader (2011); Agarwal und Vijayvargy (2012); Hou (2012); Uysal (2012); Falatoonitoosi et al. (2013); Hsu et al. (2013); Nie (2013); Xu et al. (2013); Zhe et al. (2013); Dobos und Vörösmarty (2014); Falatoonitoosi, Ahmed und Sorooshian (2014); Paul und Jayant (2014); Shi et al. (2014); Theißen und Spinler (2014)	Sarkis (2003); Tsoufias und Pappis (2008); Zhu, Dou und Sarkis (2010); Yakovleva et al. (2012); Dey und Cheffi (2013); Acquaye et al. (2014); Tajbakhsh und Hassini (2014)	Sarkis (2003)
Künstliche Intelligenz (KI)	-	Beng und Omar (2014)	Humphreys et al. (2006); Bai und Sarkis (2010b); Keskin et al. (2010); Amindoust et al. (2012); Baskaran et al. (2012); Hashemi et al. (2013); Tuzkaya (2013); Viswanadham und Samvedi (2013); Zhang et al. (2013); Ghadimi und Heavey (2014); Sahu et al. (2014); Kannan et al. (2015); Sarkis und Dhavale (2015)	Bai et al. (2012); Singh et al. (2014)	Bai und Sarkis (2010b)

### 3 Modelle zur Entscheidungsunterstützung im nachhaltigen Lieferantenmanagement

	Lieferantenauswahl			Lieferanten- steuerung	Lieferanten- entwicklung
Modelle- rungsansatz	Festlegung von Kriterien	Bewertung und Qualifikation	Bewertung und finale Auswahl	Kontinuierliche Bewertung	Bewertung und Auswahl der Aktivitäten
<b>MA</b> kombiniert	Wu et al. (2013)	-	Kannan et al. (2008); Wen und Chi (2010); Ma und Liu (2011); Kuo und Lin (2012); Tsui und Wen (2012); Zhang (2012); Akman und Piskin (2013); Wu, Hsieh und Chang (2013); Hsu et al. (2014a); Hsu et al. (2014b); Kumar et al. (2014); Sivakumar et al. (2014); Tsui et al. (2014)	Akman (2015)	Akman (2015)
<b>KI</b> kombiniert	-	-	Bai und Sarkis (2010a); Chen et al. (2010)	-	-
<b>Hybrid: Q + MA</b>	Dai und Blackhurst (2012); Banaeian et al. (2014)	-	Handfield et al. (2002); Dai und Blackhurst (2012); Banaeian et al. (2014)	-	-
<b>Hybrid: MO + MA</b>	-	-	Tsai und Hung (2009); Lin et al. (2012); Jakhar (2014)	Chaabane et al. (2012)	-
<b>Hybrid: MO + KI</b>	-	-	Boosothonsatit et al. (2012)	-	-

### 3.1 Entscheidungsunterstützende Modelle

	Lieferantenauswahl			Lieferanten- steuerung	Lieferanten- entwicklung
Modellie- rungsansatz	Festlegung von Kriterien	Bewertung und Qualifikation	Bewertung und finale Auswahl	Kontinuierliche Bewertung	Bewertung und Auswahl der Aktivitäten
Hybrid: MA + KI	Lin et al. (2011); Lee et al. (2012); Fallahian-Najafabadi et al. (2013); Mavi et al. (2013); Shaverdi et al. (2013); Bai und Sarkis (2014); Bhattacharya et al. (2014)	Humphreys et al. (2003a); Humphreys et al. (2003b); Azadnia et al. (2012)	Humphreys, McIvor und Chan (2003a); Humphreys, Wong und Chan (2003b); Zhang und Li (2003); Lu et al. (2007); Chiou et al. (2008); Ge (2009); Li und Zhao (2009); Sun und Ye (2009); Tuzkaya et al. (2009); Awasthi et al. (2010); Bai et al. (2010); Che (2010); Che et al. (2010); Tseng (2010); Büyükoçkan und Çifçi (2011); Chiouy, Chou und Yeh (2011); Çifçi und Büyükoçkan (2011); Kuo et al. (2011); Tseng (2011); Tseng et al. (2011); Wittstruck und Teuteberg (2011); Yeh und Chuang (2011); Azadnia et al. (2012); Büyükoçkan (2012); Büyükoçkan und Çifçi (2012a); Datta et al. (2012); Ji et al. (2012); Peng (2012); Wittstruck und Teuteberg (2012); Aminooust et al. (2013); Azadnia et al. (2013); Bali et al. (2013); Govindan, Khodaverdi und Jafarian (2013); Sahu et al. (2013); Shen et al. (2013b); Tseng und Chiu (2013); Wen et al. (2013); Bai und Sarkis (2014); Chaharsooghi und Ashrafi (2014); Jauhar et al. (2014); Kannan et al. (2014); Khamseh und Mahmoodi (2014); Mirhedayatian et al. (2014); Orji und Wei (2014); Yazdani (2014); Zhao und Guo (2014); Azadi et al. (2015)	Bai, Sarkis und Wei (2010); Erol, Sencer und Sari (2011); Ji, Xie und Dong (2012); Sahu, Datta und Mahapatra (2013); Bai und Sarkis (2014); Mirhedayatian, Azadi und Farzipoor Saen (2014)	Bai, Sarkis und Wei (2010); Büyükoçkan und Çifçi (2012b); Ji, Xie und Dong (2012); Sahu, Datta und Mahapatra (2013); Wang und Chan (2013); Bai und Sarkis (2014); Dou, Zhu und Sarkis (2014); Kusi-Sarpong et al. (2014); Mirhedayatian, Azadi und Farzipoor Saen (2014)
Hybrid: Q + MA + KI	Lee et al. (2009)	-	Lee et al. (2009); Kuo et al. (2010)	-	-
Hybrid: MO + MA + KI	-	-	Shaw et al. (2012); Kannan et al. (2013); Shaw et al. (2013); Bakeshlou et al. (2014); Azadnia, Saman und Wong (2015)	-	-

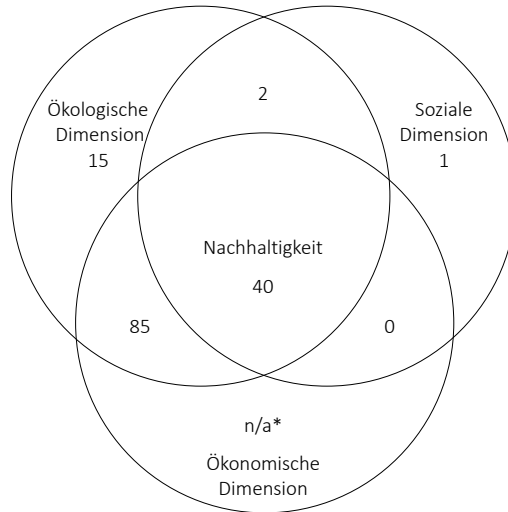
### 3.1.3.4 Literaturanalyse anhand der Gruppe „Operationalisierung von Nachhaltigkeit“

#### Kategorie „Dimensionen der Nachhaltigkeit“

Die Verteilung der analysierten Veröffentlichungen hinsichtlich der Kategorie „Dimensionen der Nachhaltigkeit“ ist in Abbildung 3.5 dargestellt. Mit 85 Studien betrachtet der Großteil ökonomische und ökologische Aspekte. Alle drei Dimensionen sind in 40 der 143 Veröffentlichungen berücksichtigt worden, während sich 15 Arbeiten auf ökologische Aspekte fokussieren. Mit 125 Beiträgen hat demzufolge die große Mehrheit der Modelle mindestens ökonomische Aspekte integriert, obwohl rein ökonomische Modelle von dieser Literaturstudie ausgeschlossen waren. Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen wurden soziale Kriterien bislang stark vernachlässigt. Lediglich eine Veröffentlichung konzentrierte sich bislang ausschließlich auf soziale Aspekte (vgl. Hutchins und Sutherland 2008). Zwei Arbeiten integrierten soziale und ökologische Kriterien (vgl. Baskaran, Nachiappan und Rahman 2012; Xu et al. 2013). Diese Erkenntnisse kommen denen der breiter aufgestellten Literaturstudie von Brandenburg et al. (2014) sehr nahe. Diese identifizierten nur vier von 134 Veröffentlichungen, die soziale, sozio-ökonomische oder sozial-ökologische Kriterien integrierten.

Sehr verwandte Indikatorenanalysen wurden bereits von Nielsen et al. (2014) und kürzlich von Ahi und Searcy (2015) veröffentlicht. Diese konzentrierten sich aber entweder ausschließlich auf ökologische Indikatoren (vgl. Nielsen et al.) oder sie analysierten ein breiteres Forschungsfeld (vgl. Ahi und Searcy). Zusammenfassend konnten im Rahmen dieser Indikatorenanalyse 448 eindeutige Indikatoren unter den 2663 gesammelten Indikatoren identifiziert werden. Die 2663 gesammelten Indikatoren setzen sich aus 52,5% ökonomischen, 38,1% ökologischen und nur 9,4% sozialen Indikatoren zusammen. Dadurch ergibt sich, dass pro Modell im Durchschnitt 18,6 Indikatoren angewendet wurden. Die seltene Anwendung sozialer Indikatoren stimmt mit den Forschungsergebnissen anderer Wissenschaftler überein (vgl. Gold et al. 2010; Sarkis et al. 2010; Miemczyk, Johnsen und Macquet 2012; Seuring 2013; Ahi und Searcy 2015).





\* Rein ökonomische Modellierungsansätze wurden nicht betrachtet.

Abbildung 3.5: Verteilung der Modellierungsansätze anhand der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit (Angelehnt an Carter und Rogers (2008); Brandenburg et al. (2014))

### Kategorie „Bereiche und Kriterien“

Hinsichtlich der Kategorie „Bereiche und Kriterien“ soll im Folgenden zunächst die Verteilung der Indikatoren auf die Bereiche und Kriterien der Kriterien-Hierarchie aus Abbildung 3.2 diskutiert werden, bevor anschließend die am häufigsten verwendeten Indikatoren der 143 Veröffentlichungen vorgestellt werden.

Um die am häufigsten betrachteten ökologischen und sozialen Bereiche herauszufinden, wurden zunächst alle verwendeten Indikatoren dem entsprechenden Kriterium und somit dem Bereich der Kriterienhierarchie aus Abbildung 3.2 zugeordnet.<sup>3</sup> Die sich daraus ergebende Verteilung der ökonomischen, ökologischen und sozialen Bereiche und Kriterien ist in der Tabelle 3.7 bis Tabelle 3.9 dargestellt. Im Hinblick auf die ökologischen Bereiche sind die Ergebnisse denen der Indikatorenanalyse von Ahi und Searcy

<sup>3</sup> Zum besseren Verständnis soll hierzu auf Abbildung 3.2 verwiesen werden. Die verschiedenen Nachhaltigkeitsaspekte sind auf Ebene drei der darin abgebildeten Kriterienhierarchie zu finden.

(2015) sehr ähnlich mit Ausnahme der Bereiche „Energie“ und „Abfall“. Diese beiden Bereiche wurden deutlich häufiger in deren untersuchter Literatur angewendet. Die seltenere Nutzung von Indikatoren der Bereiche „Energie“ und „Abfall“ ist überraschend, da anerkannte Organisationen wie die Global Reporting Initiative oder das Umweltprogramm der Vereinten Nationen diese beiden Bereiche immer als wichtige Bestandteile ökologischer Analysen und Initiativen erwähnen (vgl. UNEP 2010; GRI 2013). Bei Betrachtung der sozialen Dimension der Nachhaltigkeit fällt auf, dass bezüglich der Häufigkeit lediglich die Bereiche „Arbeitsschutz, -gesundheit und -sicherheit“ (2,0%) sowie „Involvierung Stakeholder“ (1,7%) an das Niveau der seltener verwendeten ökologischen Bereiche „Wasser“ und „Energie“ heranreichen.

Die am häufigsten verwendeten ökonomischen, ökologischen und sozialen Indikatoren der untersuchten Literatur sind in Tabelle 3.10 zu sehen. Die ökonomischen Indikatoren in Tabelle 3.10 werden nur teilweise in den älteren Indikatorenanalysen von Dickson (1966) und Weber, Current und Benton (1991) als häufig verwendete Indikatoren angegeben. Sie passen besser zu den jüngeren Literaturstudien von Cheraghi, Dadashzadeh und Subramanian (2004) und Thiruchelvam und Tookey (2011). Die Indikatoren „Preis“, „Qualität“, „Belieferung“ und „technische Fähigkeiten“ gehörten immer zu den zehn am häufigsten verwendeten ökonomischen Indikatoren in diesen Analysen. Dagegen scheinen die Indikatoren „Flexibilität“ und „Beziehung“ in jüngerer Zeit immer bedeutender geworden zu sein, wie auch die Veröffentlichungen von Cheraghi, Dadashzadeh und Subramanian (2004) and Thiruchelvam und Tookey (2011) bestätigen.

Tabelle 3.7: Verteilung der ökonomischen Indikatoren auf die Kriterien und Bereiche

Ökonomische Dimension		
Bereich	Kriterium	Anzahl (Prozent)
Management und Organisation	Strategie und Organisation	62 (2,3%)
	Internes Management	58 (2,2%)
	Lieferantenmanagement	56 (2,1%)
	Compliance	46 (1,7%)
Finanzielle Leistung	Kosten	253 (9,5%)
	Finanzielle Situation	75 (2,8%)
Fähigkeiten	Qualität	144 (5,4%)
	Produktion und Logistik	283 (10,6%)
	Technologie	103 (3,9%)
	Service	69 (2,6%)
	Kommunikation	111 (4,2%)
Externe Wahrnehmung	Öffentliche Berichterstattung	9 (0,3%)
	Reputation und Marktstruktur	95 (3,6%)
	Zertifikate	33 (1,2%)
Summe		1397 (52,5%)

Tabelle 3.8: Verteilung der ökologischen Indikatoren auf die Kriterien und Bereiche

Ökologische Dimension		
Bereich	Aspekt	Anzahl (Prozent)
Umweltpraktiken	Ökologische Selbstverpflichtung	85 (3,2%)
	Umweltmanagement	157 (5,9%)
	Ökologische Fähigkeiten	111 (4,2%)
Umweltleistung	Material	156 (5,9%)
	Energie	61 (2,3%)
	Emissionen	109 (4,1%)
	Wasser	49 (1,8%)
	Abfall	93 (3,5%)
	Umweltauswirkungen des Produkts	193 (7,3%)
Summe		1014 (38,1%)

### 3 Modelle zur Entscheidungsunterstützung im nachhaltigen Lieferantenmanagement

Tabelle 3.9: Verteilung der sozialen Indikatoren auf die Kriterien und Bereiche

Soziale Dimension		
Bereich	Aspekt	Anzahl (Prozent)
Interne soziale Praktiken	Soziale Selbstverpflichtung	40 (1,5%)
	Soziales Management	4 (0,2%)
	Kinderarbeit, Zwangsarbeit	7 (0,2%)
Soziale Leistung	Arbeitsschutz, -gesundheit und -sicherheit	54 (2,0%)
	Lohn, Arbeitszeit	20 (0,8%)
	Bildung der Mitarbeiter	26 (1,0%)
	Beschäftigungsverhältnis	9 (0,3%)
	Diskriminierung, Diversität	22 (0,8%)
	Vereinigungsfreiheit	5 (0,2%)
Externe soziale Praktiken	Involvierung Stakeholder	47 (1,7%)
	Gesellschaftliche Verantwortung	18 (0,7%)
Summe		252 (9,4%)

Mit Ausnahme des Indikators „Umweltmanagementsystem“ scheinen die am häufigsten verwendeten ökologischen Indikatoren der hiesigen Indikatorenanalyse identisch mit denen von Ahi und Searcy (2015) zu sein. Ganz im Gegenteil dazu unterscheiden sie sich aber erheblich von denen der Indikatorenanalyse von Nielsen et al. (2014) und Govindan et al. (2015). Dieser Unterschied kann auf die unterschiedliche betrachtete Literatur und die größere Anzahl untersuchter Veröffentlichungen der hiesigen Studie zurückzuführen sein.

Außer in der Indikatorenanalyse von Ahi und Searcy (2015) konnte keine andere Veröffentlichung gefunden werden, die in diesem Forschungsbereich verwendete soziale Indikatoren umfangreich analysiert hat. Beim Vergleich der Ergebnisse der hiesigen Indikatorenanalyse mit denen von Ahi und Searcy (2015) kann festgehalten werden, dass sich die am häufigsten verwendeten sozialen Indikatoren, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen untersuchten Literatur, sehr ähneln. Trotzdem ist es überraschend, dass sich soziale Aspekte wie „Kinderarbeit, Zwangsarbeit“, „Diskriminierung“ und „Menschenrechtsverletzungen“, wie von namhaften Institutionen wie den Vereinten Nationen und der Internationalen Arbeitsorganisation häufig erwähnt, nicht unter den häufigen sozialen Indikatoren wiederfinden (vgl. Bartolomei de la

Cruz et al. 1996). Diesbezüglich wurde der Indikator „Kinderarbeit“ viermal angewendet, „Diskriminierung“ dreimal und sowohl „Zwangsarbeit“ als auch „freie Berufswahl“ jeweils nur einmal.

Tabelle 3.10: Die jeweils zehn am häufigsten verwendeten ökonomischen, ökologischen und sozialen Indikatoren

Ökonomische Indikatoren	#	Ökologische Indikatoren	#	Soziale Indikatoren	#
Qualität	48	Umweltmanagementsystem	67	Involvierung von Stakeholdern	22
Flexibilität	45	Ressourcenverbrauch	51	Weiterbildung der Mitarbeiter	21
Preise	43	Ecodesign	47	Soziale Selbstverpflichtung	17
Lieferzeit	39	Recycling	44	Arbeitssicherheit und -gesundheit	14
Beziehung	37	Steuerung ökologischer Auswirkungen	35	Beziehung zu Stakeholdern	11
Kosten	36	Schmutzwasser	34	Sozialer Verhaltenskodex	10
Technische Fähigkeiten	32	Energieverbrauch	32	Spenden für nachhaltige Projekte	9
Logistikkosten	27	Wiedernutzung	28	Rechte der Stakeholder	8
Reverse logistics	25	Luftemissionen	27	Sicherheitspraktiken	6
Fehlerrate (ppm)	23	Ökologischer Verhaltenskodex	23	Jährliche Anzahl an Unfällen	6

Da soziale Aspekte in der analysierten Literatur bislang sehr stark vernachlässigt wurden, sollen im Folgenden kurz mögliche Gründe für diese Entwicklung diskutiert werden. Während ökologisch-orientierte Methoden wie Energieanalysen und Ökobilanzierung bereits in den 1970er Jahren entwickelt wurden, entstanden sozial-orientierte Methoden erst Anfang der 2000er Jahre (vgl. Guinee et al. 2011). Diesbezüglich ist das erste Modell, das soziale Aspekte im nachhaltigen Lieferantenmanagement integriert, erst im Jahre 2007 veröffentlicht worden (vgl. Huang und Keskar 2007), 10 Jahre nach dem ersten Modell mit integrierten ökologischen Kriterien (vgl. Noci 1997). Die Hauptgründe für diese späte Integration sozialer Kriterien sind sicherlich die herausfordernden Besonderheiten sozialer Aspekte im Vergleich zu ökologischen Aspekten. Dazu gehören die unterschiedlichen politischen, ethischen und ideologischen Ansichten der einzelnen Stakeholder (vgl. Baumann et al. 2013), die kulturellen

und ökonomischen Disparitäten zwischen den Ländern (vgl. Benoît Norris et al. 2014), der schwierige Umgang mit K.O. Kriterien wie etwa Kinder- und Zwangsarbeit und schließlich die Betrachtung der negativen sozialen Auswirkungen auf die lokale Gemeinde bzw. Region, wenn der dort ansässige Lieferant nicht zur Belieferung ausgewählt wird (vgl. Jørgensen 2013). Darüber hinaus scheint die Abschätzung und Quantifizierung sozialer Indikatoren im Allgemeinen schwieriger zu sein als bei ökologischen Indikatoren. Insbesondere der Zusammenhang von Ursache und Wirkung als Basis für quantitative Leistungsbewertungen im Rahmen des nachhaltigen Lieferantenmanagements ist bislang unzureichend erforscht. (vgl. Baskaran, Nachiappan und Rahman 2012; Chhipi-Shrestha et al. 2015).

Abgesehen von diesen Besonderheiten, bringt die Integration sozialer Indikatoren dieselben Hürden ökologischer Indikatoren mit sich. Aus diesem Grund basieren die meisten verwendeten sozialen Indikatoren ebenfalls auf Expertenschätzungen und bleiben somit sehr subjektiv. Um präzise und vergleichbare soziale Leistungsbewertungen von Lieferanten berechnen zu können, werden aber sehr detaillierte Informationen benötigt, was wiederum vor jeder Entscheidungsfindung einen großen Aufwand im nachhaltigen Lieferantenmanagement erfordert (vgl. Labuschagne et al. 2005). Abschließend kann angenommen werden, dass die Integration sozialer Aspekte in das nachhaltige Lieferantenmanagement vom Erfolg der – relativ betrachtet – einfacheren Integration ökologischer Aspekte abhängt (vgl. Hutchins und Sutherland 2008).

#### **Kategorie „Hierarchiestufen“**

Interessant ist auch die häufige Verwendung von Kriterienhierarchien entsprechend der in Abbildung 3.2 dargestellten vierstufigen Hierarchie. Mit 74 Veröffentlichungen hat der Großteil der Autoren eine hierarchische Struktur mit drei Ebenen verwendet, 12 Arbeiten nutzen Hierarchien mit vier Ebenen und 57 Beiträge verwendeten keine hierarchische Struktur.

### 3.1.4 Forschungsbedarf

In den letzten Jahren ist die Anzahl an Modellen zur Entscheidungsunterstützung im nachhaltigen Lieferantenmanagement stark angestiegen. Nichtsdestotrotz bestehen nach wie vor einige Herausforderungen in diesem Forschungsfeld. In Tabelle 3.11 ist deshalb ein Überblick über 9 potenzielle zukünftige Forschungsbedarfe zu sehen, die im Zuge dieser Literaturstudie identifiziert werden konnten. Im Folgenden werden ausschließlich diejenigen Forschungsbedarfe detaillierter begründet, die durch die Entwicklungen in Kapitel 5 und 6 aufgegriffen werden. Dazu zählen die Forschungsbedarfe mit der Nr. 2, 3, 4 und 9 in Tabelle 3.11. Zu den Hintergründen der verbleibenden fünf Forschungsbedarfe soll auf die im Rahmen dieser Promotion entstandene Veröffentlichung verwiesen werden (vgl. Zimmer, Fröhling und Schultmann 2015).

Tabelle 3.11: Überblick über potenzielle zukünftige Forschungsthemen  
(Zimmer, Fröhling und Schultmann 2015)

Nr.	Identifizierte Forschungsbedarfe
1	Industriespezifische Untersuchungen und Vergleiche
2	Materialgruppen- oder produktspezifische Lieferantenfragebögen
3	Transparenz und Bewertungen entlang der Lieferkette
4	Vergleich häufig und selten angewandeter Modellierungsansätze
5	Lieferantenqualifikation und Übergang zur finalen Lieferantenauswahl
6	Lieferantenentwicklungsprozess
7	Auswirkung der Auswahl der involvierten Stakeholder auf die Entscheidungsfindung
8	Multiple sourcing zum Ausgleich aufkommender Risiken entlang der Lieferkette
9	Quantifizierbare und vergleichbare ökologische und soziale Indikatoren

#### Materialgruppen- oder produktspezifische Lieferantenfragebögen

Im Zusammenhang mit der Festlegung von Kriterien und den dafür erforderlichen Lieferantenfragebögen haben die meisten der Modelle eine fest definierte Anzahl an Kriterien bzw. Fragen für die Bewertung von Lieferanten verwendet. Um die Informationsbeschaffung durch Lieferantenfragebögen effektiver und effizienter zu gestalten, erscheint die Einführung spezifischer Lieferantenfragebögen pro Materialgruppe oder noch besser pro Vergabeent-

scheidung bzw. Produkt als sehr vielversprechend (vgl. Chae 2009; Tsai und Hung 2009; Dou und Sarkis 2010; Bai und Sarkis 2014). Demzufolge ist es sinnvoll, umfassende Fragen im Falle hoher zu erwartender ökologischer und sozialer Auswirkungen oder Risiken zu stellen und diese im Falle von niedrigen zu erwartenden Auswirkungen und Risiken auf ein notwendiges Minimum zu reduzieren. Wie im kommenden Abschnitt 3.2 erläutert, können Ökobilanzen, Länderstatistiken oder andere Risikoansätze dabei helfen, relevante Kriterien in Abhängigkeit von der Herkunft, vom Produkt oder auch vom Vergabevolumen zu bestimmen. Um damit automatisiert produktspezifische bzw. risikospezifische Lieferantenfragebögen abzuleiten, sind dynamische Fragebögen und Modelle notwendig, die den Aufwand bei der Lieferantenbefragung auf das Wesentliche reduzieren.

#### **Transparenz und Bewertungen entlang der Lieferkette**

Die Transparenz entlang der vorgelagerten Lieferkette bleibt nach wie vor eine der großen Herausforderungen zukünftiger Forschungsarbeiten. Zukünftige Arbeiten sollten sich deshalb unter anderem mit der Entwicklung einer potenziellen Internetplattform für den Datenaustausch entlang der Lieferkette auseinandersetzen. Ziel einer solchen Plattform muss es sein, die in Abschnitt 3.1.3.2 beschriebenen Hürden einer transparenten Lieferkette zu überwinden. Der Datenaustausch entlang der Lieferkette ist insbesondere zur Leistungsbewertung der Lieferkette von Bedeutung, da die Qualität der Bewertung mit Hilfe der identifizierten Modelle entscheidend von der Glaubwürdigkeit und Genauigkeit der verwendeten Daten abhängt. Während viele der vorgestellten Modelle bislang Expertenschätzungen verwenden, könnten durch eine solche Austauschplattform zunehmend Primärdaten zur Bewertung genutzt werden. Im Hinblick auf die Datensicherheit entsteht durch die darin enthalten sensiblen Daten eine neue Herausforderung. Ohne eine entsprechende Absicherung der Daten wird eine Plattform zum Austausch von Daten entlang der Lieferkette nicht gelingen. Diesbezüglich könnte ein globales Datensystem wie etwa die internationale Materialdatenbank der Automobilindustrie (vgl. IMDS 2015) ein vielversprechender Weg sein. Ein anderer Weg die Transparenz entlang der Lieferkette zu verbessern besteht darin, die gegenseitige Abhäng-



igkeit zwischen Lieferanten und Abnehmer in entsprechenden Modellen zur Unterstützung des nachhaltigen Lieferantenmanagements zu berücksichtigen. Wie bereits in Abschnitt 3.1.3.2 erläutert, stellt die bedingte Beeinflussbarkeit der Lieferkette ebenfalls eine Hürde dar. Durch die Berücksichtigung der Beeinflussbarkeit könnte effizienter in die Lieferketten vorgedrungen werden. Diesbezüglich hat bisher nur Zhu, Dou und Sarkis (2010) ein erstes Modell entwickelt, das die relative Macht des Lieferanten mit Hilfe des ANP bestimmt. Eine weitere Möglichkeit die Transparenz unabhängig von der Kooperation vorgelagerter Lieferanten zu verbessern, stellt die Anwendung von Input-Output-Modellen dar. Die Ergebnisse dieser Modelle bieten zwar keine exakten Informationen über Standorte oder Unternehmen der Lieferkette, ermöglichen aber durchschnittliche Abschätzungen der vorgelagerten Lieferkette auf Basis bekannter wirtschaftlicher Verflechtungen der Länder der Welt.<sup>4</sup>

In vielen der vorgestellten Arbeiten sprechen die Autoren von Modellen zur Bewertung von Lieferketten, obwohl sie sich meist auf Direktlieferanten beschränken (vgl. Bhattacharya et al. 2014). In zukünftigen Studien sollte deshalb immer klargestellt werden, welche Stufen der Lieferkette betrachtet werden. Außerdem sollten mehr Modelle zur Bewertung und Analyse gesamter vorgelagerter Lieferketten entwickelt werden, die unter anderem die genannten Hürden aufgreifen. Dabei sollte auch untersucht werden, wie die Leistungen mehrerer Lieferanten auf verschiedenen Stufen der Lieferkette aggregiert, welche Kriterien jeweils verwendet und wie Änderungen von Lieferanten in der Lieferkette gesteuert werden können.

#### **Vergleich häufig und selten angewendeter Modellierungsansätze**

Auch wenn in den letzten Jahren, wie in Abschnitt 3.1.3.1 gezeigt, sehr viele Modellierungsansätze veröffentlicht wurden, so hat bislang kein Autor bereits veröffentlichte Modellierungsansätze auf dieselben Lieferantendaten angewendet und verglichen. Anstatt neue Modellierungsansätze zu entwickeln, sollten zukünftige Studien deshalb die Robustheit und Leistung bereits

---

<sup>4</sup> In Abschnitt 4.1 wird im Detail auf den Hintergrund und Nutzen von Input-Output-Ansätzen in diesem Zusammenhang eingegangen.

veröffentlichter Modellierungsansätze auf die gleichen Lieferantendaten untersuchen und vergleichen. Dies sollte auch im Kontext unterschiedlicher Beschaffungssituationen erfolgen (Anzahl der Kriterien oder Lieferanten, Prozess des nachhaltigen Lieferantenmanagements, Branche, etc.). Darüber hinaus wäre ein Vergleich zu Modellierungsansätzen, die selten oder noch nicht angewendete Methoden verwenden, lohnenswert. Ein Ergebnis der Literaturstudie ergab die häufige Anwendung von mathematisch analytischen Methoden und Methoden der künstlichen Intelligenz. Dabei lag der Fokus aber hauptsächlich auf den Methoden der Fuzzy-Set-Theorie, AHP oder dem ANP. Wie bereits in Abschnitt 3.1.3.3 angedeutet, sollten in diesem Zusammenhang die Anwendbarkeit und die Vorteile bislang selten oder gar nicht untersuchter Methoden wie ELECTRE, PROMETHEE oder weitere Methoden der künstlichen Intelligenz im Kontext des nachhaltigen Lieferantenmanagement erprobt werden. Diese könnten bei Hybriden im Idealfall die Schwächen der anderen verwendeten Methoden kompensieren. In Einkaufsorganisationen großer Unternehmen herrscht aufgrund von Compliance-Richtlinien und möglicher Voreingenommenheit langjähriger Einkäufer eine schnelle interne Rotation der Arbeitsplätze. Als Folge dieser Rotation eines Einkäufers geht jedesmal mehrjährige Erfahrung verloren. Um dieses Wissen zu wahren und idealerweise objektivere Entscheidungen treffen zu können, erscheint die Anwendung von Methoden der künstlichen Intelligenz wie etwa neuronale Netze, genetische Algorithmen oder case-based reasoning vielversprechend. Dementsprechend könnten sich bisher selten oder gar nicht untersuchte Methoden als vorteilhaft erweisen.

#### **Quantifizierbare und vergleichbare ökologische und soziale Indikatoren**

Wie bereits in Tabelle 3.5 vorgestellt, ist eine weitere Erkenntnis der Literaturstudie die überwiegende Nutzung von Expertenmeinungen zur Bewertung von Lieferanten. Zukünftige Modelle sollten die Integration von Expertenabschätzungen insbesondere für weniger greifbare Kriterien ermöglichen. Noch wichtiger ist aber die Einbindung von Primärdaten von Lieferanten. Eine Einschränkung dieses Vorschlags ist sicherlich der beschränkte Zugriff auf valide Daten (vgl. Azadnia, Saman und Wong 2015). Von daher ist der Umgang

mit unsicheren und unvollständigen Daten ein wichtiger Punkt. Wie bereits angedeutet könnte dazu die Entwicklung einer Internetplattform für den Austausch von Lieferanteninformationen Abhilfe schaffen. Hinsichtlich der Verwendung von Expertenschätzungen sollten die Experten, die für die Lieferantenbewertungen befragt werden, mit Bedacht ausgewählt werden (vgl. Awasthi, Chauhan und Goyal (2010)).

Obwohl ökologische Kriterien in der Literatur und Praxis immer mehr verwendet werden, haben sowohl Forscher als auch Praktiker Schwierigkeiten diese selbst bei Lieferanten der gleichen Branche zu vergleichen (vgl. Humphreys et al. 2006). Viele der analysierten Veröffentlichungen verwenden keine quantitativen ökologischen und sozialen Kennzahlen, obwohl diese einen großen Beitrag zur Vergleichbarkeit der Lieferantenleistung leisten würden. Deshalb sollte mehr Forschungsarbeit zur Entwicklung quantitativer und vergleichbarer Indikatoren unternommen werden. Ein besonderer Fokus sollte hierbei auf die Entwicklung sozialer Aspekte gelegt werden. Aufbauend auf den Ergebnissen der Indikatorenanalyse dieser und anderer Arbeiten, muss festgehalten werden, dass die Berücksichtigung sozialer Indikatoren bislang stark vernachlässigt wurde. Diesbezüglich sollten in einem ersten Schritt geeignete soziale Indikatoren entwickelt und deren Ursache-Wirkungs-Beziehung im Detail untersucht werden, um den Stand der Forschung in der sozialen Lieferantenbewertung voranzubringen. Darüber hinaus muss, wie in Abschnitt 3.1.3.4 geschildert, der Umgang mit den Besonderheiten sozialer Aspekte gelöst werden, bevor diese in die Bewertungen des nachhaltigen Lieferantenmanagements integriert werden können.

## 3.2 Modelle zur Abschätzung von Nachhaltigkeitsrisiken

Da es sich bei der Abschätzung von ökologischen und sozialen Risiken im Kontext des nachhaltigen Lieferantenmanagements um einen jungen Forschungsbereich handelt, wird zum besseren Verständnis zunächst ein kurzer Blick auf die Abschätzung ökonomischer Risiken der Lieferkette und die grund-

legenden Konzepte einer Lebenszyklusanalyse als ein möglicher Weg zur Risikoabschätzung geworfen, bevor die bereits existierenden Modelle zur Abschätzung von Nachhaltigkeitsrisiken vorgestellt werden.

#### 3.2.1 Abschätzung ökonomischer Risiken der Lieferkette

Jüttner et al. (2003) definieren Risiken der Lieferkette als “the possibility and effect of mismatch between supply and demand“. In diesem Zusammenhang werden unter Risiken der Lieferkette meistens ökonomische Aspekte wie etwa Lieferunterbrechungen, Qualitätsprobleme, Nachfrage- und Preisschwankungen sowie längere Lieferzeiten verstanden (vgl. Christopher et al. 2011). Das Management dieser Risiken hat sich in den letzten zwei Jahrzehnten aufgrund des zunehmenden Anteils ausgelagerter Produktion und Dienstleistungen in komplexe Liefernetzwerke auf der gesamten Welt zu einer sehr anspruchsvollen und entscheidenden Aufgabe in Unternehmen entwickelt (vgl. Christopher und Towill 2002; Christopher und Lee 2004; Rao und Goldsby 2009). Dementsprechend wuchs das Interesse von Wissenschaft und Industrie in diesem Forschungsbereich (vgl. Seshadri und Subrahmanyam 2005; Wagner und Bode 2008). Diese Entwicklung kann durch die Vielzahl entsprechender Veröffentlichungen bestätigt werden (vgl. Jüttner, Peck und Christopher 2003; Rao und Goldsby 2009; Vanany et al. 2009; Singhal, Agarwal und Mittal 2011; Heckmann, Comes und Nickel 2015).

Das Management von Risiken kann allgemein in die folgenden drei Stufen unterteilt werden (vgl. Kleindorfer und Saad 2005; Tang 2006; Kern et al. 2012): 1. Identifikation, 2. Abschätzung, 3. Verringerung. Die zweite Stufe des Risikomanagements – die Abschätzung von Risiken – basiert in der Wissenschaft und Industrie meist auf den folgenden zwei Komponenten (vgl. Hallikas et al. 2002; Zsidisin et al. 2004; Kleindorfer und Saad 2005; Ritchie und Brindley 2007; Manuj und Mentzer 2008; Foerstl et al. 2010):

- (1) Abschätzung der Schwere und Auswirkung negativer Effekte, falls das Risiko eintritt
- (2) Abschätzung deren Eintrittswahrscheinlichkeit

Idealerweise sollte deshalb dieser zweite Schritt Informationen über potenzielle Risiken entlang der Lieferkette bereitstellen, um diese auf effektive Art und Weise zu verringern, zu vermeiden oder bewusst akzeptieren zu können (vgl. Baird und Thomas 1985; Kern et al. 2012). Die Erkenntnisse aus der Risikoabschätzung können dabei nicht nur in der Lieferantenauswahl sondern auch in der Lieferantensteuerung und Lieferantenentwicklung Anwendung finden.

Das Management von Risiken der Lieferkette ist ein etablierter Forschungsbe-  
reich, der eine Vielzahl an quantitativen Modellen hervorgebracht hat. Dazu  
zählen unter anderem fuzzy-basierte und stochastische Modelle sowie Simula-  
tionsmodelle (vgl. Singhal, Agarwal und Mittal 2011; Ghadge et al. 2012;  
Heckmann, Comes und Nickel 2015). Der Fokus dieser Arbeiten lag bisher aber  
auf der Untersuchung und Abschätzung ökonomischer Risiken der Lieferkette  
und berücksichtigte weder ökologische noch soziale Aspekte.

### 3.2.2 Methoden der Lebenszyklusanalyse zur Abschätzung von Nachhaltigkeitsrisiken

Ein viel versprechendes Forschungsfeld, das die Entwicklungen zur Abschät-  
zung ökologischer und sozialer Risiken insbesondere aus methodischer Sicht  
unterstützen kann sind Lebenszyklusanalysen bzw. Life Cycle Assessments  
(LCA). Lebenszyklusanalysen können in Top-down, Bottom-up und hybride  
Ansätze untergliedert werden (vgl. Feng et al. 2011; Guinee et al. 2011). Alle  
drei Ansätze haben das gleiche Ziel und zwar die systematische Analyse der  
ökologischen und sozialen Auswirkungen von Produkten während des  
gesamten Lebensweges. Sie unterscheiden sich teilweise jedoch erheblich im  
Detailierungsgrad und hinsichtlich des zu analysierenden Betrachtungsraums.  
Bottom-up Ansätze sind prozess- oder produktorientierte Ansätze und somit  
in der Regel relativ detailliert. Bei Top-down Ansätzen dagegen wird der  
Betrachtungsraum bei gleichzeitig meist niedrigerem Detailierungsgrad  
erheblich erweitert. Die Analysen finden dann auf einer volkswirtschaftlichen  
Ebene zwischen Nationen oder Wirtschaftssektoren statt. Die Ebenen Top-  
down, Bottom-up und hybrid dürfen dabei keinesfalls als scharfe Grenzen

gesehen werden sondern sollen vielmehr der theoretischen Einordnung der verschiedenen methodischen Ansätze dienen.

Bei Bottom-up Ansätzen kann zwischen Ökobilanzen bzw. Environmental Life Cycle Assessments (E-LCA) und Sozialbilanzen bzw. Social Life Cycle Assessments (S-LCA) unterschieden werden. Beide Ansätze finden vor allem in der Produktentwicklung Anwendung. Unabhängig von der Dimension ist bei beiden Ansätzen die Sammlung und Modellierung primärer Daten sehr zeitaufwändig. Für eine Risikoabschätzung ist dies im ersten Schritt jedoch nicht zwingend erforderlich. Top-down Ansätze wie die umweltökonomische Gesamtrechnung bzw. die Environmentally Extended Input Output Analysis (EEIO) erweisen sich als vorteilhaft, wenn regionale Unterscheidungen, Analysen innerhalb von Lieferkette und schnelle Abschätzungsergebnisse von Bedeutung sind. Sobald ein multiregionales EEIO Modell implementiert ist, kann es schnell ökologische Bilanzschätzungen und Krisenherde entlang der vorgelagerten Lieferkette liefern bzw. aufdecken. Allgemein bieten solche volkswirtschaftlichen Modelle die Möglichkeit diese Schätzungen entlang der vorgelagerten Lieferkette zu verorten (Land, Region, Sektor). Da gerade diese Aspekte für eine erste Orientierung hinsichtlich potenzieller Risiken von höchster Bedeutung sind, erscheint die Verwendung dieser Methode zur Abschätzung ökologischer und sozialer Risiken sinnvoll. Für eine sozialökonomische Gesamtrechnung bzw. Socially Extended Input Output Analysis (SEIO) müssen an Stelle der umweltökonomischen sozialökonomische Erweiterungen verwendet werden. Vor allem im sozialen Umfeld ist die Verortung entlang der Lieferkette aufgrund des kulturellen und ökonomischen Ungleichgewichts zwischen den Ländern entscheidend (vgl. Benoît Norris, Norris und Aulisio 2014), um möglichst präzise Risikoabschätzungen vornehmen zu können. Im Gegensatz zu multiregionalen Input Output Ansätzen mit mehreren Ländern oder Regionen können nur einzelne Länder oder Regionen analysiert werden. Eine Erweiterung der Top-down und Bottom-up Ansätze stellen die hybriden Ansätze dar. Bei diesen wird versucht jeweils die Vorteile des Top-down und Bottom-up Ansatzes so zu koppeln, dass trotz des großen zu analysierenden Betrachtungsraums ein hoher Detaillierungsgrad erreicht werden kann. Die

diskutierten Ebenen und Dimensionen der Lebenszyklusanalyse sind zum besseren Verständnis in Abbildung 3.6 dargestellt.

Während sich E-LCA seit bereits drei Dekaden zu einem etablierten Forschungsbereich entwickelt hat (vgl. Guinee et al. 2011) hat S-LCA sowohl auf der volkswirtschaftlichen als auch auf der produkt- bzw. prozessspezifischen Ebene eine relativ junge Vergangenheit. Erst in den vergangenen zehn Jahren haben Forscher erste Ansätze entwickelt, um Sozialbilanzen und soziale Auswirkungen zu bestimmen (vgl. Chhipi-Shrestha, Hewage und Sadiq 2015). Die meisten beruhen auf den Richtlinien des UNEP/SETAC für S-LCA (vgl. Benoît und Mazijn 2009).

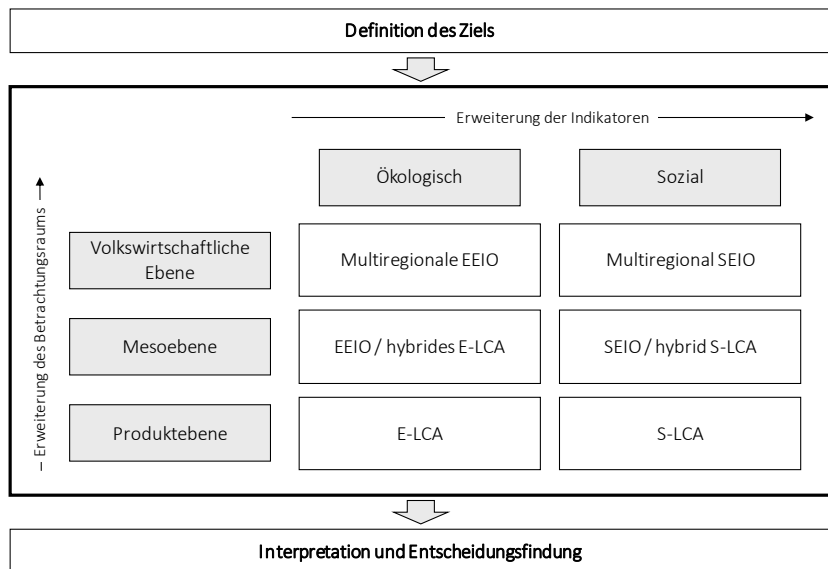


Abbildung 3.6: Ebenen und Dimensionen der Lebenszyklusanalyse (vgl. Guinee et al. 2011)

### 3.2.3 Abschätzung ökologischer und sozialer Risiken in Theorie und Praxis

Im Gegensatz zu ökonomischen Risiken der Lieferkette, führen ökologische und soziale Risiken zunächst zu Reputationsverlusten als Folge negativer Reaktionen betroffener Stakeholder. Diese Reputationsverluste können nun weitere negative Folgen wie etwa Schadensersatzforderungen oder Umsatz- und Gewinnrückgänge mit sich bringen (vgl. Hofmann et al. 2014) und wirken sich damit erst im weiteren Verlauf auf die ökonomischen Belange aus. Bevor auf Modelle zur Abschätzung ökologischer und sozialer Risiken in der wissenschaftlichen Literatur eingegangen wird, soll im Folgenden zunächst der Stand der Praxis diskutiert werden.

#### 3.2.3.1 Stand der Praxis

In der Praxis werden häufig Vergabevolumina als Indikator der Auswirkungen und Länderstatistiken bzw. Länderrisiken zur Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeiten verwendet (vgl. Foerstl et al. 2010). Eine Besonderheit ökologischer und sozialer Risiken im Vergleich zu ökonomischen Risiken ist aber die Tatsache, dass hinsichtlich des Gesamtrisikos kein linearer Zusammenhang zwischen Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit besteht. Eine einfache Multiplikation dieser Werte zur Bestimmung des Gesamtrisikos erscheint deshalb nicht sinnvoll. Nicht selten geraten gerade Vergabeumfänge geringen Volumens und hohem Länderrisiko an die Öffentlichkeit und verursachen Reputationsschäden während Vergabeumfänge hohen Volumens und niedrigem Länderrisiko bei gleichem Gesamtrisiko keine Aufmerksamkeit erhalten. Eine Abschätzung unter Annahme eines linearen Zusammenhangs dieser beiden Faktoren wie in den meisten ökonomischen Risikomodellen würde somit zu verfälschten Ergebnissen führen.

Foerstl et al. (2010) belegen in Ihrer Studie, dass alle von ihnen untersuchten Unternehmen der Chemieindustrie die beiden genannten Faktoren (Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit) nicht eingehaltener Mindeststandards zur Abschätzung ökologischer und sozialer Risiken und damit zur Priorisierung nutzen. Einerseits bestätigt diese Beobachtung das oben beschriebene Vor-



gehen. Andererseits werden aber keine genauen Angaben gemacht, wie diese verschiedenen Informationen verrechnet und für eine Risikoabschätzung nutzbar gemacht werden. Darum wird auch nicht ersichtlich, ob die betrachteten Unternehmen einen linearen oder nichtlinearen Zusammenhang zwischen Auswirkung und Eintrittswahrscheinlichkeit annehmen. Möglicherweise wird mit Hilfe dieser Daten eine Portfolio-Analyse und keine weitere Verrechnung durchgeführt.

Vom Standpunkt eines Unternehmens aus sollten zur Risikoabschätzung von Lieferketten aber neben dem Einkaufsvolumen und Länderrisiken auch die Beeinflussbarkeit der Lieferkette und die öffentliche Wahrnehmung des Lieferanten und des Produkts eine wichtige Rolle spielen. Die Bedeutung der Beeinflussbarkeit lässt sich sehr einfach damit erklären, dass ohne ein Mindestmaß an Einfluss im Rahmen der Lieferanten-Abnehmer-Beziehung keine Ziele entlang der Lieferkette erreicht werden können. Die Bedeutung der öffentlichen Wahrnehmung des Lieferanten und des Produkts im Kontext der ökologischen und sozialen Risikoabschätzung ist dagegen wie folgt begründet: Können ökologische und soziale Missstände einem in der Öffentlichkeit bekannten Lieferanten und Produkt zugeordnet werden, so lassen sich diese durch Stakeholder leichter medienwirksam kommunizieren. Dies führt unweigerlich zu einem erhöhten Risiko des einkaufenden Unternehmens bei solchen Lieferanten und Produkten.

### 3.2.3.2 Stand der Theorie

In der wissenschaftlichen Literatur stellt die Abschätzung ökologischer und sozialer Risiken entlang der Lieferkette ein junges Forschungsfeld mit einer bislang geringen Anzahl an Veröffentlichungen dar (vgl. Grimm et al. 2013). Ziel solcher Risikoabschätzungen ist primär die Identifikation sogenannter „Hotspots“ sowie die Priorisierung vorgelagerter Lieferketten, um die gegebenen materiellen und personellen Ressourcen zur Lieferantenentwicklung optimal einzusetzen. Während es mehrere Veröffentlichungen gibt, die sich mit ökologischen und sozialen Risiken auf qualitativer Ebene auseinandersetzen, konnten lediglich drei quantitative Modelle zur Abschätzung dieser Risiken gefunden werden. Quantitative Modelle werden ansonsten lediglich

erwähnt (vgl. Cousins et al. 2004) oder als wichtiger Schritt des Risikomanagementprozesses genannt (vgl. Foerstl et al. 2010; Grimm, Stölzle und Hofstetter 2013). Aufgrund des quantitativen Themenschwerpunkts dieser Arbeit wird für einen Überblick qualitativer Arbeiten an dieser Stelle auf Grimm, Stölzle und Hofstetter (2013) verwiesen.

Sadiq und Husain (2005) veröffentlichten ein Modell zur Abschätzung ökologischer Risiken am Beispiel verschiedener Entsorgungsszenarien von Bohrschlamm und -abfällen. Sie berechnen das ökologische Risiko durch Multiplikation des Risikograds (Wahrscheinlichkeit) mit der Bedeutung (Konsequenzen). Beide Werte werden durch Expertenbefragungen je Risikokriterium ermittelt. Für den geeigneten Umgang mit diesen unscharfen Informationen wird die Fuzzy-Set-Theorie verwendet. Zur abschließenden Aggregation der wesentlichen ökologischen Risikofaktoren werden anhand einer Kriterienhierarchie und mit Hilfe des AHP Gewichtungen der einzelnen Risikofaktoren bestimmt.

Vinodh und Jayakrishna (2013) haben ebenfalls ein Modell zur Abschätzung ökologischer Risiken von Produkten veröffentlicht. Im Gegensatz zur Arbeit von Sadiq und Husain (2005) beziehen diese neben den Risiken auch den Nutzen in die Abschätzungen mit ein. Das Modell dieser Autoren ist breiter ausgelegt und untersucht die Risiken und den Nutzen in den verschiedenen Stufen des Produktlebenszyklus (Rohstoffentnahme, Materialbearbeitung, Design, Fertigung, Vertrieb etc.). Es bietet sich somit in erster Linie zur Anwendung in der Produktentwicklung an. Die Abschätzung des Nutzens und des Risikos sowie die Berechnung der Gewichtungen beruhen auch hier auf Expertenschätzungen. Die Risikoberechnung selbst findet mit Hilfe eines Punktbewertungsverfahrens statt. Zur Aggregation des Risikos und des Nutzens wird das Risiko vom Nutzen abgezogen. Ziel dieses Modells ist die Identifikation der wesentlichen Risiken und des größten Nutzens in den verschiedenen Stufen des Produktlebenszyklus. Beide vorgestellten ökologischen Risikomodelle verwenden keine Methoden des LCA und beruhen auf qualitativen Schätzungen von Experten.

Im Gegensatz dazu haben Benoît Norris et al. (2012) ein Modell zur Abschätzung sozialer Risiken der Lieferkette entwickelt, das auf einem Top-down Ansatz sowie auf statistischen Werten aufbaut. Dieses Modell ermöglicht es soziale Krisenherde („Hotspots“) in der vorgelagerten Lieferkette effizient zu identifizieren. Im Unterschied zu den vorgestellten ökologischen Modellen konzentriert sich dieses Modell auf die Lieferkette und nicht mehr auf spezielle Entsorgungsprozesse oder etwa alle Stufen des Produktlebenszyklus. In beiden ihrer kürzlich veröffentlichten Beiträge zu diesem Modell werden nicht nur die Methode und ihre Weiterentwicklungen beschrieben sondern auch Ihre Anwendbarkeit anhand verschiedener Fallbeispiele demonstriert (vgl. Benoît Norris, Cavan und Norris 2012; Benoît Norris, Norris und Aulio 2014). Da das Modell auf der multiregionalen Input Output Datenbank GTAP aufsetzt (vgl. Narayanan und Walmsley 2008), findet die Risikoabschätzungen auf Ebene von Ländern und deren Wirtschaftssektoren statt. Zusätzlich haben die Autoren eine umfassende Datenbank namens Social Hotspots Database (SHDB) aufgebaut. Zur Risikoabschätzung wird in Abhängigkeit vom Direktlieferanten das betrachtete Produkt einer passenden Land-Sektor-Kombination zugeordnet, um davon ausgehend die Lieferanten auf zweiter Wertschöpfungsstufe abzuschätzen. Um die Anteile der Lieferanten auf zweiter Wertschöpfungsstufe zu bestimmen, nutzen die Autoren die land-sektorspezifischen (LSS) Arbeitsintensitäten<sup>5</sup> der eingehenden Flüsse in die Land-Sektor-Kombination des Direktlieferanten gemäß der GTAP Datenbank. Die Abschätzung sozialer Risiken basiert dabei allgemein auf drei Faktoren: (1) LSS Arbeitsintensitäten, (2) soziale LSS Risiken und (3) die Schwere dieser sozialen Risiken. Um soziale Krisenherde der vorgelagerten Lieferkette präziser bestimmen zu können und um die beschränkte Granularität der GTAP Datenbank zu umgehen, haben die Autoren in ihrer jüngsten Veröffentlichung die GTAP Datenbank durch primäre statistische Daten ersetzt (vgl. Benoît Norris, Norris und Aulio 2014).

---

<sup>5</sup> Auf die Hintergründe der Input-Output-Analyse wird im Abschnitt 4.1 detaillierter eingegangen.

#### 3.2.4 Forschungsbedarf

Im Kontext des nachhaltigen Lieferantenmanagements kann die Risikoabschätzung drei wesentliche unterstützende Funktionen einnehmen. Die erste Funktion ist strategischer Natur und liefert dem Entscheidungsträger im Rahmen der Beschaffungsmarktforschung Hintergrundinformationen hinsichtlich ökologischer und sozialer Aspekte und trägt somit zu einer verbesserten Entscheidungsfindung bei. Die zweite Funktion unterstützt den Einkauf bei der Priorisierung von Lieferanten und Lieferketten im Rahmen proaktiver Lieferantenentwicklungsaktivitäten. Die dritte und letzte Funktion ermöglicht dem operativen Einkäufer eine effiziente Lieferantenbefragung hinsichtlich ökologischer und sozialer Aspekte, da der Einkäufer mit Hilfe der Risikoabschätzung besser einschätzen kann, ob und wie detailliert ein direkter oder indirekter Lieferant zu ökologischen oder sozialen Risikokriterien befragt werden sollte.

Trotz dieses potenziellen Mehrwerts wurden Modelle zur ökologischen oder sozialen Risikoabschätzung in der wissenschaftlichen Literatur bislang noch nicht in den Kontext des nachhaltigen Lieferantenmanagements gebracht und somit auch noch nicht mit Modellen des nachhaltigen Lieferantenmanagements kombiniert. Die vorgestellten Modelle weisen vor diesem Hintergrund unterschiedliche Stärken und Schwächen auf, die im Folgenden hinsichtlich der Übertragbarkeit in das nachhaltige Lieferantenmanagement näher beleuchtet werden. Sie werden dazu anhand der Kategorien „Modellierung der Lieferkette“, „Datenbasis der Risikoausprägungen“, „Risikokriterien“ und „Aggregation der Risikokriterien“ diskutiert.

Hinsichtlich der „Modellierung der Lieferkette“ fokussiert sich das Modell von Sadiq und Husain (2005) lediglich auf die Entsorgung als einen Prozess des Produktlebenszyklus während die anderen beiden Arbeiten auf die Risiken vorgelagerter Lieferketten (vgl. Benoît Norris, Cavan und Norris 2012) oder sogar auf alle Stufen des Produktlebenszyklus (vgl. Vinodh und Jayakrishna 2013) eingehen. Benoît Norris, Cavan und Norris (2012) modellieren hierbei aber nur die Lieferanten auf Wertschöpfungsstufe 1 und 2 obwohl Missstände häufig in weiter vorgelagerten Wertschöpfungsstufen zu erwarten sind.

Trotzdem haben sich in ihrer Studie zur Abschätzung vorgelagerter Nachhaltigkeitsrisiken die Methoden des LCA als sehr hilfreich erwiesen. Dies hängt vor allem damit zusammen, dass die Risikoausprägungen an Stelle von Expertenbefragungen auch auf Statistiken aufbauen und somit objektiver sind. Im Gegensatz zu Benoît Norris, Cavan und Norris (2012) bilden Vinodh und Jayakrishna (2013) die gesamte Lieferkette bis zum Rohstoff ab, wobei die Datenbasis zur Risikoberechnung auf Experteneinschätzungen beruht, was im Vergleich wiederum als eine Schwäche dieses Modells gesehen werden muss. Sowohl bei Vinodh und Jayakrishna (2013) als auch bei Sadiq und Husain (2005) werden zur Bestimmung der Ausprägungen der Risikokriterien und ggf. zur Modellierung der Lieferkette Experteneinschätzungen genutzt. Hinsichtlich der Kategorie „Risikokriterien“ fokussieren sich alle drei Modelle entweder auf ökologische oder soziale Risikokriterien.

Auch wenn das Modell von Sadiq und Husain (2005) nur die Entsorgung als einen Teil der gesamten Lieferkette betrachtet, so gehen die Autoren doch methodisch detaillierter auf die Besonderheiten der Risikoberechnung ein. Um mit den unscharfen Informationen aus Expertenbefragungen geeignet umgehen und die unterschiedliche Bedeutung einzelner Risikofaktoren systematisch berücksichtigen zu können, haben die Autoren einen hybriden Ansatz mit der Fuzzy-Set-Theorie und dem AHP integriert. Einen alternativen aber weniger systematischen Weg zur Aggregation der Risikokriterien schlagen Benoît Norris, Cavan und Norris (2012) vor. Sie ordnen den verschiedenen sozialen Risikoausprägungen einen Wert von 1 (niedrig), 2 (mittel) oder 3 (hoch) zu und addieren diese zur Bestimmung des Gesamtrisikos. Schwachpunkt dieses Ansatzes ist unter anderem die Fragestellung, wie die Grenzen zwischen den drei Risikostufen bestimmt werden. In der Studie von Vinodh und Jayakrishna (2013) werden die Risiken ebenfalls addiert, bevor sie mit dem Nutzen verrechnet werden.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die drei Modelle zwar die Abschätzung von Nachhaltigkeitsrisiken der Lieferkette bzw. Teilen davon ermöglichen, jedoch in keinem der drei Fälle alle Möglichkeiten hinsichtlich der Kategorien „Modellierung der Lieferkette“, „Datenbasis der Risikoausprägungen“ (Expertenein-

schätzung, Statistiken, Wissen), „Risikokriterien“ (ökologisch, sozial) und „Aggregation der Risikokriterien“ vor dem Hintergrund der Anwendung im nachhaltigen Lieferantenmanagement ausgeschöpft wurden. Für eine Anwendung im nachhaltigen Lieferantenmanagement muss versucht werden die gesamte vorgelagerte Lieferkette abzubilden. Dabei sollte anstatt auf Experteneinschätzungen wie im Falle der Veröffentlichung von Vinodh und Jayakrishna (2013) auf Statistiken der wirtschaftlichen Verflechtungen der Länder wie bei Benoît Norris, Cavan und Norris (2012) oder idealerweise auf Primärwissen des Unternehmens aufgebaut werden, um die höchstmögliche Transparenz zu erreichen. Ebenso sollte für die Bestimmung der Ausprägungen einzelner Risikokriterien, falls vorhanden, auf Statistiken zurückgegriffen werden, um möglichst objektive Risikoabschätzungen zu ermöglichen. Darüber hinaus hat bislang keines der Modelle gleichzeitig ökologische und soziale Risikokriterien integriert obwohl im Einkauf beide Aspekte zunehmend an Bedeutung gewinnen. Hinsichtlich der „Aggregation der Risikokriterien“ muss beachtet werden, dass streng genommen hohe Risikoausprägungen nicht durch niedrige kompensiert werden können. Je nach Präferenz des Entscheidungsträgers muss deshalb entweder die gegenseitige Beeinflussung erfasst werden oder individuell überlegt werden, inwiefern eine Risikokompensation zu Gunsten der Übersichtlichkeit zugelassen werden kann. Für die Priorisierung im Rahmen von proaktiven Lieferantenentwicklungsaktivitäten und zur effizienten Lieferantenbefragung stellt sich außerdem die Frage, inwiefern die Höhe des Vergabevolumens die Risikoabschätzung beeinflusst. Wie bereits im vorherigen Abschnitt angedeutet, ist ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen dem Vergabevolumen und der Risikoausprägung zu erwarten. Dies sollte in einer Studie mit betroffenen Stakeholdern untersucht werden. In den vorgestellten Modellen wird auf den Einfluss des Vergabevolumens bislang nicht eingegangen.

### 3.3 Schlussfolgerungen

Auf Basis des beschriebenen Stands der Wissenschaft, der daraus ermittelten Forschungsbedarfe sowie der Vorstellungen mehrerer Nachhaltigkeitsexperten aus dem Einkauf eines Automobilherstellers werden in dieser Arbeit ein Risikomodell und ein Leistungsmodell zur Unterstützung der nachhaltigen Lieferantenauswahl und -steuerung entwickelt.<sup>6</sup> Das Konzept, bestehend aus diesen beiden Teilmodellen und ihrem Zusammenspiel, soll insbesondere die Entscheidungsfindung und die Effizienz der Lieferantenauswahl und -steuerung verbessern sowie zu einer erhöhten Transparenz der Lieferkette beitragen. Dabei greift es die aufgezeigten Forschungsbedarfe aus Abschnitt 3.1.4 (Nr. 2, 3, 4 und 9 aus Tabelle 3.11) und Abschnitt 3.2.4 auf.

Die Grundidee des Konzepts ist ein zweistufiges System zur effizienten Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung im Rahmen der Lieferantenauswahl und -steuerung, wie in Abbildung 3.7 dargestellt. In der ersten Stufe wird mit Hilfe des Risikomodells eine Abschätzung der Ausprägungen der verschiedenen ökologischen und sozialen Risikokriterien eines betrachteten Lieferanten und seiner vorgelagerten Lieferkette durchgeführt. Der zweite Schritt des Konzepts beinhaltet die Präzisierung der Risikoabschätzung durch eine Leistungsbewertung des Lieferanten mit Hilfe des Leistungsmodells auf Basis beschaffter Primärdaten des jeweiligen Lieferanten.<sup>7</sup> Im Folgenden wird deshalb unter Nachhaltigkeitsrisiko eine Nachhaltigkeitsbewertung auf Basis von Statistiken auf Länder- bzw. Industrieebene verstanden, wohingegen unter Nachhaltigkeitsleistung eine Nachhaltigkeitsbewertung auf Basis von Primärdaten des Lieferanten gemeint ist. Die Bewertung der Leistung im Zuge des zweiten Schritts wird durch die Risikoabschätzung des ersten Schritts unterstützt, indem das Risikomodell dem Entscheidungsträger bereits vorab bedeutende und weniger bedeutende Risikokriterien des Direktlieferanten und dessen vorgelagerter Lieferkette aufzeigt. Im operativen Einkaufsumfeld kann dadurch zum einen leichter entschieden werden, ob ein direkter oder

---

<sup>6</sup> Die Experten arbeiten im strategischen Einkauf und Rohstoffeinkauf und befassen sich schwerpunktmäßig mit dem Themenbereich „nachhaltiges Lieferantenmanagement“.

<sup>7</sup> Die ökonomischen Risiken werden in dieser Arbeit nicht explizit untersucht, weshalb für die ökonomischen Aspekte ein Fragebogen in Abhängigkeit vom Vergabevolumen erstellt wird.

indirekter Lieferant grundsätzlich zu ökologischen oder sozialen Risikokriterien befragt werden sollte, zum anderen gibt die Risikoabschätzung einen Anhaltspunkt, wie detailliert ein Lieferant zu unterschiedlichen Risikobereichen befragt werden sollte. Mit diesem Zusammenspiel der beiden Teilmodelle und der Integration eines risikospezifischen Fragebogens wird der Effizienzgedanke aufgegriffen, um die Herausforderung komplexer Lieferantennetzwerke bestmöglich zu lösen.

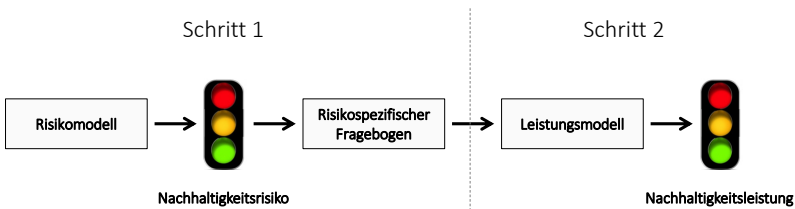


Abbildung 3.7: Schematische Darstellung des Zusammenspiels des Risiko- und Leistungsmodells im Rahmen der Lieferantenauswahl und -steuerung

Die Reihenfolge der Teilmodelle erklärt sich mit dem dahinter stehenden Aufwand. Während die Risikoabschätzung des ersten Schritts bei gegebener Unschärfe der Ergebnisse mit geringem Aufwand verbunden ist, da keine Primärdaten des Lieferanten beschafft werden müssen, erfordert die Leistungsbewertung des zweiten Schritts einen erhöhten Aufwand bei entsprechend präziseren Bewertungsergebnissen.

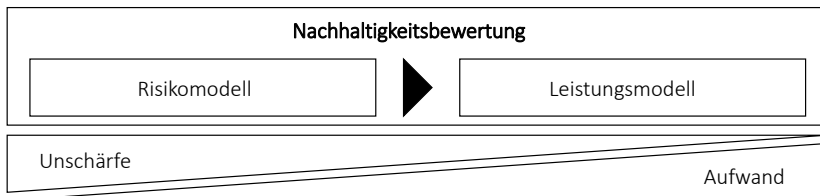


Abbildung 3.8: Unschärfe und Aufwand der Nachhaltigkeitsbewertung in Abhängigkeit vom Modell



Um im Speziellen den Prozess der Lieferantenauswahl noch effizienter zu gestalten, sollen dem Lieferanten die Fragen zu Mindestanforderungen im Gegensatz zur Leistungsbewertung im Rahmen der Lieferantensteuerung nicht erst im Zuge des risikospezifischen Fragebogens gestellt werden sondern bereits vor der Anwendung des Risikomodells im Zuge der Lieferantenqualifikation. Dieses Vorgehen deckt sich damit auch mit der Prozessbeschreibung der allgemeinen Lieferantenauswahl in Abbildung 2.4. Das um die Mindestanforderungen erweiterte Vorgehen dieses Lieferantenauswahlprozesses ist in Abbildung 3.9 dargestellt.

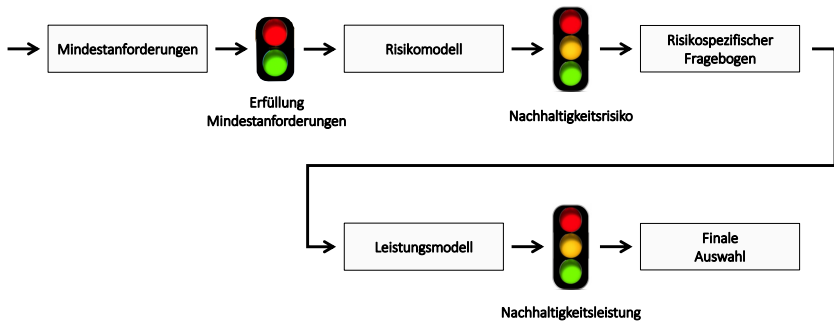


Abbildung 3.9: Schematische Darstellung des um die Mindestanforderungen erweiterten Zusammenspiels des Risiko- und Leistungsmodells im Rahmen der Lieferantenauswahl

Neben der Anwendung des Risikomodells im Rahmen der Lieferantenauswahl und -steuerung hat das Risikomodell zwei weitere Funktionen, die nicht mit dem Leistungsmodell in Verbindung stehen. Im Zuge proaktiver Lieferantentwicklungsaktivitäten unterstützt das Risikomodell die Priorisierung zu analysierender Lieferketten. Aus strategischer Sicht erweitert das Risikomodell außerdem das Wissen im Rahmen der Beschaffungsmarktforschung, wenn es um die Erschließung neuer Beschaffungsmärkte bzw. -länder geht. Dadurch trägt es zu einer verbesserten Entscheidungsfindung bei. Beide Teilmodelle können somit auch unabhängig voneinander verwendet werden.

Im Folgenden sollen zunächst die Anforderungen an das zu entwickelnde Risikomodell beschrieben und die dafür verwendeten Methoden begründet werden, bevor auf die Anforderungen und Methoden des zu entwickelnden Leistungsmodells eingegangen wird.

#### 3.3.1 Auswahl von Methoden für die Entwicklung des Risikomodells

Aufbauend auf dem aufgezeigten Forschungsbedarf (Nr. 3 der Tabelle 3.11 und Abschnitt 3.1.4) und den beschriebenen Fähigkeiten des zu entwickelnden Risikomodells ergeben sich folgende Anforderungen an ein Modell zur Abschätzung ökologischer und sozialer Risiken von Lieferanten und Lieferketten:

- (1) Zunächst müssen relevante ökologische und soziale Risikokriterien bestimmt sowie eine Methodik zur Abschätzung der Ausprägungen dieser Kriterien hinsichtlich eines Lieferanten festgelegt werden.
- (2) In der klassischen ökonomischen Risikoberechnung wird das Vergabevolumen zur Risikobestimmung als zweiter Parameter neben der Eintrittswahrscheinlichkeit verwendet. Deshalb sollte im Zusammenhang der Nachhaltigkeitsrisiken untersucht werden, inwiefern das Vergabevolumen das Nachhaltigkeitsrisiko beeinflusst. Im Falle eines erkennbaren Einflusses muss dieser Zusammenhang ebenfalls in die Risikoberechnung integriert werden.
- (3) Das zu entwickelnde Risikomodell soll über die drei beschriebenen Funktionen (Unterstützung zur effizienten Lieferantenbefragung, bei proaktiven Lieferantenentwicklungsaktivitäten und bei der Beschaffungsmarktforschung) des vorherigen Abschnitts verfügen. Dazu müssen die Ausprägungen der Risikokriterien einzeln und aggregiert für einzelne Lieferanten, Wertschöpfungsstufen und gesamte Lieferketten berechenbar sein. Um einerseits der Übersichtlichkeit der Entscheidungsunterstützung durch Aggregation der Ausprägungen der einzelnen Risikokriterien in eine Entscheidungsgröße Rechnung zu tragen und andererseits

die Problematik der Risikokompensation zu berücksichtigen, bedarf es einer geeigneten Kombination von Methoden.

- (4) Die Nachhaltigkeitsrisiken einer Lieferkette sind in der vorgelagerten Lieferkette insbesondere vor dem Direktlieferanten zu erwarten. Aus diesem Grund ist die Transparenz der Lieferkette für die Nachhaltigkeitsbewertung von besonderer Bedeutung. Im Zuge der Entwicklungen des Risikomodells muss deshalb ein Vorgehen entwickelt werden, wie alle verfügbaren Informationen der vorgelagerten Lieferkette bestmöglich zur Abschätzung der vorgelagerten Lieferkette genutzt werden können.

Zur Erfüllung der ersten Anforderung werden zunächst, aufbauend auf den vorgestellten Kriterien der Kriterienhierarchie aus Abbildung 3.2, die zu bestimmenden Risikokriterien festgelegt. Um die Ausprägungen der Risikokriterien eines Lieferanten zu quantifizieren, wird dieser je nach Herkunft und Produkt zunächst einem Land und einem Wirtschaftssektor zugeordnet. Um nun die Ausprägungen der Risikokriterien eines Lieferanten bestimmen zu können wird die Annahme getroffen, dass diese auf Basis von Statistiken und Ratings der jeweiligen Land-Sektor-Kombination abgebildet werden können. Im Zuge dessen werden deshalb jeder Land-Sektor-Kombination normierte Statistiken und Ratings in Abhängigkeit vom Kriterium zugeordnet. Dadurch ist für jede Land-Sektor-Kombination und jedes Risikokriterium eine Risikoausprägung verfügbar.

Da der Zusammenhang aus Vergabevolumen und Risikoausprägung hinsichtlich der zweiten Anforderung nicht oder nur schwer gemessen werden kann, erfolgt zur Untersuchung ein Experiment mit Nachhaltigkeitsexperten eines Automobilherstellers. Dazu werden Interviews mit Experten aus verschiedenen Bereichen eines Automobilherstellers durchgeführt. Diese werden zu Ihrer Präferenz bzw. zu ihrem empfundenen Gesamtrisiko bezüglich unterschiedlicher Wertepaare, bestehend aus einer „Risikoausprägung“ und einem „Vergabevolumen“, befragt. Zur Untersuchung des Zusammenhangs der beiden unabhängigen Variablen „Risikoausprägung“ und „Vergabevolumen“ wird eine Regressionsanalyse auf die durch die Befragung erhaltenen Wertetripel („Risikoausprägung“, „Vergabevolumen“ und „Gesamtrisiko“) durchge-

führt. Falls ein Zusammenhang erkennbar sein sollte, ist das Ziel dieser Analyse die Ermittlung einer Präferenzfunktion, die in Abhängigkeit von den beiden unabhängigen Variablen ein Gesamtrisiko abbildet. Diese wird dann in das Risikomodell integriert. In vielen wissenschaftlichen Ansätzen wird angenommen, dass Experten in der Lage sind ihre Präferenzen exakt und korrekt formulieren zu können. Da die empfundenen Gesamtrisiken in der Realität streng genommen nur vage erfasst werden können und somit Unschärfe vorliegt, sollte diese Schwäche kompensiert werden. Zum geeigneten Umgang von Unsicherheiten, die mit Experteninterviews verbunden sind, wird deshalb die Fuzzy-Set-Theorie zur Erfassung der Experteneinschätzungen im Rahmen des Experiments angewendet. Ein großer Vorteil von Fuzzy-Modellen ist, dass Entscheidungsträger ihre Präferenzen sprachlich und nicht in scharfen Zahlen angeben müssen (vgl. Humphreys et al. 2006).

Zur Erfüllung der dritten Anforderung werden die genannten Ausprägungen der einzelnen Risikokriterien der Lieferanten genutzt. Dabei muss zwischen der Aggregation der Ausprägungen eines Risikokriteriums mehrerer Lieferanten entlang der Lieferkette (Schritt 1) sowie der Aggregation der Ausprägungen mehrerer Risikokriterien eines Lieferanten, einer Wertschöpfungsstufe oder einer Lieferkette (Schritt 2) unterschieden werden: Die Aggregation der Ausprägungen der Lieferanten eines Risikokriteriums entlang der Lieferkette auf Ebene der Wertschöpfungsstufe oder Lieferkette (Schritt 1) wird mit Hilfe der maximalen Ausprägung und einer geometrischen Reihe berechnet. Diese setzt sich aus der Summe der absteigend sortierten Ausprägungen des betrachteten Risikokriteriums aller Lieferanten einer Wertschöpfungsstufe oder einer Lieferkette zusammen. Die Verwendung des Maximums wird mit der Vermeidung der Risikokompensation, und mit der Möglichkeit realitätsnahe risikospezifische Analysen durchzuführen, begründet. Besteht ein hohes Risiko, so kann dieses nicht durch niedrige Risikoausprägungen kompensiert werden. Eine einfachere Möglichkeit zur Abbildung wäre die alleinige Ermittlung des Maximums ohne die geometrische Reihe gewesen. Ein Schwachpunkt dabei ist, dass die Ausprägungen der weiteren Lieferanten nicht berücksichtigt werden. Im Falle einer Lieferkette mit mehreren hohen Risikoausprägungen und einer anderen Lieferkette mit nur einer hohen

Risikoausprägung würden Entscheider der erstgenannten Lieferkette ein höheres Risiko zusprechen. Aus diesem Grund sollte der aggregierte Wert auf Basis des ermittelten Maximums erhöht werden, falls mehrere Risikoausprägungen auf dem Niveau des Maximums existieren. Um dies zu erreichen wird eine konvergierende geometrische Reihe auf die restlichen absteigend sortierten Risikoausprägungen durchgeführt und zum Maximum addiert. Durch diese Berechnung wird eine Risikokompensation unterbunden. Hohe Risikoausprägungen bleiben somit für eine Analyse einzelner Risikokriterien auf Ebene der Wertschöpfungsstufe oder Lieferkette erhalten und weitere hohe Risikoausprägungen werden durch die Anwendung der geometrischen Reihe berücksichtigt.

Die Aggregation der Ausprägungen mehrerer Risikokriterien auf Ebene eines Lieferanten, einer Wertschöpfungsstufe oder einer gesamten Lieferkette (Schritt 2) wird mit Hilfe des bereinigten FAHP realisiert. Die Verwendung der mit dem FAHP ermittelten Gewichtungen lässt eine Kompensation der verschiedenen Risikokriterien zu. Nichtsdestotrotz können durch die Berücksichtigung dieser Gewichtungen die Präferenzen des Entscheidungsträgers mit dem Ziel der Priorisierung von Lieferketten im Rahmen von proaktiven Lieferantenentwicklungsaktivitäten oder für die Beschaffungsmarktforschung bestmöglich abgebildet werden.

Trotz der vereinfachenden Annahmen des AHP, dass die Kriterien unabhängig seien und Entscheidungsträger ihre Präferenzen im Rahmen des paarweisen Vergleichs präzise ausdrücken können, sprechen mehrere Argumente dafür den AHP zur Aggregation der Ausprägungen der verschiedenen Risikokriterien zu verwenden. Der AHP wird von vielen Experten aus Praxis und Wissenschaft für sein systematisches Vorgehen, seine nachvollziehbare und effektive Methodik sowie seine einfache Umsetzung zur Unterstützung multikriterieller Entscheidungsprobleme gelobt (vgl. Subramanian und Ramanathan 2012). Eine entsprechend häufige Anwendung des AHP konnte unter anderem anhand der in Abschnitt 3.1 durchgeführten Literaturstudie bestätigt werden (vgl. Tabelle 3.4). Darüber hinaus weist der AHP zwei weitere wesentliche Vorteile auf: Erstens unterstützt die Erstellung einer Kriterienhierarchie im

Rahmen des AHP den Entscheidungsträger in der Strukturierung des Entscheidungsproblems und trägt somit zu dessen besseren Verständnis bei. Zweitens wird durch die Anwendung des AHP die hohe Komplexität des Entscheidungsproblems aufgrund der Vielzahl zu berücksichtigender Kriterien vereinfacht, in dem die „relative Bedeutung der verschiedenen Kriterien jeweils – getrennt für die einzelnen Elemente der übergeordneten Ebene – mit Hilfe von Paarvergleichen“ (Götze 2014) bestimmt wird. Ein Kritikpunkt des AHP ist die bereits genannte Annahme, dass Entscheidungsträger in der Lage sind ihre Präferenzen exakt und korrekt formulieren zu können. Da die paarweisen Vergleiche der befragten Experten auch hier nur vage erfasst werden können und somit Unschärfe vorliegt, soll diese Schwäche deshalb ebenfalls mit der Fuzzy-Set-Theorie und damit der Anwendung des FAHP kompensiert werden. In diesem Zusammenhang kann die Abschätzung der Präferenzen auf höheren Ebenen mehrstufiger Hierarchien ebenfalls als Schwäche des AHP bzw. FAHP genannt werden. Hierbei wird im Rahmen des paarweisen Vergleichs erwartet, dass Experten die Bedeutung aller Kriterien der unteren Hierarchieebenen des gleichen Pfads berücksichtigen können. Um diese Schwäche zu umgehen, werden die Gewichtungsergebnisse höherer Hierarchieebenen mit einem Korrekturfaktor in Abhängigkeit von der Anzahl der direkten Subkriterien bereinigt.

Zur Erhöhung der Transparenz der vorgelagerten Lieferkette und somit zur Erfüllung der vierten Anforderung sollen zwei Informationsquellen genutzt werden. Erstens können Statistiken über die wirtschaftlichen Verflechtungen der Länder der Welt, wie bereits in Abschnitt 3.2.2 angedeutet, verwendet werden, um Rückschlüsse über die Länder und Sektoren der vorgelagerten Lieferkette zu ziehen. Mit Hilfe dieser Input-Output-Analyse werden durchschnittlich verteilte Wertschöpfungsstufen und innerhalb dieser Stufen durchschnittlich verteilte Wertschöpfungsanteile der verschiedenen Land-Sektor-Kombinationen berechnet. Da es sich um durchschnittliche Angaben handelt sollen die Berechnungsergebnisse zur Präzisierung durch vorhandenes Wissen von Einkäufern des Unternehmens hinsichtlich Herkunft, Wirtschaftssektor und Wertschöpfung vorgelagerter Lieferanten als weitere Informationsquelle ergänzt werden können.

Das zu entwickelnde Risikomodell baut auf dem in Abschnitt 3.2 erörterten Stand der Wissenschaft auf und vereint die Stärken der dort vorgestellten Modelle. Auf Basis der beschriebenen Komponenten ermöglicht das Modell zahlreiche ökologische und/oder soziale Risikoanalysen einzelner Lieferanten, Wertschöpfungsstufen oder gesamter Lieferketten eines fokalen Unternehmens. Dazu werden im einfachsten Fall lediglich das Herkunftsland, der Wirtschaftssektor und das Vergabevolumen des Lieferanten benötigt. Die beschriebenen Komponenten des Risikomodells und deren Zusammenhang sind für einen besseren Überblick zusammenfassend in Abbildung 3.10 dargestellt.

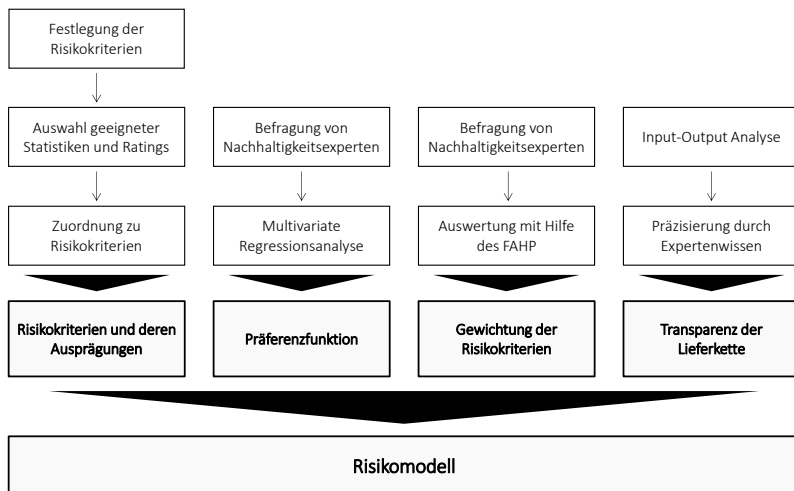


Abbildung 3.10: Überblick über die vier Komponenten des Risikomodells

### 3.3.2 Auswahl von Methoden für die Entwicklung des Leistungsmodells

Um die aufgezeigten Forschungslücken mit der Nummer 2, 4 und 9 der Tabelle 3.11 aufzugreifen und gleichzeitig die beschriebenen Fähigkeiten des Leistungsmodells zu realisieren, werden folgende Anforderungen an das Modell zur Leistungsbewertung ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte von Lieferanten gestellt:

- (1) Um den Aufwand der Informationsbeschaffung im Rahmen des Lieferantenauswahlprozesses zu reduzieren bzw. die Effizienz zu erhöhen, soll das Leistungsmodell die Antworten eines risikospezifischen und somit variierenden Lieferantenfragebogens verarbeiten können.
- (2) Zur Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung sollen neben den ökonomischen Aspekten insbesondere quantitative ökologische und soziale Leistungsindikatoren definiert und berücksichtigt werden. Da nicht alle Aspekte durch quantitative Indikatoren abgebildet werden können oder der Aufwand für den Lieferanten zur Bestimmung eines Indikators unter Berücksichtigung des Lieferumfangs nicht gerechtfertigt ist, sollen in diesen Fällen qualitative Indikatoren genutzt werden.
- (3) Die Methode zur Bestimmung der Nachhaltigkeitsleistung soll dem Entscheidungsträger nicht nur einen finalen aggregierten Leistungswert auf Basis dieser Leistungsindikatoren ausgeben. Sie soll ihn schrittweise durch die Bereitstellung von detaillierteren Hintergrundinformationen zur Berechnung des aggregierten Leistungswertes auch besser auf die Entscheidungssituation vorbereiten. Da die Präferenzen des Entscheidungsträgers hinsichtlich der Ausprägungen von Leistungsindikatoren in einigen Fällen keinen linearen Zusammenhang aufweisen, sollte die zu wählende Methode die Modellierung spezifischer nicht-linearer Präferenzen pro Indikator ermöglichen, um so die Realität bestmöglich abzubilden.

Zur Erfüllung der ersten drei Anforderungen wird ein umfangreicher Lieferantenfragebogen erstellt, der quantitative und qualitative Fragen zu ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekten auf Unternehmens- und Standortebene sowie teilweise auf Produktebene enthält. Dieser beinhaltet auch die Mindestanforderungen an die Lieferanten. Des Weiteren werden alle Fragen verschiedenen Risikoniveaus zugeordnet. In Kombination mit den Ergebnissen des Risikomodells wird dadurch ermöglicht, dem Lieferanten im Falle hoher zu erwartender Risiken detaillierte Fragen zu stellen und im Falle niedriger Risiken die Fragen auf wenige wesentliche Fragen und Mindestanforderungen zu beschränken.



Zur Bestimmung der Nachhaltigkeitsleistung und somit zur Erfüllung der zweiten Anforderung werden zwei Modellierungsansätze entwickelt und auf dieselben Lieferanteninformationen angewendet. Zum einen soll damit die Tauglichkeit der verwendeten Methoden zur Bewertung der Leistung geprüft werden. Zum anderen können die jeweiligen Stärken und Schwächen der beiden Modellierungsansätze aufgrund gleicher Lieferanteninformationen leichter analysiert und verglichen werden. Ein Modellierungsansatz kombiniert die Methoden FAHP und PROMETHEE, der andere beinhaltet ebenfalls den FAHP, nutzt aber die um die Fuzzy-Set-Theorie erweiterte Methode Fuzzy PROMETHEE. PROMETHEE bzw. Fuzzy PROMETHEE dient hierbei der Bestimmung einer partiellen bzw. vollständigen Rangfolge möglicher Alternativen unter Berücksichtigung von teilweise im Widerspruch stehenden Kriterien. Beide Modellierungsansätze erfüllen die gestellten Anforderungen zur Bestimmung der Nachhaltigkeitsleistung. (Fuzzy) PROMETHEE enthält keine explizite Methode, um die Bedeutung der verschiedenen Kriterien zu ermitteln. Deshalb wird bei dessen Anwendung in der Regel angenommen, dass der Entscheidungsträger die Bedeutung der verschiedenen Leistungskriterien in Form von Gewichtungen direkt festlegen kann (vgl. Macharis et al. 2004). Eine direkte Festlegung der Gewichtungen mit dem Ziel einer hohen Präzision stellt den Entscheidungsträger vor eine große Herausforderung und führt in der Regel zu Gewichtungen, die häufig nicht den tatsächlichen Präferenzen des Entscheidungsträgers entsprechen. Mit dem Ziel der realitätsnäheren Abbildung soll deshalb stattdessen der FAHP zur systematischen Erfassung der Präferenzen der verschiedenen Leistungskriterien verwendet werden.

PROMETHEE gehört zu den Outranking-Verfahren. Im Gegensatz zu klassischen Methoden, bei denen die Ermittlung einer optimalen Lösung im Vordergrund steht, versuchen Outranking-Verfahren vielmehr den Entscheidungsprozess selbst zu unterstützen (Ruhland 2004). Darüber hinaus wird durch die Berücksichtigung von schwachen Präferenzen und Unvergleichbarkeiten versucht die Realität besser abzubilden. Mit Hilfe des schrittweisen Verfahrens von PROMETHEE und der im Zuge dessen berechneten relativen Schwächen und relativen Stärken der Alternativen werden dem Entscheidungsträger tiefere Einblicke in das Entscheidungsproblem vermittelt (Zimmermann und

Gutsche 1991). In diesem Zusammenhang weist PROMETHEE zusammenfassend die folgenden Vorzüge auf, welche die Erfüllung der gestellten Anforderungen an das Leistungsmodell bestätigen (Ruhland 2004):

- (1) Die Berechnungen des Ausmaßes der aggregierten relativen Stärken und Schwächen erfolgen getrennt. Die Ergebnisse können dementsprechend auch jeweils getrennt grafisch dargestellt werden.
- (2) In der Realität kann es beim Vergleich von Alternativen hinsichtlich einzelner Kriterien zu Unsicherheiten bei der Einschätzung der Vor- und Nachteile kommen, weshalb diese mit Hilfe von Indifferenzschwellwerten modelliert werden können.
- (3) Die Modellierung des Präferenzmaßes eines Kriteriums kann variabel festgelegt werden.
- (4) Der Arbeitsaufwand wird durch vordefinierte Präferenzfunktionen verringert.
- (5) Das Modell ist in Abhängigkeit von der verwendeten Variante nicht, partiell (über Gewichtungsfaktoren) oder vollständig kompensatorisch.
- (6) Die Problematik, die mit ordinal erfassten Kriterien in Verbindung steht, wird durch die Integration stetiger Präferenzfunktionen zur Modellierung schwacher Präferenzen reduziert.

Insbesondere der Vorteil von PROMETHEE, kriterienspezifische und schwache Präferenzen abbilden zu können, haben dazu geführt, dass PROMETHEE in dieser Arbeit in Verbindung mit den Ergebnissen des Risikomodells zu einem systematischen Prozess der Leistungsbewertung im Rahmen der Lieferantenauswahl und -steuerung verwendet wird.

Auch wenn PROMETHEE einige der Schwächen klassischer Verfahren aufgreift und besser löst, so können trotzdem einige Kritikpunkte genannt werden (Ruhland 2004):

- (1) Durch die Möglichkeit von Unvergleichbarkeiten und Indifferenzen kann die Forderung nach Transitivität verletzt sein.
- (2) Eine Änderung der Rangfolge kann alleine durch das Hinzufügen oder den Ausschluss einer Alternative und ohne Änderung der Gewichtung oder Präferenzfunktion erfolgen. Dies hängt damit zusammen, dass die Parameter der Präferenzfunktionen von den Kriterienausprägungen der betrachteten Alternativen abhängen.
- (3) Die Nutzung der Präferenzfunktionen ist nur möglich, wenn die Differenz zweier Kriterienausprägungen eine sinnvolle Größe erreicht.
- (4) Bei der Anwendung der Präferenzfunktionen werden die Werte aus der Differenz der Kriterienausprägungen zweier Alternativen verwendet. Dies hat zur Folge, dass die Höhe der absoluten Kriterienausprägungen nicht berücksichtigt wird. Bei manchen Kriterien sollen (z.B. bei Zielen) oder müssen (Gesetzgebung) aber bestimmte absolute Schwellwerte erreicht und somit berücksichtigt werden können. Bei der Anwendung von PROMETHEE ist deshalb die explizite Überprüfung bestimmter absoluter Kriterienausprägungen wichtig.

Im Leistungsmodell beruhen einige Risikoausprägungen auf subjektiven Aussagen. Diese können nur vage formuliert werden, weshalb Unsicherheiten hinsichtlich der erfassten Ausprägungen bestehen. Fuzzy PROMETHEE als Erweiterung von PROMETHEE versucht hierzu die Wahrnehmung des Experten mit Hilfe der Fuzzy-Logik präziser abzubilden und wird in dieser Arbeit deshalb als zweiter Modellierungsansatz, neben der reinen Umsetzung von PROMETHEE, implementiert. Die Ergebnisse beider Modellierungsansätze sollen jeweils einzeln und im Vergleich analysiert werden.

### 3 Modelle zur Entscheidungsunterstützung im nachhaltigen Lieferantenmanagement

Tabelle 3.12: Überblick über PROMETHEE-Modelle im nachhaltigen Lieferantenmanagement (vgl. Kategorien in Tabelle 3.2)

Kategorien	Tuzkaya et al. (2009)	Tsui und Wen (2012)	Tsui, Tzeng und Wen (2014)
Industrie	Elektronikindustrie	Elektronikindustrie	Elektronikindustrie
Fokus der Lieferkette	Direktlieferant	Direktlieferant	Direktlieferant
Prozessschritte des nachhaltigen Lieferantenmanagements	Bewertung und finale Auswahl	Bewertung und finale Auswahl	Bewertung und finale Auswahl
Modellierungsansatz	Fuzzy ANP, Fuzzy PROMETHEE	AHP, PROMETHEE	PROMETHEE
Entscheidungssituation	Kriteriengewichtung und Leistungsbewertung zur Entscheidungsfindung	Kriteriengewichtung und Leistungsbewertung zur Entscheidungsfindung	Kriteriengewichtung und Leistungsbewertung zur Entscheidungsfindung
Art der Daten	Expertenmeinung	Kombinierte Informationen	Expertenmeinung
Sourcing	Single sourcing	Single sourcing	Single sourcing
Modellanwendung	Reale Fallstudie	Numerisches Beispiel	Reale Fallstudie
Sensitivitätsanalyse	Ja	Nein	Ja
Dimension der Nachhaltigkeit	Alle	Ökonomisch, ökologisch	Ökonomisch, ökologisch
Hierarchiestufen	Netzwerk	3	3

In der wissenschaftlichen Literatur des nachhaltigen Lieferantenmanagements wurde die Methode PROMETHEE bereits in drei Modellen zur Unterstützung der Lieferantenauswahl integriert und auf Fallstudien der Elektronikindustrie (LCD-Bildschirme oder Haushaltsgeräte) angewendet (Tuzkaya et al. 2009; Tsui und Wen 2012; Tsui, Tzeng und Wen 2014). Tabelle 3.12 gibt einen Überblick über die Inhalte dieser drei Veröffentlichungen.

Im Vergleich zu diesen bisherigen Modellen sollen die beiden in dieser Arbeit entwickelten Modellierungsansätze an einem numerischen Beispiel der Automobilindustrie im Rahmen der Lieferantenauswahl getestet werden. Die Anwendung in der Lieferantensteuerung ist aber gleichermaßen möglich. Die Bestimmung der Gewichtungen erfolgt bei beiden Modellen mit dem FAHP. Im Fall der Lieferantenauswahl haben die potenziellen Direktlieferanten die Befragung hinsichtlich der Mindestanforderungen bereits durchlaufen. Im Fall

der Lieferantensteuerung werden die Mindestanforderungen zusammen mit den leistungsbezogenen Fragen gestellt. Die Fragen betreffen dabei alle Kriterien der in Abbildung 3.2 dargestellten Hierarchie und decken somit alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit ab. Die Fragen zu ökologischen und sozialen Aspekten werden in Abhängigkeit von den mit Hilfe des Risikomodells ermittelten Risikoergebnissen festgelegt. Die Fragen zu ökonomischen Aspekten werden vereinfachend in Abhängigkeit vom Vergabevolumen bestimmt. Bei den Fragen handelt es sich um qualitative und quantitative Daten. Die Kriterienausprägungen der Antworten basieren sowohl auf Einschätzungen von Experten wie z.B. Einkäufern als auch auf Primärdaten der Direktlieferanten. Wie in den Arbeiten von Tuzkaya et al. (2009) und Tsui, Tzeng und Wen (2014) (vgl. Tabelle 3.12) werden abschließend die Sensitivitäten der Ergebnisse beider Modellierungsansätze analysiert und verglichen.



## 4 Mathematische Grundlagen des Risiko- und Leistungsmodells

### 4.1 Input-Output-Analyse

Die in den folgenden Abschnitten 4.1.1 bis 4.1.3 beschriebenen Zusammenhänge basieren im Wesentlichen auf den Arbeiten von Miller und Blair (2009) und Breun (2015) und dienen dem Grundverständnis des Risikomodells.

#### 4.1.1 Grundmodelle der Input-Output-Analyse

Modelle der Input-Output-Analyse lassen sich in folgende Grundmodelle unterscheiden, die je nach Untersuchungsziel miteinander kombiniert werden (Miller und Blair 2009):

- (1) Statische und dynamische Modelle
- (2) Offene und geschlossene Modelle
- (3) Mengen- und Preismodelle

Bei statischen Modellen, wie beispielsweise dem Leontief'schen Modell, werden Veränderungen im Ablauf der Zeit, wie z.B. Investitionen zur Effizienzverbesserung, nicht berücksichtigt (vgl. Winker 2010). Die Modelle sind somit zeitinvariant (Winker 2010; Haubach 2013) und stellen ex-post Betrachtungen dar (Haubach 2013). Im Gegensatz dazu werden bei dynamischen Input-Output-Modellen Veränderungen im Ablauf der Zeit in der Analyse berücksichtigt. Das bedeutet, dass die sonst statischen Input-Koeffizienten der Input-Output-Tabelle im Ablauf der Zeit in Abhängigkeit von den Veränderungen angepasst werden (Winker 2010, S. 121).

Des Weiteren kann zwischen offenen und geschlossenen Modellen unterschieden werden. Bei Input-Output-Modellen wird stets ein bestimmter Wirtschaftsraum und die darin enthaltenen Industrien untersucht. Im Gegensatz

zu geschlossenen Modellen beinhalten offene Modellen neben den endogenen Sektoren, die die wirtschaftlichen Verflechtungen des betrachteten Wirtschaftsraums abbilden, mindestens einen exogenen Sektor, welcher unabhängig von den technologischen Verknüpfungen der anderen ist (Miller und Blair 2009).

Da das Mengenmodell die Basis für das in dieser Arbeit entwickelte Risikomodell bildet, soll es in Abschnitt 4.1.3 detaillierter erläutert werden. Das Preismodell ist in seiner Herleitung sehr ähnlich, weshalb dieses im Zuge der Erläuterung des Mengenmodells ebenfalls kurz erläutert wird. Zuvor werden im folgenden Abschnitt noch die Zusammenhänge einer Input-Output-Tabelle hergeleitet, welche immer die Basis einer Input-Output-Analyse darstellt.

### 4.1.2 Herleitung der Zusammenhänge einer Input-Output-Tabelle

Input-Output-Tabellen, welche den Ausgangspunkt aller Input-Output-Analysen bilden, basieren auf beobachteten Daten eines bestimmten Wirtschaftsraums, meist eines Staates. Dieser wird in Sektoren gegliedert. Statt Sektoren sprechen andere Autoren auch von Industrien oder Produktionsbereichen. Voraussetzung einer Input-Output-Tabelle ist deshalb, dass die beobachteten wirtschaftlichen Aktivitäten den Sektoren einer Input-Output-Tabelle zugeordnet werden können. Die wichtigste Information dieser Tabelle sind die Produktströme von einem Sektor (Output) zu allen anderen Sektoren (Input) des betrachteten Wirtschaftsraums. Diese werden meistens in monetären Einheiten angegeben. Jeder Input-Sektor kann wiederum als Output-Sektor in der darauffolgenden Produktionsstufe agieren. Die Sektoren können somit als Lieferant und Abnehmer fungieren. Die Idee der Input-Output-Analyse ist, dass mit Hilfe dieser Ströme Rückschlüsse über die vor- und nachgelagerten Produktionsstufen der Wertschöpfungskette gezogen werden können. Unter „Produkt“ darf in diesem Kontext kein einzelnes Produkt verstanden werden sondern vielmehr eine homogene Produktgruppe, die durch einen Sektor repräsentiert wird.



Die Input-Output-Tabelle lässt sich mit der Vorleistungs- bzw. Zwischenproduktmatrix  $A$ , der Endnachfragematrix  $F$  und der Matrix der Primärintputs  $W$  in drei grundlegende Bereiche unterteilen (Kuhn 2010; Farhauer und Kröll 2013). Diese sollen im Rahmen der folgenden mathematischen Herleitung der Input-Output-Tabelle erläutert werden:

Ein wesentlicher Bestandteil des Leontief'schen Input-Output-Modells sind die monetären Produktströme  $z_{ij}$  von Sektor  $i$  zu Sektor  $j$ . Diese bilden die Vorleistungsmatrix  $A$ . Darüber hinaus verlaufen die Produktströme nicht nur zu anderen Produktionsbereichen sondern auch zu Endabnehmern wie z.B. privaten Haushalten, Institutionen oder etwa Produktionsbereichen außerhalb des betrachteten Wirtschaftsraums (z.B. Exporte). Diese Produktströme werden im einfachen Fall als Vektor  $\vec{f}$  zusammengefasst und bilden die Endnachfragematrix  $F$ . An Stelle der Endnachfrage wird auch von letzter Verwendung oder finaler Nachfrage gesprochen, da es keine Rückflüsse mehr in den betrachteten Wirtschaftsraum gibt. Sei eine Input-Output-Tabelle mit  $n$  Sektoren gegeben, so lässt sich die durch die Sektoren zu produzierende Menge  $x_i$  eines Sektors  $i$  gemäß folgendem Gleichungssystem ermitteln:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= z_{11} + \dots + z_{1j} + \dots + z_{1n} + f_1 \\
 &\quad \vdots \\
 x_i &= z_{i1} + \dots + z_{ij} + \dots + z_{in} + f_i \\
 &\quad \vdots \\
 x_n &= z_{n1} + \dots + z_{nj} + \dots + z_{nn} + f_n
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Das Gleichungssystem zeigt auf, wie sich die produzierten Mengen eines Produktionsbereichs auf alle Produktionsbereiche und die Endnachfrage verteilen. Das Gleichungssystem 4.1 lässt sich zur Vereinfachung wie folgt als Matrizen bzw. Vektoren darstellen:

$$\vec{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \quad Z = \begin{bmatrix} z_{11} & \cdots & z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & \cdots & z_{nn} \end{bmatrix}, \quad \vec{f} = \begin{bmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Mit Hilfe eines Spaltenvektors  $\vec{i} = [1, 1, \dots, 1]^T$  der Dimension  $n$  kann das Gleichungssystem 4.1 somit in Gleichung 4.3 überführt werden:

$$\vec{x} = \sum_{j=1}^n \vec{z}_j + \vec{f} = Z\vec{i} + \vec{f} \quad (4.3)$$

Der Vektor  $\vec{z}_j$  gibt die Verteilung des monetären Outputs aller Sektoren an, die zu Sektor  $j$  fließen. Er repräsentiert somit die Verteilung der Vorleistungen des Produktionsbereichs  $j$ . Neben diesen Vorleistungen aus Produktionsbereichen vorgelagerter Wertschöpfungsstufen fließen importierte Produkte sowie die Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital in den Sektor  $j$  ein. Diese werden als Wertschöpfung oder Primärinputs bezeichnet und sollen im Folgenden als Zeilenvektor  $\vec{w}$  zusammengefasst werden. Im einfachen Fall entspricht der Vektor  $\vec{w}$  auch der Matrix der Primärinputs  $W$ . Zum besseren Verständnis werden die beschriebenen Matrizen in Form einer Input-Output-Tabelle in Tabelle 4.1 dargestellt.

Tabelle 4.1: Schematische Darstellung einer Input-Output-Tabelle (Breun 2015)

		Produktionsbereiche					Endnachfrage	Gesamte Verwendung
		1	...	$j$	...	$n$		
Produktionsbereiche	1	$z_{11}$	...	$z_{1j}$	...	$z_{1n}$	$f_1$	$x_1$
	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	$j$	$z_{j1}$	...	$z_{jj}$	...	$z_{jn}$	$f_j$	$x_j$
	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	$n$	$z_{n1}$	...	$z_{nj}$	...	$z_{nn}$	$f_n$	$x_n$
Primärinputs		$w_1$	...	$w_j$	...	$w_n$	Gesamtes Aufkommen entspricht gesamter Verwendung	
Gesamtes Aufkommen		$x_1$	...	$x_j$	...	$x_n$		

### 4.1.3 Mathematische Herleitung des Mengen- und Preismodells

Mit Hilfe der Daten der Input-Output-Tabelle und Gleichung 4.4 können nun die direkten technischen Koeffizienten bzw. Input-Koeffizienten bestimmt werden. Der Input-Koeffizient  $a_{ij}$  gibt die Menge des benötigten monetären Inputs aus dem Sektor  $i$  an, die zur Produktion von einer Einheit des Sektors  $j$  notwendig ist.

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j} \quad (4.4)$$

Im Falle des statischen Input-Output-Modells werden die Input-Koeffizienten als konstant angenommen. Eine Verdoppelung des Outputs erfordert somit eine Verdoppelung des Inputs der jeweiligen Produktionsbereiche. Da aufgrund dieser Bedingung die alleinige Erhöhung der eingehenden Produktionsmenge eines Produktionsbereichs nicht zu einer Erhöhung des Outputs führen kann, liegt hier eine limitationale Faktoreinsatzbeziehung ohne die Möglichkeit von Substitutionen vor (Breun 2015). Nach einfacher Umformung von Gleichung 4.4 gilt deshalb im Leontief'schen Modell folgender Zusammenhang:

$$x_j = \frac{z_{1j}}{a_{1j}} = \frac{z_{2j}}{a_{2j}} = \dots = \frac{z_{nj}}{a_{nj}} \quad (4.5)$$

Bei dieser Umrechnung wird bislang aber vernachlässigt, dass es auch Sektoren  $i$  gibt, die keine Verwendung in der Produktion von  $j$  finden. In diesen Fällen gilt für den Input-Koeffizienten  $a_{ij} = 0$ , wodurch sich  $z_{ij} / a_{ij} \rightarrow \infty$  ergeben kann. Deshalb lautet die entsprechende linear-limitationale Produktionsfunktion wie folgt (Breun 2015):

$$x_j = \min \left( \frac{z_{1j}}{a_{1j}}, \frac{z_{2j}}{a_{2j}}, \dots, \frac{z_{nj}}{a_{nj}} \right) \quad (4.6)$$

Mit Hilfe der Gleichung 4.4 kann das Gleichungssystem 4.1 in das Gleichungssystem 4.7 überführt werden.

$$\begin{aligned}
 x_1 &= a_{11}x_1 + \dots + a_{1j}x_j + \dots + a_{1n}x_n + f_1 \\
 &\vdots \\
 x_i &= a_{i1}x_1 + \dots + a_{ij}x_j + \dots + a_{in}x_n + f_i \\
 &\vdots \\
 x_n &= a_{n1}x_1 + \dots + a_{nj}x_j + \dots + a_{nn}x_n + f_n
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

Das Gleichungssystem 4.7 lässt sich wie folgt zusammenfassen:

$$\vec{x} = A\vec{x} + \vec{f} \tag{4.8}$$

Nach Auflösen der Gleichung 4.8 nach  $X$  ergibt sich die wesentliche Gleichung des Mengenmodells:

$$\vec{x} = (I - A)^{-1} \cdot \vec{f} = U \cdot \vec{f} \tag{4.9}$$

$I$  entspricht der Einheitsmatrix und der Term  $U = (I - A)^{-1}$  wird als Leontief-Inverse bzw. Gesamtbedarfsmatrix bezeichnet. Diese Gleichung stellt die Grundgleichung der Leontief'schen Input-Output-Analyse dar. Im Gegensatz zur Vorleistungsmatrix  $A$  gibt die Leontief-Inverse nicht nur die direkt benötigten Vorleistungen sondern auch die sich aus den wirtschaftlichen Verflechtungen ergebenden indirekten Bedarfe der vorgelagerten Wertschöpfungsstufen an. Zusammenfassend können mit Gleichung 4.9 die benötigten Produktionsmengen aller Produktionsbereiche bei gegebener finaler Nachfrage bestimmt werden.

Die Input-Output-Logik ermöglicht neben der Analyse der Auswirkungen durch Nachfrageänderungen mit Hilfe des Mengenmodells auch die Untersuchung

der Auswirkungen preislicher Veränderungen auf die nachgelagerte Wertschöpfungskette. Die Gleichung für das Preismodell lautet analog zum Mengenmodell wie folgt:

$$\vec{b} = (I - A^T)^{-1} \cdot \vec{w}^T = U^T \cdot \vec{w}^T \quad (4.10)$$

Dabei enthält der Zeilenvektor  $\vec{w} = \left[ \frac{w_1}{x_1}, \dots, \frac{w_j}{x_j}, \dots, \frac{w_n}{x_n} \right]$  die Wertschöpfungsanteile pro 1 € Output des jeweiligen Sektors  $j$ . Da das Preismodell nicht Bestandteil des Risikomodells sein wird, soll an dieser Stelle für weitere Hintergründe auf Miller und Blair (2009) verwiesen werden.

Sei  $D$  eine  $m \times n$  Matrix mit ökologischen oder sozialen Koeffizienten  $C$ , wobei  $m$  der Anzahl ökologischer oder sozialer Kriterien und  $n$  der Anzahl an Sektoren entspricht. Dann kann das Mengenmodell in Gleichung 4.9 auf einfache Art und Weise um ökologische und soziale Aspekte erweitert werden (EEIO- bzw. SEIO-Modell):

$$\vec{p} = D \cdot (I - A)^{-1} \vec{f} = D \cdot U \vec{f} \quad (4.11)$$

Der Vektor  $\vec{p}$  gibt die direkte und indirekte Bilanz der ökologischen und sozialen Kriterien  $C$  im betrachteten Wirtschaftsraum in Abhängigkeit von einer Nachfrage  $\vec{f}$  an. Seien  $d_{ch} \in D$  die ökologischen und sozialen Koeffizienten des Kriteriums  $C$  des Sektors  $h$  und  $u_{hj}$  die (inversen) Koeffizienten der Leontief-Inverse  $U$ . Dann lässt sich die ökologische oder soziale Bilanz  $p_{cj}$  des Kriteriums  $C$  in Abhängigkeit von der Nachfrage  $f_j$  des Sektors  $j$ , mit Gleichung 4.12 berechnen.

$$p_{cj} = f_j \cdot \sum_{h=1}^n d_{ch} \cdot u_{hj} \quad \begin{array}{l} \forall c \in [1, \dots, m] \\ \forall j \in [1, \dots, n] \end{array} \quad (4.12)$$

Im Kontext des nachhaltigen Lieferantenmanagements ist die Identifikation einzelner Wertschöpfungsstufen mit hohen sozialen und ökologischen Risiken von Bedeutung. Für diesen Zweck kann die Strukturpfadanalyse hilfreich sein, da mit ihr die monetären Flüsse der Wertschöpfungskette in seine einzelnen Wertschöpfungsstufen aufgeschlüsselt werden können (Lenzen 2007; Acquaye et al. 2011). Dazu wird die Neumann-Reihe als Annäherung an die Leontief-Inverse verwendet, so dass für  $q$  Wertschöpfungsstufen gilt (Zimmer, Fröhling und Schultmann 2016):

$$U = (I - A)^{-1} \approx A^0 + A^1 + A^2 + \dots + A^q = I + A + A^2 + \dots + A^q \quad (4.13)$$

Die Gleichung des Mengenmodells lautet dann:

$$\vec{x} = (I - A)^{-1} \cdot \vec{f} \approx A^0 \vec{f} + A^1 \vec{f} + A^2 \vec{f} + \dots + A^q \vec{f} = I \vec{f} + A^1 \vec{f} + A^2 \vec{f} + \dots + A^q \vec{f} \quad (4.14)$$

Die einzelnen Summanden geben die durchschnittliche Verteilung der Produktionswerte<sup>1</sup> der Sektoren jeweils pro Wertschöpfungsstufe zur Herstellung der Produkte der Sektoren  $j$  aufgrund der Nachfrage  $\vec{f}$  an. Abbildung 4.1 veranschaulicht diesen Zusammenhang.

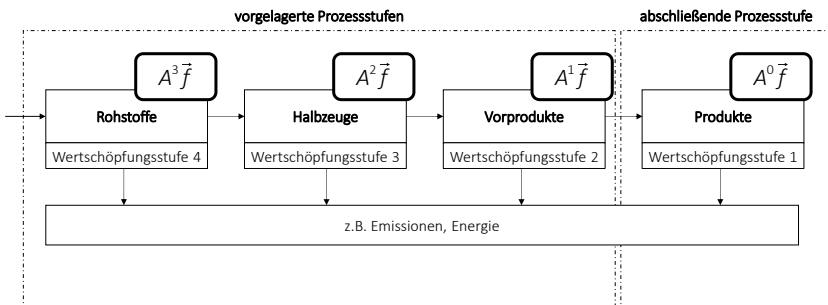


Abbildung 4.1: Modellierung der Wertschöpfungsstufen einer Lieferkette zur Erfüllung der Endnachfrage mit Hilfe der Neumann-Reihe (vgl. Eickelkamp (2013))

<sup>1</sup> Der Produktionswert ist die Summe aus Vorleistung und Primärintput (Wertschöpfung).

Mit Hilfe dieser Gleichung kann das EEIO- bzw. SEIO-Modell aus Gleichung 4.11 wie folgt umformuliert werden (Zimmer, Fröhling und Schultmann 2016):

$$\vec{p} = D \cdot (I - A)^{-1} \vec{f} \approx D \cdot (I + A + A^2 + \dots + A^q) \vec{f} \quad (4.15)$$

Die einzelnen Summanden der Gleichung 4.15 lassen Rückschlüsse über die ökologische bzw. soziale Bilanz der einzelnen Stufen (tiers) einer Wertschöpfungskette zu (vgl. Wood und Lenzen 2009). Sei  $q$  die Anzahl an Wertschöpfungsstufen  $t$  einer Wertschöpfungskette, dann können die ökologischen oder sozialen Bilanzen der Wertschöpfungsstufe  $t$  in Abhängigkeit von der Nachfrage  $\vec{f}$  wie folgt bestimmt werden:

$$\vec{b}_t = D \cdot A^{t-1} \cdot \vec{f} \quad t \in [1, 2, \dots, q] \quad (4.16)$$

Mit  $t=1$  können somit die Bilanzen des Direktlieferanten (tier 1) und mit  $t \in [2, \dots, q]$  können die Bilanzen der indirekten Wertschöpfungsstufen bestimmt werden (vgl. Zimmer, Fröhling und Schultmann 2016).

#### 4.1.4 Multiregionale Input-Output-Tabellen

Um die wirtschaftlichen Verflechtungen zwischen mehreren Regionen untersuchen zu können, gibt es multiregionale Input-Output-Tabellen (MRIO). Anstatt mit integrierten Input-Output-Tabellen einzelner Regionen lediglich die Produktflüsse zwischen den Produktionsbereichen einer Region zu betrachten, können mit multiregionalen Modellen die Produktflüsse der Sektoren aller berücksichtigten Regionen analysiert werden. Zusammengefasst wird dadurch der Detaillierungsgrad der Input-Output-Tabelle um eine Ebene erweitert. Sei  $z_{ik,jl}$  der Produktfluss vom Sektor  $i$  des Landes  $k$  zum Sektor  $j$  des Landes  $l$ . So kann die Input-Output-Tabelle aus Tabelle 4.1, wie in der folgenden Tabelle 4.2 dargestellt, um zusätzliche Regionen erweitert werden. Eine Übersicht der vorhandenen MRIO-Tabellen ist in Abschnitt 5.1.4 zu finden.

Tabelle 4.2: Schematische Darstellung einer multiregionalen Input-Output-Tabelle

	Region	Region Sektor	Produktionsbereiche der Regionen												Finale Nachfrage	Gesamte Verwendung						
			1				l				r											
			1	...	j	...	n	...	1	...	j	...	n	...			1	...	j	...	n	
Produktionsbereiche der Regionen	1	1	$Z_{11,11}$	...	$Z_{11,j1}$	...	$Z_{11,n1}$	...	$Z_{11,1l}$	...	$Z_{11,jl}$	...	$Z_{11,nl}$	...	$Z_{11,1r}$	...	$Z_{11,jr}$	...	$Z_{11,nr}$	$f_{11}$	$X_{11}$	
		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
		i	$Z_{i1,11}$	...	$Z_{i1,j1}$	...	$Z_{i1,n1}$	...	$Z_{i1,1l}$	...	$Z_{i1,jl}$	...	$Z_{i1,nl}$	...	$Z_{i1,1r}$	...	$Z_{i1,jr}$	...	$Z_{i1,nr}$	$f_{i1}$	$X_{i1}$	
		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
	n	$Z_{n1,11}$	...	$Z_{n1,j1}$	...	$Z_{n1,n1}$	...	$Z_{n1,1l}$	...	$Z_{n1,jl}$	...	$Z_{n1,nl}$	...	$Z_{n1,1r}$	...	$Z_{n1,jr}$	...	$Z_{n1,nr}$	$f_{n1}$	$X_{n1}$		
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	k	1	$Z_{1k,11}$	...	$Z_{1k,j1}$	...	$Z_{1k,n1}$	...	$Z_{1k,1l}$	...	$Z_{1k,jl}$	...	$Z_{1k,nl}$	...	$Z_{1k,1r}$	...	$Z_{1k,jr}$	...	$Z_{1k,nr}$	$f_{1k}$	$X_{1k}$	
		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
		i	$Z_{ik,11}$	...	$Z_{ik,j1}$	...	$Z_{ik,n1}$	...	$Z_{ik,1l}$	...	$Z_{ik,jl}$	...	$Z_{ik,nl}$	...	$Z_{ik,1r}$	...	$Z_{ik,jr}$	...	$Z_{ik,nr}$	$f_{ik}$	$X_{ik}$	
		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
n	$Z_{nk,11}$	...	$Z_{nk,j1}$	...	$Z_{nk,n1}$	...	$Z_{nk,1l}$	...	$Z_{nk,jl}$	...	$Z_{nk,nl}$	...	$Z_{nk,1r}$	...	$Z_{nk,jr}$	...	$Z_{nk,nr}$	$f_{nk}$	$X_{nk}$			
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
r	1	$Z_{1r,11}$	...	$Z_{1r,j1}$	...	$Z_{1r,n1}$	...	$Z_{1r,1l}$	...	$Z_{1r,jl}$	...	$Z_{1r,nl}$	...	$Z_{1r,1r}$	...	$Z_{1r,jr}$	...	$Z_{1r,nr}$	$f_{1r}$	$X_{1r}$		
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		
	i	$Z_{ir,11}$	...	$Z_{ir,j1}$	...	$Z_{ir,n1}$	...	$Z_{ir,1l}$	...	$Z_{ir,jl}$	...	$Z_{ir,nl}$	...	$Z_{ir,1r}$	...	$Z_{ir,jr}$	...	$Z_{ir,nr}$	$f_{ir}$	$X_{ir}$		
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		
n	$\dots$	$Z_{nr,11}$	...	$Z_{nr,j1}$	...	$Z_{nr,n1}$	...	$Z_{nr,1l}$	...	$Z_{nr,jl}$	...	$Z_{nr,nl}$	...	$Z_{nr,1r}$	...	$Z_{nr,jr}$	...	$Z_{nr,nr}$	$f_{nr}$	$X_{nr}$		
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
Primärinputs	$W_{11}$	...	$W_{j1}$	...	$W_{n1}$	...	$W_{1l}$	...	$W_{jl}$	...	$W_{nl}$	...	$W_{1r}$	...	$W_{jr}$	...	$W_{nr}$					
Gesamtes Aufkommen	$X_{11}$	...	$X_{j1}$	...	$X_{n1}$	...	$X_{1l}$	...	$X_{jl}$	...	$X_{nl}$	...	$X_{1r}$	...	$X_{jr}$	...	$X_{nr}$					



## 4.2 Grundlagen zur Fuzzy-Set-Theorie

Zur Unterstützung von Entscheidungssituation wird in deterministischen Modellen in vielen Fällen von vollständigen und exakt bekannten Informationen unter Sicherheit ausgegangen. In realen Entscheidungssituationen ist diese Sicherheit der Information jedoch meist nicht gegeben. Es liegt Unsicherheit vor. In der Entscheidungstheorie wird zwischen zwei Arten von Unsicherheit unterschieden (Fröhling 2006):

- (1) Unsicherheit bezüglich des Eintretens der Umweltzustände
- (2) Unsicherheit bezüglich der Daten über den Umweltzustand

Liegen im ersten Fall Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten der Umweltzustände vor, so wird von Risiko gesprochen. Entsprechende Modelle werden als stochastische Modelle bezeichnet. Andernfalls liegt eine Entscheidung unter Ungewissheit vor. Hier lässt sich noch zwischen Entscheidungssituationen unter Unschärfe (engl. fuzziness) und unter Unvollständigkeit unterscheiden. Falls die verfügbaren Informationen nur vage erfasst werden können liegt Unschärfe vor. Entsprechende Modelle werden als Fuzzy-Modelle bezeichnet. Unvollständigkeit liegt vor, wenn die Informationen nicht oder nur unvollständig erfasst werden können (Brunner 1994; Fröhling 2006). Die beschriebenen Informationszustände in Entscheidungssituationen sind in Abbildung 4.2 grafisch zusammengetragen.

Im Lieferantenmanagement sind Entscheidungsträger mit fehlenden deterministischen Daten konfrontiert. Deshalb werden Einschätzungen durch Experten genutzt, um diese fehlenden Informationen in Entscheidungen zu kompensieren. Da die Wahrnehmung und Ausdrucksmöglichkeit von Experten vage und streng genommen unscharf sind, erscheint deren Integration in mathematische Modelle in Form von präzisen Zahlen nicht sinnvoll. Die Integration der Experteneinschätzungen mit Hilfe von Wertebereichen zur Abbildung der Realität erscheint dagegen vielversprechender.

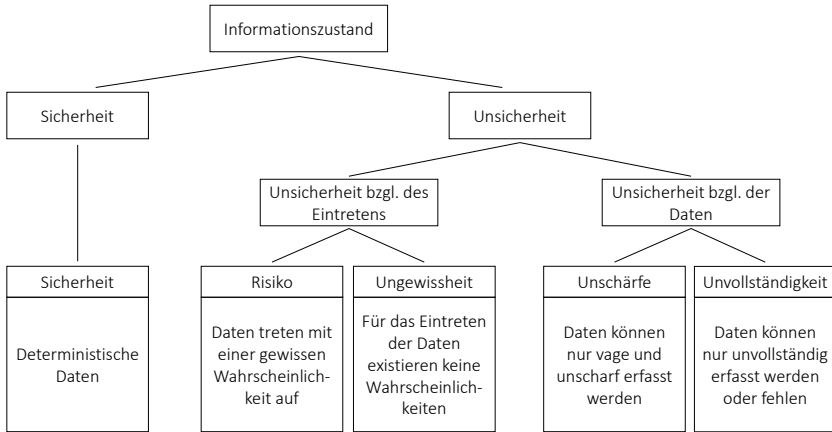


Abbildung 4.2: Informationszustände in Entscheidungssituationen (Fröhling 2006)

Vor diesem Hintergrund hat sich die Fuzzy-Set-Theorie als vorteilhafte Methode zum Umgang mit vagen qualitativen Experteneinschätzungen etabliert. Insbesondere wenn quantitative und qualitative Informationen für die Entscheidungsfindung genutzt werden sollen, bietet die Fuzzy-Set-Theorie formalisierte Verfahren zu deren Integration (Chan und Kumar 2007; Tseng et al. 2009). Die Grundidee hinter der Fuzzy-Set-Theorie basiert auf sogenannten Zugehörigkeitsfunktionen und den jeweiligen Fuzzy-Mengen. Eine Zugehörigkeitsfunktion bestimmt eine Fuzzy-Menge und ordnet jedem Objekt innerhalb dieser Menge einen Zugehörigkeitsgrad innerhalb eines festgelegten Intervalls zu (Zadeh 1965; Zimmermann 1996; Ross 2009). Dieses Intervall ist in der Regel auf den Bereich  $[0,1]$  definiert. Ein Zugehörigkeitsgrad in Höhe von 0 bedeutet, dass das Objekt nicht zur Fuzzy-Menge gehört während ein Zugehörigkeitsgrad in Höhe von 1 aussagt, dass das Objekt vollständig zur Fuzzy-Menge gehört. Im Falle eines Wertes zwischen 0 und 1 hat das Objekt einen bestimmten Grad der Zugehörigkeit in Abhängigkeit von einer Zugehörigkeitsfunktion (Ayağ 2005; Büyükoçkan und Çifçi 2012c). In der Fuzzy-Set-Theorie werden sprachliche Ausdrücke wie beispielsweise „niedrig“, „mittel“ oder „hoch“ verwendet, um den jeweiligen Bereich von Zahlenwerten abzubilden.

Diese Ausdrücke werden in sogenannte Fuzzy-Zahlen überführt. Eine Fuzzy-Zahl drückt eine spezielle Fuzzy-Menge  $\tilde{M} = \{(x, \mu_{\tilde{M}}(x), x \in R)\}$  aus, wobei  $x$  eine beliebige reelle Zahl  $R: -\infty < x < +\infty$  annehmen kann.  $\mu_{\tilde{M}}(x)$  ist die entsprechende stetige Zugehörigkeitsfunktion, die diese Fuzzy-Menge über den Wertebereich der reellen Zahlen auf das geschlossene Intervall  $[0;1]$  abbildet (Chan und Kumar 2007).

In der Literatur gibt es verschiedene Arten von Fuzzy-Zahlen. In dieser Arbeit werden Dreiecks-Fuzzy-Zahlen (DFZ) verwendet. DFZ werden als Tripel  $\tilde{M} = (m^-; m; m^+)$  definiert. Es gilt  $m^- \leq m \leq m^+$ . Diese stellen jeweils den unteren, mittleren und oberen Wert der Fuzzy-Zahl dar. Je höher der Abstand zwischen dem unteren und dem oberen Wert der Fuzzy-Zahl ist, desto größer wird die Unschärfe der Experteneinschätzung angenommen (Chan und Kumar 2007). In Abbildung 4.3 ist eine solche DFZ und die entsprechende Dreiecks-Zugehörigkeitsfunktion dargestellt.

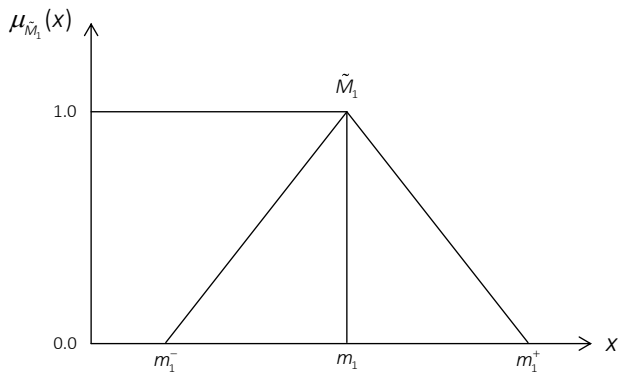


Abbildung 4.3: Eine Dreiecks-Fuzzy-Zahl und dessen Dreiecks-Zugehörigkeitsfunktion

Die Dreiecks-Zugehörigkeitsfunktion kann wie folgt definiert werden:

$$\mu_{\tilde{M}_1}(x) = \begin{cases} \frac{x - m_1^-}{m_1 - m_1^-} & , x \in [m_1^-, m_1] \\ \frac{m_1^+ - x}{m_1^+ - m_1} & , x \in [m_1, m_1^+] \\ 0 & , \text{andernfalls} \end{cases} \quad (4.17)$$

Für das Rechnen mit DFZ müssen fuzzy-spezifische Rechenregeln beachtet werden. Seien  $\tilde{M}_1 = (m_1^-; m_1; m_1^+)$  und  $\tilde{M}_2 = (m_2^-; m_2; m_2^+)$  zwei DFZ, dann können die mathematischen Operationen Addition, Subtraktion, Multiplikation sowie Division wie folgt durchgeführt werden (vgl. Chan et al. 2008; Gani und Assarudeen 2012):

$$\tilde{M}_1 \oplus \tilde{M}_2 = (m_1^- + m_2^-; m_1 + m_2; m_1^+ + m_2^+) \quad (4.18)$$

$$\tilde{M}_1 \ominus \tilde{M}_2 = (m_1^- - m_2^-; m_1 - m_2; m_1^+ - m_2^+) \quad (4.19)$$

$$\tilde{M}_1 \otimes \tilde{M}_2 \cong (m_1^- m_2^-; m_1 m_2; m_1^+ m_2^+) \quad (4.20)$$

$$\frac{\tilde{M}_1}{\tilde{M}_2} = \left( \min \left( \frac{m_1^-}{m_2^-}; \frac{m_1}{m_2}; \frac{m_1^+}{m_2^+} \right); \frac{m_1}{m_2}; \max \left( \frac{m_1^-}{m_2^-}; \frac{m_1}{m_2}; \frac{m_1^+}{m_2^+} \right) \right) \quad (4.21)$$

Da  $m^- \leq m \leq m^+$  gilt, lässt sich der Kehrwert einer DFZ mit Hilfe von Gleichung 4.22 bestimmen.

$$\begin{aligned} \tilde{M}_1^{-1} &= \left( \min \left( \frac{1}{m_1^-}; \frac{1}{m_1}; \frac{1}{m_1^+} \right); \frac{1}{m_1}; \max \left( \frac{1}{m_1^-}; \frac{1}{m_1}; \frac{1}{m_1^+} \right) \right) \\ &= \left( \frac{1}{m_1^+}; \frac{1}{m_1}; \frac{1}{m_1^-} \right) \end{aligned} \tag{4.22}$$

### 4.3 Ermittlung von Kriteriengewichtungen mit Hilfe des Fuzzy Analytic Hierarchy Process

Der von Saaty (1990) entwickelte Analytic Hierarchy Process (AHP) ist eine systematische Methode zur Unterstützung komplexer und unstrukturierter multikriterieller Entscheidungsprobleme. Der AHP basiert grundsätzlich auf der Durchführung eines paarweisen Vergleichs, einer strukturierenden Kriterienhierarchie und der Anwendung der Eigenwertmethode (Vaidya und Kumar 2006). Ein Kritikpunkt des klassischen AHP ist, dass häufig verwendete Experteneinschätzungen und die somit vagen bzw. unsicheren Informationen nicht adäquat in den Prozess integriert werden. Um die Einschätzungen deshalb möglichst realitätsnah in den Berechnungen abbilden zu können, wird in dieser Arbeit der FAHP als Erweiterung des klassischen AHP zur Bestimmung von Kriteriengewichtungen angewendet (Shaw et al. 2012). Für die Durchführung der paarweisen Vergleiche wird an Stelle einer Skala mit scharfen Zahlenwerten (Saaty 2008), eine Skala mit sprachlichen Einschätzungsniveaus von „sehr viel unwichtiger“ bis „sehr viel wichtiger“ verwendet (vgl. Tabelle 4.3).

Tabelle 4.3: Linguistische Fuzzy-Äquivalente der Dreiecks-Fuzzy-Zahlen als Basis für die paarweisen Vergleiche

Einschätzungsniveau	Dreiecks-Fuzzy-Zahl	Einschätzungsniveau	Kehrwert der Fuzzy-Zahl
Gleich wichtig	(1,0; 1,0; 1,0)	Gleich wichtig	(1,0; 1,0; 1,0)
Etwas wichtiger	(0,5; 1,5; 2,5)	Etwas unwichtiger	(0,4; 0,67; 2,0)
Wichtiger	(1,0; 2,5; 4,0)	Unwichtiger	(0,25; 0,40; 1,0)
Viel wichtiger	(1,5; 3,5; 5,5)	Viel unwichtiger	(0,18; 0,29; 0,67)
Sehr viel wichtiger	(2,0; 4,5; 7,0)	Sehr viel unwichtiger	(0,14; 0,22; 0,5)

Diese Einschätzungsniveaus werden für die weitere Berechnung in die DFZ  $\tilde{M}_1, \tilde{M}_2, \tilde{M}_3, \tilde{M}_4$  und  $\tilde{M}_5$  bzw. in ihre Kehrwerte überführt. Abbildung 4.4 zeigt die Zugehörigkeitsfunktionen von  $\tilde{M}_1, \tilde{M}_2, \tilde{M}_3, \tilde{M}_4$  und  $\tilde{M}_5$ . Je höher das Einschätzungsniveau im Zuge eines paarweisen Vergleichs gewählt wird, desto größer ist die dargestellte Unschärfe. Um dies abzubilden werden die Abstände zwischen dem unteren und dem oberen Wert der Fuzzy-Äquivalente für höhere Einschätzungsniveaus höher festgelegt. Da außerdem zu erwarten ist, dass das Verständnis der Einschätzungsniveaus in Abhängigkeit vom Experten stark variiert, wurden die Intervalle der DFZ überlappend definiert.

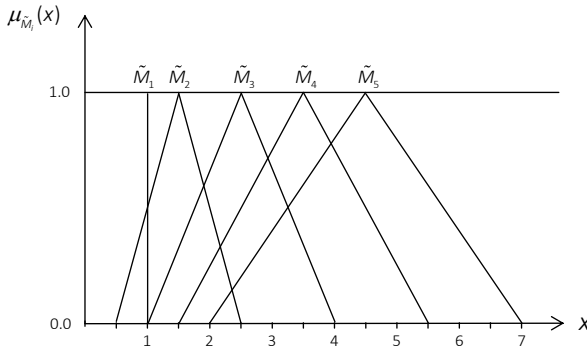


Abbildung 4.4: Die Zugehörigkeitsfunktionen der Dreiecks-Fuzzy-Zahlen

Bei mehrstufigen Hierarchien wird bei Anwendung des FAHP die Annahme getroffen, dass Experten bei paarweisen Vergleichen der Kriterien höherer Hierarchieebenen berücksichtigen können, welche und wie viele Subkriterien auf unterster Hierarchieebene jeweils zu den vergleichenden Kriterien zählen. Bei 2 bis 3 Subkriterien erscheint dies noch realistisch. Je höher die Anzahl der Subkriterien ist, desto komplexer wird der paarweise Vergleich für den Experten. In Diskussionen mit den befragten Experten über die Berechnungsergebnisse des FAHP im Zuge dieser Forschungsarbeit hat sich gezeigt, dass Gewichtungen von Kriterien höherer Hierarchieebene mit vielen Subkriterien auf unterster Hierarchieebene im Vergleich zu Kriterien mit wenigen Subkrite-

rien unterschätzt werden. Dies führt letztlich zu unterschätzten globalen Gewichtungen dieser Kriterien auf unterster Hierarchieebene, welche die Basis für die weiterführenden Berechnungen sind. Um diese Schwäche des FAHP zu umgehen, werden die Gewichtungsergebnisse höherer Hierarchieebenen mit einem Korrekturfaktor in Abhängigkeit von der Anzahl der Subkriterien der untersten Hierarchieebene bereinigt.

Der bereinigte FAHP kann in sechs Stufen beschrieben werden (Zimmer, Fröhling und Schultmann 2016):

**Stufe 1:** Eine Kriterienhierarchie wird zur Strukturierung des Entscheidungsproblems entwickelt.

**Stufe 2:** Falls die Kriterienhierarchie mehr als zwei Stufen aufweist, so müssen jeweils alle Kriterien einer Stufe, die dem gleichen Kriterium der übergeordneten Hierarchiestufe zugeordnet sind, zunächst in eine Kriteriengruppe zusammgeführt werden. Im Anschluss wird mit den Experten pro Kriteriengruppe ein paarweiser Vergleich aller darin enthaltenen Kriterien mit Hilfe der Skala der sprachlichen Einschätzungsniveaus der Tabelle 4.3 durchgeführt, wodurch so viele Vergleichsmatrizen resultieren wie Kriteriengruppen gebildet wurden.

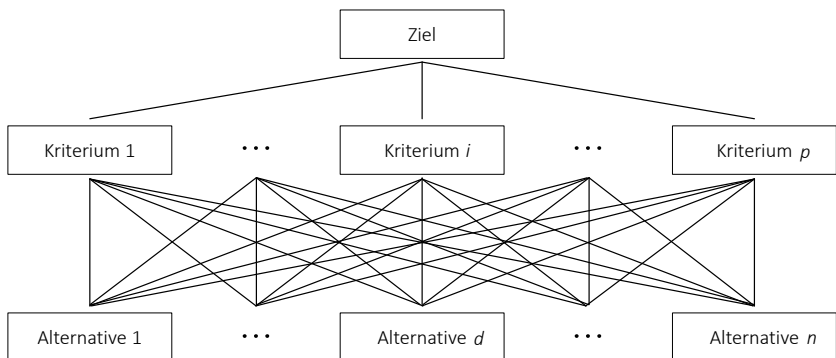


Abbildung 4.5: Beispiel einer zweistufigen Kriterienhierarchie zur Strukturierung des Entscheidungsproblems

**Stufe 3:** Um potenzielle Inkonsistenzen der Experteneinschätzungen zu identifizieren und zu vermeiden, sollte eine Konsistenzüberprüfung für jede Vergleichsmatrix durchgeführt werden. Zur Überprüfung wird zunächst ein Konsistenzindex berechnet, um darauf aufbauend ein Konsistenzverhältnis zu bestimmen. Dies erfolgt mit den Gleichungen 4.23 und 4.24 (Kwong und Bai 2003).

$$KI = \frac{\lambda_{\max} - p}{p - 1} \quad (4.23)$$

$$KV = \frac{KI}{ZI(p)} \quad (4.24)$$

Dabei ist  $\lambda_{\max}$  der größte Eigenwert der jeweiligen Vergleichsmatrix.  $ZI(p)$  ist ein Zufallsindex, der von der Anzahl der Kriterien  $p$  abhängt, wie in Tabelle 4.4 dargestellt. Falls für das Konsistenzverhältnis einer Vergleichsmatrix  $KV > 0,1$  gilt, dann sollte die Expertenbefragung der darin enthaltenen Kriterien erneut durchgeführt werden. Andernfalls kann die Befragung als konsistent angenommen werden. Zur Berechnung der Eigenwerte müssen die, durch die Befragungen erfassten, Fuzzy-Zahlen in scharfe Zahlen überführt werden. Zu dieser Defuzzifizierung wird in dieser Arbeit das geometrische Mittel verwendet.<sup>2</sup> Sei  $\tilde{M}_{ij} = (m_{ij}^-, m_{ij}; m_{ij}^+)$  die Fuzzy-Zahl des paarweisen Vergleichs des Kriteriums  $i$  mit  $j$ , so lässt sich der defuzzifizierte Wert  $M_{ij}$  mit Gleichung 4.25 bestimmen.

$$M_{ij} = (m_{ij}^- \cdot m_{ij} \cdot m_{ij}^+)^{\frac{1}{3}}, \forall i, j = 1, 2, \dots, p \quad (4.25)$$

---

<sup>2</sup> Für weitere Verfahren zur Defuzzifizierung soll an dieser Stelle auf Singh, Olugu und Fallahpour (2014) verwiesen werden.



Tabelle 4.4: Werte des Zufallsindex ZI in Abhängigkeit von der Kriterienanzahl (Golden et al. 1989)

$\rho$	3	4	5	6	7	8	9
$ZI(\rho)$	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

**Stufe 4:** Falls mehrere Experten in Stufe 2 involviert sind, müssen die individuellen Fuzzy-Vergleichsmatrizen zunächst in eine gemeinsame Fuzzy-Vergleichsmatrix überführt werden. Dies erfolgt ebenfalls mit Hilfe des geometrischen Mittels anhand der Gleichungen 4.26 bis 4.28, wobei  $(n_{eij}^-; n_{eij}; n_{eij}^+)$  die Einschätzung des Experten  $e$  hinsichtlich des paarweisen Vergleichs des Kriteriums  $i$  mit  $j$  darstellt. Der Index  $k$  gibt die Anzahl der Experten an.

$$m_{ij}^- = \left( \prod_{e=1}^k n_{eij}^- \right)^{\frac{1}{k}}, \forall i, j = 1, 2, \dots, p \quad (4.26)$$

$$m_{ij} = \left( \prod_{e=1}^k n_{eij} \right)^{\frac{1}{k}}, \forall i, j = 1, 2, \dots, p \quad (4.27)$$

$$m_{ij}^+ = \left( \prod_{e=1}^k n_{eij}^+ \right)^{\frac{1}{k}}, \forall i, j = 1, 2, \dots, p \quad (4.28)$$

**Stufe 5:** Zur Bestimmung der Gewichtung der einzelnen Kriterien und deren Überführung in scharfe Zahlenwerte (Defuzzifizierung), wird die Extent Analysis Method (EAM) von Chang (1996) für jede Vergleichsmatrix aus Stufe 2 bzw. Stufe 4 angewendet: Sei  $\tilde{M}_{ij} = (m_{ij}^-; m_{ij}; m_{ij}^+)$  die Fuzzy-Zahl des paarweisen Vergleichs der Kriterien  $i$  und  $j$ , so lässt sich das fuzzy synthetische Maß hinsichtlich des Kriteriums  $i$  mit Hilfe der fuzzy-spezifischen Rechenregeln der Gleichungen 4.18 bis 4.22 wie folgt bestimmen, wobei der Index  $p$  die Anzahl der Kriterien angibt.

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^p \tilde{M}_{ij} \otimes \left[ \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p \tilde{M}_{ij} \right]^{-1}, \forall i=1,2,\dots,p \quad (4.29)$$

Der erste Term  $\sum_{j=1}^p \tilde{M}_{ij}$  kann durch eine Fuzzy Addition, wie in Gleichung 4.30 dargestellt, ermittelt werden.

$$\sum_{j=1}^p \tilde{M}_{ij} = \left( \sum_{j=1}^p m_{ij}^-; \sum_{j=1}^p m_{ij}; \sum_{j=1}^p m_{ij}^+ \right), \forall i=1,2,\dots,p \quad (4.30)$$

Zur Berechnung des zweiten Terms  $\left[ \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p \tilde{M}_{ij} \right]^{-1}$  werden die Berechnungen 4.31 und 4.32 durchgeführt.

$$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p \tilde{M}_{ij} = \left( \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p m_{ij}^-; \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p m_{ij}; \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p m_{ij}^+ \right) \quad (4.31)$$

$$\left[ \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p \tilde{M}_{ij} \right]^{-1} = \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p m_{ij}^+}; \frac{1}{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p m_{ij}}; \frac{1}{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p m_{ij}^-} \right) \quad \forall m_{ij}^-, m_{ij}, m_{ij}^+ > 0 \quad (4.32)$$

Um die mit Hilfe von Gleichung 4.29 ermittelten fuzzy synthetischen Maße  $\tilde{S}_i$  in einen scharfen Gewichtungsvektor zu überführen, wird ein Vergleichsprinzip von Fuzzy-Zahlen nach Zimmermann (1996), Zhu et al. (1999) und Ganguly und Guin (2013) angewendet. Seien  $\tilde{S}_1 = (s_1^-, s_1; s_1^+)$  und  $\tilde{S}_2 = (s_2^-, s_2; s_2^+)$  zwei DFZ dann lässt sich der Grad der Möglichkeit, dass  $\tilde{S}_1 \geq \tilde{S}_2$  mit Gleichung 4.33 bestimmen.

$$V(\tilde{S}_1 \geq \tilde{S}_2) = \sup_{x \geq y} [\min(\mu_{\tilde{S}_1}(x), \mu_{\tilde{S}_2}(y))] \quad (4.33)$$

Falls die notwendige und hinreichende Bedingung  $s_1 \geq s_2$  wahr ist, dann gilt

$$V(\tilde{S}_1 \geq \tilde{S}_2) = 1. \quad (4.34)$$

Falls  $s_1 \leq s_2$ , dann gilt

$$V(\tilde{S}_1 \geq \tilde{S}_2) = \text{hgt}(\tilde{S}_1 \cap \tilde{S}_2) = \mu_{\tilde{S}_1}(d) = \begin{cases} \frac{s_2^- - s_1^+}{(s_1^- - s_1^+) - (s_2^- - s_2^+)} & , s_2^- \leq s_1^+ \\ 0 & , \text{sonst} \end{cases} \quad (4.35)$$

wobei  $d$  die Ordinate des höchsten Schnittpunktes  $D$  der beiden Zugehörigkeitsfunktionen  $\mu_{\tilde{S}_1}$  und  $\mu_{\tilde{S}_2}$  darstellt.

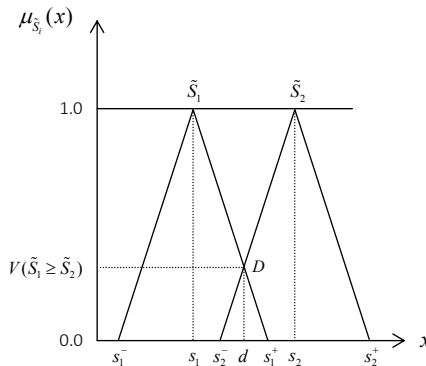


Abbildung 4.6: Vergleich zweier Dreiecks-Fuzzy-Zahlen

Die Ordinate  $d$  kann mit Gleichung 4.36 ermittelt werden.

$$d = \frac{s_2^- s_1 - s_1^+ s_2}{(s_1 - s_1^+) - (s_2 - s_2^-)} \quad (4.36)$$

Für den Vergleich zweier DFZ  $\tilde{S}_1$  und  $\tilde{S}_2$  muss sowohl  $V(\tilde{S}_1 \geq \tilde{S}_2)$  als auch  $V(\tilde{S}_2 \geq \tilde{S}_1)$  bestimmt werden. Der Grad der Möglichkeit für eine konvexe Fuzzy-Zahl, so dass sie größer als  $q$  konvexe Fuzzy-Zahlen  $\tilde{S}_h (h=1,2,\dots,q)$  ist, kann wie folgt definiert werden:

$$\begin{aligned} V(\tilde{S} \geq \tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \dots, \tilde{S}_p) &= V[(\tilde{S} \geq \tilde{S}_1) \text{ und } (\tilde{S} \geq \tilde{S}_2) \text{ und } \dots \text{ und } (\tilde{S} \geq \tilde{S}_p)] \\ &= \min V(\tilde{S} \geq \tilde{S}_h), \quad h=1,2,\dots,p \end{aligned} \quad (4.37)$$

Sei

$$g'(C_i) = \min V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_h), \quad h=1,2,\dots,p; h \neq i, \quad (4.38)$$

dann kann der Gewichtungsvektor wie folgt bestimmt werden:

$$\vec{g}' = (g'(C_1), \dots, g'(C_i), \dots, g'(C_p))^T, \quad (4.39)$$

Durch eine Normierung des Vektors  $\vec{g}'$  erhält man den normierten Gewichtungsvektor  $\vec{g}''$ , dessen einzelne Werte  $g''(C_i)$  scharfe Gewichtungswerte des Kriteriums  $i$  enthalten:

$$\vec{g}'' = (g''(C_1), g''(C_2), \dots, g''(C_p))^T, \quad (4.40)$$

Bei zweistufigen Kriterienhierarchien endet an dieser Stelle der FAHP und es gilt  $\vec{g} = \vec{g}''$ .

**Stufe 6:** Falls eine mehrstufige Kriterienhierarchie festgelegt wurde, werden die berechneten Kriteriengewichtungen der höheren Hierarchieebenen mit Hilfe des Vektors  $\vec{b}$  bereinigt.<sup>3</sup>

$$\vec{g}''' = \vec{g}'' \circ \vec{b} \quad (4.41)$$

Die einzelnen Elemente  $b_i$  von  $\vec{b}$  werden mit Hilfe der Gleichung 4.42 bestimmt, wobei  $m_i$  die Anzahl der direkten Subkriterien des Kriteriums  $i$  darstellt. Durch eine Normierung des Vektors  $\vec{g}'''$  erhält man den gewünschten normierten Gewichtungsvektor  $\vec{g}$  für die Kriterien höherer Hierarchieebenen.

$$b_i = 1 - \frac{1}{m_i} \quad (4.42)$$

Im Falle einer mehrstufigen Kriterienhierarchie müssen abschließend die globalen Gewichtungen<sup>4</sup> der Kriterien auf unterster Hierarchieebene ermittelt werden. Dazu wird jeweils jedes Kriterium auf unterster Hierarchieebene mit den bereinigten Gewichtungen der Kriterien der darüber liegenden Hierarchiestufen des gleichen Pfades multipliziert.

## 4.4 (Fuzzy) PROMETHEE zur Bestimmung von Rangfolgen

PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations) zählt zu den Outranking-Verfahren (vgl. Behzadian et al. 2010) und wurde erstmals von Brans (1982) vorgestellt. PROMETHEE erfuhr in den darauf folgenden Jahren große Beliebtheit, wodurch einige Weiterentwicklungen entstanden. Dazu zählen vor allem die Varianten PROMETHEE I bis VI,

<sup>3</sup> Durch das Hadamard-Produkt wird die elementweise Multiplikation zweier Vektoren ermöglicht.

<sup>4</sup> Unter globaler Gewichtung wird die Bedeutung der/des Dimension/Bereichs/Kriteriums auf Hierarchieebene 2 verstanden.

wobei PROMETHEE I und II die gängigsten Verfahren in Praxis und Wissenschaft darstellen (vgl. Behzadian et al. 2010).

PROMETHEE untersucht allgemein eine diskrete Anzahl an Alternativen mit dem Ziel, diejenige herauszufinden, die den Präferenzen des Entscheidungsträgers am besten entspricht. Die Analyse der Alternativen beruht auf paarweisen Vergleichen der Kriterienausprägungen. Im Rahmen dieser Vergleiche wird jeweils die Differenz der Kriterienausprägungen zweier Alternativen berechnet und mit Hilfe einer Präferenzfunktion in einen Präferenzwert überführt. Diese Präferenzwerte dienen als Basis für den Vergleich der Alternativen und die Bildung von Rangfolgen (Geldermann und Lerche o.J.).

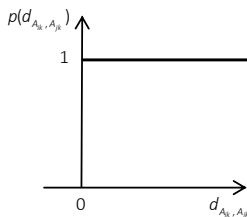
Ein wesentlicher Unterschied zu klassischen Bewertungsverfahren ist die Tatsache, dass sich Experten bei Anwendung von PROMETHEE nicht über ihre exakten Präferenzen im Klaren sein müssen oder diese gar ausdrücken müssen. Eine besondere Fähigkeit von PROMETHEE ist aufgrund der integrierten Präferenzfunktionen die Möglichkeit schwache Präferenzen und kriterienspezifische Präferenzen abzubilden. Diese können über die Ausgestaltung der Präferenzfunktionen dargestellt werden. Darüber hinaus ermöglicht PROMETHEE die Abbildung von Unvergleichbarkeiten, welche bei der Erstellung der Rangfolgen modelliert werden können (vgl. Geldermann und Lerche o.J.).

Zur Erstellung einer Rangfolge werden neben den Ergebnissen der paarweisen Vergleiche der Alternativen zwei weitere Informationen benötigt: Erstens müssen Gewichtungen bestimmt werden. Bei der Anwendung von PROMETHEE wird im Fall einer überschaubaren Anzahl an zu gewichtenden Kriterien angenommen, dass der Entscheidungsträger diese direkt festlegen kann (vgl. Macharis et al. 2004). Die zweite benötigte Information sind Präferenzfunktionen, welche der Überführung der Ergebnisse der paarweisen Vergleiche zweier Alternativen hinsichtlich eines Kriteriums in einen Präferenzwert des Intervalls  $[0,1]$  dienen. In PROMETHEE wird angenommen, dass der Entscheidungsträger diese bestimmen kann. Um die Anwendung von PROMETHEE diesbezüglich zu erleichtern schlagen Vincke und Brans (1985) dazu sechs allgemeine Präferenzfunktionen vor, die im Folgenden näher erläutert werden.

Seien  $A_{ik}$  und  $A_{jk}$  die Ausprägungen der Alternative  $i \in M$  bzw.  $j \in M$  hinsichtlich des Kriteriums  $k \in K$ , dann lassen sich die Präferenzwerte  $p_{A_{ik}, A_{jk}}$  mit Hilfe der Differenz dieser beiden Ausprägungen  $d_{A_{ik}, A_{jk}}$  je nach Kriterium mit einer der folgenden Präferenzfunktionen  $p(d_{A_{ik}, A_{jk}})$  ermitteln. Die Parameter  $p$  und  $q$  stellen dabei den Indifferenzschwellenwert und den Präferenzschwellenwert dar. Für beispielhafte Kriterien der folgenden Präferenzfunktionen soll auf Geldermann und Lerche (o.J.) verwiesen werden.

(1) Gewöhnliches Kriterium

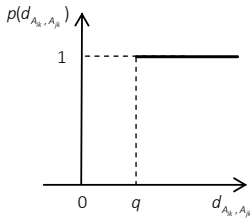
Bei einem **gewöhnlichen Kriterium** gibt es weder einen Indifferenz- noch einen Präferenzschwellenwert. Es besteht keine Möglichkeit eine schwache Präferenz abzubilden. Der Entscheidungsträger hat eine strikte Präferenz für die Alternative mit der höheren Ausprägung.



$$p(d_{A_{ik}, A_{jk}}) = \begin{cases} 0 & d_{A_{ik}, A_{jk}} \leq 0 \\ 1 & d_{A_{ik}, A_{jk}} > 0 \end{cases}$$

(2) Quasi-Kriterium

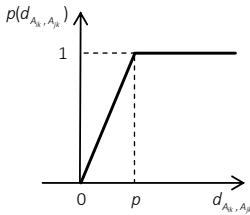
Das **Quasi-Kriterium** stellt durch die Einführung eines Indifferenzschwellenwertes  $q$  eine Erweiterung des gewöhnlichen Kriteriums dar. In diesem Fall liegt eine strikte Präferenz erst vor, wenn die Differenz der Ausprägungen den Schwellenwert  $q$  überschreitet. Bei niedrigeren Werten liegt Indifferenz vor.



$$p(d_{A_k, A_{jk}}) = \begin{cases} 0 & d_{A_k, A_{jk}} \leq q \\ 1 & d_{A_k, A_{jk}} > q \end{cases}$$

(3) Kriterium mit linearer Präferenz

Beim **Kriterium mit linearer Präferenz** wird ein Präferenzschwellenwert  $p$  verwendet. Bis zum Erreichen dieses Präferenzschwellenwertes  $p$  steigt die Präferenz linear mit zunehmender Differenz an und erst ab Überschreiten dieses Wertes liegt strikte Präferenz vor.

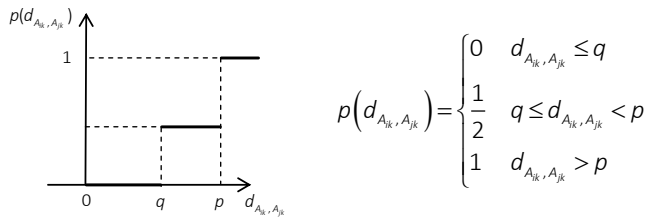


$$p(d_{A_k, A_{jk}}) = \begin{cases} 0 & d_{A_k, A_{jk}} \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 \leq d_{A_k, A_{jk}} < p \\ 1 & d_{A_k, A_{jk}} > p \end{cases}$$

(4) Stufen-Kriterium

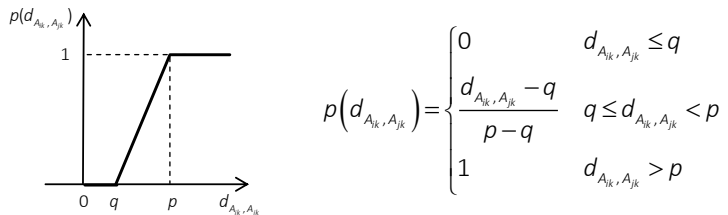
Wird das **Stufen-Kriterium** angesetzt, so wird sowohl ein Indifferenzschwellenwert  $q$  als auch ein Präferenzschwellenwert  $p$  festgelegt. Bis zu einer Differenz von weniger als  $q$  liegt demnach Indifferenz vor, ab einer Differenz größer  $p$  strikte Präferenz. Im Bereich zwischen diesen beiden Parametern gibt es noch eine Stufe, die im gesamten Bereich zwischen  $q$  und  $p$  einen konstanten Präferenzwert aufweist, der üblicherweise auf 0,5 festgelegt wird.





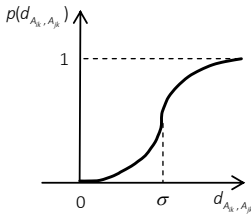
## (5) Kriterium mit linearer Präferenz und Indifferenzbereich

Das **Kriterium mit linearer Präferenz und Indifferenzbereich** hat wie das Stufen-Kriterium einen Indifferenzschwellenwert  $q$  und auch einen Präferenzschwellenwert  $p$ . Im Vergleich zum Stufen-Kriterium steigt der Präferenzwert im Bereich zwischen  $q$  und  $p$  jedoch linear mit zunehmender Differenz an.



## (6) Gauß'sches Kriterium

Bei Annahme des **Gauß'schen Kriteriums** stellt die Gauß'sche Normalverteilung die Basis für den Verlauf der Funktion dar. In diesem Fall muss lediglich der Wendepunkt  $\sigma$  dieser streng monoton wachsenden Präferenzfunktion festgelegt werden. Unabhängig davon wie groß die Differenz ist kann eine strikte Präferenz nie erreicht werden.



$$p(d_{A_k, A_{jk}}) = \begin{cases} 0 & d_{A_k, A_{jk}} \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}} & d_{A_k, A_{jk}} > 0 \end{cases}$$

Im folgenden Abschnitt werden zunächst die Verfahren PROMETHEE I und II vorgestellt, bevor im darauf folgenden Abschnitt die Integration der Fuzzy-Set-Theorie in das Vorgehen von PROMETHEE erläutert wird.

#### 4.4.1 PROMETHEE

PROMETHEE I und II erfolgt in 4 bzw. 5 Stufen. Diese werden im Folgenden detailliert erläutert (vgl. Behzadian et al. 2010):

**Stufe 1:** Zunächst werden für alle Alternativen pro Kriterium jeweils die Differenzen  $d_{A_{ik}, A_{jk}}$  der Ausprägungen zweier Alternativen  $A_{ik}$  und  $A_{jk}$  ermittelt.

$$d_{A_{ik}, A_{jk}} = A_{ik} - A_{jk} \tag{4.43}$$

**Stufe 2:** Anschließend werden die berechneten Differenzen jeweils mit Hilfe einer geeigneten Präferenzfunktion  $p(d_{A_{ik}, A_{jk}})$  in Abhängigkeit vom Kriterium in einen Präferenzwert  $p_{A_{ik}, A_{jk}}$  überführt.

$$p_{A_{ik}, A_{jk}} = p(d_{A_{ik}, A_{jk}}) \tag{4.44}$$

**Stufe 3:** Nun wird mit Hilfe dieser Präferenzwerte und den Gewichtungen der einzelnen Kriterien ein globaler Präferenzindex  $\pi_{A_i, A_j}$  der Alternative  $A_i$  über die Alternative  $A_j$  berechnet.<sup>5</sup>

$$\pi_{A_i, A_j} = \sum_{k=1}^m p_{A_k, A_{jk}} \cdot w_k \quad (4.45)$$

**Stufe 4:** Im letzten Schritt von PROMETHEE I werden die Ausgangsflüsse  $\phi^+(A_i)$  und Eingangsflüsse  $\phi^-(A_i)$  mit Hilfe der Gleichungen 4.46 und 4.47 ermittelt. Diese sind ein Maß für die Stärke bzw. Schwäche der Alternative  $i$  über alle anderen Alternativen.

$$\phi^+(A_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1, j \neq i}^n \pi_{A_i, A_j} \quad (4.46)$$

$$\phi^-(A_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1, j \neq i}^n \pi_{A_j, A_i} \quad (4.47)$$

In PROMETHEE I kann nun mit Hilfe dieser Flüsse die sogenannte partielle Präordnung aller Alternativen wie folgt gebildet werden: Falls Bedingung 4.48, 4.49 oder 4.50 gilt, dann ist die Alternative  $A_i$  der Alternative  $A_j$  vorzuziehen (Dagdeviren 2008).

$$\phi^+(A_i) > \phi^+(A_j) \text{ und } \phi^-(A_i) < \phi^-(A_j) \text{ oder} \quad (4.48)$$

$$\phi^+(A_i) > \phi^+(A_j) \text{ und } \phi^-(A_i) = \phi^-(A_j) \text{ oder} \quad (4.49)$$

<sup>5</sup> In weiteren Arbeiten zu PROMETHEE wird anstatt des Begriffs Präferenzindex auch der Begriff Outranking-Relation verwendet (vgl. Geldermann und Lerche o.J.).

$$\phi^+(A_i) = \phi^+(A_j) \text{ und } \phi^-(A_i) < \phi^-(A_j) \quad (4.50)$$

Falls die Bedingung 4.51 erfüllt ist, herrscht Indifferenz zwischen den beiden Alternativen  $A_i$  und  $A_j$  (Dagdeviren 2008).

$$\phi^+(A_i) = \phi^+(A_j) \text{ und } \phi^-(A_i) = \phi^-(A_j) \quad (4.51)$$

Falls die Bedingung 4.52 oder 4.53 gilt, sind die beiden Alternativen  $A_i$  und  $A_j$  nicht vergleichbar (Dagdeviren 2008).

$$\phi^+(A_i) > \phi^+(A_j) \text{ und } \phi^-(A_i) > \phi^-(A_j) \quad (4.52)$$

$$\phi^+(A_i) < \phi^+(A_j) \text{ und } \phi^-(A_i) < \phi^-(A_j) \quad (4.53)$$

**Stufe 5:** Um eine vollständige Präordnung aller Alternativen zu ermöglichen wird bei PROMETHEE II im Unterschied zu PROMETHEE I abschließend der Nettofluss des Eingangs- und Ausgangsflusses berechnet, der damit die Bildung einer vollständigen Rangfolge der Alternativen zulässt.

$$\phi^{\text{Netto}}(A_i) = \phi^+(A_i) - \phi^-(A_i) \quad (4.54)$$

#### 4.4.2 Fuzzy PROMETHEE

Die für die Anwendung von PROMETHEE benötigten Kriterienausprägungen der Alternativen können nicht immer präzise erfasst werden. Um diese vagen bzw. unsicheren Informationen möglichst realitätsnah in den Berechnungen von PROMETHEE abbilden zu können, gibt es deshalb die Möglichkeit, die Fuzzy-Set-Theorie in das Vorgehen von PROMETHEE zu integrieren. Bis heute gibt es wenige Modellierungsansätze, wie dies realisiert werden kann (vgl. Geldermann et al. 2000; Goumas und Lygerou 2000; Chou et al. 2007).

Aufgrund seiner einfachen Handhabung wird in dieser Arbeit das Verfahren von Goumas und Lygerou (2000) genutzt. Dieses fand in der wissenschaftlichen Literatur bisher am häufigsten Anwendung (Goumas und Lygerou 2000; Bilsel et al. 2006; Tuzkaya et al. 2009).

Hinsichtlich der beschriebenen Stufen des klassischen PROMETHEE betrifft die Integration der Fuzzy-Set-Theorie gemäß Goumas und Lygerou (2000) die Subtraktion zweier Fuzzy Ausprägungen im Rahmen der Stufe 1 (vgl. Gleichung 4.43) und die anschließende Überführung dieser Fuzzy-Zahl mit Hilfe einer Präferenzfunktion in einen scharfen Präferenzwert (vgl. Gleichung 4.44). Die Stufen 3 bis 5 des PROMETHEE bleiben von der Integration der Fuzzy-Set-Theorie unberührt.

Beim Modellierungsansatz Fuzzy PROMETHEE nach Goumas und Lygerou (2000) wird die Fuzzy-Notation von Dubois und Prade (1978) verwendet.<sup>6</sup> Die Fuzzy-Zahl werden ebenfalls als Triplette  $\tilde{M}_{LR} = (m; a; b)_{LR}$  definiert. Im Unterschied zur klassischen Fuzzy-Notation aus Abschnitt 4.2 entsprechen die Parameter  $m$ ,  $a$  und  $b$  aber nicht dem unteren, mittleren und oberen Wert der Fuzzy-Zahl sondern müssten erst in eine klassische Fuzzy-Zahl überführt werden. Diese würde im obigen Fall  $\tilde{M} = (m-a; m; m+b)$  lauten. Der Parameter  $a$  beschreibt somit den Abstand des Parameters  $m$  zum unteren Wert einer klassischen Fuzzy-Zahl während der Parameter  $b$  dem Abstand des Parameters  $m$  zum oberen Wert einer klassischen Fuzzy-Zahl entspricht. Ein Wert  $x < m-a$  bzw.  $x > m+b$  hat somit einen Zugehörigkeitsgrad in Höhe von 0, während ein Wert  $x \in (m-a; m+b)$  in Abhängigkeit von der Zugehörigkeitsfunktion einen Zugehörigkeitsgrad in der Menge  $(0; 1]$  aufweist. Die Indizes LR kennzeichnen, dass die Fuzzy-Zahl in der Notation von Dubois und Prade dargestellt wird und drücken mit L und R aus, dass die Grenzen einer Fuzzy-Zahl um  $a$  Einheiten links (L) bzw.  $b$  Einheiten rechts (R) von  $n$  liegen (vgl. Bilsel, Büyüközkan und Ruan 2006).

<sup>6</sup> Hintergrund der Verwendung dieser Notation ist die übersichtlichere mathematische Darstellung von Fuzzy PROMETHEE nach Goumas und Lygerou (2000).

Tabelle 4.5: Linguistische Fuzzy-Äquivalente der Dreiecks-Fuzzy-Zahlen sowie deren Notation nach Dubois und Prade (1978)

Einschätzungsniveau	Dreiecks-Fuzzy-Zahl	Notation nach Dubois und Prade
Sehr Schlecht	(0; 0; 0,05)	(0; 0; 0,05) <sub>LR</sub>
Schlecht	(0,05; 0,15; 0,25)	(0,15; 0,1; 0,1) <sub>LR</sub>
Mittelmäßig	(0,4; 0,5; 0,6)	(0,5; 0,1; 0,1) <sub>LR</sub>
Gut	(0,75; 0,85; 0,95)	(0,85; 0,1; 0,1) <sub>LR</sub>
Sehr gut	(0,95; 1; 1)	(1; 0,05; 0) <sub>LR</sub>

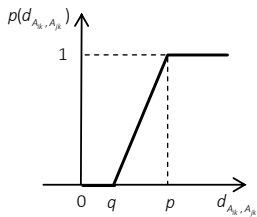
Im Rahmen dieser Arbeit werden bei der Anwendung von Fuzzy PROMETHEE die in der Tabelle 4.5 dargestellten Fuzzy-Äquivalente und die entsprechenden Fuzzy-Zahlen gemäß der Notation nach Dubois und Prade (1978) verwendet.

Zur Anwendung des Fuzzy PROMETHEE müssen zunächst alle Ausprägungen der Leistungsindikatoren entweder bereits in linguistischen Einschätzungsniveaus erfasst worden sein oder in diese überführt werden, um anschließend mit Hilfe der Tabelle 4.5 die Fuzzy-Zahlen nach Dubois und Prade (1978) bestimmen zu können (Fuzzifizierung). Um die Differenz  $\tilde{D} = (m, a, b)_{LR}$  zweier Fuzzy-Zahlen entsprechend der Stufe 1 von PROMETHEE mit Gleichung 4.43 berechnen zu können, wird im Fall von Fuzzy PROMETHEE die Rechenregel in Gleichung 4.55 zur Subtraktion zweier Fuzzy-Zahlen verwendet (Bilsel, Büyüközkan und Ruan 2006). Unter der Bedingung dass  $q \leq m - a$  und  $m + b \leq p$  gilt, wird abschließend die sich daraus ergebende Fuzzy-Zahl mit Hilfe des Yager-Index der Gleichung 4.56 in einen scharfen Wert überführt (Defuzzifizierung), um damit gemäß Gleichung 4.44 den Präferenzwert dieses paarweisen Vergleichs zu ermitteln. Andernfalls beträgt der Präferenzwert 0. Wie damit gezeigt werden konnte, muss im Rahmen von Fuzzy PROMETHEE bei der Bestimmung des Präferenzwertes beachtet werden, dass der Indifferenz-schwellenwert  $q$  und der Präferenzschwellwert  $p$  vom oberen und unteren Wert der Fuzzy Differenz  $\tilde{D}$  abhängt.

$$\begin{aligned}
 \tilde{D} &= (m_1; a_1; b_1)_{LR} - (m_2; a_2; b_2)_{LR} \\
 &= (m_1 - m_2; a_1 + b_2; b_1 + a_2)_{LR} \\
 &= (m; a; b)_{LR}
 \end{aligned} \tag{4.55}$$

$$d_{A_k, A_{jk}} = \frac{(3m - a + b)}{3} \tag{4.56}$$

Dieser Zusammenhang wird im folgenden Diagramm am Beispiel eines Kriteriums mit linearer Präferenz und Indifferenzbereich veranschaulicht. Die nachfolgenden Stufen 3 bis 5 des Fuzzy PROMETHEE verlaufen äquivalent zur Methode PROMETHEE.



$$p(d_{A_k, A_{jk}}) = \begin{cases} 0 & m - a < q \\ \frac{\tilde{D} - q}{p - q} & q \leq m - a \text{ und } m + b \leq p \\ 1 & m + b > p \end{cases}$$





# 5 Entwicklung und Anwendung des Risikomodells am Beispiel eines Automobilherstellers

In den folgenden Abschnitten werden zunächst die Datenbasis und die mathematischen Hintergründe des Risikomodells erläutert, bevor dessen Implementierung und exemplarische Anwendung vorgestellt wird. Das Kapitel schließt mit einer kritischen Würdigung.

## 5.1 Entwicklung und Aufbau der Datenbasis

Wie bereits in Kapitel 3 dargestellt, baut das Risikomodell auf den vier Komponenten „Risikokriterien und deren Ausprägungen“, „Präferenzfunktion“, „Gewichtung der Risikokriterien“ sowie „Transparenz der Lieferkette“ auf. Diese werden im Folgenden detailliert beschrieben.

### 5.1.1 Risikokriterien und -ausprägungen

Zur Quantifizierung der Ausprägungen der Risikokriterien eines Lieferanten wurde die Annahme getroffen, dass diese auf Basis von Statistiken und Ratings von dessen Land-Sektor-Kombination abgebildet werden können. Der erste Schritt der Risikoberechnung bestand deshalb darin, den zu untersuchenden Lieferanten, in Abhängigkeit vom Land des Produktionsstandorts und seines angebotenen Produkts, einem Land und einem Wirtschaftssektor zuzuordnen.

Bevor Risikoberechnungen durchgeführt werden konnten, mussten demnach zunächst Risikokriterien sowie deren Ausprägungen mit Hilfe von Statistiken und Ratings festgelegt werden. Für die Abschätzung des Nachhaltigkeitsrisikos wurden dazu die ökologischen und sozialen Kriterien der in Abbildung 3.2 dargestellten Kriterienhierarchie ausgewählt. Zur Quantifizierung dieser Kriterien konnten über 250 öffentlich zugängliche Statistiken und Ratings verschiedener anerkannter Institutionen wie der World Health Organization (WHO), der

International Labour Organization (ILO) oder der United Nations (UN) auf Ebene der Länder oder deren Wirtschaftssektoren gesammelt und den Risikokriterien zugeordnet werden. Da für das Risikomodell die multiregionale Input-Output-Tabelle namens Eora mit 189 Ländern und 25 Sektoren ausgewählt wurde (Lenzen et al. 2013), bestand die nächste Aufgabe darin, die Eignung der gesammelten Indikatoren vor dem Hintergrund der Anwendung der Input-Output-Tabelle Eora zu prüfen.<sup>1</sup> Damit idealerweise die Quantifizierung der Risiken aller in Eora enthaltenen Land-Sektor-Kombinationen möglich ist, wurden die gesammelten Indikatoren in einem ersten Schritt hinsichtlich der Vollständigkeit (Abdeckungsgrad der Länder und Sektoren von Eora), der Auflösung (Landes- oder Sektorebene), der Glaubwürdigkeit der Quelle, der Aktualität (Jahr) und der Datenqualität (Statistik oder Expertenbefragung) bewertet. In einem zweiten Schritt fanden Fachgespräche mit Nachhaltigkeitsexperten aus dem strategischen Einkauf eines Automobilherstellers statt, um die Indikatoreauswahl endgültig festzulegen, woraus abschließend 30 ökologische und soziale Risikoindikatoren resultierten.

### 5.1.1.1 Ökologische Risikokriterien und deren Risikoindikatoren

Im Rahmen der Recherche wurden nur für sechs der neun ökologischen Risikokriterien aus Abbildung 3.2 geeignete Indikatoren gefunden. Zusammenfassend sind zur Quantifizierung der Ausprägungen dieser sechs Risikokriterien 14 Indikatoren ausgewählt worden. Diese sind in Tabelle 5.1 gelistet.

---

<sup>1</sup> Ein Überblick über die existierenden multiregionalen Input-Output-Tabellen sowie eine Begründung über die Auswahl von Eora wird in Abschnitt 5.1.4 gegeben.

Tabelle 5.1: Überblick über die Indikatoren zur Quantifizierung der Ausprägungen der ökologischen Risikokriterien

Risikokriterium	Indikator	Auflösung	Vollständigkeit	Jahr	Quelle
Ökologische Selbstverpflichtung (C <sub>31</sub> )	Commitment to International Environmental Standards [Punkte]	Land	93,1%	2012	Maplecroft (2012)
	National Environmental Regulation and Protection Index [Punkte]	Land	93,1%	2012	Maplecroft (2012)
Material (C <sub>21</sub> )	Materialeffizienz [kg/US\$]	Land	87,8%	2009	Dittrich (2014)
Energie (C <sub>22</sub> )	Share of renewable electricity generation [%]	Land	83,0%	2012	EIA (2012)
	Share of renewable electricity consumption [%]	Land	83,0%	2012	EIA (2012)
	Energieeffizienz [MJ/US\$]	Land	81,9%	2007-2014	IEA (2015)
	Energieeffizienz [MJ/US\$]	Sektor	73,3%	2011	Eora (2011)
Emissionen (C <sub>23</sub> )	CO <sub>2</sub> -Effizienz [kg/US\$]	Land	85,1%	2011	UN (2015)
	CO <sub>2</sub> -Effizienz [kg/US\$]	Sektor	88,7%	2011	Eora (2011)
Wasser (C <sub>24</sub> )	Water efficiency [m <sup>3</sup> /US\$]	Land	88,3%	2013	Weitbank (2014)
	Wastewater Treatment [%]	Land	70,2%	2014	EPI (2014)
	Water stress index [Punkte]	Land	90,4%	2012	Maplecroft (2012)
Abfall (C <sub>25</sub> )	Status of chemical and waste management conventions [Punkte]	Land	93,1%	2012	Maplecroft (2012)
	Municipal solid waste Generation per Capita [kg/Kopf/Tag]	Land	79,8%	2012	Hoornweg und Bhada-Tata (2012)

Wie Tabelle 5.1 entnommen werden kann, war der Großteil der Indikatoren nicht auf Ebene der Sektoren sondern auf Ebene der Länder verfügbar. Nur im Fall der Risikokriterien „Emissionen“, „Energie“ und „Wasser“ konnten Indikatoren auf Sektorebene gefunden werden. Diese waren als umweltökonomische Erweiterungen der Eora-Datenbank verfügbar. Da die Daten bezüglich des Kriteriums „Wasser“ sehr lückenhaft waren (Abdeckung von 46,2% der Land-Sektor-Kombinationen von Eora) und im Gegensatz zu den Risikokriterien „Emissionen“ und „Energie“ nicht plausibilisiert werden konnten, wurde auf deren Anwendung verzichtet. Bei Betrachtung der Indikatoren in Tabelle 5.1 musste außerdem festgestellt werden, dass kein Indikator alle für Eora notwendigen Länder bzw. Sektoren abdeckte. Um nun eine Risikoabschätzung auf Länder- und Sektorebene zu ermöglichen, mussten zur Vervollständigung aller Indikatoren auf Länder- und Sektorebene mehrere Annahmen getroffen werden. Je nachdem, ob pro Risikokriterium ein Indikator auf Sektorebene vorhanden war oder nicht, wurden unterschiedliche Vorgehen zur Vervollständigung angewendet. Beide Vorgehen sind in Abbildung 5.1 in Abhängigkeit von der Datenlage dargestellt.

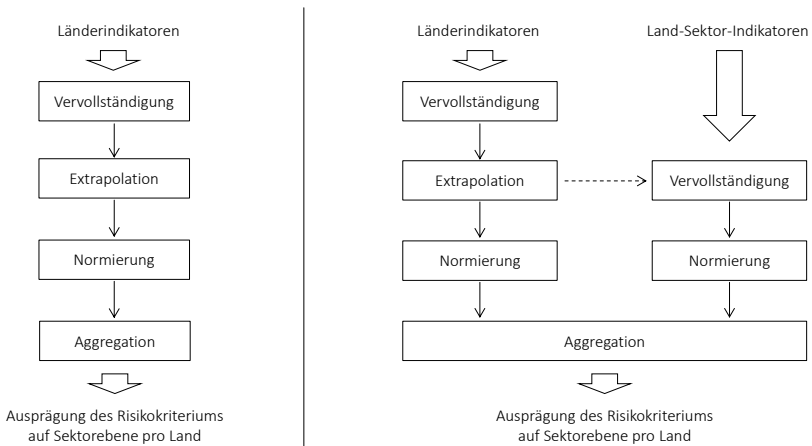


Abbildung 5.1: Vervollständigung der Risikoindikatoren und Berechnung der Ausprägungen aller ökologischen Risikokriterien auf Sektorebene in Abhängigkeit von der Datenlage

Im einfachen Fall (linker Teil der Abbildung 5.1), wenn pro Risikokriterium nur Länderindikatoren und keine Land-Sektor-Indikatoren vorhanden waren, wurden die fehlenden Werte zunächst auf Länderebene vervollständigt. Dies traf auf die Indikatoren der Kriterien „Ökologische Selbstverpflichtung“, „Material“, „Wasser“ und „Abfall“ zu. Zu deren Vervollständigung wurde die Annahme getroffen, dass der fehlende Indikatorwert eines Landes dem Durchschnittswert dieses Indikators der Länder der gleichen geografischen Region entspricht. Deshalb wurden zunächst 19 Regionen (z.B. Südost-Asien, Nordeuropa oder Südamerika) gebildet sowie deren jeweilige Durchschnittswerte berechnet, um mit deren Hilfe die fehlenden Indikatorwerte auf Landesebene zu komplettieren. Im zweiten Schritt wurde im Sinne einer Extrapolation eine Detaillierung bzw. Vervollständigung der Indikatoren für die Risikokriterien „Material“, „Wasser“ und „Abfall“ von Länder- auf Sektorebene durchgeführt. Im Fall des Risikokriteriums „Ökologische Selbstverpflichtung“ konnte kein sinnvoller Zusammenhang gefunden werden, um eine Auflösung auf Sektorebene zu erreichen. Zur Überführung der Länderindikatoren des Risikokriteriums „Wasser“ wurden Wassereffizienz-Werte des dänischen statistischen Amtes herangezogen (Dänemark 2005).<sup>2</sup> Diese wurden den 25 Sektoren von Eora zugeordnet. Zur Bestimmung der Ausprägungen aller Sektoren der Länder von Eora wurden die Effizienz-Werte des Landes Dänemarks jeweils pro Land so skaliert, dass deren Durchschnitt dem Effizienz-Wert des jeweiligen Landes des Länderindikators entsprach. Damit wurde angenommen, dass die Verhältnisse der Effizienz-Werte der Sektoren Dänemarks für alle Länder gelten. Zur Überführung der Risikokriterien „Material“ und „Abfall“ auf eine Sektorebene konnten keine plausiblen Effizienz-Werte gefunden oder berechnet werden, weshalb die obige Methode des Kriteriums „Wasser“ nicht anwendbar war. Um trotzdem die Kriterien „Material“ und „Abfall“ auf eine Sektorebene überführen zu können und so eine sektorspezifische Indikation zu ermöglichen, wurde die absolute Abfallmenge Europas pro Wirtschaftssektor verwendet (EUROSTAT 2012). In Abhängigkeit vom Sektor wurden diese auf einer Skala von 0 bis 3 normiert,

---

<sup>2</sup> Die Effizienz-Werte Dänemarks hinsichtlich des Kriteriums „Wasser“ sind in Abhängigkeit vom Sektor in Anhang A in Tabelle A.1 gelistet.

um als eine Art Korrekturfaktor zur Überführung der Länderindikatoren auf Sektorebene zu fungieren.<sup>3</sup> Die Ermittlung der Land-Sektor-Indikatoren der Risikokriterien „Material“ und „Abfall“ erfolgte dann durch Multiplikation des sektorspezifischen Korrekturfaktors mit der Ausprägung des Länderindikators. Anschließend wurden diese Land-Sektor-Indikatoren in einem dritten Schritt mit Hilfe einer linearen Skalentransformation und indikatorspezifischen Schwellenwerten oder in seltenen Fällen mit Hilfe einer Sigmoid-Funktion und indikatorspezifischen Schwellenwerten auf einer Skala von 0 bis 10 normiert.<sup>4</sup> Abschließend wurden die ermittelten Land-Sektor-Indikatoren gleichgewichtet aggregiert, um die gewünschten Ausprägungen der Risikokriterien auf Sektorebene pro Land zu erhalten.

Falls pro Risikokriterium ein Land-Sektor-Indikator verfügbar ist, wurde, wie im rechten Teil der Abbildung 5.1 dargestellt, ein etwas komplexeres Vorgehen zur Ermittlung der fehlenden Ausprägungen der Risikokriterien verwendet. Indikatoren eines solchen Risikokriteriums, die aber nur auf Länderebene nicht auf Land-Sektor-Ebene verfügbar waren, durchliefen ein sehr ähnliches Vorgehen wie oben beschrieben. Die Daten wurden auf Länderebene zunächst mit den Durchschnittswerten der 19 Regionen vervollständigt, dann mit Hilfe von durchschnittlichen Effizienz-Werten auf Sektorebene überführt und normiert, bevor sie abschließend mit den anderen Land-Sektor-Indikatoren zur Bestimmung der Ausprägungen der Risikokriterien auf Sektorebene pro Land gleichgewichtet aggregiert wurden. Die Effizienz-Werte der Sektoren stammten hierzu aber aus dem verfügbaren Land-Sektor-Indikator des gleichen Risikokriteriums der gleichen geografischen Region und nicht aus den Effizienz-Werten eines Landes wie vorher mit den Daten von Dänemark. Konkret bedeutete dies, dass die durchschnittlichen Effizienz-Werte der Sektoren pro geografische Region zuvor bestimmt werden mussten. Vor dem Hintergrund der ausgewählten Indikatoren in Tabelle 5.1 war dieses Vorgehen

---

<sup>3</sup> Die Korrekturfaktoren der Kriterien „Material“ und „Abfall“ sind in Abhängigkeit vom Sektor in Anhang A in Tabelle A.1 gelistet.

<sup>4</sup> Der Wert „10“ steht dabei für ein sehr hohes Risiko, während der Wert „0“ einem sehr niedrigen Risiko entspricht.

nur für die Indikatoren „share of renewable electricity generation“ und „share of renewable electricity consumption“ notwendig.

Die Vervollständigung der beiden Land-Sektor-Indikatoren erfolgte je nach Datenlage pro Land auf zwei unterschiedlichen Wegen. Der erste Weg wurde bei Ländern verwendet, bei denen einige Sektorausprägungen bekannt waren. Bei dieser Variante wurden pro geografischer Region die durchschnittlichen Verhältnisse der Sektoren berechnet, welche dann zur Vervollständigung der fehlenden Werte auf Sektorebene für alle Länder der jeweiligen Region verwendet wurden. Der zweite Weg betraf die Länder eines Land-Sektor-Indikators, bei denen überhaupt keine Sektorausprägungen vorhanden waren. In diesem Fall mussten zwei wesentliche Aspekte abgeschätzt werden:

- (1) Die Höhe der Sektorausprägungen und
- (2) das Verhältnis der Sektorausprägungen

Im vorherigen Fall konnte die Höhe der fehlenden Sektorausprägungen relativ einfach mit Hilfe der Höhe der existierenden Sektorausprägungen des gleichen Landes abgeschätzt werden. Im Fall fehlender Sektorausprägungen eines Landes war dies nicht mehr möglich. Eine Lösungsmöglichkeit wäre das beschriebene Vorgehen zur Vervollständigung der Länderindikatoren gewesen. Dabei würde sowohl die Höhe als auch das Verhältnis der Sektorausprägungen mit Hilfe von Durchschnittsberechnungen der Länder und Sektoren der gleichen Region angenommen. Da aber Informationen bezüglich der absoluten Höhe der Ausprägung eines Landes verfügbar waren und eine schärfere Abschätzung zuließen, wurden diese stattdessen berücksichtigt und integriert. Aus diesem Grund wurden zur Vervollständigung von Land-Sektor-Indikatoren in diesem Fall sowohl die berechneten Verhältnisse der Sektorausprägungen der geografischen Regionen mit Hilfe des Land-Sektor-Indikators als auch die Ausprägungen des gleichen Indikators auf Länderebene verwendet. Der Länderindikator durchlief dabei zunächst die Vervollständigung auf Länderebene und anschließend die Extrapolation mit den berechneten Verhältnissen der Sektorausprägungen pro Region. Der dadurch ermittelte vollständige Land-Sektor-Indikator wurde dann bei denen Ländern zur Vervollständigung

des originalen Land-Sektor-Indikators herangezogen, bei denen keine Daten vorhanden waren. Die anschließende Normierung und Aggregation des originalen und nun vervollständigten Land-Sektor-Indikators verlief dann wie in den anderen Fällen. Zusammenfassend blieben durch dieses Vorgehen alle gegebenen Informationen des Land-Sektor-Indikators erhalten und nur im Fall vollständig fehlender Länder des Land-Sektor-Indikators wurden zur präziseren Abschätzung der Ausprägungen Informationen des gleichen Indikators auf Länderebene herangezogen.

### 5.1.1.2 Soziale Risikokriterien und deren Risikoindikatoren

Wie bei den ökologischen Risikokriterien konnten nicht für alle sozialen Risikokriterien aus Abbildung 3.2 geeignete Indikatoren zur Quantifizierung gefunden werden. Insgesamt wurden 16 Indikatoren ausgewählt, um neun der elf sozialen Kriterien abzubilden. Einen Überblick über die ausgewählten Indikatoren liefert Tabelle 5.2. Alle Indikatoren der Tabelle 5.2 waren nur auf Landesebene verfügbar. Wie der Tabelle 5.2 entnommen werden kann, deckten die ausgewählten sozialen Indikatoren aber wieder nicht alle Länder bzw. Sektoren von Eora ab. Mit Ausnahme des Detaillierungsschrittes im Sinne einer Extrapolation wurde zur Vervollständigung der sozialen Indikatoren das gleiche Vorgehen wie bei der Vervollständigung der ökologischen Indikatoren verwendet (vgl. Abbildung 5.1). Die fehlenden Indikatorwerte auf Länderebene wurden dazu wieder mit Hilfe des Durchschnittswerts dieses Indikators der Länder der gleichen geografischen Region berechnet.



Tabelle 5.2: Überblick über die Indikatoren zur Quantifizierung der Ausprägungen der sozialen Risikokriterien

Risikokriterium	Indikator	Granularität	Vollständigkeit	Jahr	Quelle
Soziale Selbstverpflichtung (C <sub>311</sub> )	Number of important ilo conventions ratification [Anzahl]	Land	89,9%	2014	ILO (2015a)
Kinder- und Zwangsarbeit (C <sub>321</sub> )	Child Labour 2012 score [Punkte]	Land	94,7%	2012	Maplecroft (2012)
	Forced or Involuntary Labour 2012 score [Punkte]	Land	94,7%	2012	Maplecroft (2012)
Arbeitsschutz-, -gesundheit und -sicherheit (C <sub>322</sub> )	Health and Safety Risk Index [Punkte]	Land	95,2%	2012	Maplecroft (2012)
Arbeitslohn und -zeit (C <sub>323</sub> )	GDP per capita [\$]	Land	94,7%	2012	Weltbank (2014)
	Distribution of family income – GINI Index [0;1]	Land	72,4%	20xx	CIA (2014)
Bildung der Mitarbeiter (C <sub>324</sub> )	School life expectancy, primary to tertiary, both sexes [Jahre]	Land	88,3%	1999-2014	UNESCO (2015)
	Total net enrolment ratio in primary education [Jahre]	Land	82,4%	1999-2014	UNESCO (2015)
	Literacy rate [%]	Land	98,4%	1980-2012	CIA (2014)
Beschäftigungsverhältnis (C <sub>325</sub> )	Working Conditions Index [Punkte]	Land	94,7%	2012	Maplecroft (2012)
Diskriminierung (C <sub>326</sub> )	Ratio of female to male primary enrollment [%]	Land	93,6%	1999-2014	UNESCO (2015)
	Ratio of female to male secondary enrollment [%]	Land	91,5%	1999-2014	UNESCO (2015)
	Ratio of female to male Gross National Income (GNI) [%]	Land	87,8%	2013	UN (2014)
	Proportion of seats held by women in national parliament [%]	Land	90,4%	2013	Weltbank (2014)
Vereinigungsfreiheit (C <sub>327</sub> )	Freedom of Association and Collective Bargaining Score [Punkte]	Land	94,7%	2012	Maplecroft (2012)
Gesellschaftliche Verantwortung (C <sub>332</sub> )	Human Development Index [0;1]	Land	91,5%	2012	Weltbank (2014)

Die Überführung der Länderindikatoren in Land-Sektor-Indikatoren im Sinne einer Extrapolation erfolgte im Gegensatz zum Verfahren der ökologischen Indikatoren mit Hilfe des Arbeitsstundenmodells von Benoît Norris, Cavan und Norris (2012). Die grundlegende Annahme dieses Modells ist, dass eine Zunahme der Arbeitsintensität (Arbeitsstunden / Dollar Wertschöpfung) zu einer entsprechenden Zunahme der Ausprägung eines Risikokriteriums führt und umgekehrt. Zur Berechnung der Arbeitsintensität wurden zunächst die land-sektor-spezifischen (LSS) Arbeitsstunden pro Jahr berechnet, indem die LSS Entlohnung von Mitarbeitern pro Jahr durch das LSS Einkommen pro Stunde dividiert wurde. Die sich daraus ergebenden Arbeitsstunden pro Jahr wurden dann durch die LSS Wertschöpfung eines Jahres dividiert, um die LSS Arbeitsstunden pro Dollar Wertschöpfung zu erhalten – die Arbeitsintensität. Da an dieser Stelle ein linearer Zusammenhang zwischen der normierten sozialen Risikoausprägung und der Arbeitsintensität angenommen wurde, konnten die LSS Indikatoren durch eine einfache Multiplikation der Indikatoren auf Landesebene mit der LSS Arbeitsintensität berechnet werden. Abschließend wurden die daraus resultierten Land-Sektor-Indikatoren wieder mit Hilfe einer linearen Skalentransformation und indikatorspezifischen Schwellenwerten oder in seltenen Fällen mit Hilfe einer Sigmoid-Funktion und indikatorspezifischen Schwellenwerten auf einer Skala von 0 bis 10 normiert und je Kriterium gleichgewichtet aggregiert.

Mit Ausnahme des LSS Einkommens pro Stunde entstammten die notwendigen Daten für diese Berechnungen der Wertschöpfungsmatrix bzw. der Primärinputs der multiregionalen Input-Output-Tabelle EORA. Die LSS Einkommen pro Stunde kamen von der Laborsta Datenbank der ILO, der Organisation der Vereinten Nationen für industrielle Entwicklung sowie aus Statistiken der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (ILO 2015b; OECD 2015; UNIDO 2015).

## 5.1.2 Entwicklung einer Präferenzfunktion mit Nachhaltigkeitsexperten der Automobilindustrie

In diesem Abschnitt wird untersucht, inwiefern neben der Variablen „Risiko“ auch die Variable „Vergabevolumen“ die Ausprägungen von der abhängigen Variablen „Gesamtrisiko“ beeinflusst. Mit dem Ziel, eine Präferenzfunktion in Abhängigkeit von den unabhängigen Variablen „Risiko“ und „Vergabevolumen“ zur Bestimmung des Gesamtrisikos abzuleiten und in das Risikomodell zu integrieren, wurde mit den Daten einer Befragung von Nachhaltigkeitsexperten zur Bestimmung der Ausprägungen der Variable „Gesamtrisiko“ eine Regressionsanalyse durchgeführt. Im Folgenden soll zunächst das Experiment beschrieben werden, bevor die eigentliche Untersuchung des Zusammenhangs am Beispiel der Automobilindustrie im darauffolgenden Abschnitt 5.1.2.2 vorgestellt wird.

### 5.1.2.1 Erläuterung des allgemeinen Experiments

Die Untersuchung des Zusammenhangs der beiden unabhängigen Variablen „Risiko“ und „Vergabevolumen“ und der abhängigen Variablen „Gesamtrisiko“ erfolgte in fünf Schritten (vgl. Abbildung 5.2). Im ersten Schritt wurde zunächst die zu verwendende Fuzzy-Skala zur Erfassung der Experteneinschätzungen festgelegt und das Experiment selbst aufgebaut. Das Experiment diente dazu die fehlenden Daten der abhängigen Variablen „Gesamtrisiko“ zu erfassen, um darauf aufbauend eine Regressionsanalyse durchführen und idealerweise eine Präferenzfunktion für das Risikomodell ableiten zu können. Das Experiment setzte sich aus einer Menge unterschiedlicher Kombinationen linguistischer Ausprägungen der Variable „Risiko“ (vgl. Tabelle 5.3) und diskreten Vergabevolumina zusammen. Die abzufragenden Kombinationen sollten idealerweise das volle Spektrum aller möglichen Kombinationen dieser zwei Variablen abdecken, um alle möglichen Gesamtrisiken erfassen zu können. Gleichzeitig sollte aber die Dauer zur Beantwortung der Befragung berücksichtigt werden.

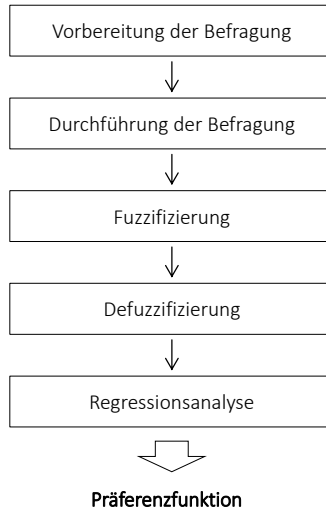


Abbildung 5.2: Aufbau des Experiments zur Untersuchung des Zusammenhangs aus Risiko und Vergabevolumen

Im zweiten Schritt wurden die ausgewählten Nachhaltigkeitsexperten zunächst darüber informiert, dass die Ergebnisse zur präziseren Risikoabschätzung in das Risikomodell integriert werden sollen. Anschließend fand die Befragung mit den Nachhaltigkeitsexperten zur Bestimmung der Ausprägungen der Variable „Gesamtrisiko“ in Abhängigkeit von verschiedenen Kombinationen der Variablen „Risiko“ und „Vergabevolumen“ statt. Bei dieser Befragung wurden die verschiedenen Kombinationen, zunächst nach der Variable „Risiko“ sortiert, durchlaufen. Um Inkonsistenzen zu vermeiden, wurden die Ergebnisse anschließend in zwei Schritten direkt validiert und gegebenenfalls korrigiert. Dazu wurden die Daten jeweils nach der Variable „Vergabevolumen“ und dann nach der Variable „Gesamtrisiko“ sortiert und durch den Experten jeweils validiert. Falls hierbei Inkonsistenzen auffallen, mussten diese direkt nach dem jeweiligen Validierungsschritt durch den Experten korrigiert werden. Der jeweils andere Validierungsschritt musste infolgedessen (erneut) durchgeführt werden.

Im dritten Schritt wurden neben den erfassten linguistischen Experteneinschätzungen („Gesamtrisiko“) auch die gegebenen linguistischen Risikowerte („Risiko“) mit Hilfe von Fuzzy-Äquivalenten in Dreiecks-Fuzzy-Zahlen (DFZ) überführt (vgl. Tabelle 5.3). Im vorletzten Schritt wurden die aggregierten DFZ der Variable „Gesamtrisiko“ und die nun fuzzifizierten Ausprägungen der Variable „Risiko“ in scharfe Zahlen überführt. Dazu wurde pro DFZ das geometrische Mittel verwendet. Sei  $\tilde{M} = (m^-, m, m^+)$  eine DFZ, dann ließ sich der defuzzifizierte Wert bzw. das Gesamtrisiko  $M$  mit der Gleichung 5.1 berechnen.

$$M = (m^- \cdot m \cdot m^+)^{\frac{1}{3}} \quad (5.1)$$

Abschließend wurde mit den ermittelten Ausprägungen der Variablen „Risiko“, „Vergabevolumen“ und „Gesamtrisiko“ eine Regressionsanalyse durchgeführt. Da ein Zusammenhang der Variablen „Risiko“, „Vergabevolumen“ und „Gesamtrisiko“ erkennbar war, wurde eine Präferenzfunktion abgeleitet und in das Risikomodell integriert.

### 5.1.2.2 Entwicklung einer Präferenzfunktion

Zur Untersuchung des Einflusses der beiden unabhängigen Variablen „Vergabevolumen“ und „Risiko“ auf die abhängige Variable „Gesamtrisiko“ und die Ermittlung einer Präferenzfunktion wurde zunächst die zu verwendende Fuzzy-Skala zur Überführung der linguistischen Ausprägungen der Variablen „Risiko“ und „Gesamtrisiko“ in DFZ festgelegt. Die Fuzzy-Äquivalente sind in Tabelle 5.3 zu finden.

Um Ausprägungen der Variablen „Gesamtrisiko“ für die Regressionsanalyse bereitzustellen wurde anschließend das beschriebene Experiment mit zehn Nachhaltigkeitsexperten der Automobilindustrie aus den Bereichen strategischer Einkauf (fünf Experten), operativer Rohstoffeinkauf (drei Experten) und Produktentwicklung (zwei Experten) durchgeführt. Die Befragung wurde aus jeweils fünf Ausprägungsmöglichkeiten der unabhängigen Variablen „Risiko“

und „Vergabevolumen“ zusammengestellt, was somit zu 25 unterschiedlichen Kombinationen pro Experten führte. Für die Variable „Risiko“ wurden die fünf Risikostufen „sehr niedriges Risiko“, „niedriges Risiko“, „mittleres Risiko“, „hohes Risiko“ und „sehr hohes Risiko“ der Tabelle 5.3 ausgewählt. Für die möglichen Werte der Variablen „Vergabevolumen“ wurden fünf Vergabevolumina des Bereichs 0,1 Millionen € bis 1000 Millionen € verwendet. Aus der Befragung der zehn Nachhaltigkeitsexperten resultierten im zweiten Schritt des beschriebenen Vorgehens somit 250 linguistische Experteneinschätzungen. Die Kombinationen des Fragebogens samt den Experteneinschätzungen sind im Anhang in Tabelle A.3 zu finden.

Tabelle 5.3: Fuzzy-Äquivalente der linguistischen Bewertungsmöglichkeiten (vgl. Wang et al. 2012)

Qualitative Beschreibung der möglichen empfundenen (Gesamt-)Risiken	Dreicks-Fuzzy-Zahl
Sehr niedriges (Gesamt-)Risiko	(0,1 ; 1,0 ; 2,0)
Ziemlich niedriges (Gesamt-)Risiko	(1,0 ; 2,0 ; 3,0)
Niedriges (Gesamt-)Risiko	(2,0 ; 3,0 ; 4,0)
Eher niedriges (Gesamt-)Risiko	(3,0 ; 4,0 ; 5,0)
Mittleres (Gesamt-)Risiko	(4,0 ; 5,0 ; 6,0)
Eher hohes (Gesamt-)Risiko	(5,0 ; 6,0 ; 7,0)
Hohes (Gesamt-)Risiko	(6,0 ; 7,0 ; 8,0)
Ziemlich hohes (Gesamt-)Risiko	(7,0 ; 8,0 ; 9,0)
Sehr hohes (Gesamt-)Risiko	(8,0 ; 9,0 ; 10,0)

Nachdem im dritten Schritt diese linguistischen Einschätzungen der Variablen „Gesamtrisiko“ aller Experten und die gegebenen linguistischen Ausprägungen der Variable „Risiko“ mit Hilfe der Fuzzy-Äquivalente aus Tabelle 5.3 in DFZ überführt wurden, fand im fünften Schritt die Defuzzifizierung dieser DFZ mit Hilfe der Gleichung 5.1 statt. Die Ergebnisse sind im Anhang in Tabelle A.4 dargestellt. Anhand dieser Ergebnisse kann bereits festgestellt werden, dass das Vergabevolumen gemäß den befragten zehn Experten einen, wenn auch teilweise nur geringfügigen, Einfluss auf das Gesamtrisiko hat: Je höher das Vergabevolumen, desto höher das Gesamtrisiko.

Im Gegensatz zu einer direkten Zuordnung zu einem diskreten Risikowert führt die Anwendung der Fuzzy-Set-Theorie bzw. des geometrischen Mittels zu niedrigeren Ausprägungen der Variablen „Risiko“ und „Gesamtrisiko“. Insbesondere bei einem „sehr niedrigem Risiko“ tritt ein verstärkter Effekt aufgrund des unteren Werts des Fuzzy-Äquivalents auf. Anstelle des geometrischen Mittels wird in der wissenschaftlichen Literatur auch häufig der geometrische Schwerpunkt zur Defuzzifizierung verwendet. Im Fall von Dreiecks-Fuzzy-Zahlen wie in dieser Arbeit (vgl. Tabelle 5.3) entspricht der geometrische Schwerpunkt fast immer dem Durchschnitt des unteren, mittleren und oberen Werts der DFZ. Im Vergleich dazu hat die Anwendung des geometrischen Mittels die Ausprägungen der beiden Risiko-Variablen um 0,4% bei „sehr hohem Risiko“, bis 3,9% bei „niedrigem Risiko“ verringert. Nur im Fall der Ausprägung „sehr niedriges Risiko“ reduziert sich das Risiko um 43,4%. In den Fachgesprächen mit den Nachhaltigkeitsexperten stellte sich heraus, dass in der Praxis Vergaben mit sehr niedrigem Risiko vernachlässigt werden. Von daher deckte sich diese Erkenntnis sehr gut mit den Ergebnissen der berechneten defuzzifizierten Risikoausprägungen. Zusammenfassend schien somit die Defuzzifizierung mit Hilfe des geometrischen Mittels die Realität besser abzubilden als die Anwendung des geometrischen Schwerpunkts.

Im fünften und letzten Schritt wurden die 250 Datenpunkte der Tabelle A.4 zunächst unter Annahme eines linearen Zusammenhangs in ein dreidimensionales Diagramm gezeichnet, um sich einem geeigneten Grundmodell bzw. einer geeigneten Basisfunktion zur Durchführung der Regressionsanalyse zu nähern. Dabei fiel schnell auf, dass ein lineares Modell den Zusammenhang nur unzureichend abbilden würde. Bei genauerer Betrachtung der Tabelle A.4 und der grafischen Analyse der Datenpunkte konnte ein nichtlinearer Zusammenhang festgestellt werden, was dazu führte, dass ein nichtlineares bzw. logarithmisches Modell zur Schätzung der Präferenzfunktion angenommen wurde. Wie den Datenpunkten in Tabelle A.4 entnommen werden kann, nimmt das empfundene Gesamtrisiko der Experten ab Vergabevolumina von 1 Millionen € oder darunter sehr stark ab. Um diesen nichtlinearen Zusammenhang abzubilden, wurde die Logarithmus-Funktion verwendet. Des Weiteren konnte ein leichter nichtlinearer Zusammenhang zwischen den Variablen

„Risiko“ und „Gesamtrisiko“ festgestellt werden, weshalb die Variable „Risiko“ mit einem zu schätzenden Koeffizienten als Exponenten versehen wurde. Sei  $X$  das „Risiko“ und  $y$  das „Vergabevolumen“, dann folgt aufbauend auf den beschriebenen Erkenntnissen die Funktion 5.2, die als Basisfunktion der Regressionsanalyse diente. Die Parameter  $a$ ,  $b$  und  $c$  stellten hierbei die mit Hilfe der Regressionsanalyse zu schätzenden Koeffizienten dar.

$$z' = p'(x, y) = a \cdot \log(b \cdot y) \cdot x^c \quad (5.2)$$

Die anschließende nichtlineare multivariate Regressionsanalyse erfolgte in der Curve Fitting Toolbox, einer integrierten Erweiterung der Software MATLAB. Grundsätzlich verwendet die Curve Fitting Toolbox zur Regressionsberechnung immer die nichtlineare Methode der kleinsten Quadrate. Zur Lösung dieser Methode bietet die Curve Fitting Toolbox mehrere Regressionsalgorithmen und Verfahren zur robusten Regression an. In diesem Fall wurden der Levenberg-Marquardt-Algorithmus zur Anpassung der Koeffizienten und die Median-Regression zur robusten Regression verwendet. Aufbauend auf der Basisfunktion 5.2 konnten somit die Parameter  $a$ ,  $b$  und  $c$  bestimmt werden, woraus die finale Präferenzfunktion 5.3 resultierte.

$$z' = p'(x, y) = 0,03213 \cdot \log(6,778 \cdot 10^7 \cdot y) \cdot x^{1,194} \quad (5.3)$$

Zur Veranschaulichung ist das dreidimensionale Diagramm der Präferenzfunktion samt der Datenpunkte für den Bereich 5 bis 1000 Millionen € in Abbildung 5.3 und für den Bereich 0 bis 5 Millionen € in Abbildung 5.4 dargestellt. Wie den beiden Abbildungen entnommen werden kann, bildet die ermittelte Präferenzfunktion die zuvor beschriebenen Annahmen zur Aufstellung der Basisfunktion gut ab. In beiden Abbildungen ist eindeutig erkennbar, dass die Präferenzfunktion einen nichtlinearen Zusammenhang der Variablen „Risiko“ und „Gesamtrisiko“ darstellt. Außerdem ist in Abbildung 5.4 zu erkennen, dass die ermittelte Präferenzfunktion ebenfalls die starke Abnahme des Gesamtrisikos bei Vergabevolumen von unter 1 Millionen € abbildet.



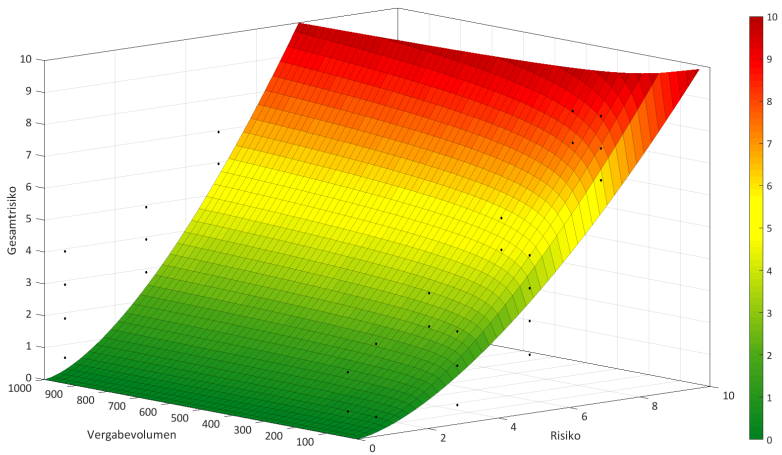


Abbildung 5.3: Regressionsanalyse des Gesamtrisikos einer Vergabe bezogen auf das Risiko der Herkunft und des Wirtschaftssektors des Lieferanten sowie das Vergabevolumen. Dargestellt ist der Bereich 5 bis 1000 Millionen €

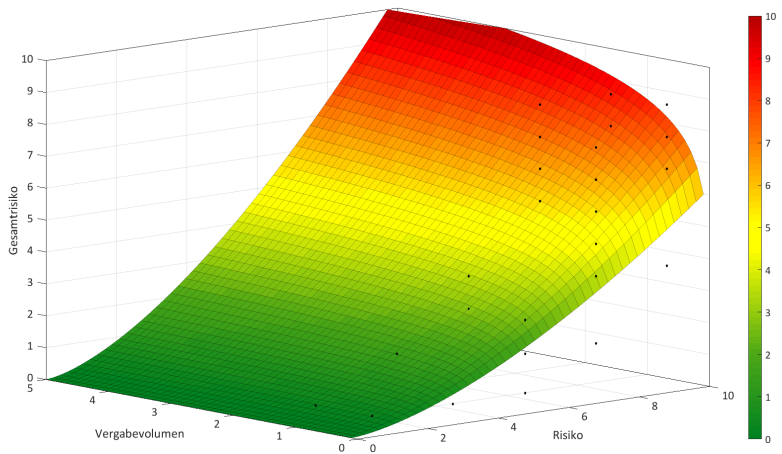


Abbildung 5.4: Regressionsanalyse des Gesamtrisikos einer Vergabe bezogen auf das Risiko der Herkunft und des Wirtschaftssektors des Lieferanten sowie das Vergabevolumen. Dargestellt ist der Bereich 0 bis 5 Millionen €

Diese Tatsachen plausibilisieren die ermittelte Funktion, sagen aber nichts über die Qualität der nichtlinearen Approximation aus. Hier muss die Güte einer Funktion berücksichtigt werden. Dazu bietet MATLAB vier Parameter an. Es können die Summe aller nicht erklärten quadrierten Abweichungen (Residual Sum of Squares = RSS), der mittlere quadratische Prognosefehler (Root Mean Squared Error = RMSE), das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) und das angepasste Bestimmtheitsmaß zur Überprüfung der Anpassungsgüte verwendet werden.

Das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  ist eine Kennzahl, die die Varianz der abhängigen Variablen durch die unabhängigen Variablen erklärt (vgl. Gabler 2013). Es kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Je höher der Wert, desto besser wird die abhängige Variable durch das Regressionsmodell abgebildet. Eine Erweiterung ist das angepasste bzw. adjustierte Bestimmtheitsmaß  $R^2$ , das zusätzlich die Stichprobengröße und die Anzahl der unabhängigen bzw. erklärenden Variablen berücksichtigt. Das adjustierte Bestimmtheitsmaß  $R^2$  kann maximal den Wert 1 annehmen und auch negativ sein. Auch hier gilt: Je höher der Wert, desto besser wird die abhängige Variable durch das Regressionsmodell abgebildet.

Der Parameter RSS misst die Summe aller quadrierten Residuen. Die Wurzel aus dem Durchschnitt dieser quadrierten Residuen der Stichprobe ergibt den mittleren quadratischen Prognosefehler RMSE. Beide Parameter spiegeln den Unterschied zwischen den empirisch erfassten Datenpunkten und den Datenpunkten des Prognosemodells wider. Ziel ist es deshalb diesen Unterschied zu minimieren. Je kleiner der Parameter ist, desto geringer ist die Abweichung, was eine bessere Anpassung der Ebene des Prognosemodells an die empirischen Daten bedeutet (vgl. Weigand 2009).

Wie den Ergebnissen der Güte dieses Regressionsmodells in Tabelle 5.4 entnommen werden kann, scheint das Regressionsmodell die abhängige Variable gut abzubilden. Das Bestimmtheitsmaß von 0,85 spricht für die Annahme des nichtlinearen Grundmodells aus Gleichung 5.2 und somit für eine nichtlineare Abhängigkeit des Gesamtrisikos vom Vergabevolumen und dem Risiko.

Tabelle 5.4: Anpassungsgüte der nichtlinearen Approximation an die erfassten Datenpunkte

Parameter	Anpassungsgüte
Bestimmtheitsmaß $R^2$	0,8525
Angepasstes Bestimmtheitsmaß $R^2$	0,8513
RSS	429,4
RMSE	1,31

Die relativ hohen Parameter RSS und RMSE lassen sich mit Hilfe einer Residualanalyse leicht erklären. Dabei fällt auf, dass bei Vergabevolumina von 1000 Millionen € und einem sehr hohen Risiko sehr hohe quadratische Abweichungen bestehen. In diesem Fall gibt das Regressionsmodell Gesamtrisiken von 12 Punkten und mehr aus. Da die Risiko-Skala aber nur von 0 bis 10 reicht, muss die ermittelte Präferenzfunktion vor Integration in das Risikomodell angepasst werden. Dies ließ sich leicht mit Hilfe der genannten Schranken realisieren. Die zu integrierende Präferenzfunktion, unter Berücksichtigung der unteren und oberen Schranke, ist in Gleichung 5.4 formuliert. Die entsprechende dreidimensionale Darstellung ist in Abbildung 5.5 abgebildet. Die erneute Berechnung der beiden Güten führt dann zu einer Summe aller nicht erklärten quadrierten Abweichungen RSS von 346,7 und einem mittleren quadratischen Prognosefehler von 1,18.

$$z = p(x, y) = \begin{cases} 0 & , \text{ falls } p'(x, y) < 0 \\ 0,03213 \cdot \log(6,778 \cdot 10^7 \cdot y) \cdot x^{1,194} & , \text{ falls } 0 < p'(x, y) < 10 \\ 10 & , \text{ falls } p'(x, y) > 10 \end{cases} \quad (5.4)$$

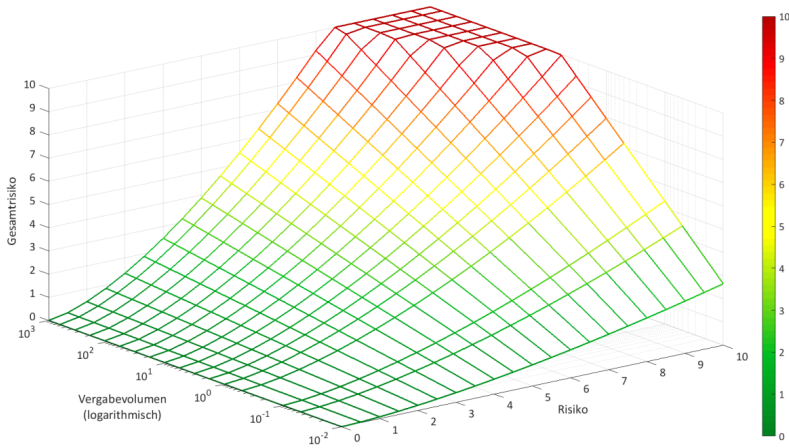


Abbildung 5.5: Darstellung der zu integrierenden Präferenzfunktion in das Risiko-Modell (logarithmisch)

### 5.1.3 Bestimmung globaler Gewichtungen der Risikokriterien

Wie in Abschnitt 5.1.1 dargestellt, konnten im Rahmen der Recherchen nicht für alle ökologischen und sozialen Kriterien geeignete Risikoindikatoren identifiziert werden. Da für das Leistungsmodell Gruppengewichtungen für alle Kriterien, Bereiche und Dimensionen der Kriterien-Hierarchie aus Abbildung 3.2 berechnet werden (vgl. Abschnitt 6.3), soll an dieser Stelle angenommen werden, dass die Gewichtungsergebnisse dieser Berechnungen auch auf die eigentlich gleiche, aber um wenige Kriterien reduzierte, Kriterien-Hierarchie des Risikomodells übertragbar ist.<sup>5</sup> Die Anwendung und die Ergebnisse des bereinigten FAHP für alle Kriterien, Bereiche und Dimensionen der Kriterien-Hierarchie aus Abbildung 3.2 sind im Zuge der Erläuterungen des Leistungsmodells ausführlich in Abschnitt 6.3 beschrieben. Um die Gruppengewichtungen der Kriterien des Risikomodells zu bestimmen, werden die jeweiligen regionalen Kriteriengewichtungen aus Abschnitt 6.3 verwendet und mit Hilfe einer linearen Skalentransformation zunächst jeweils auf regionaler Hierar-

<sup>5</sup> Unter Gruppengewichtungen werden in dieser Arbeit Kriteriengewichtungen verstanden, die auf der Befragung mehrerer Experten beruhen.

chiefebene (Ebene 3) und dann auf globaler Hierarchieebene (Ebene 2) normiert. Außerdem werden in gleicher Weise die Individualgewichtungen<sup>6</sup> der 10 befragten Nachhaltigkeitsexperten bestimmt und anschließend die Minima und Maxima dieser Expertengewichtungen ermittelt, um darauf aufbauend mehrere Szenarien zur Überprüfung der Sensitivitäten des Risikomodells entwickeln zu können. Die Ergebnisse der Gruppen- und Individualgewichtungen sind in Tabelle 5.5 bzw. in der Abbildung 5.6 und Abbildung 5.7 dargestellt.

---

<sup>6</sup> Unter Individualgewichtungen werden in dieser Arbeit Kriteriengewichtungen verstanden, die auf der Befragung einzelner Experten beruhen.

Tabelle 5.5: Globale Gruppen- und Individualgewichtungen aller Risikokriterien sowie die Maxima und Minima aller Individualgewichtungen

Risikokriterium	Gruppengewichtungen [%]		Globale Individualgewichtungen [%]											
	Global	Regional	Max	Min	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
	Ökologische Selbstverpflichtung (C <sub>2,11</sub> ) Material (C <sub>2,21</sub> ) Energie (C <sub>2,22</sub> ) Emissionen (C <sub>2,23</sub> ) Wasser (C <sub>2,24</sub> ) Abfall (C <sub>2,25</sub> )	6,6	12,7	18,7	2,2	3,6	6,0	3,5	13,9	6,4	10,4	18,7	2,2	2,4
Soziale Selbstverpflichtung (C <sub>3,11</sub> ) Kinder- und Zwangsarbeit (C <sub>3,21</sub> ) Arbeitsschutz, -gesundheit und -sicherheit (C <sub>3,22</sub> ) Arbeitslohn und -zeit (C <sub>3,23</sub> ) Bildung der Mitarbeiter (C <sub>3,24</sub> ) Beschäftigungsverhältnis (C <sub>3,25</sub> ) Diskriminierung (C <sub>3,26</sub> ) Vereinigungsfreiheit (C <sub>3,27</sub> ) Gesellschaftliche Verantwortung (C <sub>3,28</sub> )	5,9	12,3	6,4	3,5	5,3	5,7	3,5	5,8	5,8	6,4	5,1	4,3	4,8	5,9
	7,3	15,2	10,4	3,1	10,4	3,1	6,9	7,2	7,0	6,7	7,8	7,2	7,2	6,8
	7,0	14,6	9,0	5,9	9,0	5,9	6,6	7,0	6,7	6,5	7,5	7,0	7,0	6,6
	5,9	12,3	7,4	5,8	7,4	5,9	6,0	6,3	6,1	5,8	6,8	6,3	6,3	5,9
	3,8	7,9	6,1	2,5	2,5	5,1	5,4	5,6	5,4	5,2	6,1	5,6	5,6	5,3
	4,8	10,0	6,1	4,6	5,3	4,6	5,4	5,6	5,4	5,2	6,1	5,6	5,6	5,3
	4,3	9,0	5,1	2,7	3,4	5,1	2,7	2,9	2,8	2,7	3,1	2,9	2,9	2,7
	3,9	8,1	5,1	2,0	2,2	5,1	2,1	2,2	2,1	2,0	2,3	2,2	2,2	2,0
	5,1	10,4	9,3	2,3	2,3	7,4	9,3	5,4	6,7	7,4	3,0	6,9	6,2	7,3

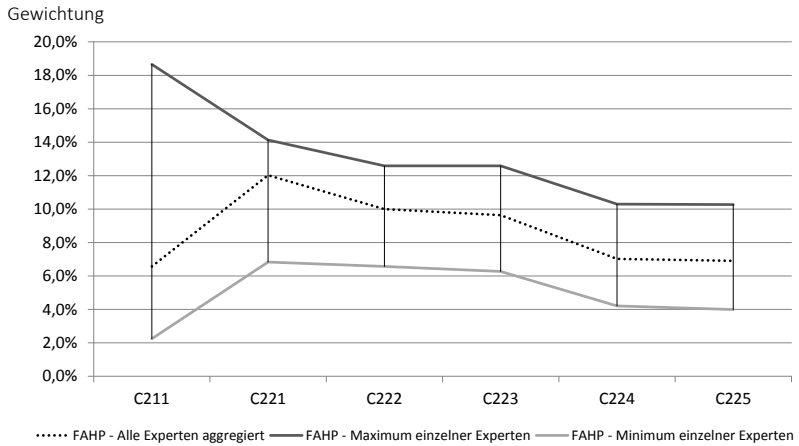


Abbildung 5.6: Spannweiten der maximalen und minimalen ökologischen Individualgewichtungen einzelner Experten im Vergleich zu den Gruppengewichtungen aller Experten

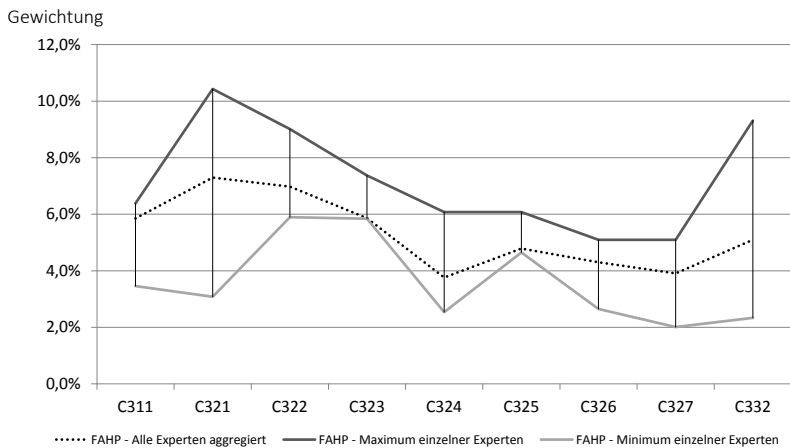


Abbildung 5.7: Spannweiten der maximalen und minimalen sozialen Individualgewichtungen einzelner Experten im Vergleich zu den Gruppengewichtungen aller Experten

### 5.1.4 Auswahl einer multiregionalen Input-Output-Tabelle

In der Praxis fehlen fokalen Unternehmen häufig Informationen über die vorgelagerte Lieferkette. In einigen Fällen sind zwar die Lieferanten auf der zweiten Wertschöpfungsstufe noch bekannt, aber spätestens ab der dritten Wertschöpfungsstufe nimmt das Wissen der Automobilhersteller über die vorgelagerten Lieferanten sehr stark ab. Da gerade hier ökologische und soziale Missstände zu erwarten sind und das Risikomodell trotz des fehlenden Wissens eine möglichst hohe Transparenz der vorgelagerten Lieferkette bereitstellen soll, wird eine multiregionale Input-Output-Tabelle in das Risikomodell integriert. Wie bereits im Abschnitt 4.1.3 erläutert, können mit Hilfe von MRIO-Tabellen durchschnittlich verteilte Wertschöpfungsstufen unter Berücksichtigung der vorhandenen Länder und Sektoren der MRIO-Tabelle modelliert werden. Aufgrund des globalen Beschaffungsmarktes können in allen Ländern der Welt ökologische und soziale Risiken bestehen. Hinsichtlich dieser Risiken bestehen zwischen den Ländern und auch Sektoren sehr große Unterschiede. Vor diesem Hintergrund eignen sich MRIO-Tabellen besonders gut, da sie die regionalen und sektoralen Unterschiede gut abbilden können. Die derzeit verfügbaren multiregionalen Input-Output-Tabellen sind in Tabelle 5.6 aufgeführt. Aufgrund der Aktualität und der großen Anzahl verfügbarer Länder wurde Eora als Basis für das Risikomodell ausgewählt.<sup>7</sup> Wie bereits im Rahmen der Erläuterung der Risikokriterien und -ausprägungen in Abschnitt 5.1.1 erwähnt, wurden neben den monetären Flüssen aus der Input-Output-Tabelle Eora auch die umweltökonomischen Erweiterungen zu CO<sub>2</sub>e und Energie in das Risikomodell integriert.

---

<sup>7</sup> Eine Übersicht über die verfügbaren Länder und Sektoren von Eora ist im Anhang A in Tabelle A.1 (Sektoren) und Tabelle A.2 (Länder) zu finden.



Tabelle 5.6: Überblick über existierende multiregionale Input-Output-Tabellen (Zimmer, Fröhling und Schultmann 2016)

Name	Anzahl Länder	Anzahl Sektoren	Jahre	Quelle
Eora	189 + Rest der Welt	25	1990 – 2011	(Lenzen et al. 2013)
EXIOBASE	43 + Rest der Welt	129	2000, 2007	(Tukker et al. 2013)
GRAM	53 + 2 Regionen	48	1995 – 2005	(Wiebe et al. 2012)
GTAP	140	57	1995, 1997, 2001, 2004, 2007, 2011	(Narayanan et al. 2012)
WIOD	40 + Rest der Welt	35	1995 – 2011	(Timmer et al. 2012)

## 5.2 Methodik zur Berechnung ökologischer und sozialer Risiken von Lieferanten

Die Berechnung der ökologischen und sozialen Risiken von Lieferanten variiert je nach Kenntnisstand der vorgelagerten Lieferkette. Aus diesem Grund soll im folgenden Abschnitt zunächst die Berechnungsmethodik im einfachsten Fall – bei vollständig bekannter vorgelagerter Lieferkette – erläutert werden, bevor in den anschließenden beiden Abschnitten die Berechnungsmethodik zur Abschätzung ökologischer und sozialer Risiken bei vollständig unbekannter und abschließend bei teilweise bekannter vorgelagerter Lieferkette beschrieben wird.

Ein Überblick über die verwendeten Indizes, Variablen und Parameter zur Modellierung geben Tabelle 5.7 und Tabelle 5.8.

Tabelle 5.7: Überblick über die verwendeten Indizes des Risikomodells

Index	Bezeichnung
$c$	Kriterium
$i (= j)$	Land-Sektor-Kombination, Produkt aus Industrie eines Landes
$j (= i)$	Land-Sektor-Kombination, Produkt aus Industrie eines Landes
$l$	Lieferantenstandort
$t$	Wertschöpfungsstufe (tier)

Tabelle 5.8: Überblick über die verwendeten Parameter und Variablen des Risikomodells

Notation	Einheit	Bezeichnung
$a_{jt} \in \vec{a}_{jt} \in A^{t-1}$	$\frac{\text{€}}{\text{€}}$	Input-Koeffizient: Menge des benötigten direkten monetären Inputs des Produkts $i$ der Wertschöpfungsstufe $t$ zur Herstellung einer Einheit des Produkts $j$ für den Endabnehmer
$b$	#	Durchschnittliche Anzahl an Sublieferanten pro Lieferant
$f_j$	€	Endnachfrage des fokalen Unternehmens nach Produkten des Sektors $j$
$g_c^{\text{Glob}} \in \vec{g}^{\text{Glob}}$	%	Globale Gruppengewichtung des Kriteriums $c$
$g_c^{\text{Reg}} \in \vec{g}^{\text{Reg}}$	%	Regionale Gruppengewichtung des Kriteriums $c$
$m$	#	Anzahl der ökologischen und sozialen Kriterien
$m^o$	#	Anzahl der ökologischen Kriterien
$n$	#	Anzahl der Land-Sektor-Kombinationen der MRIO-Tabelle
$o$	#	Anzahl der Lieferanten einer Lieferkette
$O_t^{\text{Lief}}$	#	Tatsächliche Anzahl der Lieferanten der Wertschöpfungsstufe $t$
$O_t^{\text{Mod}}$	#	Anzahl der zu modellierenden Lieferanten der Wertschöpfungsstufe $t$
$q$	#	Anzahl der Wertschöpfungsstufen
$r_{cjt}^{\text{Lief}} \in \vec{r}_{cjt}^{\text{Lief}}$	Punkte	Mit Hilfe der Präferenzfunktion berechnetes Risiko des Kriteriums $c$ des Lieferantenstandorts $l$ der Wertschöpfungsstufe $t$ , das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht
$r_{cjt}^{\text{Lief, Sort}} \in \vec{r}_{cjt}^{\text{Lief, Sort}}$	Punkte	Absteigend sortiertes und mit Hilfe der Präferenzfunktion berechnetes Risiko des Kriteriums $c$ des Lieferantenstandorts $l$ der Wertschöpfungsstufe $t$ , das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht
$r_{cjt}^{\text{Stufe}} \in \vec{r}_{cj}^{\text{Stufe}}$	Punkte	Risiko des Kriteriums $c$ der Wertschöpfungsstufe $t$ , das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht
$r_{cjl}^{\text{Lief, Alle}} \in \vec{r}_{cj}^{\text{Lief, Alle}}$	Punkte	Mit Hilfe der Präferenzfunktion berechnetes Risiko des Kriteriums $c$ des Lieferantenstandorts $l$ einer gesamten Lieferkette, das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht

## 5.2 Methodik zur Berechnung ökologischer und sozialer Risiken von Lieferanten

Notation	Einheit	Bezeichnung
$r_{cjl}^{\text{Lief, Alle, Sort}} \in \vec{r}_{cj}^{\text{Lief, Alle, Sort}}$	Punkte	Absteigend sortiertes und mit Hilfe der Präferenzfunktion berechnetes Risiko des Kriteriums $c$ des Lieferantenstandorts $l$ einer gesamten Lieferkette, das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht
$r_{cj}^{\text{Kette}}$	Punkte	Risiko des Kriteriums $c$ einer gesamten Lieferkette, das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht
$r_{jlt}^{\text{Lief, Agg}} \in \vec{r}_{jt}^{\text{Lief, Agg}}$	Punkte	Aggregiertes Risiko des Lieferantenstandorts $l$ das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht
$r_{jt}^{\text{Stufe, Agg}} \in \vec{r}_j^{\text{Stufe, Agg}}$	Punkte	Aggregiertes Risiko der Wertschöpfungsstufe $t$ , das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht
$r_j^{\text{Kette, Agg}} \in \vec{r}^{\text{Kette, Agg}}$	Punkte	Aggregiertes Risiko einer gesamten Lieferkette, das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht
$r_{jlt}^{\text{Öko}}$	Punkte	Mit Hilfe der Präferenzfunktion berechnetes und aggregiertes ökologisches Risiko des Lieferantenstandorts $l$ der Wertschöpfungsstufe $t$ , das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht
$r_{jlt}^{\text{Soz}}$	Punkte	Mit Hilfe der Präferenzfunktion berechnetes und aggregiertes soziales Risiko des Lieferantenstandorts $l$ der Wertschöpfungsstufe $t$ , das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht
$r_{cjl}^{\text{Mod}} \in \vec{r}_{cjt}^{\text{Mod}}$	Punkte	Mit Hilfe der Präferenzfunktion berechnetes Risiko des Kriteriums $c$ des modellierten Lieferantenstandorts $l$ der Wertschöpfungsstufe $t$ , das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht
$r_{cjl}^{\text{Mod, Sort}} \in \vec{r}_{cjt}^{\text{Mod, Sort}}$	Punkte	Absteigend sortiertes und mit Hilfe der Präferenzfunktion berechnetes Risiko des Kriteriums $c$ des modellierten Lieferantenstandorts $l$ der Wertschöpfungsstufe $t$ , das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht
$r_{cjl}^{\text{Mod, Alle}} \in \vec{r}_{cj}^{\text{Mod, Alle}}$	Punkte	Mit Hilfe der Präferenzfunktion berechnetes Risiko des Kriteriums $c$ des modellierten Lieferantenstandorts $l$ einer gesamten Lieferkette, das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht

## 5 Entwicklung und Anwendung des Risikomodells am Beispiel eines Automobilherstellers

Notation	Einheit	Bezeichnung
$r_{cjl}^{\text{Mod, Alle, Sort}} \in \vec{r}_{cj}^{\text{Mod, Alle, Sort}}$	Punkte	Absteigend sortiertes und mit Hilfe der Präferenzfunktion berechnetes Risiko des Kriteriums $c$ des modellierten Lieferantenstandorts $l$ einer gesamten Lieferkette, das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht
$r_{cjt}^{\text{LS}} \in \vec{r}_{cj}^{\text{LS}}$	Punkte	Mit Hilfe der Präferenzfunktion berechnetes Risiko des Kriteriums $c$ der Land-Sektor-Kombination $i$ der Wertschöpfungsstufe $t$ , das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht
$r_{ijt}^{\text{Öko, LS}} \in \vec{r}_{jt}^{\text{Öko, LS}}$	Punkte	Mit Hilfe der Präferenzfunktion berechnetes aggregiertes ökologisches Risiko der Land-Sektor-Kombination $i$ der Wertschöpfungsstufe $t$ , das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht
$r_{ijt}^{\text{Soz, LS}} \in \vec{r}_{jt}^{\text{Soz, LS}}$	Punkte	Mit Hilfe der Präferenzfunktion berechnetes soziales ökologisches Risiko der Land-Sektor-Kombination $i$ der Wertschöpfungsstufe $t$ , das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht
$r_{cjt} \in \vec{r}_{cj}$	Punkte	Mit Hilfe der Präferenzfunktion berechnetes Risiko des Kriteriums $c$ des (modellierten) Lieferantenstandorts $l$ der Wertschöpfungsstufe $t$ , das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht
$r_{cjt}^{\text{Sort}} \in \vec{r}_{cj}^{\text{Sort}}$	Punkte	Absteigend sortiertes und mit Hilfe der Präferenzfunktion berechnetes Risiko des Kriteriums $c$ des (modellierten) Lieferantenstandorts $l$ der Wertschöpfungsstufe $t$ , das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht
$r_{cjl}^{\text{Alle}} \in \vec{r}_{cj}^{\text{Alle}}$	Punkte	Mit Hilfe der Präferenzfunktion berechnetes Risiko des Kriteriums $c$ des (modellierten) Lieferantenstandorts $l$ der gesamten Lieferkette, das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht
$r_{cjl}^{\text{Alle, Sort}} \in \vec{r}_{cj}^{\text{Alle, Sort}}$	Punkte	Absteigend sortiertes und mit Hilfe der Präferenzfunktion berechnetes Risiko des Kriteriums $c$ des (modellierten) Lieferantenstandorts $l$ der gesamten Lieferkette, das aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ besteht
$s_{ci} \in S$	Punkte	Risiko des Kriteriums $c$ der Land-Sektor-Kombination $i$ auf Basis statistischer Erhebungen

## 5.2 Methodik zur Berechnung ökologischer und sozialer Risiken von Lieferanten

Notation	Einheit	Bezeichnung
$S_{cl} \in S^{Lief}$	Punkte	Risiko des Kriteriums $c$ des Lieferantenstandorts $l$ auf Basis statistischer Erhebungen
$S_{c jt}^{Mod}$	Punkte	Risiko des Kriteriums $c$ des modellierten Lieferantenstandorts $l$ der Wertschöpfungsstufe $t$ , das aufgrund der Erfüllung der Endnachfrage von 1 Einheit von $j$ besteht
$V_{jt} \in \vec{V}_{jt}$	€	Absolute Wertschöpfung der Land-Sektor-Kombination $i$ der Wertschöpfungsstufe $t$ , die zur Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ notwendig ist
$V_{jlt}^{Lief}$	€	Absolute Wertschöpfung des Lieferantenstandorts $l$ der Wertschöpfungsstufe $t$ , die zur Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ notwendig ist
$V_{jlt}^{Sort} \in \vec{V}_{jt}^{Sort}$	€	Absteigend sortierte absolute Wertschöpfung der Land-Sektor-Kombination $i$ der Wertschöpfungsstufe $t$ , die zur Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ notwendig ist
$V_{jlt}^{Mod} \in \vec{V}_{jt}^{Mod}$	€	Absolute Wertschöpfung des modellierten Lieferantenstandorts $l$ der Wertschöpfungsstufe $t$ , die zur Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ notwendig ist
$V_{jlt}^{Mod, Sort} \in \vec{V}_{jlt}^{Mod, Sort} \subset \vec{V}_{jt}^{Sort}$	€	Nach dem aggregierten statistischen Risiko absteigend sortierte absolute Wertschöpfung des modellierten Lieferantenstandorts $l$ der Wertschöpfungsstufe $t$ , die zur Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ notwendig ist
$V_{jlt}^{Mod, Norm, Sort} \in \vec{V}_{jlt}^{Mod, Norm, Sort}$	%	Nach dem aggregierten statistischen Risiko absteigend sortierte (normierte) Wertschöpfungsanteile der Land-Sektor-Kombination $i$ des modellierten Lieferantenstandorts $l$ der Wertschöpfungsstufe $t$
$W_i \in \vec{W}^{IO}$	%	Wertschöpfungstiefe der Land-Sektor-Kombination $i$
$W_i^{Lief} \in W^{Lief}$	%	Wertschöpfungstiefe des Lieferantenstandorts $l$
$x_{jlt}^{Lief}$	€	Umsatz des Lieferantenstandorts $l$ der Wertschöpfungsstufe $t$ , der zur Erfüllung der Endnachfrage $f_j$ benötigt wird

### 5.2.1 Mathematische Formulierung der Berechnungsmethodik bei vollständig bekannter vorgelagerter Lieferkette

Das Risikomodell ermöglicht sowohl die Berechnung einzelner ökologischer und sozialer Risiken als auch deren Aggregation. Beide Berechnungen können für ausgewählte Lieferantenstandorte, einzelne Wertschöpfungsstufen und gesamte Lieferketten durchgeführt werden. Dabei wird zur Vereinfachung der Modellierung angenommen, dass Lieferantenstandorte nur einen Produkttyp liefern können. Die Lieferantenstandorte beziehen sich in der Modellierung immer auf den Standort, an dem die Produkte hergestellt bzw. die Dienstleistung erbracht wird. Im Folgenden wird die mathematische Formulierung zur Berechnung der einzelnen und aggregierten Risiken bei vollständig bekannter vorgelagerter Lieferkette beschrieben. Unter einer vollständig bekannten Lieferkette wird in dieser Arbeit verstanden, dass der Umsatz (Produktionswert), die Wertschöpfungstiefe, das Herkunftsland, der Sektor und die Wertschöpfungsstufe aller Lieferantenstandorte der Lieferkette bekannt sind. Sei  $w_l^{\text{Lief}}$  die Wertschöpfungstiefe des Lieferantenstandorts  $l$  und  $x_{jlt}^{\text{Lief}}$  der Umsatz der Produkte des Lieferantenstandorts  $l$  der Wertschöpfungsstufe  $t$ , der zur Erfüllung der Endnachfrage  $f_j$  der Produkte  $j$  notwendig ist. Dann lässt sich die absolute Wertschöpfung  $v_{jlt}^{\text{Lief}}$  dieses Lieferanten mit Hilfe der Gleichung 5.5 bestimmen.

$$v_{jlt}^{\text{Lief}} = x_{jlt}^{\text{Lief}} \cdot w_l^{\text{Lief}} \quad \begin{array}{l} \forall j \in [1, \dots, n] \\ \forall l \in [1, \dots, o_t^{\text{Lief}}] \\ \forall t \in [1, \dots, q] \end{array} \quad (5.5)$$

Wenn  $s_{cl}$  der statistischen Risikoausprägung des Kriteriums  $C$  des Lieferantenstandorts  $l$  entspricht (vgl. Abschnitt 5.1.1), dann lässt sich das tatsächliche Gesamtrisiko  $r_{cjt}^{\text{Lief}} \in \vec{r}_{ct}^{\text{Lief}}$  des Kriteriums  $C$  eines Lieferantenstandorts  $l$  der Wertschöpfungsstufe  $t$ , das aufgrund der Herstellung von Produkten zur

Erfüllung der Endnachfrage  $f_j$  besteht, mit Hilfe der entwickelten Präferenzfunktion aus Abschnitt 5.1.2 (vgl. Gleichung 5.4) wie folgt berechnen:<sup>8</sup>

$$r_{cjl}^{\text{Lief}} = p\left(s_{cl}, v_{jlt}^{\text{Lief}}\right) \quad \begin{array}{l} \forall c \in [1, \dots, m] \\ \forall j \in [1, \dots, n] \\ \forall l \in [1, \dots, o_t^{\text{Lief}}] \\ \forall t \in [1, \dots, q] \end{array} \quad (5.6)$$

Wie bereits in Abschnitt 3.3.1 erklärt, wird zur Berechnung der Ausprägungen einzelner Risikokriterien einer Wertschöpfungsstufe oder einer Lieferkette die maximale Ausprägung der Lieferanten dieser Wertschöpfungsstufe oder dieser Lieferkette mit einer konvergierenden geometrischen Reihe der absteigend sortierten Ausprägungen der verbleibenden Lieferanten addiert. Dadurch wird erstens eine Risikokompensation vermieden und zweitens trotzdem mögliche weitere hohe Risikoausprägungen der gleichen Wertschöpfungsstufe oder Lieferkette berücksichtigt. Sei  $\vec{r}_{cjt}^{\text{Lief, Sort}}$  ein Vektor mit absteigend sortierten Risikoausprägungen  $r_{cjt}^{\text{Lief, Sort}} \in \vec{r}_{cjt}^{\text{Lief, Sort}}$  der Lieferantenstandorte  $l$  der Wertschöpfungsstufe  $t$  des Kriteriums  $C$ , die aufgrund der Herstellung von Produkten zur Erfüllung der Endnachfrage  $f_j$  bestehen. Dann kann das Risiko  $r_{cjt}^{\text{Stufe}}$  einer Wertschöpfungsstufe  $t$  hinsichtlich des Kriteriums  $C$ , das aufgrund der Herstellung von Vorprodukten zur Erfüllung der Endnachfrage  $f_j$  besteht, wie folgt berechnet werden:

$$r_{cjt}^{\text{Stufe}} = \min\left(10; r_{cjl}^{\text{Lief, Sort}} + \frac{1}{10} \cdot \sum_{l=2}^{o_t^{\text{Lief}}} \frac{1}{2^{l-1}} \cdot r_{cjl}^{\text{Lief, Sort}}\right) \quad \begin{array}{l} \forall c \in [1, \dots, m] \\ \forall j \in [1, \dots, n] \\ \forall t \in [1, \dots, q] \end{array} \quad (5.7)$$

<sup>8</sup> Da angenommen wird, dass ein Lieferantenstandort nur einen Produkttyp liefern kann, gibt es in der Modellierung pro Lieferantenstandort  $l$  nur ein mögliches Produkt  $i$ . Der Index  $i$  ist somit an den Index  $l$  gekoppelt und wird deshalb in Gleichung 5.5 zur Vereinfachung weggelassen.

Der Wert  $r_{cj1t}^{\text{Lief, Sort}}$  entspricht hierbei der größten Risikoausprägung des Kriteriums  $C$  dieser Wertschöpfungsstufe. Um das Risiko einer gesamten Lieferkette zu ermitteln, werden die Vektoren  $\vec{r}_{cjt}^{\text{Lief}}$  aller Wertschöpfungsstufen als Untervektoren des Blockvektors  $\vec{r}_{cj}^{\text{Lief, Alle}}$  definiert. Dieser enthält die Risiken aller Lieferantenstandorte  $l$  der gesamten Lieferkette hinsichtlich der Kriterien  $C$  und lässt sich wie folgt darstellen:

$$\vec{r}_{cj}^{\text{Lief, Alle}} = \begin{bmatrix} \vec{r}_{cj1}^{\text{Lief}} \\ \vec{r}_{cj2}^{\text{Lief}} \\ \vec{r}_{cj3}^{\text{Lief}} \\ \vec{r}_{cj4}^{\text{Lief}} \\ \vec{r}_{cj5}^{\text{Lief}} \\ \vec{r}_{cj6}^{\text{Lief}} \\ \vec{r}_{cj7}^{\text{Lief}} \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

Durch absteigende Sortierung der Risiken  $r_{cjl}^{\text{Lief, Alle}} \in \vec{r}_{cj}^{\text{Lief, Alle}}$  entsteht der Vektor  $\vec{r}_{cj}^{\text{Lief, Alle, Sort}}$  mit dessen Elementen  $r_{cjl}^{\text{Lief, Alle, Sort}} \in \vec{r}_{cj}^{\text{Lief, Alle, Sort}}$ , so dass damit die Risiken einer gesamten Lieferkette, die bei der Erfüllung der Endnachfrage  $f_j$  entlang der Lieferkette bestehen, berechnet werden können.

$$r_{cj}^{\text{Kette}} = \min \left( 10; r_{cj1}^{\text{Lief, Alle, Sort}} + \frac{1}{10} \cdot \sum_{l=2}^o \frac{1}{2^{l-1}} \cdot r_{cjl}^{\text{Lief, Alle, Sort}} \right) \quad \begin{matrix} \forall C \in [1, \dots, m] \\ \forall j \in [1, \dots, n] \end{matrix} \quad (5.9)$$

Die Ausprägung  $r_{cj1}^{\text{Lief, Alle, Sort}}$  entspricht dem Maximum des Kriteriums  $C$  der gesamten Lieferkette. Die Aggregation aller mit Hilfe der Gleichungen 5.6, 5.7 und 5.9 berechneten Kriterienausprägungen eines Lieferanten, einer Wertschöpfungsstufe oder gar einer gesamten Lieferkette erfolgt entweder mit Hilfe der ermittelten globalen (Nachhaltigkeitsrisiko) oder regionalen (soziales oder ökologisches Risiko) Gruppengewichtungen aus Tabelle 5.5.



Ist  $g_c^{\text{Glob}}$  die globale Gewichtung des Risikokriteriums  $c$ , dann kann das aggregierte Nachhaltigkeitsrisiko eines Lieferanten, einer Wertschöpfungsstufe oder einer gesamten Lieferkette wie folgt bestimmt werden:

$$r_{jt}^{\text{Lief, Agg}} = \sum_{c=1}^m r_{cjt}^{\text{Lief}} \cdot g_c^{\text{Glob}} \quad \begin{array}{l} \forall j \in [1, \dots, n] \\ \forall l \in [1, \dots, o_t^{\text{Lief}}] \\ \forall t \in [1, \dots, q] \end{array} \quad (5.10)$$

$$r_{jt}^{\text{Stufe, Agg}} = \sum_{c=1}^m r_{cjt}^{\text{Stufe}} \cdot g_c^{\text{Glob}} \quad \begin{array}{l} \forall j \in [1, \dots, n] \\ \forall t \in [1, \dots, q] \end{array} \quad (5.11)$$

$$r_j^{\text{Kette, Agg}} = \sum_{c=1}^m r_{cj}^{\text{Kette}} \cdot g_c^{\text{Glob}} \quad \forall j \in [1, \dots, n] \quad (5.12)$$

Das aggregierte ökologische oder soziale Risiko kann jeweils entsprechend mit den regionalen Gewichtungen  $g_c^{\text{Reg}}$  berechnet werden. Für die Berechnung dieser aggregierten Risiken eines Lieferanten lauten die Gleichungen beispielsweise folgendermaßen:

$$r_{jt}^{\text{Öko}} = \sum_{c=1}^{m^{\circ}} r_{cjt}^{\text{Lief}} \cdot g_c^{\text{Reg}} \quad \begin{array}{l} \forall j \in [1, \dots, n] \\ \forall l \in [1, \dots, o_t^{\text{Lief}}] \\ \forall t \in [1, \dots, q] \end{array} \quad (5.13)$$

$$r_{jt}^{\text{Soz}} = \sum_{c=m^{\circ}+1}^m r_{cjt}^{\text{Lief}} \cdot g_c^{\text{Reg}} \quad \begin{array}{l} \forall j \in [1, \dots, n] \\ \forall l \in [1, \dots, o_t^{\text{Lief}}] \\ \forall t \in [1, \dots, n] \end{array} \quad (5.14)$$

Zur Bestimmung der ökologischen und sozialen Hotspots einer Lieferkette (Herkunftsland, Sektor und Wertschöpfungsstufe) werden die maximalen

Werte der Ergebnisse der Gleichungen 5.13 (ökologische Hotspots) und 5.14 (soziale Hotspots) der gesamten Lieferkette herangezogen.

## 5.2.2 Mathematische Formulierung der Berechnungsmethodik bei vollständig unbekannter vorgelagerter Lieferkette

Falls lediglich die Herkunft (Land-Sektor-Kombination), die Wertschöpfungstiefe und der Umsatz des Direktlieferanten bekannt ist und diese Informationen über die Lieferanten der vorgelagerten Lieferkette fehlen, kann die vorgelagerte Lieferkette mit Hilfe der Input-Output-Analyse modelliert werden (vgl. Abschnitt 4.1.3). Hierbei gibt es einige Herausforderungen zu beachten, die im Folgenden beschrieben und bewältigt werden.

Wie im vorherigen Abschnitt erläutert, beruht die Risikoberechnung einer Wertschöpfungsstufe oder einer Lieferkette immer auf den mit der Präferenzfunktion ermittelten Risikoausprägungen der einzelnen Lieferanten dieser Wertschöpfungsstufe oder Lieferkette. Als Basis dazu dienen die Wertschöpfung des Lieferanten und die Risikoausprägung des Landes und Sektors, denen der Lieferant zugeordnet wird. Bei unbekanntem Lieferanten stellt sich deshalb die Frage, wie mit Hilfe der Input-Output-Analyse oder, genauer gesagt, mit Hilfe der Neumann-Reihe diese Lieferanten modelliert werden können. Die einzelnen Summanden bzw. Matrizen der Neumann-Reihe geben die durchschnittliche Verteilung der Produktionswerte (Umsatz) aller Land-Sektor-Kombination einer Wertschöpfungsstufe zur Produktion einer Einheit einer Land-Sektor-Kombination an (vgl. Abschnitt 4.1.3). Mit Hilfe dieser Verteilungen, der bekannten Wertschöpfungstiefen der Land-Sektor-Kombination aus der Input-Output-Tabelle und den statistischen Risikoausprägungen lassen sich die Gesamtrisikoaussprägungen der Land-Sektor-Kombination pro Wertschöpfungsstufe in Abhängigkeit von einer Endnachfrage wie im vorherigen Abschnitt abschätzen. Eine erste Möglichkeit zur Modellierung wäre deshalb die Annahme, dass die Gesamtrisikoaussprägung einer Land-Sektor-Kombination einer Wertschöpfungsstufe der Gesamtrisikoaussprägung eines Lieferanten dieser Wertschöpfungsstufe entspricht. Aufgrund der Land-

Sektor-Auflösung der Input-Output-Tabelle von Eora würde das ab der zweiten Wertschöpfungsstufe aber zu 4725 modellierten Lieferanten pro Wertschöpfungsstufe führen. Diese Modellierung entspräche nicht der Realität und aufgrund der Nutzung der Präferenzfunktion würden daraus verfälschte Risikoberechnungen resultieren, weshalb ein anderer Weg zur Modellierung eingeschlagen wird.

Das Ziel des Risikomodells ist es in erster Linie zu erfahren, ob und wie viel Wertschöpfung einer Lieferkette aus Land-Sektor-Kombinationen mit hoher Risikoausprägung stammt und welchem Gesamtrisiko dies gemäß der Präferenzfunktion entspricht. Um dieses Ziel zu erreichen und gleichzeitig eine realistische Anzahl an Lieferanten pro Wertschöpfungsstufe abzubilden, werden in diesem Risikomodell deshalb die Risikoausprägungen und der Produktionswert bzw. die Wertschöpfung der modellierten Lieferanten mit Hilfe der Verteilung der Neumann-Reihe und der statistischen Risikoausprägungen der Land-Sektor-Kombinationen in Abhängigkeit von einer exogen gegebenen durchschnittlichen Anzahl  $b$  an Sublieferanten pro Lieferant abgeschätzt. Diese durchschnittliche Anzahl  $b$  an Sublieferanten dient dazu die Anzahl  $\sigma_t^{\text{Mod}}$  der zu modellierenden Lieferanten einer Wertschöpfungsstufe  $t$  zu bestimmen:

$$\sigma_t^{\text{Mod}} = b^{t-1} \quad \forall t \in [2, \dots, q] \quad (5.15)$$

Um nun die fehlenden Risikoausprägungen und die Wertschöpfung der zu modellierenden Lieferanten  $\sigma_t^{\text{Mod}}$  aller Wertschöpfungsstufen abzuschätzen, werden mehrere Berechnungsschritte durchgeführt: Im ersten Schritt werden zunächst die absoluten Wertschöpfungen aller Land-Sektor-Kombinationen pro Wertschöpfungsstufe, die zur Produktion der Endnachfrage notwendig sind, mit Hilfe der Verteilung der Produktionswerte aus der Neumann-Reihe ermittelt. Sei  $f_j$  die Endnachfrage des fokalen Unternehmens nach Produkten der Land-Sektor-Kombination  $j$  und sei  $\vec{a}_{jt} \in A^{t-1}$  der Vektor der Input-Koeffizienten der Wertschöpfungsstufe  $t$  zur Herstellung einer Einheit des Produkts  $j$  für den Endabnehmer. Dann können die absoluten Wertschöpf-

ungen  $\vec{v}_{jt}$  aller Land-Sektor-Kombinationen der Wertschöpfungsstufe  $t$ , die zur Erfüllung der Endnachfrage  $f_j$  benötigt werden, mit Hilfe des Vektors der Wertschöpfungstiefe  $\vec{w}^{IO}$  bestimmt werden:

$$\vec{v}_{jt} = f_j \cdot \vec{a}_{jt} \circ \vec{w}^{IO} \quad \begin{array}{l} \forall j \in [1, \dots, n] \\ \forall t \in [1, \dots, q] \end{array} \quad (5.16)$$

Anschließend werden diese Wertschöpfungen  $v_{ijt} \in \vec{v}_{jt}$  nach dem aggregierten statistischen Risiko  $s_{ci} \in S$  der Land-Sektor-Kombinationen absteigend sortiert. Sei  $\vec{v}_{jt}^{\text{Sort}}$  der Vektor dieser nach dem aggregierten statistischen Risiko absteigend sortierten absoluten Wertschöpfungen und seien  $v_{ijt}^{\text{Sort}} \in \vec{v}_{jt}^{\text{Sort}}$  dessen Elemente. Dann lässt sich die Wertschöpfung  $v_{ijt}^{\text{Mod}}$  des modellierten Lieferantenstandorts  $i$  der Wertschöpfungsstufe  $t$  zur Erfüllung der Endnachfrage  $f_j$  mit Hilfe der Gleichung 5.17 berechnen.

$$v_{ijt}^{\text{Mod}} = \sum_{i=1+(l-1) \left\lfloor \frac{4725}{o_t^{\text{Mod}}} \right\rfloor}^{\min \left( 4725; l \left\lfloor \frac{4725}{o_t^{\text{Mod}}} \right\rfloor \right)} v_{ijt}^{\text{Sort}} \quad \begin{array}{l} \forall j \in [1, \dots, n] \\ \forall l \in [1, \dots, o_t^{\text{Mod}}] \\ \forall t \in [1, \dots, q] \end{array} \quad (5.17)$$

Sei  $\vec{v}_{jlt}^{\text{Mod, Sort}} \subset \vec{v}_{jt}^{\text{Sort}}$  der Vektor der nach dem statistischen aggregierten Risiko absteigend sortierten Wertschöpfungen des modellierten Lieferanten  $i$  der Wertschöpfungsstufe  $t$ . Um die Risikoausprägungen der modellierten Lieferanten zu bestimmen, werden die Wertschöpfungen  $v_{ijlt}^{\text{Mod, Sort}} \in \vec{v}_{jlt}^{\text{Mod, Sort}}$  der Sektoren  $i$  pro modellierten Lieferantenstandort  $l$  normiert, so dass  $\sum_i v_{ijlt}^{\text{Mod, Norm, Sort}} = 1$  gilt. Seien  $v_{ijlt}^{\text{Mod, Norm, Sort}} \in \vec{v}_{jlt}^{\text{Mod, Norm, Sort}}$  die entsprechenden normierten Wertschöpfungsanteile des Sektors  $i$  des modellierten Lieferantenstandorts  $l$  der Wertschöpfungsstufe  $t$ . Dann lässt sich die Risikoausprägung  $s_{cilt}^{\text{Mod}}$  des Kriteriums  $c$  des modellierten Lieferantenstandorts  $l$  der

Wertschöpfungsstufe  $t$ , das zur Erfüllung der Endnachfrage von 1 Einheit von  $j$  benötigt wird, mit Hilfe der Gleichung 5.18 ermitteln.

$$s_{c/jt}^{\text{Mod}} = \begin{cases} \sum_{i=1}^{\lceil \frac{4725}{o_t^{\text{Mod}}} \rceil} v_{ijlt}^{\text{Mod, Norm, Sort}} \cdot s_{ci} & \forall c \in [1, \dots, m] \\ & \forall j \in [1, \dots, n] \\ & \forall l \in [1, \dots, o_t^{\text{Mod}} - 1] \\ & \forall t \in [1, \dots, q] \\ \\ \sum_{i=1}^{4725 - (o_t^{\text{Mod}} - 1) \lceil \frac{4725}{o_t^{\text{Mod}}} \rceil} v_{ijlt}^{\text{Mod, Norm, Sort}} \cdot s_{ci} & \forall c \in [1, \dots, m] \\ & \forall j \in [1, \dots, n] \\ & l = o_t^{\text{Mod}} \\ & \forall t \in [1, \dots, q] \end{cases} \quad (5.18)$$

Genauso wie in Gleichung 5.6 lässt sich das tatsächliche Risiko  $r_{c/jt}^{\text{Mod}} \in \vec{r}_{cjt}^{\text{Mod}}$  des Kriteriums  $c$  eines Lieferantenstandorts  $l$  der Wertschöpfungsstufe  $t$  zur Herstellung der Produkte  $j$  aufgrund der Endnachfrage  $f_j$  mit Hilfe der entwickelten Präferenzfunktion (vgl. Gleichung 5.4) wie folgt berechnen:

$$r_{c/jt}^{\text{Mod}} = p\left(s_{c/jt}^{\text{Mod}}, v_{jlt}^{\text{Mod}}\right) \begin{cases} \forall c \in [1, \dots, m] \\ \forall j \in [1, \dots, n] \\ \forall l \in [1, \dots, o_t^{\text{Mod}}] \\ \forall t \in [1, \dots, q] \end{cases} \quad (5.19)$$

Wie im Fall der vollständig bekannten Lieferkette werden zur Berechnung der Risiken einer Wertschöpfungsstufe die Risiken  $r_{c/jt}^{\text{Mod}} \in \vec{r}_{cjt}^{\text{Mod}}$  absteigend sortiert, so dass der Vektor  $\vec{r}_{cjt}^{\text{Mod, Sort}}$  entsteht. Zur Berechnung der Risiken einer gesamten Lieferkette werden die Untervektoren  $\vec{r}_{cjt}^{\text{Mod}}$  zunächst zu einem Blockvektor  $\vec{r}_{c_j}^{\text{Mod, Alle}}$  zusammengeführt (vgl. Gleichung 5.8), bevor diese dann jeweils pro Kriterium absteigend sortiert werden, wodurch der Vektor  $\vec{r}_{c_j}^{\text{Mod, Alle, Sort}}$

entsteht. Die Berechnung der Ausprägungen einzelner ökologischer und sozialer Risikokriterien von Wertschöpfungsstufen und Lieferketten erfolgt in gleicher Weise wie im vorigen Abschnitt mit den Gleichungen 5.7 und 5.9. Die Aggregation dieser erfolgt dann mit den Gleichungen 5.10 bis 5.12, wobei anstelle der Anzahl der realen Lieferantenstandorte  $o_t^{\text{Lief}}$  die Anzahl der modellierten Lieferantenstandorte  $o_t^{\text{Mod}}$  berücksichtigt werden muss.

Bei der Bestimmung der ökologischen und sozialen Hotspots sind neben der Wertschöpfungsstufe auch das Land und der Sektor von Interesse. Da mit Hilfe der modellierten Lieferanten aufgrund der Aggregation keine Rückschlüsse mehr über das Land und den Sektor gezogen werden können, ist die Anwendung der Gleichungen 5.13 und 5.14 wie im vorherigen Abschnitt bei vollständig bekannter Lieferkette nicht möglich. Um in diesem Fall trotzdem die ökologischen und sozialen Hotspots der vorgelagerten Lieferkette zu bestimmen, werden die Wertschöpfungen  $\vec{v}_{jt}$  der Land-Sektor-Kombinationen der einzelnen Wertschöpfungsstufen  $t$  herangezogen. Zur Berechnung werden deshalb zunächst die Risikoausprägungen  $r_{cjt}^{\text{LS}}$  des Kriteriums  $c$  der Land-Sektor-Kombination  $i$  der Wertschöpfungsstufe  $t$  zur Herstellung der Produkte  $j$  aufgrund der Endnachfrage  $f_j$  mit Hilfe der entwickelten Präferenzfunktion wie folgt bestimmt.

$$r_{cjt}^{\text{LS}} = p(s_{ci}, v_{jt}) \quad \begin{array}{l} \forall c \in [1, \dots, m] \\ \forall i, j \in [1, \dots, n] \\ \forall t \in [1, \dots, q] \end{array} \quad (5.20)$$

Dabei entspricht  $s_{ci}$  dem Risiko des Kriteriums  $c$  der Land-Sektor-Kombination  $i$  auf Basis statistischer Erhebungen.

Zur Bestimmung der ökologischen und sozialen Hotspots einer Lieferkette werden dann die maximalen Werte der Ergebnisse der Gleichungen 5.21 (ökologische Hotspots) und 5.22 (soziale Hotspots) über alle Wertschöpfungsstufen  $t$  herangezogen.

$$r_{ijt}^{\text{Öko, LS}} = \sum_{c=1}^{m^p} r_{cijt}^{\text{LS}} \cdot g_c^{\text{Reg}} \quad \begin{array}{l} \forall i, j \in [1, \dots, n] \\ \forall t \in [1, \dots, q] \end{array} \quad (5.21)$$

$$r_{ijt}^{\text{Soz, LS}} = \sum_{c=m^p+1}^m r_{cijt}^{\text{LS}} \cdot g_c^{\text{Reg}} \quad \begin{array}{l} \forall i, j \in [1, \dots, n] \\ \forall t \in [1, \dots, q] \end{array} \quad (5.22)$$

### 5.2.3 Mathematische Formulierung der Berechnungsmethodik bei teilweise bekannter vorgelagerter Lieferkette

Falls einzelne, aber nicht alle Lieferantenstandorte (Umsatz, Wertschöpfungstiefe, Herkunftsland, Sektor und Wertschöpfungsstufe) der zu betrachtenden Lieferkette bekannt sind, werden die beiden Berechnungsmethoden bei vollständig bekannter (vgl. Abschnitt 5.2.1) und bei vollständig unbekannter (vgl. Abschnitt 5.2.2) Lieferkette kombiniert. Dies wird mit der Zusammenführung und anschließenden absteigenden Sortierung der Risikovektoren  $\vec{r}_{cjt}^{\text{Lief}}$  und  $\vec{r}_{cjt}^{\text{Mod}}$  realisiert (vgl. Gleichung 5.25). Die Berechnungen der Risiken  $r_{cjt}^{\text{Lief}} \in \vec{r}_{cjt}^{\text{Lief}}$  erfolgt unverändert mit den Gleichungen 5.5 und 5.6 des Abschnitts 5.2.1. Die Berechnung der Risiken  $r_{cjt}^{\text{Mod}} \in \vec{r}_{cjt}^{\text{Mod}}$  der modellierten Lieferanten wird dagegen durch die Informationen der bekannten Lieferanten der vorgelagerten Lieferkette beeinflusst.

Zunächst wird die Anzahl der zu modellierenden Lieferanten  $o_t^{\text{Mod}}$  (vgl. Gleichung 5.15) der Wertschöpfungsstufe  $t$  um die Anzahl der bekannten Lieferanten  $o_t^{\text{Lief}}$  der Wertschöpfungsstufe  $t$  reduziert.

$$o_t^{\text{Mod}} = \max(0; o_t^{\text{Mod}} - o_t^{\text{Lief}}) \quad \forall t \in [1, \dots, q] \quad (5.23)$$

Dann werden alle Input-Koeffizienten  $a_{ijt} \in \vec{a}_{jt}$  der Wertschöpfungsstufe  $t$  zur Herstellung einer Einheit des Produkts  $j$  für den Endabnehmer anteilig in

Abhängigkeit von ihrer Höhe um die Summe der Umsätze  $x_{jlt}^{\text{Lief}}$  der bekannten Lieferantenstandorte  $l$  der gleichen Wertschöpfungsstufe  $t$  reduziert.

$$a_{ijt} = \max \left( 0; a_{ijt} \cdot f_j - \frac{a_{ijt}}{\sum_{i=1}^n a_{ijt}} \cdot \sum_{l=1}^{o_{jlt}^{\text{Lief}}} x_{jlt}^{\text{Lief}} \right) \quad \begin{array}{l} \forall i, j \in [1, \dots, n] \\ \forall t \in [1, \dots, q] \end{array} \quad (5.24)$$

Die Bestimmung der Wertschöpfung  $v_{jlt}^{\text{Mod}}$  der modellierten Lieferanten und deren Risiken  $r_{cjt}^{\text{Mod}} \in \vec{r}_{cjt}^{\text{Mod}}$  erfolgt schließlich mit den Gleichungen 5.16 bis 5.19. Seien die ermittelten Risikovektoren  $\vec{r}_{cjt}^{\text{Lief}}$  und  $\vec{r}_{cjt}^{\text{Mod}}$  die beiden Untervektoren des Blockvektors  $\vec{r}_{cjt}$  aller (modellierten) Lieferantenstandorte der Wertschöpfungsstufe  $t$ . So lässt sich  $\vec{r}_{cjt}$  wie folgt darstellen:

$$\vec{r}_{cjt} = \begin{bmatrix} \vec{r}_{cjt}^{\text{Lief}} \\ \vec{r}_{cjt}^{\text{Mod}} \end{bmatrix} \quad (5.25)$$

Wie in den vorherigen Abschnitten werden zur Berechnung des Risikos einer Wertschöpfungsstufe  $t$  die Risiken  $r_{cjt} \in \vec{r}_{cjt}$  absteigend sortiert, wodurch der Vektor  $\vec{r}_{cjt}^{\text{Sort}}$  entsteht. Die entsprechende Berechnung erfolgt mit Gleichung 5.6, wobei die Anzahl der modellierten Lieferanten  $o_t^{\text{Mod}}$  verwendet werden muss. Um das Risiko einer gesamten Lieferkette zu ermitteln, werden die Vektoren  $\vec{r}_{cjt}$  als Untervektoren des Blockvektors  $\vec{r}_{cj}^{\text{Alle}}$  definiert. Dieser enthält die Risiken  $r_{cjl}^{\text{Alle}}$  aller modellierten und tatsächlichen Lieferantenstandorte  $l$  der gesamten Lieferkette hinsichtlich des Kriteriums  $c$  und lässt sich wie in Gleichung 5.8 formulieren. Durch absteigende Sortierung der Risiken  $r_{cjl}^{\text{Alle}} \in \vec{r}_{cj}^{\text{Alle}}$  entsteht der Vektor  $\vec{r}_{cj}^{\text{Alle, Sort}}$  mit welchem dann die Risiken einer gesamten Lieferkette zur Erfüllung der Endnachfrage  $f_j$  berechnet werden können (vgl. Gleichung 5.9). Die weitere Berechnung der Ausprägungen einzelner ökologischer und sozialer Risikokriterien von Wertschöpfungsstufen und



Lieferketten sowie deren Aggregation erfolgt mit den Gleichungen 5.7 bis 5.14, wobei auch hier anstelle der Anzahl der realen Lieferantenstandorte  $o_t^{\text{Lief}}$  die Anzahl der modellierten Lieferantenstandorte  $o_t^{\text{Mod}}$  (vgl. Gleichung 5.23) berücksichtigt werden muss.

Zur Bestimmung der ökologischen und sozialen Hotspots einer Lieferkette (Herkunftsland, Sektor und Wertschöpfungsstufe) mit teilweise bekannten Lieferanten werden die maximalen Werte der Ergebnisse der Gleichungen 5.13 und 5.21 (ökologische Hotspots) oder 5.14 und 5.22 (soziale Hotspots) herangezogen. Hier muss beachtet werden, dass die bekannten Lieferantenstandorte ein sehr viel höheres Vergabevolumen aufweisen als die mit Hilfe der Neumann-Reihe berechneten Volumina einzelner Land-Sektor-Kombinationen. Eine Lösung zur einheitlichen Berechnung der Hotspots konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht gefunden werden.

### 5.3 Implementierung des Risikomodells

Zu Plausibilisierungs- und Demonstrationszwecken wurde das Werkzeug SIERRA (**S**ocial and **E**nvi**R**onmental **R**isk **A**ssessment) entwickelt. Die integrierte Datenbasis und Methodik beruht vollständig auf den beschriebenen Inhalten der vorherigen beiden Abschnitte. Mit dem Ziel der Anwendung in Unternehmen wurde SIERRA in Microsoft Excel mit der Programmiersprache Visual Basic for Applications (VBA) implementiert. Lediglich die Berechnungen der Inversen der Vorleistungsmatrix der Input-Output-Tabelle Eora und der Matrizenmultiplikationen der Neumann-Reihe wurden mit Hilfe der Software MATLAB berechnet und als Datenbasis mit dem Excel-Werkzeug SIERRA verknüpft. Um die Rechenzeit zu reduzieren wurden die Ergebnisse der Matrizenmultiplikationen der Neumann-Reihe in einzelne Länderdateien aufgeteilt. Außerdem wurde die Anzahl der Wertschöpfungsstufen auf 7 festgelegt. Hintergrund ist, dass die Werte der Matrizenmultiplikationen der Neumann-Reihe ab  $A^7$  nahezu beim Wert 0 liegen und somit vernachlässigbar sind (vgl. Miller und Blair 2009). Die Berechnungsergebnisse der letzten Wertschöpfungsstufe beinhalten somit alle Produktionswerte der Wertschöpf-

fungsstufe 7 und dahinter. Zur Berechnung der entsprechenden Matrix  $A^{7-\infty}$  wurden die Ergebnisse der ersten sechs Wertschöpfungsstufen von der Leontief-Inversen  $(I - A)^{-1}$  abgezogen:

$$A^{7-\infty} = A^7 + \dots + A^\infty = (I - A)^{-1} - A^0 - A^1 - \dots - A^6 \quad (5.26)$$

Die Rechenzeit einer Lieferkette beträgt ca. 10 Sekunden. In Abhängigkeit davon, wieviel Primärinformationen von Einkäufern über die vorgelagerte Lieferkette berücksichtigt werden, steigt die Rechenzeit leicht an.

Bei der Ausführung von SIERRA gibt es drei Funktionen. Erstens können die oben genannten Ergebnisse für eine Lieferkette berechnet werden. Des Weiteren besteht die Möglichkeit die Verteilung der verschiedenen ökologischen und sozialen Risiken mehrere Lieferanten nach der Wertschöpfungsstufe zu berechnen und zu vergleichen. Bei diesen beiden Auswahlmöglichkeiten können entweder die Risiken neuer Lieferketten durch Eingabe des Vergabevolumens, Sektors und Landes des Direktlieferanten berechnet werden oder es werden die Risiken bereits existierender Lieferketten, die in der Lieferantendatenbank gepflegt sind, berechnet. Deshalb bietet SIERRA als dritte Funktion die Pflege dieser Lieferantendatenbank. Abbildung 5.8 veranschaulicht diese Zusammenhänge.

Ein weiterer optionaler Input-Parameter bei der Berechnung des Risikos neuer Lieferketten ist die durchschnittliche Anzahl an Sublieferanten pro Lieferant. Wird kein Wert für diesen Parameter eingegeben, so werden 2 Sublieferanten pro Lieferant angenommen.

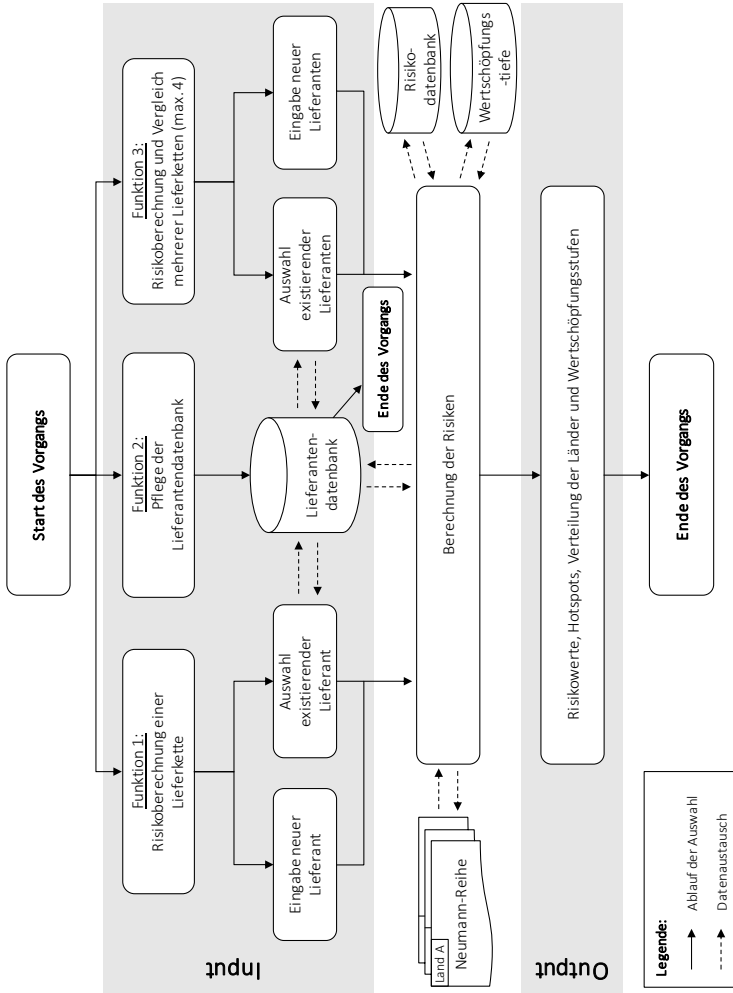


Abbildung 5.8: Überblick über Funktionen, Abläufe und verwendete Datenbanken von SIERRA

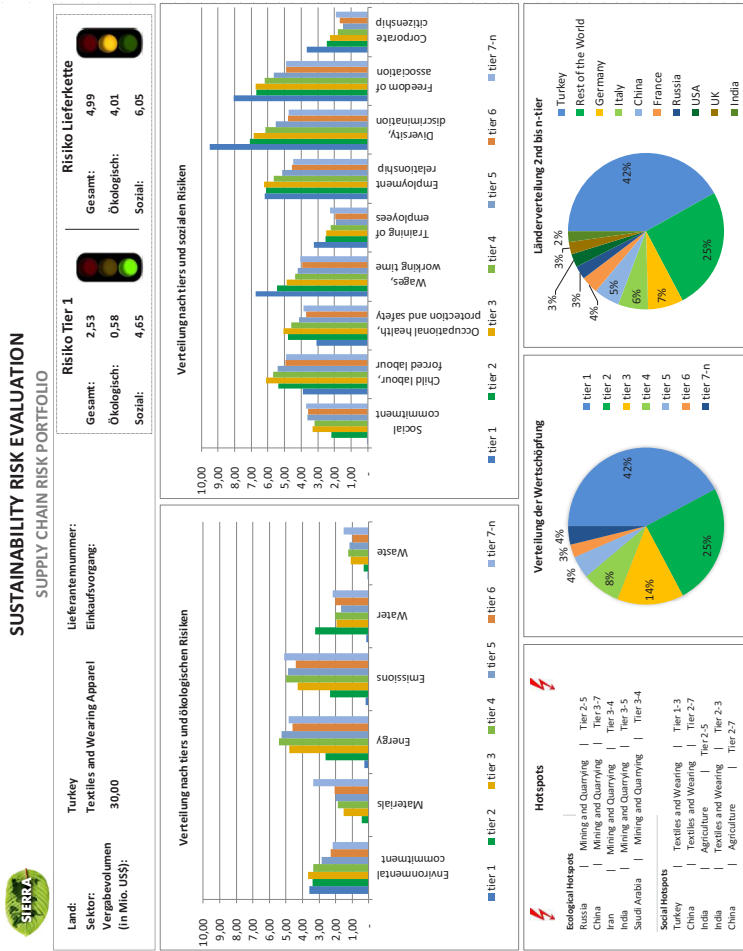


Abbildung 5.9: Das Cockpit von SIERRA bei der Berechnung einer Lieferkette

SIERRA ermöglicht standardmäßig die Berechnung folgender Ergebnisse:

- Höhe des aggregierten ökologischen oder sozialen Risikos des Direktlieferanten und der gesamten Lieferkette
- Verteilung der verschiedenen ökologischen und sozialen Risiken nach Wertschöpfungsstufen
- Hotspots der Lieferkette
- Verteilung des Vergabevolumens nach Wertschöpfungsstufen
- Verteilung der Wertschöpfung nach Ländern

Bei der Berechnung einer Lieferkette werden alle diese Ergebnisse im Cockpit von SIERRA dargestellt (vgl. Abbildung 5.9). Bei der Berechnung der Risiken mehrerer Lieferanten werden lediglich die Verteilungen der verschiedenen ökologischen und sozialen Risiken nach den Wertschöpfungsstufen dargestellt.

## 5.4 Anwendung des Risikomodells am Beispiel der Vergaben eines Automobilherstellers

Um die Anwendungsmöglichkeiten und den Nutzen von SIERRA aufzuzeigen und dessen Berechnungen zu plausibilisieren, wird im Folgenden eine Risikoberechnung und Analyse von 260 Vergaben eines Derivats eines deutschen Automobilherstellers durchgeführt. Dazu wird zunächst die Fallstudie und das Berechnungsergebnis von SIERRA mit den ermittelten Gewichtungen des FAHP (vgl. 5.1.3) vorgestellt und analysiert. Anschließend wird die Sensitivität der Ergebnisse hinsichtlich der Variationen der Input-Parameter „Gewichtung“ und „Anzahl an Sublieferanten pro Lieferant“ anhand verschiedener Szenarien untersucht, um zu erfahren, welche Abhängigkeiten zwischen den Input- und Output-Parametern bestehen und welche Auswirkungen aus den Änderungen verschiedener Input-Parameter hervorgehen. Um den Umfang dieses Kapitels in Grenzen zu halten, konzentrieren sich die Analysen der folgenden Abschnitte auf die wesentlichen

Berechnungsergebnisse von SIERRA. Die Anwendung auf teilweise oder vollständig bekannte Lieferketten wird nicht vorgestellt. Auch auf eine Analyse der Hotspots sowie der Volumen und Risiken einzelner Wertschöpfungsstufen wird deshalb verzichtet.

### 5.4.1 Vorstellung der Fallstudie

Zur Plausibilisierung und Verifizierung der Ergebnisse des implementierten Risikomodells SIERRA werden 260 Vergaben eines hauptsächlich in Deutschland gefertigten Oberklasse-Derivats eines deutschen Automobilherstellers verwendet. Die verwendete Einkaufsliste enthält pro Vergabe jeweils die Bezeichnung der Produkte, das Herkunftsland des Produktionsstandorts des Lieferanten und das Vergabevolumen. Zur Berechnung des Risikos mit Hilfe von SIERRA werden die Input-Parameter „Land“, „Sektor“ und „Vergabevolumen“ benötigt. Deshalb wurden zunächst alle Produkte bzw. Vergaben jeweils dem passenden Sektor von Eora zugeteilt, um damit alle Voraussetzungen für die Anwendung von SIERRA auf diese Vergabedaten zu erfüllen. Aus Gründen der Geheimhaltung wurden die Vergabevolumen skaliert und die Bezeichnungen der Produkte leicht abgeändert.

Bei Betrachtung der Verteilung des Vergabevolumens aller Vergaben auf die Herkunftsländer der Produktionsstandorte der Direktlieferanten (vgl. Abbildung 5.10) wird deutlich, dass der Großteil des Volumens aller Vergaben von europäischen und insbesondere von deutschen Direktlieferanten kommt. Lediglich China und Südkorea können als große außereuropäische Beschaffungsländer bei diesem Derivat gezählt werden. Auffällig an diesen Ergebnissen ist, dass Länder wie die USA, Spanien, Großbritannien oder Japan nicht zu den größten Beschaffungsländern gehören. Dies hängt damit zusammen, dass bei dieser Analyse die Herkunftsländer der Produktionsstandorte und nicht, wie sonst häufig, die Herkunftsländer der Unternehmenszentralen, dem Ort der Rechnungsstellung betrachtet werden.

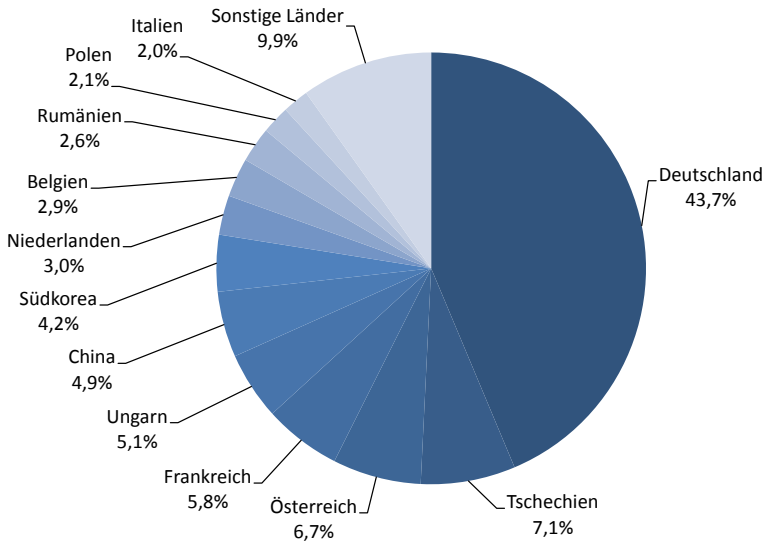


Abbildung 5.10: Verteilung des Vergabevolumens aller 260 Vergaben auf die Herkunftsländer der Produktionsstandorte der Direktlieferanten

Die zu liefernden Produkte dieser 260 Vergaben wurden 7 Sektoren zugeordnet. Die Verteilung des Vergabevolumens aller Vergaben auf diese 7 Sektoren ist in Abbildung 5.11 dargestellt. Über 50% des Volumens aller Vergaben stammt alleine aus dem Sektor „Elektronik und Maschinen“. Weitere große Teile stammen aus den Sektoren „Metallprodukte“ und „Erdöl, chemische und nicht-metallische Produkte“.

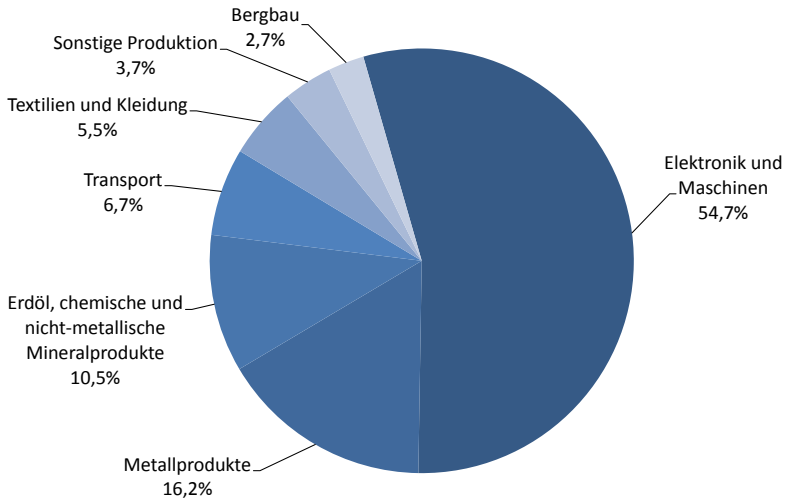


Abbildung 5.11: Verteilung des Vergabe Volumens aller 260 Vergaben auf die Sektoren der zu liefernden Produkte der Direktlieferanten

Hinsichtlich des Vergabe volumens liegt der Großteil der Vergaben in einem Bereich in Höhe von 10 bis 50 Millionen € (vgl. Abbildung 5.12). Vergaben unterhalb von 1 Millionen € und oberhalb von 300 Millionen € sind dagegen selten.

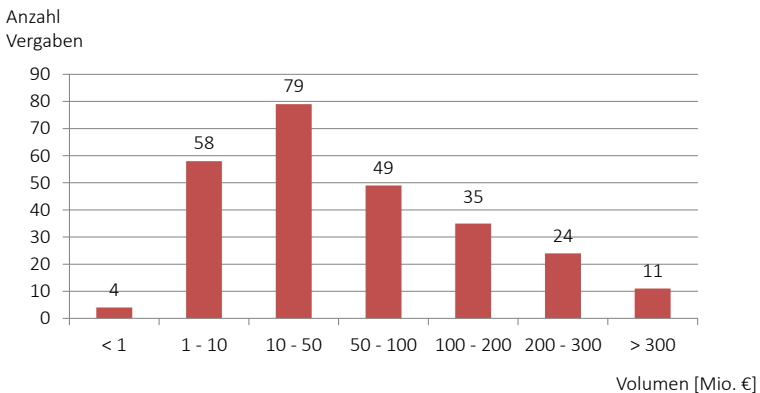


Abbildung 5.12: Häufigkeit der Vergaben in Abhängigkeit von der Volumenklasse



## 5.4.2 Ergebnisse und Analyse der Fallstudie

Im Folgenden wird zunächst auf die Ergebnisse der Länder- und Sektorverteilung der vorgelagerten Lieferkette aller 260 Vergaben eingegangen, bevor die Ergebnisse der Risikoberechnungen aller Vergaben vorgestellt werden.

### 5.4.2.1 Länder- und Sektorverteilung der gesamten Lieferkette

Mit Hilfe der Leontief-Inversen, der Neumann-Reihe und der Input-Output-Tabelle Eora berechnet SIERRA in einem ersten Schritt die durchschnittliche Verteilung der Produktionswerte und Wertschöpfungen der Länder und Sektoren aller Wertschöpfungsstufen der vorgelagerten Lieferkette. Zum Vergleich mit der Länderverteilung des Vergabevolumens der Direktlieferanten (Wertschöpfungsstufe 1) aus Abbildung 5.10 ist in Abbildung 5.13 die durchschnittliche Länderverteilung des Vergabevolumens der vorgelagerten Lieferkette (Wertschöpfungsstufe 2 bis  $\infty$ ) dargestellt. Bei Betrachtung dieses Diagramms wird ersichtlich, dass hohe Umsätze in der vorgelagerten Lieferkette der 260 betrachteten Vergaben neben Deutschland vor allem in den Länder China, Frankreich, USA und Italien stattfinden.

Vergleicht man die Länderverteilung des Vergabevolumens der Direktlieferanten (vgl. Abbildung 5.10) mit der durchschnittlichen Länderverteilung der vorgelagerten Lieferkette (vgl. Abbildung 5.13), dann wird bei Betrachtung der 10 größten Veränderungen der Länderverteilung sehr deutlich, dass sich der Umsatz in der vorgelagerten Lieferkette von Deutschland (-13,0%), Ungarn (-3,9%), Tschechien (-3,5%) und Österreich (-3,4%) nach China (+3,8%), USA (+3,3%), Japan (+2,2%), Italien (+2,1%), Russland (+2,1%) und Großbritannien (+1,9%) verlagert (vgl. Abbildung 5.14).<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Unter „%“ ist hier die absolute Zunahme an Prozentpunkten und nicht die relative Zunahme eines Wertes zu verstehen.

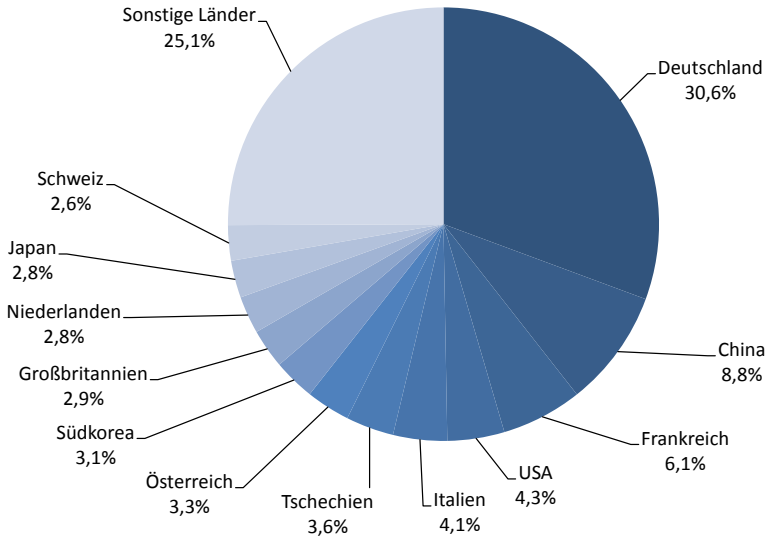


Abbildung 5.13: Durchschnittliche Verteilung des Vergabevolumens aller 260 Vergaben auf die Herkunftsländer der Produktionsstandorte der vorgelagerten Lieferkette

Die Zunahme des Anteils dieser sechs großen Wirtschaftsnationen kann mit der Nutzung der Input-Output-Tabelle von Eora begründet werden. Diese bildet die durchschnittlichen wirtschaftlichen Verflechtungen der 189 in Eora enthaltenen Nationen ab. Länder mit einem hohen Bruttoinlandsprodukt und hohen Handelsbilanzen wie beispielsweise China, USA, Russland oder Großbritannien gewinnen deshalb bei Berechnungen mit Hilfe der Leontief-Inversen immer an Bedeutung.

## 5.4 Anwendung des Risikomodells am Beispiel der Vergaben eines Automobilherstellers

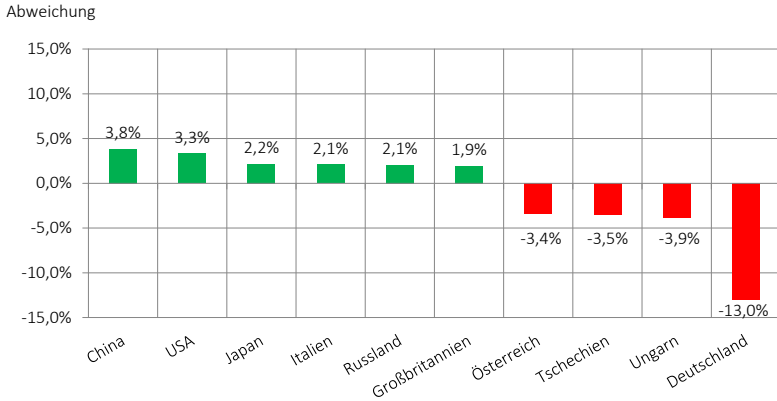


Abbildung 5.14: Die 10 größten Veränderungen der Länderverteilung des Vergabe Volumens aller Vergaben der vorgelagerten Lieferkette im Vergleich zur Länderverteilung der Direktlieferanten

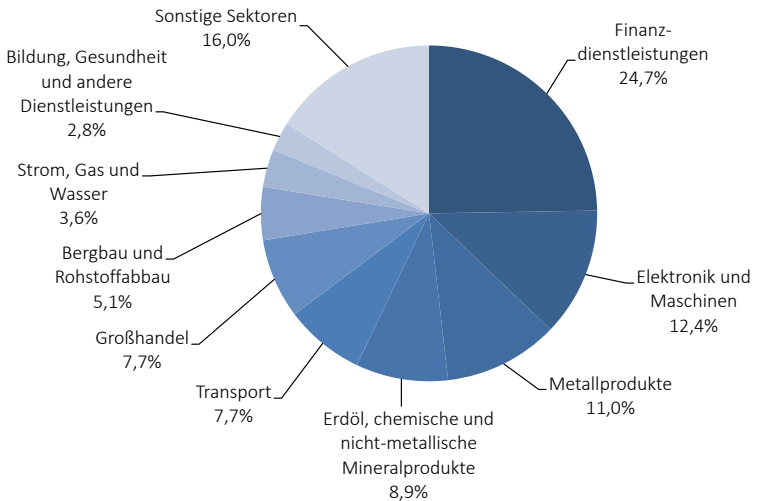


Abbildung 5.15: Durchschnittliche Verteilung des Vergabe Volumens aller 260 Vergaben der vorgelagerten Lieferkette auf die Sektoren von Eora

Ergänzend zur durchschnittlichen Länderverteilung der vorgelagerten Lieferkette ist in Abbildung 5.15 die durchschnittliche Verteilung der Sektoren der vorgelagerten Lieferkette dargestellt. Betrachtet man diese Sektorverteilung im Vergleich zur Verteilung der Direktlieferanten, ergeben sich stärkere Veränderungen als beim Vergleich der Länderverteilungen. Insbesondere der hohe Anteil des Sektors „Elektronik und Maschinen“ der Direktlieferanten verlagert sich sehr stark mit einem Unterschied von über 42 Prozentpunkten zu anderen Sektoren (vgl. Abbildung 5.16). Auch die Anteile des Sektors „Metallprodukte“ gehen in der vorgelagerten Lieferkette, wenn auch nur um ein relativ niedriges Niveau von etwas mehr als 5 Prozentpunkten, zurück. Dagegen steigen vor allem die Anteile der Sektoren „Finanzdienstleistungen“ (+24,7%), „Großhandel“ (+7,7%) und „Strom, Gas und Wasser“ (+3,6%).<sup>10</sup>

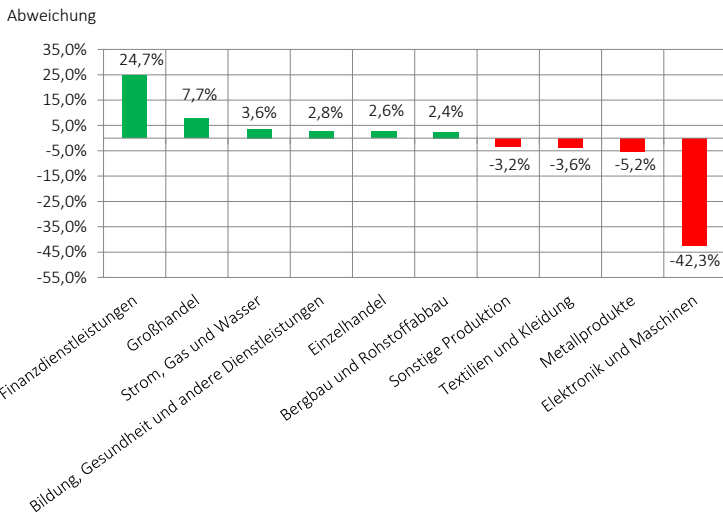


Abbildung 5.16: Die 10 größten Veränderung der Sektorverteilung des Vergabevolumens aller Vergaben der vorgelagerten Lieferkette im Vergleich zur Länderverteilung der Direktlieferanten

<sup>10</sup> Unter „%“ ist hier die absolute Zunahme an Prozentpunkten und nicht die relative Zunahme eines Wertes zu verstehen.

#### 5.4.2.2 Risikoberechnungen

Die Risikoberechnungen der 260 Vergaben erfolgen mit den in Abschnitt 5.1 beschriebenen Daten. Zur Bestimmung der modellierten Lieferanten der vorgelagerten Lieferkette werden 2 Sublieferanten pro Lieferant angenommen. Die Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten und der gesamten Lieferkette aller 260 Vergaben sind in Abbildung 5.17 dargestellt. Die Risiken der Lieferkette beinhalten auch die Risiken des jeweiligen Direktlieferanten. Auf den ersten Blick wird deutlich, dass ein hohes Nachhaltigkeitsrisiko einer Lieferkette nicht nur bei einem hohen sondern auch bei einem niedrigen Nachhaltigkeitsrisiko des Direktlieferanten bestehen kann. Umgekehrt gilt aber, je höher das Nachhaltigkeitsrisiko des Direktlieferanten ist, desto mehr dominiert dieses die Berechnung des Nachhaltigkeitsrisikos der gesamten Lieferkette. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 5.17 besonders ab der Vergabe Nr. 195 bis Nr. 260 erkennbar. Der gleichmäßige Anstieg der Nachhaltigkeitsrisiken der Vergaben mit der Nr. 1 bis 27 und Nr. 65 bis 92 hängt damit zusammen, dass es sich hierbei um Vergaben gleicher Land-Sektor-Kombination, aber mit zunehmendem Vergabevolumen handelt. Im ersten Fall (Nr. 1 bis 27) stammen die Produkte aus Deutschland aus dem Sektor „Elektronik und Maschinen“, im zweiten Fall (Nr. 65 bis 92) aus Deutschland aus dem Sektor „Metallprodukte“.

Werden die Nachhaltigkeitsrisiken aller Vergaben (Direktlieferant und Nachhaltigkeitsrisiko) nach dem Vergabevolumen sortiert, wird sichtbar, dass das Nachhaltigkeitsrisiko der Lieferkette mit Zunahme des Vergabevolumens steigt (vgl. Abbildung 5.18). Dagegen ist dieser Zusammenhang bei den Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten nicht erkennbar. Hintergrund dieses Ergebnisses ist, dass das Nachhaltigkeitsrisiko der Direktlieferanten ausschließlich von der Risikoausprägung des Herkunftslandes des Direktlieferanten abhängt, während im Fall der Berechnung des Nachhaltigkeitsrisikos der Lieferkette die mit Hilfe von Eora berechnete durchschnittliche Länder- und Sektorverteilung der Wertschöpfungsstufen die Risikoberechnung beeinflusst. Abbildung 5.18 verdeutlicht außerdem, dass auch bei relativ niedrigen Vergabevolumen hohe Risiken bestehen können. Zusammenfassend

kann gesagt werden, dass das Nachhaltigkeitsrisiko der untersuchten Vergaben leicht vom Vergabevolumen abhängt und maßgeblich vom Land und Sektor der Vergabe beeinflusst wird. Bei genauerer Betrachtung der Berechnungsergebnisse stellt sich sogar heraus, dass nicht der Sektor sondern vor allem das Land des Produktionsstandorts die Berechnung des Nachhaltigkeitsrisikos bestimmt.

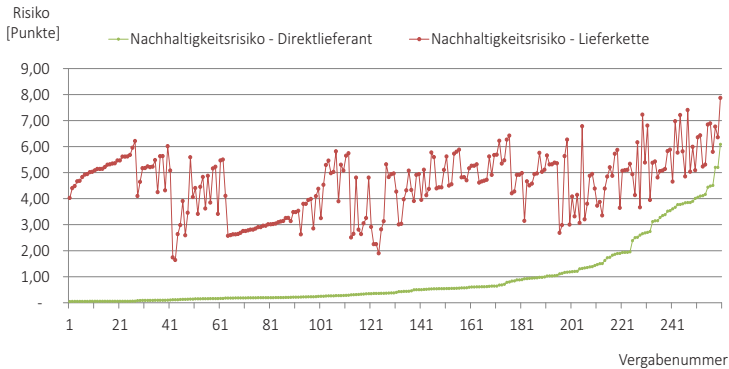


Abbildung 5.17: Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten und der gesamten Lieferkette aller 260 Vergaben (Aufsteigend sortiert nach den Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten)

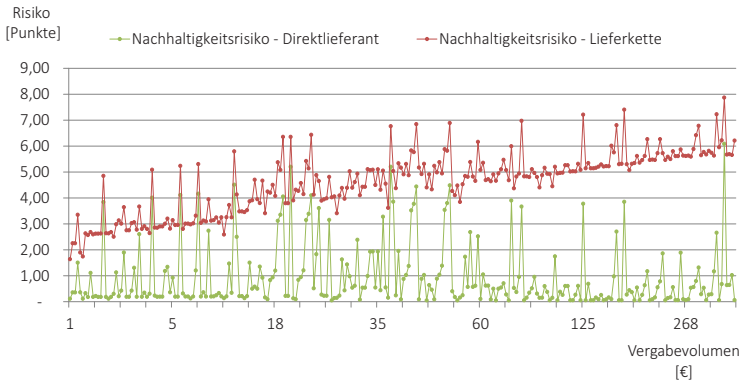


Abbildung 5.18: Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten und der gesamten Lieferkette aller 260 Vergaben (Aufsteigend sortiert nach dem Vergabevolumen)

Um den Unterschied der Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten und der gesamten Lieferkette noch besser zu verdeutlichen, ist in Abbildung 5.19 die Verteilung der Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten und der Lieferketten in Risikoklassen dargestellt. Dabei wird ersichtlich, dass sich die Ausprägungen der Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten hauptsächlich in der Risikoklasse von 0 bis 2 Punkten befinden, während sich die Nachhaltigkeitsrisiken der Lieferkette überwiegend im Bereich von 4 bis 6 Punkten bewegen. Ergänzend dazu beträgt das mittlere Nachhaltigkeitsrisiko der Direktlieferanten 0,93 Punkte, während das der Lieferkette 4,53 Punkte aufweist (vgl. Abbildung 5.21). Die Verteilung bestätigt erneut, dass hohe Nachhaltigkeitsrisiken insbesondere in der vorgelagerten Lieferkette zu erwarten sind.

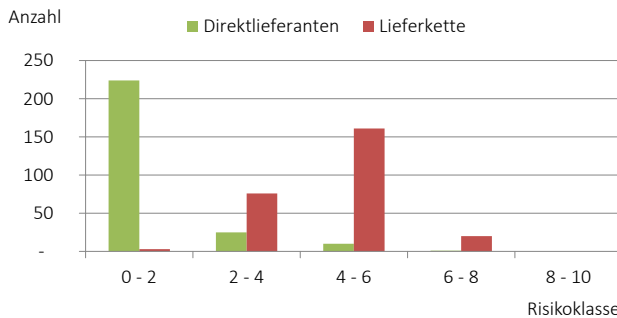


Abbildung 5.19: Verteilung der Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten und Lieferketten in Risikoklassen

Auch die Berechnung der durchschnittlichen Nachhaltigkeitsrisiken der einzelnen Wertschöpfungsstufen mit Hilfe der Neumann-Reihe bestätigt diese Erkenntnis (vgl. Abbildung 5.20). Bei Betrachtung der Abbildung 5.20 wird außerdem ersichtlich, dass die Nachhaltigkeitsrisiken entlang der Lieferkette nicht etwa gleichmäßig verteilt sind sondern vor allem in den Wertschöpfungsstufen 3 und 4 sowie am Ende der Lieferkette bestehen. Hintergrund der hohen Nachhaltigkeitsrisiken der dritten und vierten Stufe ist das Zusammenspiel der Präferenzfunktion mit den wirtschaftlichen Verflechtungen der Länder und Industrien gemäß der Input-Output-Datenbank Eora und der

daraus resultierenden Wertschöpfungen der Land-Sektor-Kombinationen mit teilweise hohen statistischen Risikoausprägungen (vgl. Abschnitt 5.1.1). Beim Großteil der betrachteten 260 Vergaben konnte festgestellt werden, dass die Wertschöpfungsanteile kritischer Land-Sektor-Kombination umso höher sind je tiefer die betrachtete Wertschöpfungsstufe ist. Auch ab der vierten bzw. fünften Wertschöpfungsstufe nehmen die Wertschöpfungsanteile der kritischen Land-Sektor-Kombination weiter zu. Die absolute Wertschöpfung der (kritischen) Land-Sektor-Kombination sinkt ab dieser Stufe aber derart drastisch, so dass sich die Nachhaltigkeitsrisiken durch Anwendung der Präferenzfunktion aufgrund der niedrigen Wertschöpfung ab dieser Stufe wieder reduzieren.

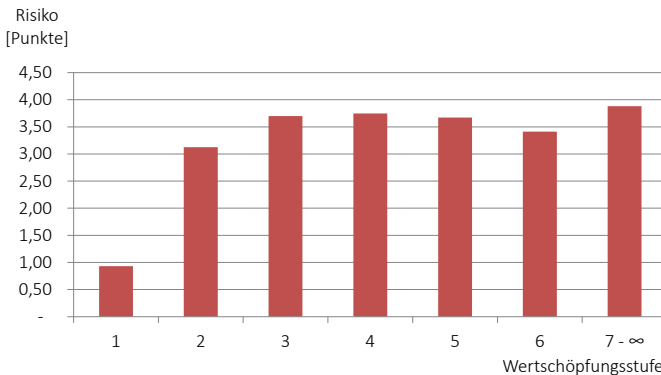


Abbildung 5.20: Durchschnittliches Nachhaltigkeitsrisiko der einzelnen Wertschöpfungsstufen

Das hohe Nachhaltigkeitsrisiko am Ende der Lieferkette kann durch das Zusammenspiel der folgenden beiden Aspekte begründet werden: Erstens ergeben sich durch die Zusammenfassung der Summanden der Neumann-Reihe zur Modellierung einer siebten Wertschöpfungsstufe höhere Wertschöpfungen der einzelnen Land-Sektor-Kombinationen (vgl. Gleichung 5.26). Zweitens sind die Anteile der Sektoren „Bergbau und Rohstoffabbau“ sowie „Erdöl, chemische und nicht-metallische Mineralprodukte der siebten Stufe im Durchschnitt der 260 Vergaben relativ hoch (7,6% bzw. 9,6%). Beide zählen in allen Ländern zu den Sektoren mit den jeweils höchsten statistischen Risikoausprägungen.



In Abbildung 5.21 sind die Unterschiede der durchschnittlichen Ausprägungen der Risikokriterien der Ebenen 1, 2 und 4 der Kriterienhierarchie (vgl. Abbildung 3.2) der Direktlieferanten im Vergleich zu den durchschnittlichen Ausprägungen der Risikokriterien der Lieferkette dargestellt. Auf Ebene 2 wird ersichtlich, dass das durchschnittliche aggregierte soziale Risiko der Direktlieferanten und Lieferketten höher ist als das ökologische Risiko. Die höchsten durchschnittlichen Ausprägungen einzelner Risikokriterien der Direktlieferanten bestehen bei den Risikokriterien  $C_{222}$ ,  $C_{323}$ ,  $C_{325}$ ,  $C_{326}$  und  $C_{327}$ . Selbst diese befinden sich aber alle auf einem relativ niedrigen Niveau zwischen 1,4 und 2,0 Risikopunkten. Bei Betrachtung der Risikoausprägungen der gesamten Lieferkette ergibt sich ein leicht verändertes Bild hinsichtlich der Risikokriterien mit den höchsten Ausprägungen. Hier sind die Risikokriterien  $C_{222}$ ,  $C_{223}$ ,  $C_{321}$ ,  $C_{326}$  und  $C_{327}$  mit Werten zwischen 6,0 und 6,5 Risikopunkten auf einem sehr kritischen Level. Die größten absoluten Unterschiede zwischen den Risiken der Direktlieferanten und denen der gesamten Lieferkette bestehen bei den Risikokriterien  $C_{222}$  (+4,4 Punkte),  $C_{223}$  (+5,3 Punkte),  $C_{321}$  (+4,9 Punkte),  $C_{326}$  (+4,8 Punkte) und  $C_{327}$  (+4,5 Punkte). Relativ gesehen sind die Unterschiede bei den Risikofaktoren  $C_{221}$  (+4.443%),  $C_{222}$  (+1.313 %) und  $C_{225}$  (+2.987%) am größten.

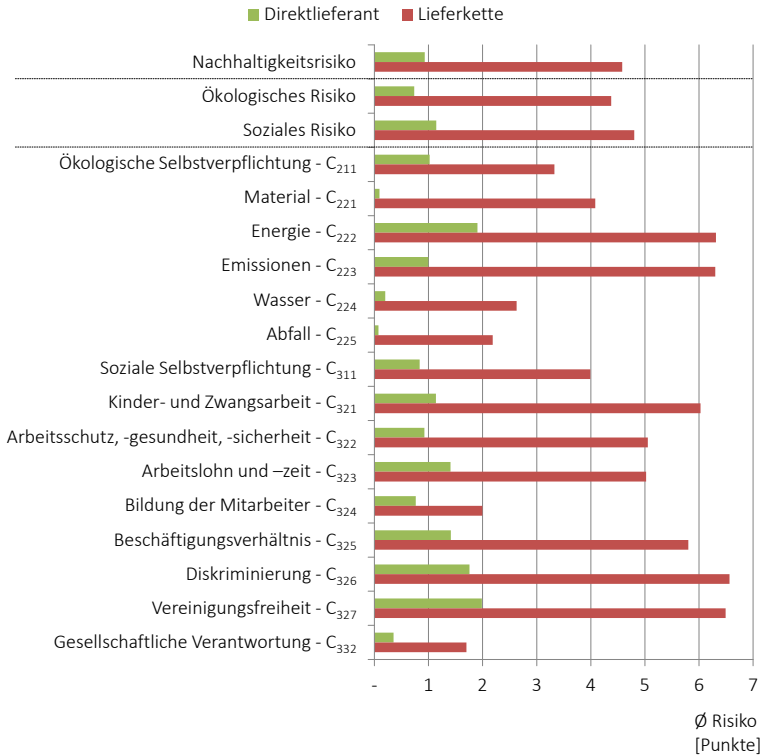


Abbildung 5.21: Durchschnittliche Risikoausprägungen der Direktlieferanten und Lieferketten aller Vergaben auf Ebene 1, 2 und 4 der Kriterienhierarchie

Die zehn Produkte mit den höchsten Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten sind in Tabelle 5.9 gelistet. Auffällig dabei ist, dass sich alle Produktionsstandorte zur Lieferung dieser 10 Produkte in China befinden. Während das Vergabevolumen der Produkte „Roh-Aluminium für Motorguss“ mit 476 Millionen € hoch ist, sind die Volumina der anderen neun Vergaben mit 5 bis 51 Millionen € relativ klein. Dieser Volumenunterschied erklärt auch die Differenz zwischen der Ausprägung des Nachhaltigkeitsrisikos der Vergabe mit dem höchsten und zweithöchsten Nachhaltigkeitsrisiko.

Tabelle 5.9: Die 10 kritischsten Direktlieferanten hinsichtlich des Nachhaltigkeitsrisikos

Produkt	Land	Sektor	Vergabevolumen [Mio. €]	Nachhaltigkeitsrisiko [Punkte]
Roh-Aluminium für Motorguss	China	Metallprodukte	476	6,09
Innenverkleidung	China	Erdöl, chemische und nicht-metallische Mineralprodukte	18	5,20
Seitenrahmen außen	China	Metallprodukte	41	5,20
Rechte Seitenwand vorne	China	Metallprodukte	11	4,51
Vordersitze Leder	China	Textilien und Kleidung	51	4,48
Hintersitze Leder	China	Textilien und Kleidung	46	4,44
Schließblech Längsträger	China	Metallprodukte	5	4,16
Scharnierverstärkung	China	Metallprodukte	5	4,11
Vordersitze ohne Leder	China	Sonstige Produktion	20	4,10
Hintersitze ohne Leder	China	Sonstige Produktion	18	4,05

Betrachtet man die 10 höchsten Nachhaltigkeitsrisiken der Lieferketten aller 260 Vergaben, so entsteht ein leicht verändertes Bild (vgl. Tabelle 5.10). Neben China zählen nun auch Produkte, die aus Südkorea geliefert werden, zu den kritischsten Lieferketten der 260 betrachteten Vergaben. Dabei muss aber hervorgehoben werden, dass diese südkoreanischen Vergaben sehr hohe Volumina aufweisen. Bei detaillierter Betrachtung dieser Vergaben wird schnell ersichtlich, dass es aufgrund der hohen Volumina in Südkorea in der vorgelagerten Lieferkette zu hohen Umsätzen bzw. Wertschöpfungen in China kommt, was letztlich zu einem hohen Nachhaltigkeitsrisiko dieser Lieferkette führt.

Tabelle 5.10: Die 10 kritischsten Lieferketten hinsichtlich des Nachhaltigkeitsrisikos

Produkt	Land	Sektor	Vergabevolumen [Mio. €]	Nachhaltigkeitsrisiko [Punkte]
Roh-Aluminium für Motorguss	China	Metallprodukte	476	7,87
Kabelbaum	China	Elektronik und Maschinen	174	7,40
Felgen	Südkorea	Metallprodukte	431	7,23
Steuergerät	China	Elektronik und Maschinen	125	7,21
Motorkühler mit Befestigung	China	Elektronik und Maschinen	84	6,97
Vordersitze Leder	China	Textilien und Kleidung	51	6,89
Hintersitze Leder	China	Textilien und Kleidung	46	6,85
Reifen	Südkorea	Erdöl, chemische und nicht-metallische Mineralprodukte	169	6,81
Schaltgetriebe	Südkorea	Elektronik und Maschinen	268	6,78
Seitenrahmen außen	China	Metallprodukte	41	6,77

Werden die Lieferketten mit den höchsten aggregierten ökologischen Risiken untersucht, so fällt auf, dass diese vor allem durch Produkte der Sektoren „Metallprodukte“, „Elektronik und Maschinen“ sowie „Erdöl, chemische und nicht-metallische Produkte“ dominiert werden (vgl. Tabelle 5.11).

Bei den Lieferketten mit den höchsten aggregierten sozialen Risiken handelt es sich dagegen Großteils um Produkte des Sektors „Textilien und Kleidung“ (vgl. Tabelle 5.12). Hierbei sind die sozialen Risiken im Durchschnitt 1 Risikopunkt höher als die ökologischen.

## 5.4 Anwendung des Risikomodells am Beispiel der Vergaben eines Automobilherstellers

Tabelle 5.11: Die 10 kritischsten Lieferketten hinsichtlich des aggregierten ökologischen Risikos

Produkt	Land	Sektor	Vergabevolumen [Mio. €]	Ökologisches Risiko [Punkte]
Felgen	Südkorea	Metallprodukte	431	7,56
Roh-Aluminium Motorguss	China	Metallprodukte	476	7,45
Reifen	Südkorea	Erdöl, chemische und nicht-metallische Mineralprodukte	169	7,43
Kabelbaum	China	Elektronik und Maschinen	174	6,90
Dach-Verkleidung	Südkorea	Erdöl, chemische und nicht-metallische Mineralprodukte	59	6,82
Schaltgetriebe	Südkorea	Elektronik und Maschinen	268	6,73
Steuergerät	China	Elektronik und Maschinen	125	6,66
Injektorleitungssatz	Deutschland	Erdöl, chemische und nicht-metallische Mineralprodukte	455	6,39
Motorkühler mit Befestigung	China	Elektronik und Maschinen	84	6,38
Seitenrahmen außen	China	Metallprodukte	41	6,29

Tabelle 5.12: Die 10 kritischsten Lieferketten hinsichtlich des aggregierten sozialen Risikos

Produkt	Land	Sektor	Vergabevolumen [Mio. €]	Soziales Risiko [Punkte]
Vordersitze Leder	China	Textilien und Kleidung	51	8,49
Hintersitze Leder	China	Textilien und Kleidung	46	8,47
Roh-Aluminium Motorguss	China	Metallprodukte	476	8,32
Kabelbaum	China	Elektronik und Maschinen	174	7,95
Vordersitze ohne Leder	China	Sonstige Produktion	20	7,90
Leder für Mittelschaltung mechanisches Getriebe	Mexiko	Textilien und Kleidung	73	7,86
Hintersitze ohne Leder	China	Sonstige Produktion	18	7,82
Steuergeräte, Module	China	Elektronik und Maschinen	125	7,81
Vordersitze Leder	Mexiko	Textilien und Kleidung	51	7,74
Hintersitze Leder	Mexiko	Textilien und Kleidung	46	7,70

### 5.4.3 Sensitivitätsanalyse der Fallstudienergebnisse

Die Berechnungen der Risiken des vorherigen Abschnitts hängen von den zwei Input-Parametern „Gewichtung“ und „Anzahl der Sublieferanten pro Lieferant“ ab. Diese werden entweder indirekt mittels FAHP oder direkt festgelegt und basieren auf subjektiven Experteneinschätzungen. Umso wichtiger ist es deshalb zu untersuchen, wie sich die Endergebnisse des vorherigen Abschnitts bei Veränderung dieser Parameter verhalten. Hierfür wird im Folgenden eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Durch wenige aber möglichst aussagekräftige Szenarien wird im Folgenden untersucht, welche Abhängigkeiten zwischen den Input-Parameter und Ergebnissen (Output) bestehen und welche Auswirkungen aus den Änderungen verschiedener Input-Parameter resultieren. Deshalb spielt in diesem Zusammenhang insbesondere die Unsicherheit der beiden Input-Parameter eine wichtige Rolle. Saltelli (2008) definieren dazu eine Sensitivitätsanalyse sehr treffend als eine „study of how uncertainty in the output of a model (numerical or otherwise) can be apportioned to different sources of uncertainty in the model input“ (Saltelli 2008).

Im Folgenden werden zunächst die verschiedenen Szenarien der Sensitivitätsanalyse vorgestellt bevor im Anschluss die Sensitivitäten der Ergebnisse der Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten und der gesamten Lieferkette untersucht werden.

#### 5.4.3.1 Vorstellung der Szenarien

Zur Durchführung der Sensitivitätsanalyse werden 3 Szenarien zur Untersuchung des Einfluss der Gewichtungen auf die Ergebnisse durchgeführt. Außerdem wird der Einfluss des zweiten Input-Parameters „Anzahl an Sublieferanten pro Lieferant“ in 3 weiteren Szenarien analysiert. Die Ergebnisse aller 6 Szenarien werden dabei immer den Ergebnissen des vorherigen Abschnitts (Basisszenario) gegenübergestellt. Tabelle 5.13 gibt einen Überblick über das Basisszenario und die 6 neuen Szenarien.

Tabelle 5.13: Szenarien zur Untersuchung des Einflusses der Input-Parameter auf die Risikoergebnisse

Szenario	Gewichtung	Anzahl Sublieferanten
Basis	Ergebnisse des FAHP	2
1	Jeweils Gleichgewichtung der ökologischen und sozialen Kriterien. Das Verhältnis der Gewichtung der ökologischen zur sozialen Säule des Basisszenarios bleibt nicht erhalten.	2
2	Ökologische Maxima der Individualgewichtungen. Entsprechende Anpassung der sozialen Gewichtungen. Das Verhältnis der Gewichtung der ökologischen zur sozialen Säule des Basisszenarios bleibt nicht erhalten.	2
3	Soziale Maxima der Individualgewichtungen. Entsprechende Anpassung der sozialen Gewichtungen. Das Verhältnis der Gewichtung der ökologischen zur sozialen Säule des Basisszenarios bleibt nicht erhalten.	2
4	Ergebnisse des FAHP	1,5
5	Ergebnisse des FAHP	2,5
6	Ergebnisse des FAHP	3

In Szenario 1 werden die Gewichtungen gegenüber dem Basisszenario zunächst leicht verändert. Dazu werden die ökologischen und sozialen Kriterien jeweils pro Säule der Nachhaltigkeit gleich gewichtet. Das Verhältnis der Summe der ökologischen Kriteriengewichtungen zur Summe der sozialen Kriteriengewichtungen des FAHP wird dabei leicht verändert (vgl. Abbildung 5.22). In den Szenarien 2 und 3 dagegen werden die Gewichtungen nun sehr stark verändert. Dazu werden die Spannweiten der Gewichtungen aus Abbildung 5.6 und Abbildung 5.7 verwendet. Szenario 2 bildet dabei sehr starke ökologische Präferenzen ab, während das Szenario 3 sehr starke soziale Präferenzen repräsentiert. Das Ausmaß der Veränderung der Gewichtungen lässt sich am besten mit der mittleren Abweichung der Gewichtung gegenüber dem Basisszenario erklären. Während die mittlere Abweichung der Gewichtungen des Szenarios 1 im Vergleich zum Basisszenario lediglich 1,4 Prozentpunkte beträgt, weichen die Gewichtungen der Szenarien 2 bzw. 3 um 3,5 bzw. 2,3 Prozentpunkte ab. Diese Unterschiede können mit den großen Spannweiten der sozialen und insbesondere ökologischen Gewichtungen begründet werden. Bei den Gewichtungen der Szenarien 2 und 3 muss beachtet werden,

dass sich das Verhältnis der ökologischen (Summe der ökologischen Kriteriengewichtungen) zur sozialen Gewichtung (Summe der sozialen Kriteriengewichtungen) sehr stark verändert hat (vgl. Abbildung 5.22). Bei den Szenarien 1 bis 3 wird die Anzahl an Sublieferanten pro Lieferant konstant mit dem Wert 2 angenommen. In Abbildung 5.23 sind die Gewichtungen der einzelnen Szenarien pro Risikokriterium zusammenfassend dargestellt.

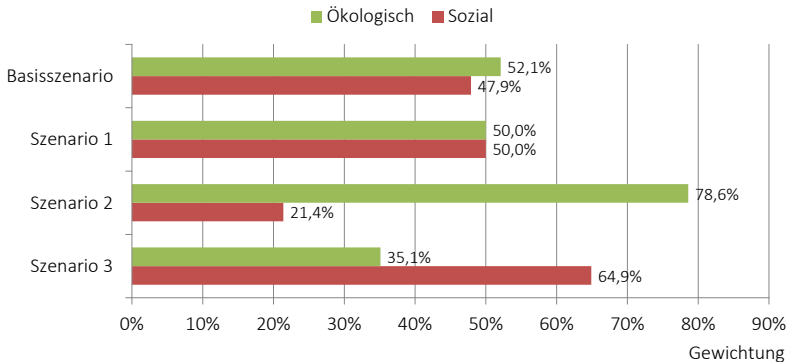


Abbildung 5.22: Verhältnis der Summe der ökologischen Kriteriengewichtungen zur Summe der sozialen Kriteriengewichtungen

Hinsichtlich des Einflusses des Input-Parameters „Anzahl an Sublieferanten pro Lieferant“ werden die Nachhaltigkeitsrisiken aller 260 Vergaben mit den Werten 1,5 bis 3 berechnet, wobei der Wert 2 dem Basisszenario entspricht. Dabei werden die Gewichtungen des FAHP verwendet.



## 5.4 Anwendung des Risikomodells am Beispiel der Vergaben eines Automobilherstellers

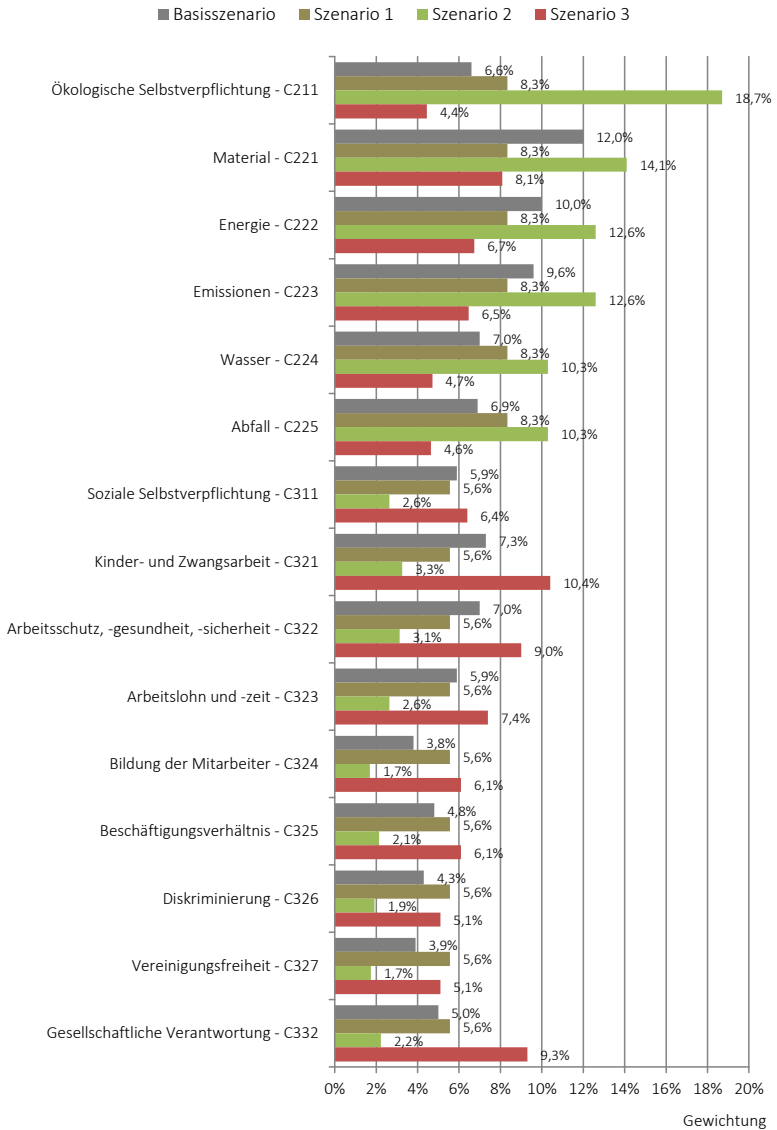


Abbildung 5.23: Globale Gewichtungen des Basisszenarios und der weiteren Szenarien 1, 2 und 3 im Vergleich

### 5.4.3.2 Sensitivitätsanalyse der Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten

Jetzt werden die Sensitivitäten der Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten des Basisszenarios anhand der vorgestellten Szenarien analysiert. Da die Anzahl an Sublieferanten pro Lieferant keinen Einfluss auf die Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten hat, werden die Szenarien 4 bis 6 in diesem Abschnitt nicht berücksichtigt.

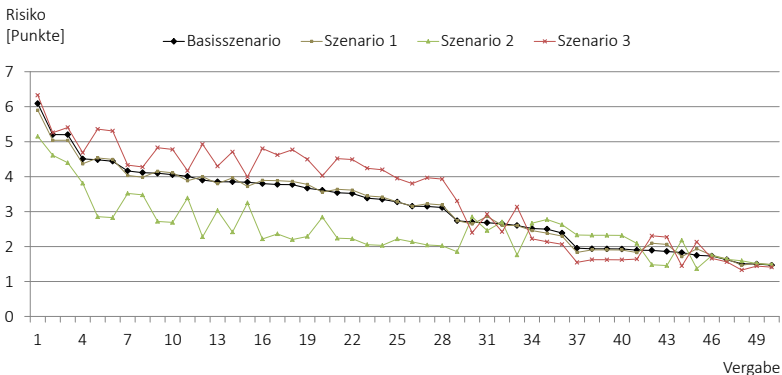


Abbildung 5.24: Die 50 höchsten Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten aller 260 Vergaben der Szenarien 1 bis 3 im Vergleich zum Basisszenario (Absteigend nach den Ergebnissen des Basisszenarios sortiert)

In Abbildung 5.24 sind die 50 Direktlieferanten mit den höchsten Nachhaltigkeitsrisiken des Basisszenarios im Vergleich zu den Szenarien 1 bis 3 dargestellt. Sehr klar zu erkennen ist, dass alle Szenarien eine ähnliche Tendenz haben, was auch mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten der 3 Szenarien in Tabelle 5.14 bestätigt werden kann. Auffällig ist, dass besonders die Ergebnisse des Szenarios 1, bei Betrachtung der 50 Direktlieferanten mit den höchsten Nachhaltigkeitsrisiken in Abbildung 5.24, sehr nahe an den Nachhaltigkeitsrisiken des Basisszenarios liegen. Dagegen gibt es bei den Szenarien 2 und 3 im Vergleich zum Basisszenario größere Abweichungen, welche mit abnehmenden Nachhaltigkeitsrisiken abzunehmen scheinen. Auffällig ist auch, dass die Ergebnisse des Szenarios 2 im Vergleich zum Basisszenario nach unten ab-

weichen während die Ergebnisse des Szenarios 3 nach oben abweichen. Dies kann mit den im Durchschnitt höheren statistischen sozialen Risikoausprägungen im Vergleich zu den statistischen ökologischen Risikoausprägungen begründet werden. In Szenario 3 sind z.B. die sozialen Risikokriterien höher gewichtet, was deshalb zu Abweichungen der Nachhaltigkeitsrisiken oberhalb der Ergebnisse des Basisszenarios führt. Darüber hinaus fällt bei Betrachtung des Diagramms auf, dass die Ausreißer der Szenarien 2 und 3 immer gegensätzlich verlaufen. Diese Ausreißer und gegenläufige Bewegung kann in den meisten Fällen damit begründet werden, dass es einige Land-Sektor-Kombinationen mit hohen statistischen ökologischen und mittleren bis niedrigen sozialen Risikoausprägungen gibt und umgekehrt.

Tabelle 5.14: Korrelationskoeffizienten der Nachhaltigkeitsrisiken der Szenarien 1 bis 3 und dem Basisszenario

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Basisszenario	99,8%	96,3%	98,9%

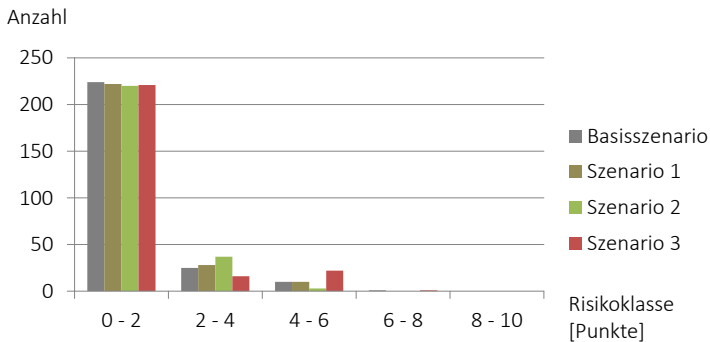


Abbildung 5.25: Verteilung der Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten des Basisszenarios und der Szenarien 1 bis 3 auf Risikoklassen

Verteilt man die Nachhaltigkeitsrisiken der Szenarien in Risikoklassen, so kann auch hier festgehalten werden, dass sich die Ergebnisse der betrachteten

Szenarien stark ähneln. Abbildung 5.25 bestätigt, dass es nur im Fall der stärkeren Gewichtungänderungen der Szenarien 2 und 3 zu etwas höheren Verschiebungen der Nachhaltigkeitsrisiken von der Risikoklasse „0 bis 2“ in die Risikoklassen „2 bis 4“ und „4 bis 6“ kommt.

Tabelle 5.15: Die Produkte mit den höchsten Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten des Basisszenarios und deren Rangänderung in den Szenarien 1 bis 3

Produkt	Land	Sektor	Vergabevolumen [Mio. €]	Rangänderung		
				S1	S2	S3
Roh-Aluminium für Motorguss	China	Metallprodukte	476	/	/	/
Innenverkleidung	China	Erdöl, chemische und nicht-metallische Mineralprodukte	18	/	/	+ 3
Seitenrahmen außen	China	Metallprodukte	41	/	/	- 1
Rechte Seitenwand vorne	China	Metallprodukte	11	+ 2	/	+ 8
Vordersitze Leder	China	Textilien und Kleidung	51	- 1	+ 5	- 2
Hintersitze Leder	China	Textilien und Kleidung	46	- 1	+ 7	- 2
Schließblech Längsträger	China	Metallprodukte	5	+ 2	- 2	+ 10
Scharnierverstärkung	China	Metallprodukte	5	+ 3	- 2	+ 11
Vordersitze ohne Leder	China	Sonstige Produktion	20	- 2	+ 6	- 2
Hintersitze ohne Leder	China	Sonstige Produktion	18	- 2	+ 7	- 1
Mittlere Rangänderung Top 10				± 1,3	± 2,9	± 4
Mittlere Rangänderung Top 50				± 1,8	± 8,5	± 4,3
Mittlere Rangänderung aller 260 Vergaben				± 6,9	± 6,5	± 9,6

Für die Entscheidungsfindung im nachhaltigen Lieferantenmanagement ist die Robustheit der empfohlenen Rangfolge der Produkte mit den höchsten Nachhaltigkeitsrisiken von großer Bedeutung. Deshalb sind in Tabelle 5.15 die

Produkte mit den höchsten Nachhaltigkeitsrisiken der Direktlieferanten des Basisszenarios und die Rangfolgeänderung der Szenarien 1 bis 3 gelistet. Die Ergebnisse machen deutlich, dass in dieser Fallstudie kleine Veränderungen der Gewichtungen wie im Szenario 1 nur zu minimalen durchschnittlichen Rangfolgeveränderungen der Produkte mit den höchsten Risiken führen ( $\pm 1,3$  Rangplätze). Bei starken Veränderungen der Gewichtungen wie in den Szenarien 2 und 3 kommt es dagegen auch zu höheren Rangänderungen ( $\pm 2,9$  bzw.  $\pm 4,0$  Rangplätze). Betrachtet man die Rangänderungen aller Produkte, muss festgehalten werden, dass die Ergebnisse unter Berücksichtigung der 260 Produkte abgesehen von wenigen Ausnahmen relativ robust sind. Die durchschnittliche Rangänderung der 50 höchsten Nachhaltigkeitsrisiken oder aller Produkte liegt bei allen Szenarien unter 10 Rangplätzen (vgl. Tabelle 5.15). Die Robustheit der Ergebnisse kann auch durch die Rangkorrelationskoeffizienten in Tabelle 5.16 bestätigt werden.

Tabelle 5.16: Rangkorrelationskoeffizienten der Nachhaltigkeitsrisiken der Szenarien 1 bis 3 und dem Basisszenario

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Basisszenario	99,1%	99,2%	98,5%

### 5.4.3.3 Sensitivitätsanalyse der Nachhaltigkeitsrisiken der Lieferketten

Vergleicht man nun die Ergebnisse der Nachhaltigkeitsrisiken der Lieferketten der Szenarien 1 bis 6 mit dem Basisszenario, ergibt sich für den Vergleich der Szenarien 1 bis 3 ein sehr ähnliches Bild wie beim Vergleich der Ergebnisse bezüglich der Direktlieferanten des vorherigen Abschnitts: Während die Nachhaltigkeitsrisiken des Szenarios 1 trotz der Gewichtungänderungen sehr nahe an den Ergebnissen des Basisszenarios liegen, gibt es bei den Szenarien 2 und 3 im Vergleich zum Basisszenario immer wieder größere Abweichungen (vgl. Abbildung 5.26). Auffällig ist wieder, dass die Nachhaltigkeitsrisiken des Szenarios 2 im Vergleich zum Basisszenario fast immer nach unten abweichen, während die Ergebnisse des Szenarios 3 nach oben abweichen. Außerdem verlaufen die Ausreißer der Szenarien 2 und 3 wie im vorherigen Abschnitt

wieder entgegengesetzt. Zusammenfassend zeigen die Korrelationskoeffizienten in Tabelle 5.19, dass die Ergebnisse dieser 3 Szenarien sehr stark mit den Ergebnissen des Basisszenarios korrelieren.

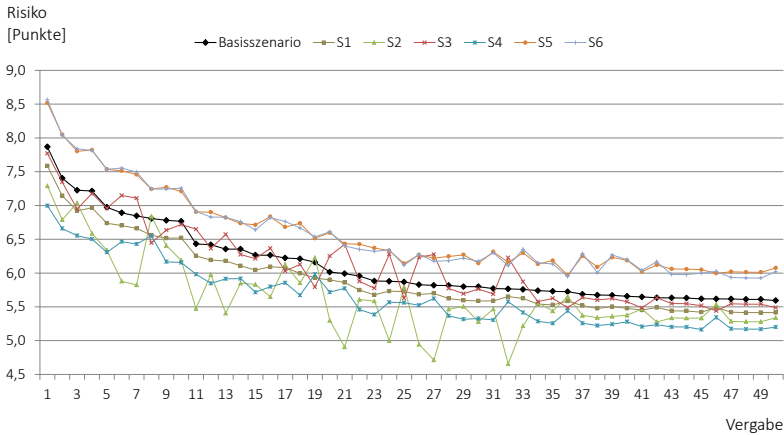


Abbildung 5.26: Die 50 höchsten Nachhaltigkeitsrisiken der Lieferketten aller 260 Vergabe der Szenarien 1 bis 6 im Vergleich zum Basisszenario (Absteigend nach den Ergebnissen des Basisszenarios sortiert)

Im Gegensatz zu den Szenarien 1 bis 3 gibt es in den Szenarien 4 bis 6 nur kleine Ausreißer. In diesen verlaufen diese jeweils in die gleiche Richtung. Der Unterschied dieser Szenarien liegt im Wesentlichen in der Höhe der Ausprägung der Nachhaltigkeitsrisiken und deren Schwankungen. Während im Szenario 4 bei einer durchschnittlichen Anzahl an Sublieferanten pro Lieferant von 1,5 im Vergleich hohe Schwankungen auf einem niedrigen Risikoniveau festzustellen sind, bewegen sich die Szenarien 5 und 6 auf einem im Vergleich hohen Risikoniveau bei gleichzeitig niedrigen Schwankungen. Dies kann, wenn auch nur marginal, mit den Korrelationskoeffizienten in Tabelle 5.19 bestätigt werden. Auch im Fall der Szenarien 4 bis 6 bestätigen die Korrelationskoeffizienten in dieser Tabelle eine starke Korrelation der Ergebnisse der Szenarien 4 bis 6 mit den Ergebnissen des Basisszenarios.

Tabelle 5.17: Korrelationskoeffizienten der Nachhaltigkeitsrisiken der Szenarien 1 bis 3 und dem Basisszenario

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6
Basisszenario	99,9%	98,0%	99,3%	99,6%	99,8%	99,7%

Sehr auffällig ist im Zusammenhang der Szenarien 4 bis 6 in Abbildung 5.26 außerdem, dass sich bei Erhöhung des Input-Parameters „Anzahl an Sublieferanten pro Lieferant“ vom Wert 1,5 auf 2,5 (Szenario 4: 1,5; Basisszenario: 2,0; Szenario 5: 2,5) das Nachhaltigkeitsrisiko deutlich sichtbar erhöht, während diese Zunahme im Szenario 6 mit dem Wert 3,0 nicht mehr eintritt. Um diesen Sachverhalt genauer zu untersuchen, wurden die mittleren Nachhaltigkeitsrisiken der Lieferketten aller 260 Vergaben statt bislang mit 3 Variationen des Input-Parameters „Anzahl an Sublieferanten pro Lieferant“ der Szenarien 4 bis 6 nun zusätzlich mit 21 Variationen von 1,5 bis 3,5 berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5.27 dargestellt und machen deutlich, dass die Anzahl an Sublieferanten pro Lieferant ab einem Wert von 2,2 nur noch einen geringfügigen Einfluss auf das Nachhaltigkeitsrisiko der Lieferkette ausübt. Der Einfluss dieses Parameterwerts sollte deshalb vor allem beim Vergleich der Risikoergebnisse vollständig bekannter Lieferketten mit den Risikoergebnissen teilweise bekannter oder vollständig unbekannter Lieferketten untersucht und mit Bedacht festgelegt werden.

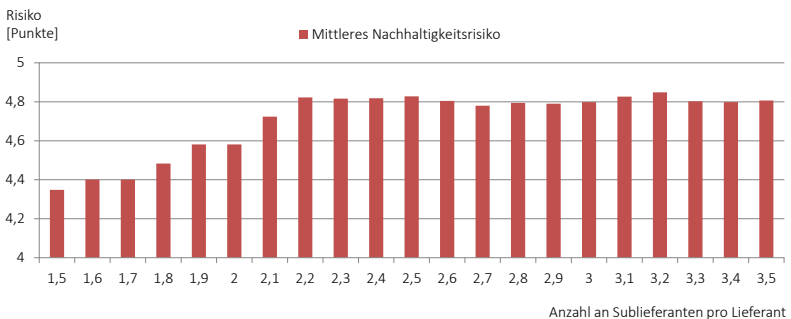


Abbildung 5.27: Mittleres Nachhaltigkeitsrisiko der Lieferketten der 260 Vergaben in Abhängigkeit vom Input-Parameter „Anzahl an Sublieferanten pro Lieferant“

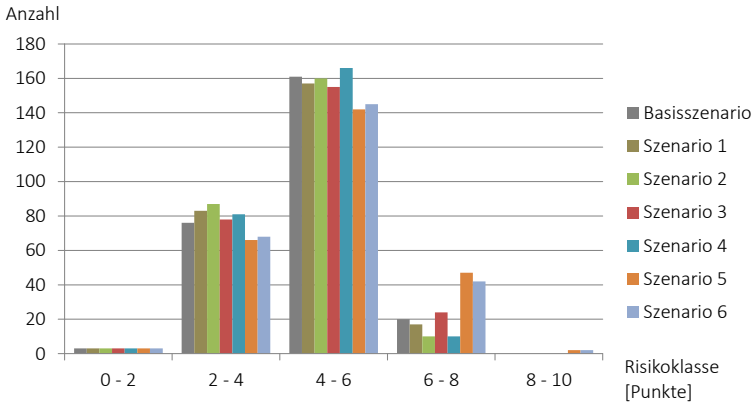


Abbildung 5.28: Verteilung der Nachhaltigkeitsrisiken der Lieferketten aller Szenarien auf Risikoklassen

Die Verteilung der Vergaben in Risikoklassen in Abhängigkeit vom Nachhaltigkeitsrisiko der Lieferkette ergibt für die Szenarien 1 bis 3 ein sehr ähnliches Bild (vgl. Abbildung 5.28) wie im Falle der Verteilung der Risiken der Direktlieferanten. Hinsichtlich der Szenarien 4 bis 6 macht diese Aufteilung noch einmal deutlich, dass eine niedrige Anzahl an Sublieferanten pro Lieferant zu niedrigeren Nachhaltigkeitsrisiken der Lieferkette führt und umgekehrt. Hierbei muss aber erwähnt werden, dass diese Aussage nur für einen bestimmten Wertebereich bis 2,2 Sublieferanten pro Lieferant gilt.



#### 5.4 Anwendung des Risikomodells am Beispiel der Vergaben eines Automobilherstellers

Tabelle 5.18: Die Produkte mit den höchsten Nachhaltigkeitsrisiken der Lieferketten des Basisszenarios und deren Rangänderung in den Szenarien 1 bis 6

Produkt	Land	Sektor	Vergabevolumen [Mio. €]	Rangänderung					
				S1	S2	S3	S4	S5	S6
Roh-Aluminium für Motorguss	China	Metallprodukte	476	/	/	/	/	/	/
Kabelbaum	China	Elektronik und Maschinen	174	/	+ 2	/	/	/	/
Felgen	Südkorea	Metallprodukte	431	+ 1	- 1	+ 4	/	+ 1	/
Steuergerät	China	Elektronik und Maschinen	125	- 1	+ 1	- 1	+ 1	- 1	/
Motorkühler mit Befestigung	China	Elektronik und Maschinen	84	/	+ 2	+ 1	+ 3	/	+ 1
Vordersitze Leder	China	Textilien und Kleidung	51	/	+ 6	- 2	/	/	- 1
Hintersitze Leder	China	Textilien und Kleidung	46	/	+ 9	- 2	/	/	/
Reifen	Südkorea	Erdöl, chemische und nicht-metallische Mineralprodukte	169	/	- 5	+ 4	- 4	+ 1	+ 1
Schaltgetriebe	Südkorea	Elektronik und Maschinen	268	+ 1	- 3	+ 1	/	- 1	+ 1
Seitenrahmen aussen	China	Metallprodukte	41	- 1	- 1	- 2	/	/	- 2
Mittlere Rangänderung Top 10				± 0,4	± 3	± 1,7	± 0,8	± 0,4	± 0,6
Mittlere Rangänderung Top 50				± 1,3	± 12,6	± 4,5	± 3,1	± 2,5	± 3,1
Mittlere Rangänderung aller 260 Vergaben				± 2,0	± 12,2	± 6,7	± 6,2	± 4,5	± 5,0

Betrachtet man auch hier wieder die Rangänderungen der Produkte zwischen den Szenarien, so stellt man anhand der Ergebnisse in Tabelle 5.18 fest, dass die Ergebnisse unter Berücksichtigung der hohen Anzahl an betrachteten

Vergaben wieder relativ robust sind. Insbesondere die Szenarien 1 und 4 bis 6 weisen sehr geringe Rangänderungen auf. Die Rangkorrelationskoeffizienten in Tabelle 5.19 bestätigen diese Erkenntnis erneut.

Tabelle 5.19: Rangkorrelationskoeffizienten der Nachhaltigkeitsrisiken der Szenarien 1 bis 3 und dem Basisszenario

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6
Basisszenario	99,9%	96,5%	99,0%	99,3%	99,4%	99,3%

## 5.5 Zusammenfassung und kritische Würdigung des Risikomodells

Das in diesem Kapitel entwickelte Risikomodell ermöglicht umfangreiche Risikoabschätzungen ökologischer und sozialer Aspekte entlang der Lieferkette. Hierbei kann es verschiedene Entscheidungssituationen im Einkauf eines (fokalen) Unternehmens unterstützen. Dazu zählen Umfang und Detailtiefe von Fragen zu ökologischen und sozialen Themen im Rahmen des Lieferantenauswahl- oder steuerungsprozesses. Außerdem unterstützt es die Empfehlung zu priorisierender Lieferanten bzw. Lieferketten im Rahmen proaktiver nachhaltiger Lieferantenentwicklungsaktivitäten sowie die Erweiterung des Wissens hinsichtlich kritischer ökologischer und sozialer Aspekte im Zuge der Beschaffungsmarktforschung eines Unternehmens. Zusammenfassend erweitert das Risikomodell das Wissen des operativen und strategischen Einkaufs und trägt zu einem effektiven und effizienten nachhaltigen Lieferantenmanagement bei.

Ein wesentlicher Vorteil des gewählten Top-Down Ansatzes mittels der Input-Output-Logik ist die Fähigkeit, sowohl die Nachhaltigkeitsrisiken von Direktlieferanten als auch die Risiken der vorgelagerten Lieferkette quantifizieren zu können. Die Berechnung beschränkt sich dabei nicht auf die Ermittlung einzelner oder aggregierter Nachhaltigkeitsrisiken von Direktlieferanten sondern ermöglicht auch Risikoabschätzungen der gesamten Lieferkette und einzelner Wertschöpfungsstufen. Um die Risikoabschätzungen der Lieferkette auf Basis der Input-Output-Datenbank zu präzisieren, ist die Integration von Primär-

wissen des Einkaufs über die vorgelagerte Lieferkette möglich. Eine weitere Stärke des implementierten Risikomodells SIERRA stellt die einfache Bedienung dar. Nach Eingabe des Landes, Sektors und des Vergabevolumens in die Eingabefelder oder die Lieferantendatenbank, berechnet das Werkzeug die gewünschten Risiken in kürzester Zeit.

Des Weiteren zeigen sich aber auch einige Nachteile des entwickelten Risikomodells bzw. dessen Implementierung SIERRA. So ermöglicht die Berechnung der Länder- und Sektorverteilung der vorgelagerten Lieferkette mittels der Leontief-Inversen lediglich durchschnittliche Risikoverteilungen der vorgelagerten Lieferkette. Diese Informationen auf Makroebene geben zwar einen Hinweis über die Risikotendenz der vorgelagerten Lieferkette, lassen aber keine präziseren Rückschlüsse, wie es Bottom-up Ansätze bzw. Modelle auf Mikroebene ermöglichen würden, zu. Somit sind die Herstellungsprozesse einzelner Produkte nicht individuell berücksichtigt sondern nur im Durchschnitt und in Abhängigkeit von der Homogenität der Produkte des zugeordneten Sektors. Genauso stellen die mit Hilfe der Neumann-Reihe ermittelten Wertschöpfungsstufen durchschnittlich verteilte Stufen dar und ermöglichen im Einzelfall ebenfalls keine präzisen Aussagen. Ein Nachteil von SIERRA und der Implementierung auf Basis der Input-Output-Datenbank Eora ist die beschränkte Anzahl von 25 Sektoren. Diese bilden die Produkte des Einkaufs eines Automobilherstellers nur grob ab. Wie in Tabelle 5.6 aufgezeigt, könnte die Input-Output-Datenbank von GTAP oder EXIOBASE diese Schwäche verbessern. Deren Nutzung führt aber aufgrund der geringeren Anzahl an verfügbaren Ländern lediglich zu einem Kompromiss. Da im vorherigen Abschnitt gezeigt wurde, dass vor allem das Land des Produktionsstandorts das Nachhaltigkeitsrisiko beeinflusst, sollte die Wahl einer anderen IO-Tabelle wohlüberlegt sein. Die Präferenzfunktion wurde mit Hilfe der Daten einer Befragung von 10 Nachhaltigkeitsexperten der Automobilindustrie getätigt, weshalb diese keinesfalls als repräsentativ angesehen werden kann und für andere Branchen aufgrund unterschiedlicher Beschaffungsportfolios und Präferenzen neu entwickelt werden muss. Des Weiteren kann die Wahl der Länderindikatoren zur Abbildung der Risikokriterien kritisiert werden. Die Kriterien konnten nicht immer mit einem inhaltlich perfekt passenden Indikator abgebildet

werden. Nichtsdestotrotz wurden vor dem Hintergrund der eingeschränkten Datenverfügbarkeit die geeignetsten Indikatoren verwendet. Abschließend soll an dieser Stelle erneut auf die Schwierigkeit der Berechnungen der Hotspots bei teilweise bekannter Lieferkette hingewiesen werden (vgl. 5.2.3).

## 6 Entwicklung und Anwendung des Leistungsmodells am Beispiel eines Automobilherstellers

In den folgenden Abschnitten wird zunächst die Entwicklung eines Fragebogens, die Festlegung von Präferenzfunktionen für die Implementierung von PROMETHEE und die Bestimmung der Gewichtungen aller Indikatoren, Kriterien, Bereiche und Dimensionen erläutert. Diese Inhalte bilden die Basis für die Implementierung und exemplarische Anwendung des Leistungsmodells in den darauf folgenden Abschnitten. Das Kapitel schließt mit einer kritischen Würdigung.

### 6.1 Entwicklung eines Fragenkatalogs

Die Entwicklung des Fragenkatalogs bzw. Indikatorensystems erfolgte in drei Schritten. Im ersten Schritt wurde zur Erstellung einer Liste potenzieller Indikatoren eine umfangreiche Indikatorenanalyse durchgeführt. Hierzu wurden die Indikatoren der Nachhaltigkeitsberichte von Wirtschaftsunternehmen und der Richtlinie der Global Reporting Initiative (GRI 2013), die identifizierten Indikatoren im Rahmen der Kriterienanalyse aus Abschnitt 3.1.2 und die aus den Fragen des OEM übergreifenden Nachhaltigkeitsfragebogens der European Automotive Working Group on Supply Chain Sustainability (CSR Europe 2014) in die Indikatorenliste aufgenommen. Im zweiten Schritt wurde die Indikatorenliste in Zusammenarbeit mit zwei Nachhaltigkeitsexperten eines Automobilherstellers zunächst grob analysiert, um inhaltlich überlappende und weniger relevante Indikatoren aus der Liste zu streichen. Anschließend wurden im letzten Schritt die verbleibenden 467 Indikatoren hinsichtlich Bedeutung und Erfassungsaufwand bewertet, um darauf aufbauend Indikatoren mit geringer Bedeutung und hohem Erfassungsaufwand ebenfalls aus der Indikatorenliste zu entfernen. Übrig blieben 228 Indikatoren, von denen 19 als Mindestanforderungen in Abhängigkeit von der Mitarbeiterzahl und des Produkts festgelegt wurden (vgl. Tabelle A.5).

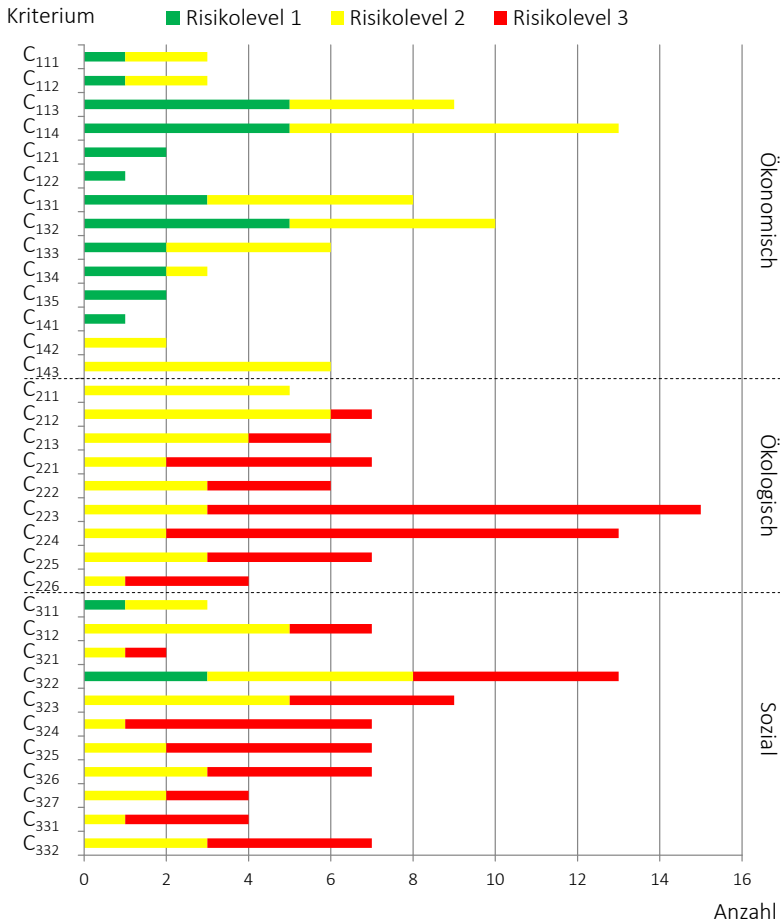


Abbildung 6.1: Verteilung der Leistungsindikatoren auf die Kriterien und Risikostufen

Aufbauend auf diesen Indikatoren wurde der Fragebogen ausformuliert. Die Fragen bzw. Indikatoren betreffen Aspekte auf Unternehmens-, Standort- und Produktebene (vgl. Abbildung 2.6 in Abschnitt 2.3.4). Die Fragen müssen zum Großteil durch den Lieferanten beantwortet werden (193 Fragen) während ein kleinerer Teil (35 Fragen) durch das einkaufende Unternehmen selbst bewertet wird. Um eine dynamische Fragebogenerstellung in Abhängigkeit

von der Ausprägung der Risikokriterien zu ermöglichen, wurden alle Fragen bzw. Indikatoren einem Kriterium der Kriterien-Hierarchie aus Abbildung 3.2 und einem Risikolevel zwischen 1 und 3 zugeordnet. Die sich daraus ergebende Verteilung auf die Kriterien und Risikolevels ohne die Mindestanforderungen kann in Abbildung 6.1 eingesehen werden. Für die Risikolevel 2 und 3 gilt, dass auch immer die Fragen der darunter liegenden Risikolevels gestellt werden.

Die 228 Indikatoren setzen sich aus 75 quantitativen und 153 qualitativen Indikatoren, inklusive der 122 binären, zusammen. Für qualitative nicht-binäre Indikatoren, die linguistische Experteneinschätzungen erfordern, sind die möglichen Einschätzungsniveaus in Abhängigkeit vom Kriterium samt Likert-Skala zur Überführung der Experteneinschätzungen in Zahlenwerte in Tabelle 6.1 dargestellt. Die Likert-Skala wird im Rahmen von PROMETHEE verwendet. Im Gegensatz dazu werden für die Anwendung von Fuzzy PROMETHEE die in Tabelle 4.5 aufgezeigten Fuzzy-Äquivalente genutzt.

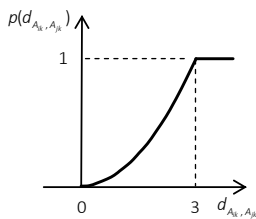
Tabelle 6.1: Likert-Skala und linguistische Skalen zur Bewertung der qualitativen nicht-binären Indikatoren

Einschätzungsniveaus 1	Einschätzungsniveaus 2	Likert-Skala
Sehr gut	Sehr sicher	1
Gut	Sicher	2
Mittelmäßig	Mittelmäßig	3
Schlecht	Unsicher	4
Sehr schlecht	Sehr unsicher	5

Zur Vergleichbarkeit der quantitativen Lieferantenauskünfte sollte unbedingt darauf geachtet werden, dass diese mit den gleichen Annahmen, insbesondere hinsichtlich der Systemgrenzen und Umrechnungsfaktoren wie z.B. Emissionsfaktoren, ermittelt wurden.

## 6.2 Festlegung der Präferenzfunktionen und Schwellenwerte

Zur Anwendung von (Fuzzy) PROMETHEE wurde in Abstimmung mit zwei Nachhaltigkeitsexperten des Automobilherstellers angenommen, dass die Präferenzen bezüglich der Differenzen der Indikatoren (vgl. Gleichung 4.43 bzw. 4.55) durch zwei Präferenzfunktionen in Abhängigkeit von der Kriterienart (quantitativ, qualitativ nicht-binär, qualitativ) abgebildet werden können. Die binären Indikatoren werden mit der Präferenzfunktion des gewöhnlichen Kriteriums (vgl. Abschnitt 4.4) abgebildet, während die Stufendifferenzen (Likert-Skala) der qualitativen nicht-binären Indikatoren mit der folgenden quadratischen Präferenzfunktion modelliert werden.



$$p(d_{A_{ik}, A_{jk}}) = \begin{cases} 0 & d_{A_{ik}, A_{jk}} \leq 0 \\ \frac{1}{9} \cdot (d_{A_{ik}, A_{jk}})^2 & 0 < d_{A_{ik}, A_{jk}} < 3 \\ 1 & d_{A_{ik}, A_{jk}} \geq 3 \end{cases}$$

Hintergrund dieser expliziten Präferenzfunktion ist, dass der Präferenzwert nach Meinung der Nachhaltigkeitsexperten des Automobilherstellers mit zunehmender Differenz überproportional steigen und ab einer Differenz von 3 Stufen strikte Präferenz gelten soll. Im Rahmen von Fuzzy PROMETHEE wird die Präferenzfunktion aus Abschnitt 4.4.2 und die Fuzzy-Äquivalente aus Tabelle 4.5 verwendet. Um die Präferenzwerte mit dieser Präferenzfunktion berechnen zu können, werden die Grenzwerte auf die Werte  $q=0$  und  $p=1$  festgelegt. Aufgrund der Vielzahl an quantitativen Indikatoren und der fehlenden Erfahrungswerte bezüglich der Höhe der Nachhaltigkeitsindikatoren und deren Differenzen sollen die quantitativen Indikatoren in dieser Arbeit zur Vereinfachung ebenfalls mit der obigen Präferenzfunktion abgebildet werden. Dazu werden die quantitativen Indikatoren und der Indikator zur Bontität des Lieferanten in Abhängigkeit von den Ausprägungen aller potenziellen



Lieferanten gemäß der Tabelle 6.2 in die Stufenbewertungen der Likert-Skala (PROMETHEE) bzw. der linguistischen Einschätzungsniveaus (Fuzzy PROMETHEE) überführt. Dabei entspricht der Parameter  $\mu$  dem Mittelwert und  $\sigma$  der Standardabweichung der Ausprägungen der potenziellen Lieferanten eines Produkts. Die Anwendung des Leistungsmodells ist deshalb erst ab vier potenziellen Lieferanten sinnvoll, was aber in den meisten Vergaben der Automobilhersteller gegeben ist.

Tabelle 6.2: Likert- und linguistische Äquivalente zur Überführung quantitativer Indikatoren

Kriterien "Je mehr desto besser"	Kriterien "Je weniger desto besser"	Bonität	Likert-Skala	Linguistische Einschätzungsniveaus
$> \mu + \sigma$	$\leq \mu - \sigma$	AAA - AA	1	Sehr gut
$(\mu + \frac{1}{2}\sigma, \mu + \sigma]$	$(\mu - \sigma, \mu - \frac{1}{2}\sigma]$	A - BBB	2	Gut
$(\mu - \frac{1}{2}\sigma, \mu + \frac{1}{2}\sigma]$	$(\mu - \frac{1}{2}\sigma, \mu + \frac{1}{2}\sigma]$	BB - B	3	Mittelmäßig
$(\mu - \sigma, \mu - \frac{1}{2}\sigma]$	$(\mu + \frac{1}{2}\sigma, \mu + \sigma]$	CCC - CC	4	Schlecht
$\leq \mu - \sigma$	$> \mu + \sigma$	C - D	5	Sehr schlecht

### 6.3 Bestimmung von Gewichtungen zur Aggregation der Kriterienausprägungen

Um die Rangfolge der potenziellen Lieferanten mit Hilfe von (Fuzzy) PROMETHEE zu bestimmen und die individuelle Bedeutung der Indikatoren, Kriterien, Bereiche und Dimensionen (vgl. Kriterien-Hierarchie in Abbildung 3.2) zu berücksichtigen werden Gewichtungen benötigt. Um die Gewichtungen der Indikatoren zu bestimmen, fanden mehrere Treffen mit den zwei genannten Nachhaltigkeitsexperten statt. Dabei wurden die Indikatoren für jedes Kriterium diskutiert und mit Hilfe einer Likert-Skala von 1 bis 3 gewichtet (vgl. Tabelle A.5). Da die Bedeutung der Gewichtungen mit den Stufen der Kriterien-Hierarchie steigt, sind die Gewichtungen der Kriterien, Bereiche und Dimensionen mit erhöhtem Aufwand systematisch mit Hilfe des bereinigten

FAHP, wie in Abschnitt 4.3 beschrieben, ermittelt worden. Im Folgenden werden die sechs einzelnen Stufen des bereinigten AHP am Beispiel einer Befragung mit Nachhaltigkeitsexperten eines deutschen Automobilherstellers beschrieben. Aufgrund des großen Umfangs der Berechnungen werden die Schritte jeweils anhand von Zwischenergebnissen bzw. Auszügen dargestellt. Die weiteren Ergebnisse können im Anhang A.2 eingesehen werden. An den entsprechenden Stellen wird auf diese verwiesen.

Im Rahmen der ersten Stufe wurde auf die vorgestellte mehrstufige Kriterienhierarchie aus Abbildung 3.2 zurückgegriffen. Dadurch wurde bestmöglich gewährleistet, dass alle wesentlichen ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekte berücksichtigt werden.

In der nächsten Stufe wurden aufgrund der vierstufigen Kriterienhierarchie zunächst 13 Kriteriengruppen gebildet, bevor mit jedem Nachhaltigkeitsexperten jeweils mit den paarweisen Vergleichen der Kriterien für diese 13 Kriteriengruppen begonnen wurde. Zur Befragung wurden zehn Nachhaltigkeitsexperten befragt. Diese waren zum Teil dieselben, die am Experiment zur Ermittlung einer Präferenzfunktion in Abschnitt 5.1.2 teilnahmen. Um aber ein breiteres Bild der Präferenzen von Experten zu erhalten, wurden diesmal weniger Experten aus dem strategischen Einkauf und Rohstoffeinkauf in die Befragung involviert. Neben den Experten aus dem strategischen Einkauf (3 Experten), operativen Rohstoffeinkauf (1 Expertin) und der Produktentwicklung (2 Experten) nahmen diesmal auch zwei Experten aus dem Projekteinkauf teil, die im Zuge eines neuen nachhaltigkeitsorientierten Derivats für das Themengebiet Nachhaltigkeit verantwortlich waren. Außerdem wurden zwei Experten aus der zentralen Nachhaltigkeitsabteilung des Automobilherstellers in den Gewichtungprozess involviert. Aus der Befragung dieser zehn Experten zu paarweisen Vergleichen der Kriterien von 13 Kriteriengruppen resultierten 130 individuelle Fuzzy-Vergleichsmatrizen. Zur Überführung in DFZ wurden die Fuzzy-Äquivalente aus Tabelle 4.3 verwendet.

Im Zuge der dritten Stufe wurden Konsistenzüberprüfungen dieser 130 Vergleichsmatrizen durchgeführt. Dazu wurden die Fuzzy-Vergleichsmatrizen zunächst mit Hilfe des geometrischen Mittels (vgl. Gleichung 4.25) in scharfe

Zahlen überführt. Anschließend wurde pro Vergleichsmatrix der größte Eigenwert berechnet, um mit Hilfe der Gleichungen 4.23 und 4.24 das Konsistenzverhältnis zu prüfen. In 16 der 130 Vergleichsmatrizen kam es zu einem Konsistenzverhältnis  $KV > 0,1$ . In diesen Fällen wurden die entsprechenden Experten erneut kontaktiert, um die paarweisen Vergleiche der betroffenen Kriteriengruppe erneut durchzuführen. Nachdem die Befragungen abgeschlossen waren, wurden die individuellen Fuzzy-Vergleichsmatrizen aller Experten gemäß der Stufe 4 des FAHP mit Hilfe der Gleichungen 4.26 bis 4.28 zu 13 aggregierten Fuzzy-Vergleichsmatrizen zusammengeführt. Beispielhaft ist die Fuzzy-Vergleichsmatrix der ökonomischen Kriteriengruppe „Ökonomische Aspekte“ in Tabelle 6.3 dargestellt. Alle 13 Fuzzy-Vergleichsmatrizen sind im Anhang A.2 in Tabelle A.6 bis Tabelle A.18 zu finden.

Tabelle 6.3: Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Fähigkeiten“

	Management und Organisation (C <sub>11</sub> )	Finanzielle Leistung (C <sub>12</sub> )	Fähigkeiten (C <sub>13</sub> )	Externe Wahrnehmung (C <sub>14</sub> )
Management und Organisation (C <sub>11</sub> )	(1; 1; 1)	(0,24; 0,41; 0,97)	(0,40; 0,55; 1,09)	(0,62; 1,20; 2,14)
Finanzielle Leistung (C <sub>12</sub> )	(1,03; 2,42; 4,11)	(1; 1; 1)	(0,62; 1,22; 1,82)	(1,10; 2,74; 4,37)
Fähigkeiten (C <sub>13</sub> )	(0,92; 0,1,80; 2,52)	(0,55; 0,82; 1,62)	(1; 1; 1)	(0,85; 2,24; 3,62)
Externe Wahrnehmung (C <sub>14</sub> )	(0,47; 0,83; 1,62)	(0,23; 0,37; 91)	(0,28; 0,45; 1,18)	(1; 1; 1)

Die Berechnungen der Gewichtungen der fünften Stufe sollen im Folgenden beispielhaft anhand der Kriteriengruppe „ökonomische Aspekte“ und der darin enthalten vier Kriterien erläutert werden. Dazu wurden zunächst mit Hilfe der Fuzzy-Multiplikation aus Gleichung 4.20 und der Gleichungen 4.29 bis 4.32 die fuzzy synthetischen Maße  $\tilde{S}_{11}$ ,  $\tilde{S}_{12}$ ,  $\tilde{S}_{13}$  und  $\tilde{S}_{14}$  berechnet. Die Berechnung der fuzzy synthetischen Maße  $\tilde{S}_{11}$  und  $\tilde{S}_{12}$  lautete beispielweise wie folgt:

$$\tilde{S}_{11} = (2,26; 3,17; 5,20) \otimes \left( \frac{1}{29,97}; \frac{1}{19,05}; \frac{1}{11,29} \right) = (0,075; 0,166; 0,461) \quad (6.1)$$

$$\tilde{S}_{12} = (3,74; 7,39; 11,30) \otimes \left( \frac{1}{29,97}; \frac{1}{19,05}; \frac{1}{11,29} \right) = (0,125; 0,388; 1,001) \quad (6.2)$$

Mit Hilfe der Gleichungen 4.34 und 4.35 ließ sich dann der Grad der Möglichkeit  $\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_k$  ( $i \neq k$ ) berechnen. Für  $\tilde{S}_{11} > \tilde{S}_{12}$  bzw.  $\tilde{S}_{12} > \tilde{S}_{11}$  ergab sich beispielsweise:

$$V(\tilde{S}_{12} \geq \tilde{S}_{11}) = \frac{0,125 - 0,461}{(0,166 - 0,461) - (0,388 - 0,125)} = 0,602 \quad (6.3)$$

$$V(\tilde{S}_{12} \geq \tilde{S}_{11}) = 1 \quad , \text{ da } s_{12} \geq s_{11} \quad (6.4)$$

Mit Gleichung 4.38 ließ sich dann der minimale Grad der Möglichkeit bestimmen. Für die Kriterien  $C_{11}$  und  $C_{12}$  ergab sich damit:

$$g'(C_{11}) = \min V(\tilde{S}_{11} \geq \tilde{S}_{12}; \tilde{S}_{13}; \tilde{S}_{14}) = \min(0,602; 0,713; 1) = 0,602 \quad (6.5)$$

$$g'(C_{12}) = \min V(\tilde{S}_{12} \geq \tilde{S}_{11}; \tilde{S}_{13}; \tilde{S}_{14}) = \min(1; 1; 1) = 1 \quad (6.6)$$

Auf gleichen Berechnungsweg ergab sich für alle vier Kriterien der Gewichtsvektor  $\vec{g}'$ :

$$\vec{g}' = \begin{pmatrix} g'(C_{11}) \\ g'(C_{12}) \\ g'(C_{13}) \\ g'(C_{14}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,602 \\ 1 \\ 0,890 \\ 0,541 \end{pmatrix} \quad (6.7)$$

Durch Normierung wurde der Gewichtungsvektor  $\bar{g}''$  der Kriteriengruppe „Ökonomische Aspekte“ bestimmt:

$$\bar{g}'' = \begin{pmatrix} g''(C_{11}) \\ g''(C_{12}) \\ g''(C_{13}) \\ g''(C_{14}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,199 \\ 0,330 \\ 0,293 \\ 0,178 \end{pmatrix} \quad (6.8)$$

Da sich die Kriteriengruppe „Ökonomische Aspekte“ nicht auf unterster Hierarchieebene befindet, gilt  $\bar{g} \neq \bar{g}''$ . Deshalb wurde der Gewichtungsvektor  $\bar{g}''$  im sechsten Schritt mit Hilfe der Gleichung 4.41 und 4.42 bereinigt (vgl. Gleichung 6.9) und abschließend normiert (vgl. Gleichung 6.10).

$$\bar{g}''' = \bar{g}'' \circ \bar{b} = \begin{pmatrix} 0,199 \\ 0,330 \\ 0,293 \\ 0,178 \end{pmatrix} \circ \begin{pmatrix} 0,75 \\ 0,50 \\ 0,80 \\ 0,67 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,149 \\ 0,165 \\ 0,235 \\ 0,119 \end{pmatrix} \quad (6.9)$$

$$\bar{g} = \begin{pmatrix} 0,223 \\ 0,247 \\ 0,352 \\ 0,178 \end{pmatrix} \quad (6.10)$$

Die Berechnungen der verbleibenden 12 Vergleichsmatrizen verliefen entsprechend. Die globalen, regionalen, und lokalen Gewichtungen<sup>1</sup> der 3 Dimensionen (Ebene 2), der 9 Bereiche (Ebene 3) und aller 34 Kriterien (Ebene 4) der Kriterien-Hierarchie sind in Tabelle 6.4 bis Tabelle 6.6 einzusehen. Die globalen Gruppengewichtungen der 34 Kriterien in Tabelle 6.6 dienen als Basis für das Risiko- und Leistungsmodell und sind zur besseren Darstellung zusätzlich in Abbildung 6.2 dargestellt.

<sup>1</sup> Unter lokaler Gewichtung wird die Bedeutung eines Kriteriums auf Hierarchieebene 4 verstanden, wohingegen die regionale Gewichtung die Bedeutung eines Bereichs/Kriteriums auf Bereichsebene (Ebene 3) und die globale Gewichtung die Bedeutung einer/eines Dimension/Bereichs/Kriteriums auf Dimensionsebene (Ebene 2) beschreibt.

Bei Betrachtung der Gruppengewichtungen der 3 Dimensionen in Tabelle 6.4 wird ersichtlich, dass für die zehn Nachhaltigkeitsexperten die ökonomischen Aspekte die höchste Bedeutung haben. Ökologische und soziale Aspekte werden dagegen nur als etwa halb so bedeutend empfunden, wobei die sozialen Aspekte leicht bedeutender sind als die ökologischen Aspekte.

Tabelle 6.4: Bereinigte globale Gruppengewichtungen der 3 Dimensionen

Ebene	Code	Bezeichnung	Gewichtung [%]		
			Global	Regional	Lokal
2	C <sub>1</sub>	Ökonomisch	50,8	-	-
	C <sub>2</sub>	Ökologisch	24,4	-	-
	C <sub>3</sub>	Sozial	24,8	-	-
<b>Summe</b>			100	-	-

Bei Betrachtung der globalen Gruppengewichtungen der 9 Bereiche (vgl. Tabelle 6.5) fällt auf, dass sich die Gewichtungen der Bereiche „Finanzielle Leistung“, „Fähigkeiten“, „Umweltleistung“ und „Soziale Leistung“ von den anderen Bereichen abheben. Noch deutlicher ist das gleiche Bild auf regionaler Hierarchieebene (Ebene 3). Dagegen erfahren die Bereiche „interne und externe soziale Praktiken“ die geringste Bedeutung.

Tabelle 6.5: Bereinigte Gruppengewichtungen der 9 Bereiche

Ebene	Code	Bezeichnung	Gewichtung [%]		
			Global	Regional	Lokal
3	C <sub>11</sub>	Management und Organisation	11,3	22,3	-
	C <sub>12</sub>	Finanzielle Leistung	12,5	24,7	-
	C <sub>13</sub>	Fähigkeiten	17,9	35,2	-
	C <sub>14</sub>	Externe Wahrnehmung	9,0	17,8	-
	C <sub>21</sub>	Umweltpraktiken	8,1	33,0	-
	C <sub>22</sub>	Umweltleistung	16,4	67,0	-
	C <sub>31</sub>	Interne soziale Praktiken	5,9	23,9	-
	C <sub>32</sub>	Soziale Leistung	14,4	58,0	-
	C <sub>33</sub>	Externe soziale Praktiken	4,5	18,1%	-
<b>Summe</b>			100	300	-

### 6.3 Bestimmung von Gewichtungen zur Aggregation der Kriterienausprägungen

Tabelle 6.6: Bereinigte Gruppengewichtungen der 43 Kriterien

Ebene	Code	Bezeichnung	Gewichtung [%]			
			Global	Regional	Lokal	
4	C <sub>111</sub>	Strategie und Organisation	2,8	5,5	24,8	
	C <sub>112</sub>	Internes Management	2,8	5,5	24,7	
	C <sub>113</sub>	Lieferantenmanagement	2,9	5,7	25,5	
	C <sub>114</sub>	Compliance	2,8	5,6	25,0	
	C <sub>121</sub>	Kosten	7,7	15,2	61,7	
	C <sub>122</sub>	Finanzielle Situation	4,8	9,5	38,3	
	C <sub>131</sub>	Qualität	4,8	9,5	26,9	
	C <sub>132</sub>	Produktion und Logistik	3,7	7,3	20,8	
	C <sub>133</sub>	Technologie	3,6	7,0	20,0	
	C <sub>134</sub>	Service	2,6	5,2	14,8	
	C <sub>135</sub>	Kommunikation	3,1	6,1	17,4	
	C <sub>141</sub>	Öffentliche Berichterstattung	2,1	4,1	22,9	
	C <sub>142</sub>	Reputation und Marktstruktur	3,7	7,2	40,6	
	C <sub>143</sub>	Zertifikate	3,3	6,5	36,5	
	C <sub>211</sub>	Ökologische Selbstverpflichtung	1,9	7,9	24,1	
	C <sub>212</sub>	Umweltmanagement	3,0	12,3	37,3	
	C <sub>213</sub>	Ökologische Fähigkeiten	3,1	12,7	38,6	
	C <sub>221</sub>	Material	3,6	14,5	21,7	
	C <sub>222</sub>	Energie	3,0	12,1	18,0	
	C <sub>223</sub>	Emissionen	2,8	11,7	17,4	
	C <sub>224</sub>	Wasser	2,1	8,5	12,7	
	C <sub>225</sub>	Abfall	2,0	8,4	12,5	
	C <sub>226</sub>	Umweltleistung des Produkts	2,9	11,9	17,7	
	C <sub>311</sub>	Soziale Selbstverpflichtung	2,3	9,2	38,5	
	C <sub>312</sub>	Soziales Management	3,6	14,7	61,5	
	C <sub>321</sub>	Kinder- und Zwangsarbeit	2,8	11,5	19,8	
	C <sub>322</sub>	Arbeitsschutz, -gesundheit, -sicherheit	2,7	11,0	18,9	
	C <sub>323</sub>	Arbeitslohn, -zeit	2,3	9,2	15,9	
	C <sub>324</sub>	Bildung der Mitarbeiter	1,5	5,9	10,2	
	C <sub>325</sub>	Beschäftigungsverhältnis	1,9	7,5	13,0	
	C <sub>326</sub>	Diskriminierung, Diversität	1,7	6,8	11,7	
	C <sub>327</sub>	Vereinigungsfreiheit	1,5	6,1	10,6	
	C <sub>331</sub>	Involvierung Stakeholder	2,5	10,0	55,6	
	C <sub>332</sub>	Gesellschaftliche Verantwortung	2,0	8,0	44,4	
	<b>Summe</b>			100	300	900

Wie sich in Tabelle 6.6 zeigt, erfährt erwartungsgemäß das Kriterium „Kosten“ auf globaler Hierarchieebene mit weitem Abstand die höchste Bedeutung. Weitere hohe Bedeutung auf globaler Hierarchieebene erhalten die ökonomischen Kriterien „Finanzielle Situation“ und „Qualität“. Die niedrigsten globalen Gewichtungen haben sich für die sozialen Kriterien „Bildung der Mitarbeiter“, „Vereinigungsfreiheit“ und „Diskriminierung, Diversität“ ergeben.

Zur Durchführung einer Sensitivitätsanalyse werden, zusätzlich zu den Berechnungen der Gruppengewichtungen der Tabelle 6.6 aller Nachhaltigkeitsexperten, die individuellen Gewichtungen der einzelnen Experten berechnet. Dazu wird derselbe Prozess mit den 130 (13 x 10) individuellen Fuzzy-Vergleichsmatrizen aller Experten durchlaufen. Aus diesen Berechnungen resultieren die globalen Individualgewichtungen im Anhang A.2 in Tabelle A.19. Mit deren Hilfe können nun die Spannweiten aller Individualgewichtungen der Experten ermittelt werden. Diese dienen später der Sensitivitätsanalyse als Basis. Zusammen mit den Gruppengewichtungen der Tabelle 6.6 sind sie in Abbildung 6.2 dargestellt.

Die hohen Abweichungen der ökonomischen Kriterien in Abbildung 6.2 sind auf die Befragung der Einkäufer aus dem Rohstoff- und Projekteinkauf zurückzuführen. Besonders einer dieser Experten hat den ökonomischen Kriterien eine viel höhere Bedeutung zugewiesen als den ökologischen und sozialen. Aus diesen Gewichtungen stammen auch die niedrigen Minima der ökologischen und sozialen Kriterien der individuellen Expertengewichtungen. Die Minima und Maxima der ökologischen und sozialen Kriterien sind relativ ausgewogen und klein, mit Ausnahme des ökologischen Kriteriums „Umweltmanagement“ und der sozialen Kriterien „Sozialmanagement“ und „Involvierung Stakeholder“ (vgl. Abbildung 6.2). Die kleinste Spannweite der minimalen und maximalen individuellen Gewichtungen ist im Kriterium „Wasser“ mit 2,04% eingetreten, während die größte Spannweite beim bedeutendsten Kriterium „Kosten“ mit 11,47% knapp vor dem Kriterium „Finanzielle Situation“ mit 11,40% aufgetreten ist.



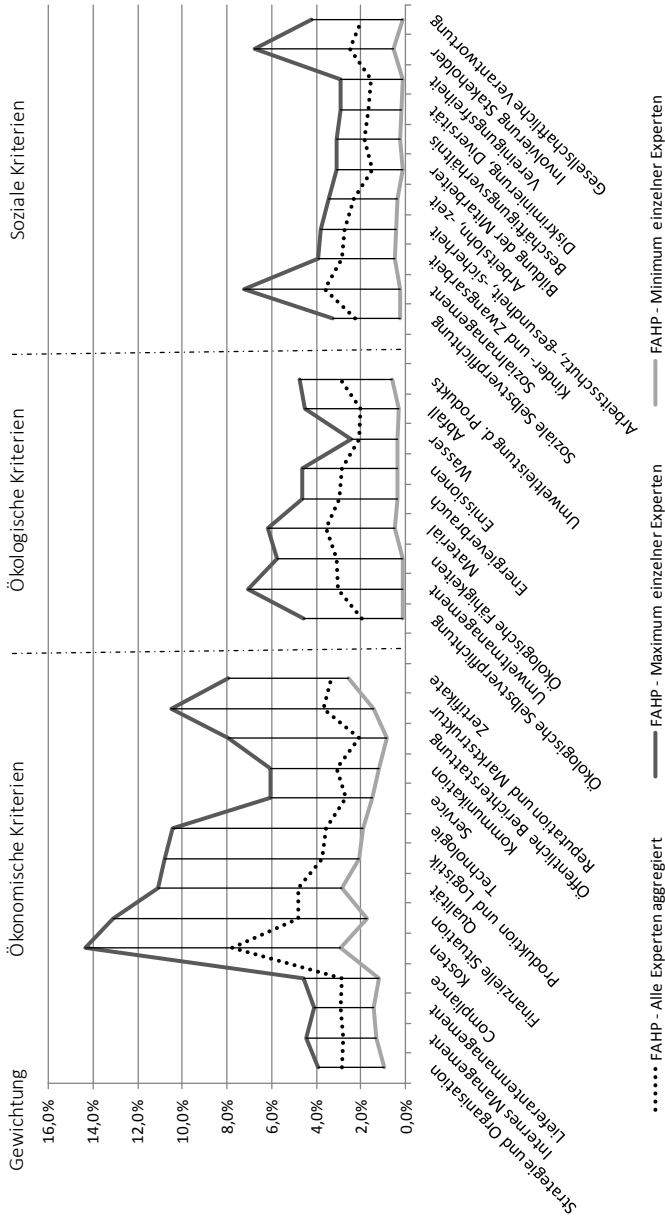


Abbildung 6.2: Spannweiten der maximalen und minimalen Individualgewichtungen pro Kriterium im Vergleich zu den jeweiligen Gruppengewichtungen

Mit diesen globalen Kriteriengewichtungen können nun in Verbindung mit den Gewichtungen der Indikatoren aus Tabelle A.5 die globalen Indikatorgewichtungen bestimmt werden. Das Gewichtungsergebnis eines Kriteriums wird dabei anteilig auf die betrachteten Indikatoren dieses Kriteriums verteilt bzw. mit ihnen verrechnet. Die Gewichtung eines Kriteriums bleibt immer konstant, während sich die globale Gewichtung eines Indikators in Abhängigkeit von der betrachteten Anzahl an Indikatoren des jeweiligen Kriteriums verändert.

### 6.4 Implementierung des Leistungsmodells

Die Implementierung des Leistungsmodells erfolgte in Microsoft Excel. Die vollautomatisierte Erstellung des risikospezifischen Fragebogens auf Basis der Ergebnisse von SIERRA und die Bestimmung der Rangfolge mittels (Fuzzy) PROMETHEE wurden mit VBA realisiert. Neben diesen wesentlichen Funktionen erlaubt das Werkzeug außerdem die grafische Darstellung der partiellen und vollständigen Rangfolge von (Fuzzy) PROMETHEE I und II. Darüber hinaus können bei Bedarf die Gewichtungen verändert und die Präferenzfunktionen individuell eingestellt und den Indikatoren zugeordnet werden. Mit einem Schalter kann der risikospezifische Fragebogen erstellt werden. Die Detailtiefe der Fragen bezüglich eines Kriteriums richtet sich für alle potenziellen Lieferanten nach der maximalen Ausprägung aller zur Auswahl stehenden Lieferanten pro Risikokriterium. Das heißt, dass Lieferanten mit niedrigen Risikoausprägungen ebenfalls sehr detaillierte Fragen zu beantworten haben, wenn Lieferanten mit hohen Risiken im Zuge derselben Vergabe bieten. Sobald der Fragebogen erstellt wurde und die anschließende Eingabe aller Antworten der Lieferanten abgeschlossen ist, kann die Bestimmung der Rangfolge mittels (Fuzzy) PROMETHEE I und II vollautomatisiert erfolgen.

## 6.5 Anwendung des Leistungsmodells am Beispiel der Auswahl eines Stahllieferanten

### 6.5.1 Vorstellung der Fallstudie

Um den Nutzen von PROMETHEE und Fuzzy PROMETHEE in Kombination mit dem Risikomodell und dem entwickelten umfassenden Fragebogen im Rahmen des nachhaltigen Lieferantenmanagements zu veranschaulichen, wird in den folgenden Abschnitten eine beispielhafte Anwendung auf eine Auswahlentscheidung eines deutschen Automobilherstellers vorgestellt.<sup>2</sup> Ziel der Fallstudie ist die Bestimmung der Rangfolge von vier Lieferanten zur Lieferung von 560.000 Tonnen vollverzinkter Stahlcoils. Dies entspricht einem Drittel des jährlichen Bedarfs des Automobilherstellers. Die Länder der Lieferantenstandorte sowie die Vergabevolumen der vier Stahllieferanten S1, S2, S3 und S4 sind in Tabelle 6.7 dargestellt.

Tabelle 6.7: Überblick potenzieller Stahllieferanten

	S1	S2	S3	S4
Land	Deutschland	Deutschland	Japan	Indien
Sektor	Metallprodukte	Metallprodukte	Metallprodukte	Metallprodukte
Volumen [Mio. \$]	401	393	387	290

### 6.5.2 Ergebnisse und Analyse der Fallstudie

#### 6.5.2.1 Bestimmung der ökonomischen, ökologischen und sozialen Risikolevels

Aufgrund der hohen Vergabevolumen wird zur Vereinfachung für alle ökonomischen Kriterien das höchste Risikolevel von 3 angenommen. Die ökologischen und sozialen Risiken dagegen werden mit SIERRA abgeschätzt. Für die

<sup>2</sup> Bei der Anwendung des Leistungsmodells im Rahmen der Lieferantensteuerung muss beachtet werden, dass für den Vergleich der Ausprägungen zweier Lieferanten bei (Fuzzy) PROMETHEE (vgl. Gleichung 4.43) lediglich Lieferanten, die gleiche bzw. ähnliche Produkte liefern, berücksichtigt werden dürfen.

Ausprägungen der ökologischen und sozialen Risikokriterien, die nicht mittels SIERRA berechnet werden können, wird jeweils der Durchschnitt der ökologischen oder sozialen Kriterien angenommen. Die potenziellen Lieferanten eines Produkts erhalten alle denselben risikospezifischen Fragebogen. Die Ausprägung  $r_k$  eines Risikokriteriums  $k$  zur Bestimmung des Risikolevels  $r_k^{\text{Level}}$ , das für alle potenziellen Lieferanten gilt, ergibt sich deshalb aus der maximalen Ausprägung des gleichen Risikokriteriums aller potenziellen Lieferanten  $l \in L$  dieser Vergabe (vgl. Gleichung 6.11). Zur Festlegung des Risikolevels  $r_k^{\text{Level}}$  mittels der Risikoausprägungen  $r_k$  werden zwei Grenzwerte benötigt (vgl. Gleichung 6.12). Um diese zu ermitteln wurden zunächst pro Kriterium die 80%-Quantile (Level 2) bzw. 95%-Quantile (Level 3) der Risikoergebnisse der Direktlieferanten des Basisszenarios aus Abschnitt 5.4.2.2 berechnet. Die beiden Grenzwerte in Höhe von 1,37 und 4,70 Risikopunkten ergaben sich dann jeweils aus dem Durchschnitt der 80%- bzw. 95%-Quantile.

$$r_k = \max(r_{kl}) \quad \forall k \in K, \forall l \in L \quad (6.11)$$

$$r_k^{\text{Level}} = \begin{cases} 1 & r_k \leq 1,37 \\ 2 & 1,37 < r_k < 4,70 \\ 3 & r_k > 4,70 \end{cases} \quad (6.12)$$

Die sich aus den genannten Ländern und dem Vergabevolumen (vgl. Tabelle 6.7) mittels SIERRA ergebenden Ausprägungen der ökologischen und sozialen Risikokriterien sowie deren Risikolevels zur Erstellung des risikospezifischen Fragebogens, sind in Abbildung 6.3 dargestellt. Aufgrund der hohen Risiken des Stahllieferanten aus Indien ergibt sich für alle 4 potenziellen Lieferanten ein umfangreicher risikospezifischer Fragebogen mit 173 Fragen. Im Rahmen dieser Promotion konnten pro Lieferant für mindestens 96 der 173 Fragen (ca. 55%) reale Daten erfasst werden. Die fehlenden Daten wurden zusammen mit den verantwortlichen Einkäufern geschätzt. Bei der Befragung war insbesondere die Erfassung der quantitativen Daten problematisch, da sie teilweise nicht erfasst oder seitens der potenziellen Lieferanten als zu sensibel eingestuft und somit nicht bereitgestellt wurden.

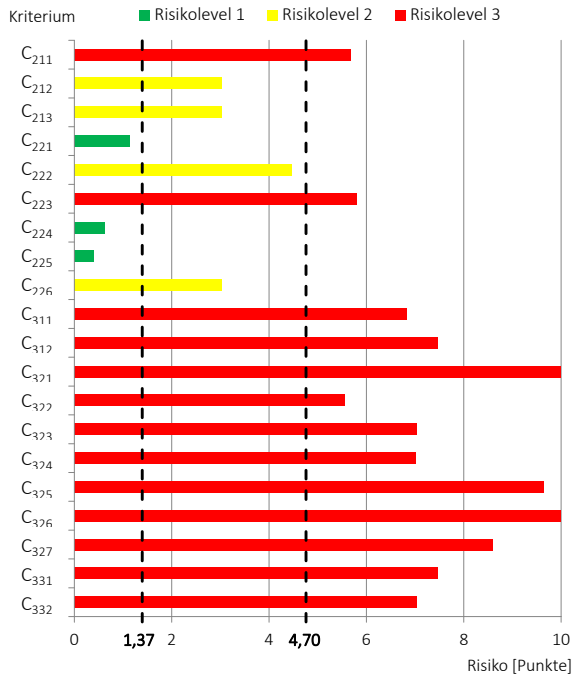


Abbildung 6.3: Grenzwerte der Risikolevel, maximale Ausprägungen aller Risikokriterien und damit ermittelte Risikolevel je Kriterium

### 6.5.2.2 Anwendung von PROMETHEE

Auf Basis dieser Daten und den beschriebenen Gewichtungen und Präferenzfunktionen ergab die Anwendung von PROMETHEE für die betrachteten Stahllieferanten S1, S2, S3 und S4 die in Tabelle 6.8 aufgeführten Präferenzindizes, Ausgangs- und Eingangsflüsse sowie Nettoflüsse.

Tabelle 6.8: Präferenzindizes sowie Ausgangs- und Eingangsflüsse aller Lieferanten

	S1	S2	S3	S4	$\phi^+$
S1	0,000	0,111	0,135	0,325	0,191
S2	0,004	0,000	0,073	0,194	0,090
S3	0,018	0,071	0,000	0,221	0,104
S4	0,096	0,100	0,085	0,000	0,094
$\phi^-$	0,040	0,094	0,098	0,247	
$\phi^{\text{Netto}}$	0,151	-0,004	0,006	-0,153	

Aufbauend auf diesen Daten resultierte aus der Anwendung von PROMETHEE I die dargestellte partielle Präordnung in Abbildung 6.4. Aus der Anwendung von PROMETHEE II ergab sich die dargestellte vollständige Rangordnung in Abbildung 6.5. Mit großem Abstand ist der Lieferant S1 gegenüber den anderen zu bevorzugen. Maßgeblich waren hierbei sowohl der hohe Wert des Ausgangsflusses als auch der sehr niedrige Wert des Eingangsflusses. Gemäß der Abbildung 6.4 sind die beiden Lieferanten S2 und S3 bzw. S2 und S4 nicht eindeutig vergleichbar. Betrachtet man dagegen die vollständige Rangordnung in Abbildung 6.5 an, so wird ersichtlich, dass die Lieferanten S2 und S3 einen sehr ähnlichen Nettofluss erzeugen während der Lieferant S4 aufgrund des hohen Eingangsflusses eindeutig den letzten Rang einnimmt. Bei genauerer Analyse der Präferenzindizes der Tabelle 6.8 fällt auf, dass insbesondere der Lieferant S4 zum Eingangsfluss des Lieferanten S1 beiträgt und umgekehrt. Diese Tatsache kann mit den vergleichsweise niedrigen Kosten des Lieferanten S4 im Vergleich zu allen anderen Lieferanten begründet werden.

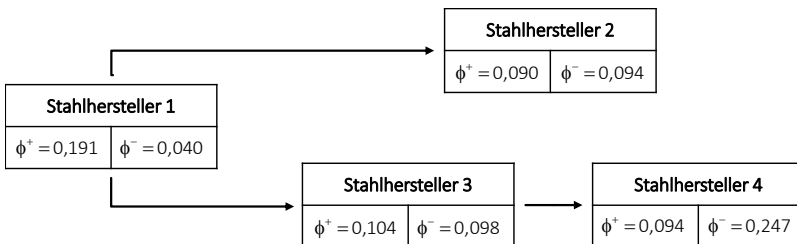


Abbildung 6.4: Partielle Präordnung nach PROMETHEE I.

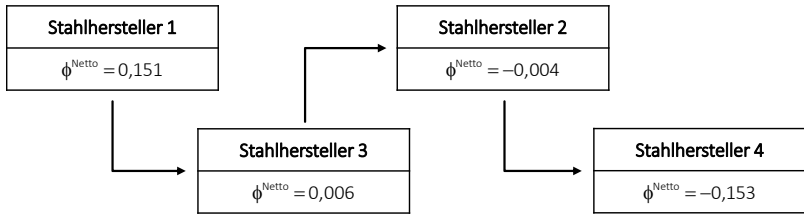


Abbildung 6.5: Vollständige Rangordnung nach PROMETHEE II

### 6.5.2.3 Anwendung von Fuzzy PROMETHEE

Aus der Anwendung von Fuzzy PROMETHEE auf Basis der beschriebenen Daten, Präferenzfunktionen und Gewichtungen resultierten sehr ähnliche Ergebnisse wie bei der Anwendung ohne die Fuzzy-Set-Theorie. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6.9 zusammengetragen.

Für die partielle Präordnung im Rahmen von Fuzzy PROMETHEE I ergab sich ein leicht verändertes Bild (vgl. Abbildung 6.6). Während der Lieferant S4 diesmal den letzten Rang einnimmt, sind lediglich die Lieferanten S2 und S3 nicht eindeutig vergleichbar. Im Rahmen von Fuzzy PROMETHEE II ergab sich die gleiche Rangfolge (vgl. Abbildung 6.7) wie bei PROMETHEE II. Der Lieferant S1 wird wieder sowohl in der partiellen Präordnung als auch in der vollständigen Rangordnung mit großem Abstand als bester Lieferant empfohlen.

Tabelle 6.9: Präferenzindizes sowie Ausgangs- und Eingangsflüsse aller Lieferanten

	S1	S2	S3	S4	$\phi^+$
S1	0,000	0,117	0,149	0,334	0,200
S2	0,007	0,000	0,094	0,230	0,110
S3	0,042	0,098	0,000	0,246	0,129
S4	0,082	0,089	0,101	0,000	0,091
$\phi^-$	0,044	0,101	0,115	0,270	
$\phi^{\text{Netto}}$	0,156	0,009	0,014	-0,179	

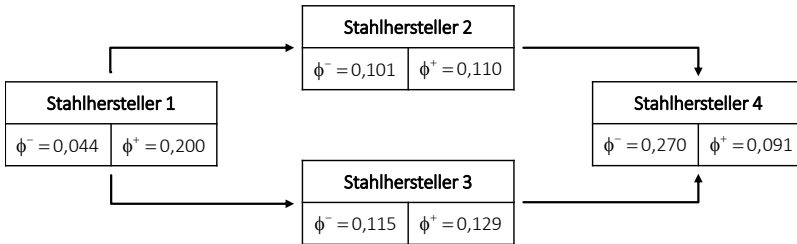


Abbildung 6.6: Partielle Präordnung nach Fuzzy PROMETHEE I

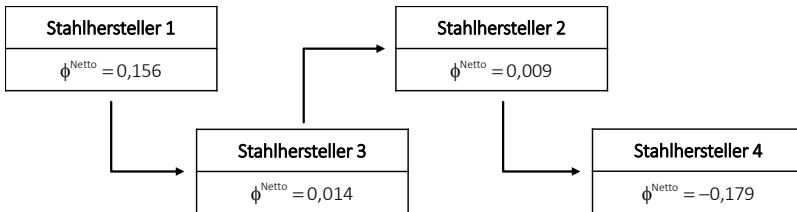


Abbildung 6.7: Vollständige Rangordnung nach Fuzzy PROMETHEE II

### 6.5.3 Sensitivitätsanalyse des Fallstudienresultates

Die berechneten Rangfolgen des vorherigen Abschnitts beruhen unter anderem auf den systematisch, aber subjektiv ermittelten Gewichtungen des FAHP. Um das Vertrauen in die berechnete Rangfolge des vorherigen Abschnitts zu verbessern, werden die Sensitivitäten hinsichtlich unterschiedlicher Gewichtungsänderungen untersucht. Dazu werden im Folgenden zunächst Rangfolgen der vier Lieferanten mit Gewichtungsvariationen der neun Bereiche der Kriterien-Hierarchie aus Abbildung 3.2 analysiert, bevor anschließend die Sensitivität der Rangfolge der Lieferanten bei Veränderung der Gewichtung des bedeutendsten Kriteriums „Kosten“ ( $C_{112}$ ) untersucht wird.



### 6.5.3.1 Gewichtungsvariationen der neun Bereiche der Kriterien-Hierarchie

In diesem Abschnitt wird die Sensitivität der Rangfolge des vorherigen Abschnitts mit Gewichtungsvariationen der neun Bereiche der Kriterien-Hierarchie aus Abbildung 3.2 untersucht. Dazu werden wie in Tabelle 6.10 zusammengefasst 10 Szenarien berechnet. Das erste Szenario entspricht dem Basisszenario mit den Gewichtungen und der Rangfolge des vorherigen Abschnitts. Bei den anderen Szenarien wird jeweils pro Szenario zunächst ein Bereich der Kriterien-Hierarchie ausgewählt. Für diesen werden dann jeweils die maximalen Kriterienausprägungen innerhalb der ermittelten Spannweiten gemäß Abbildung 6.2 verwendet. Die verbleibenden Gewichtungen werden dann so angepasst, dass die Summe aller Gewichtungen 1 ergibt und die Verhältnisse des Basisszenarios dieser verbleibenden Kriterien erhalten bleiben. Die sich daraus ergebenden globalen Gewichtungen aller 10 Szenarien können in Anhang A.2 in Tabelle A.20 eingesehen werden.

Die mittels PROMETHEE und Fuzzy PROMETHEE ermittelten Ausgangs-, Eingangs- und Nettoflüsse aller Szenarien sind in Abbildung 6.8 dargestellt. Alle Flüsse beider Modellierungsansätze verlaufen sehr ähnlich. Lediglich die Höhe der Flüsse variiert im Vergleich leicht. Die Analyse des Nettoflusses aller Szenarien beider Modellierungsansätze bestätigt, dass der Lieferant S1 klar bevorzugt werden sollte, während der Lieferant S4 nicht zu empfehlen ist. Die Nettoflüsse der Lieferanten S2 und S3 sind in allen Szenarien auf einem ähnlichen Niveau. Nur bei den Szenarien 6 und 7 mit höheren ökologischen Gewichtungen kann der Lieferant S3 gegenüber dem Lieferanten S2 aufgrund der sichtbar höheren Nettoflüsse sowohl im Rahmen von PROMETHEE als auch Fuzzy PROMETHEE deutlicher empfohlen werden.

## 6 Entwicklung und Anwendung des Leistungsmodells am Beispiel eines Automobilherstellers

Tabelle 6.10: Szenarien zur Untersuchung des Einflusses der Gewichtungen auf die Rangfolgen

Szenario	Beschreibung
1	Basisszenario mit den ermittelten Gruppengewichtungen aus Abschnitt 6.3.
2	Maximale Kriterienausprägungen innerhalb der ermittelten Spannweiten der Abbildung 6.2 des Bereichs „Management und Organisation“ (C <sub>11</sub> ). Entsprechende Anpassung der restlichen Kriterien.
3	Maximale Kriterienausprägungen innerhalb der ermittelten Spannweiten der Abbildung 6.2 des Bereichs „Finanzielle Leistung“ (C <sub>12</sub> ). Entsprechende Anpassung der restlichen Kriterien.
4	Maximale Kriterienausprägungen innerhalb der ermittelten Spannweiten der Abbildung 6.2 des Bereichs „Fähigkeiten“ (C <sub>13</sub> ). Entsprechende Anpassung der restlichen Kriterien.
5	Maximale Kriterienausprägungen innerhalb der ermittelten Spannweiten der Abbildung 6.2 des Bereichs „Externe Wahrnehmung“ (C <sub>14</sub> ). Entsprechende Anpassung der restlichen Kriterien.
6	Maximale Kriterienausprägungen innerhalb der ermittelten Spannweiten der Abbildung 6.2 des Bereichs „Umweltpraktiken“ (C <sub>21</sub> ). Entsprechende Anpassung der restlichen Kriterien.
7	Maximale Kriterienausprägungen innerhalb der ermittelten Spannweiten der Abbildung 6.2 des Bereichs „Umweltleistung“ (C <sub>22</sub> ). Entsprechende Anpassung der restlichen Kriterien.
8	Maximale Kriterienausprägungen innerhalb der ermittelten Spannweiten der Abbildung 6.2 des Bereichs „Interne soziale Praktiken“ (C <sub>31</sub> ). Entsprechende Anpassung der restlichen Kriterien.
9	Maximale Kriterienausprägungen innerhalb der ermittelten Spannweiten der Abbildung 6.2 des Bereichs „Soziale Leistung“ (C <sub>32</sub> ). Entsprechende Anpassung der restlichen Kriterien.
10	Maximale Kriterienausprägungen innerhalb der ermittelten Spannweiten der Abbildung 6.2 des Bereichs „Externe soziale Praktiken“ (C <sub>33</sub> ). Entsprechende Anpassung der restlichen Kriterien.

Die Ausgangs- und Eingangsflüsse bei PROMETHEE und Fuzzy PROMETHEE verlaufen, mit Ausnahme des Szenarios 3 mit höherer Gewichtung der Kriterien des Bereichs „Finanzielle Leistung“ (C<sub>112</sub>), sehr gleichmäßig. Bei Szenario 3 kommt es einmalig dazu, dass der Ausgangsfluss des Lieferanten S4 höher ist als die jeweiligen Ausgangsflüsse der Lieferanten S2 und S3. Ansonsten sind diese deutlich besser als die des Lieferanten S4. Bei Betrachtung der Ausgangsflüsse beider Modellierungsansätze fällt außerdem auf, dass

die ermittelten Ausgangsflüsse des Lieferanten S3 bei allen Szenarien höher sind als diejenigen des Lieferanten S2. Im Gegensatz dazu kreuzen sich die Verläufe im Fall der Eingangsflüsse.

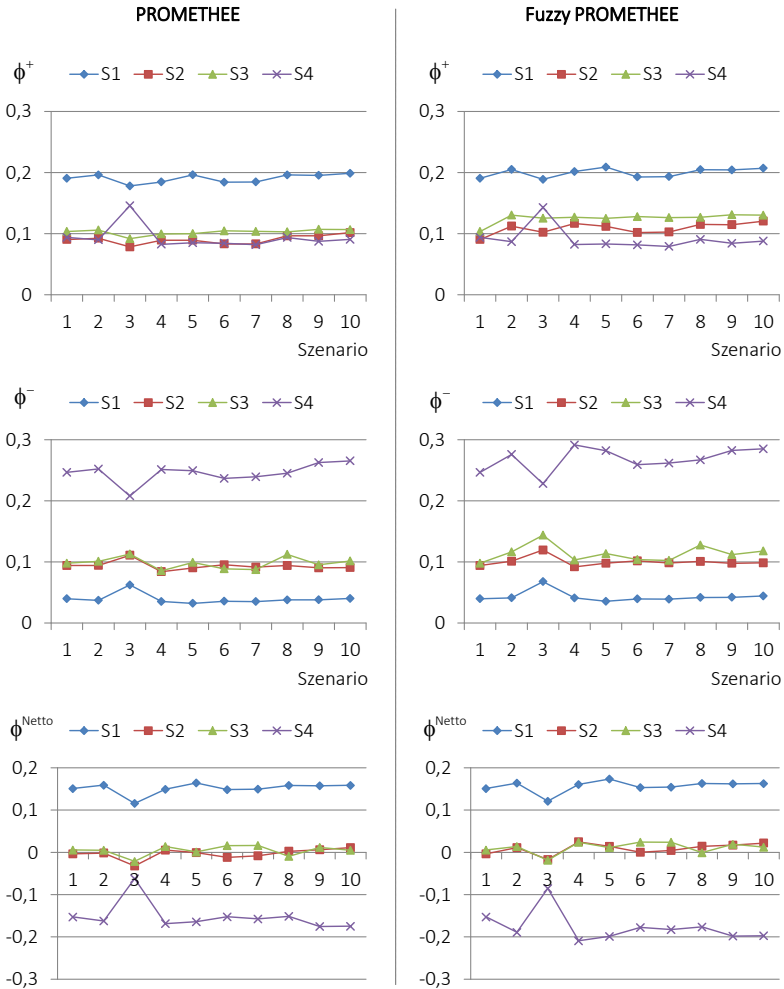


Abbildung 6.8: Mittels PROMETHEE bzw. Fuzzy PROMETHEE ermittelte Ausgangs-, Eingangs- und Nettoflüsse aller Szenarien der Sensitivitätsanalyse auf Basis der Gewichtsänderungen der neun Bereiche der Kriterien-Hierarchie

Zusammenfassend ist der Lieferant S1 immer zu bevorzugen. Die Lieferanten S2 und S3 sind auf gleicher Höhe, wobei S3 aufgrund der geringfügig höheren

Nettoflüsse und insbesondere im Fall höherer ökologischer Präferenzen ausgewählt werden sollte. Der Lieferant S4 nimmt immer den letzten Rang ein und sollte nicht bevorzugt werden. Beachtet werden muss aber, dass der Ausgangs-, Eingangs- und Nettofluss des Lieferanten S4 sehr empfindlich hinsichtlich der Gewichtungsänderungen des Bereichs „Finanzielle Leistung“ ( $C_{12}$ ) reagiert. Aus diesem Grund soll im folgenden Abschnitt die Sensitivität der Ergebnisse hinsichtlich der Gewichtungsänderungen des Kriteriums „Kosten“, dem bedeutendsten Kriterium dieses Bereichs bzw. aller Kriterien, untersucht werden.

### 6.5.3.2 Gewichtungsvariationen des Kriteriums „Kosten“

In diesem Abschnitt wird der Einfluss von Gewichtungsänderungen des Kriteriums „Kosten“ ( $C_{121}$ ) auf die Rangfolgen bei Anwendung von PROMETHEE und Fuzzy PROMETHEE untersucht. Für diese Sensitivitätsanalyse werden 11 Szenarien berechnet. Beginnend mit einer Gewichtung des Kriteriums Kosten von 0% im Szenario 1 bis 100% im Szenario 11 werden in 10%-Schritten die jeweiligen Ausgangs-, Eingangs- und Nettoflüsse der vier Lieferanten mittels PROMETHEE und Fuzzy PROMETHEE ermittelt. Die anderen Kriteriengewichtungen werden pro Szenario entsprechend angepasst, so dass die Summe aller Gewichtungen immer 1 ergibt und die Verhältnisse des Basisszenarios dieser restlichen Kriterien erhalten bleiben. Die Ausgangs-, Eingangs- und Nettoflüsse dieser 11 Szenarien sind in Abbildung 6.9 dargestellt.

Wie in der Sensitivitätsanalyse des vorherigen Abschnitts sind auch hier die Verläufe der Ausgangs-, Eingangs- und Nettoflüsse bei PROMETHEE und Fuzzy PROMETHEE sehr ähnlich. Lediglich beim Lieferanten S3 ist im Ausgangsfluss und somit auch im Nettofluss zwischen beiden Modellierungsansätzen ein kleiner Unterschied zu erkennen. Während der Ausgangsfluss des Lieferanten S3 mit Zunahme der Gewichtung des Kriteriums „Kosten“ bei PROMETHEE leicht abnimmt, steigt er im Fall von Fuzzy PROMETHEE leicht an.

Vergleicht man die Ergebnisse der vier Lieferanten, so wird ersichtlich, dass die Ausgangs-, Eingangs- und Nettoflüsse der Lieferanten S1 und S2 mit zunehmender Gewichtung entgegengesetzt zu den Flüssen des Lieferanten S4

verlaufen. Die Flusswerte des Lieferanten S3 bleiben von der Veränderung der Gewichtung relativ unberührt. Betrachtet man die Nettoflüsse aller Szenarien hinsichtlich der Rangfolgen der Lieferanten, so kann zusammengefasst werden, dass der Lieferant S4 im Rahmen von PROMETHEE bzw. Fuzzy PROMETHEE ab einer Gewichtung des Kriteriums „Kosten“ von etwa 25% bzw. 30% als bester Lieferant empfohlen wird und somit den Lieferanten S1 auf Rang 2 verdrängt. Ab einer Gewichtung von etwa 35% bzw. 30% gibt der Lieferant S1 auch seinen zweiten Rang an den Lieferanten S3 ab. Lieferant S2 nimmt mit Ausnahme des ersten Szenarios, bei dem das Kriterium „Kosten“ keine Beachtung findet, immer den letzten Rang ein.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse des vorherigen und des hiesigen Abschnitts kann der Lieferant S1 abschließend als der geeignetste Lieferant bezeichnet werden. Nichtsdestotrotz sollte beachtet werden, dass die Empfehlung bei höherer Gewichtung des Kriteriums „Kosten“ aufgrund der geringen Kosten zu Lieferant S4 übergeht.

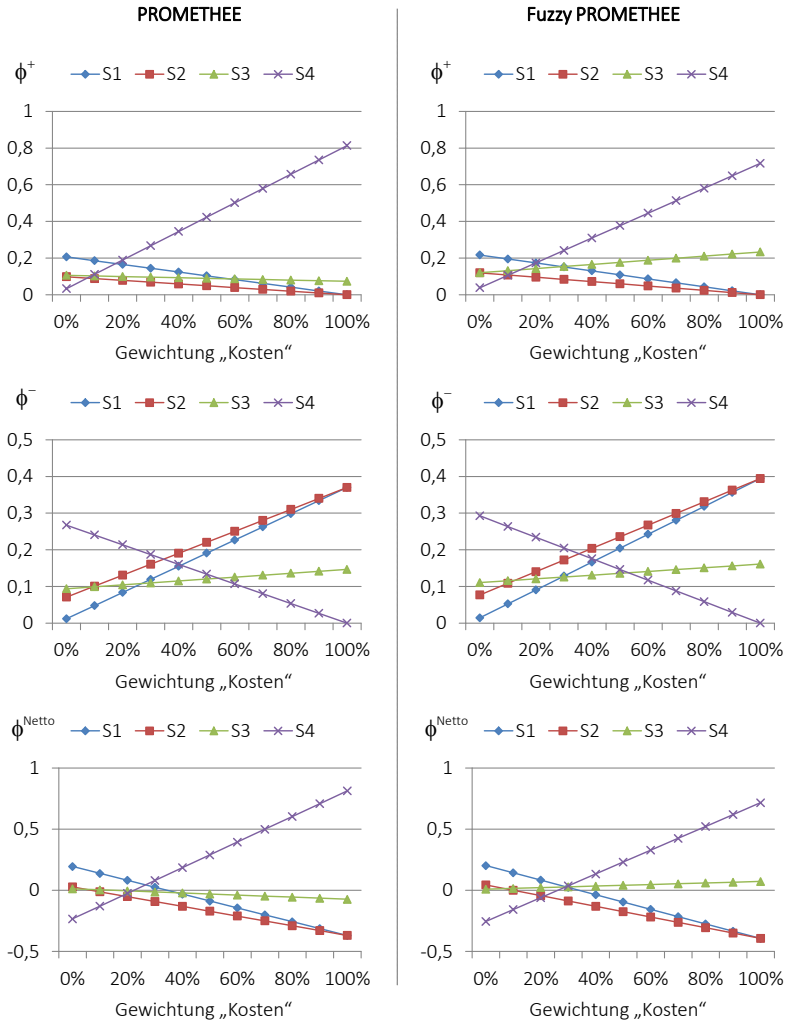


Abbildung 6.9: Mittels PROMETHEE bzw. Fuzzy PROMETHEE ermittelte Ausgangs-, Eingangs- und Nettoflüsse aller Szenarien der Sensitivitätsanalyse auf Basis der Gewichtsänderungen des Kriteriums „Kosten“

## 6.6 Zusammenfassung und kritische Würdigung des Leistungsmodells

Das in diesem Abschnitt entwickelte und angewandte Leistungsmodell ermöglicht die Bestimmung von Rangfolgen potenzieller Lieferanten im Rahmen der Lieferantenauswahl oder -steuerung mittels PROMETHEE oder Fuzzy PROMETHEE. Die Berechnungen erfolgen aufbauend auf den mit Hilfe des FAHP berechneten Gewichtungen sowie den Antworten des entwickelten umfassenden risikospezifischen Fragenkatalogs. Zur Bestimmung der risikospezifischen Fragen berücksichtigt es die mit Hilfe des implementierten Risikomodells SIERRA ermittelten lieferantenspezifischen Risikoausprägungen. Anhand einer Fallstudie konnte das Zusammenspiel aus Risikomodell und Leistungsmodell zur effizienten Lieferantenauswahl erfolgreich demonstriert werden.

Vorteil des Leistungsmodells ist die Möglichkeit kriterienspezifische Präferenzen innerhalb der Berechnungen abbilden zu können. Desweiteren ermöglicht (Fuzzy) PROMETHEE die Bestimmung des Ausgangsflusses, der angibt inwieweit ein Lieferant gegenüber den konkurrierenden Lieferanten zu bevorzugen ist. Auch umgekehrt kann das Maß ermittelt werden, inwieweit die konkurrierenden Lieferanten einen bestimmten Lieferanten dominieren (Eingangsfluss). Diese Flüsse vermitteln dem Entscheidungsträger ein tieferes Verständnis über die Leistung der potenziellen Lieferanten als dies bei anderen Modellierungsansätzen der Fall ist.

Im Gegensatz zu PROMETHEE mit jeweils einer Präferenzfunktion pro Kriterium, bildet Fuzzy PROMETHEE indirekt über die Definition der Fuzzy-Äquivalente mehrere Präferenzfunktionen pro Kriterium ab. Dadurch kann beispielsweise festgelegt werden, dass eine Differenz zwischen hohen Ausprägungen zu niedrigeren oder höheren Präferenzwerten führt als die gleiche Differenz zwischen Ausprägungen im mittleren oder niedrigen Bereich. Die Bestimmung des Präferenzwerts auf Basis der Differenz zweier Ausprägungen hängt bei Fuzzy PROMETHEE somit nicht alleine von der Präferenzfunktion ab, die einem Kriterium zugeordnet wird, sondern auch von der Höhe der Ausprägungen.



Auch wenn dies als Stärke von Fuzzy PROMETHEE bezeichnet werden kann, führt dies jedoch zu einer erhöhten Komplexität. Für Entscheidungsträger in der Praxis wirkt die Methode dadurch intransparenter, wodurch dessen Akzeptanz leiden könnte. Darüber hinaus verlangt die Bestimmung der Fuzzy-Äquivalente ein gewisses Maß an Hintergrundwissen in der Fuzzy-Set-Theorie. In der Fallstudie des vorherigen Abschnitts konnten lediglich marginale Unterschiede zwischen den Ergebnissen aus PROMETHEE und Fuzzy PROMETHEE festgestellt werden. Deshalb konnte auch diesbezüglich kein Mehrwert durch die Anwendung von Fuzzy PROMETHEE vor dem Hintergrund der höheren Komplexität aufgezeigt werden. Ein genereller Nachteil von (Fuzzy) PROMETHEE ist bei vielen erfassten Indikatoren der hohe Aufwand für die Festlegung der Präferenzfunktionen einschließlich der Schwellenwerte. Um dies zu erleichtern, wurden in dieser Arbeit die Schwellenwerte mit dem Mittelwert und der Standardabweichung der Ausprägungen der potenziellen Lieferanten bestimmt. Im Zusammenhang der potenziellen Lieferanten muss ebenfalls als Nachteil erwähnt werden, dass das Leistungsmodell nur angewendet werden kann, wenn mehrere vergleichbare Lieferanten für die Bewertung zur Verfügung stehen. Eine absolute Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung ist deshalb nicht möglich. Eine Möglichkeit diese Schwäche zu umgehen ist den Vergleich der Ausprägungen zweier Lieferanten durch den Vergleich der Ausprägungen eines Lieferanten mit definierten Zielgrößen pro Kriterium zu ersetzen.



## 7 Fazit

Für Unternehmen birgt die Globalisierung in Verbindung mit der zunehmenden Verlagerung von Wertschöpfung in Entwicklungs- und Schwellenländer nicht nur Chancen sondern auch diverse Risiken. Zu diesen Risiken zählen im Kontext der Nachhaltigkeitsdiskussion ökologische und soziale Misstände entlang der vorgelagerten Lieferkette. (Fokale) Unternehmen sind deshalb zunehmend mit ökologischen und sozialen Aspekten hinsichtlich der Aktivitäten ihrer Lieferanten und Sublieferanten konfrontiert und stehen deshalb vor der Herausforderung, diese Aspekte bestmöglich in die Prozesse des Lieferantenmanagements als Schnittstelle zum Beschaffungsmarkt zu integrieren.

Vor diesem Hintergrund war das Ziel dieser Forschungsarbeit die Entwicklung und Anwendung eines Ansatzes, der im Rahmen des nachhaltigen Lieferantenmanagements eines (fokalen) Unternehmens sowohl zur Verbesserung der Transparenz entlang der Lieferkette beiträgt als auch eine effiziente Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung von Lieferanten ermöglicht. Im Zuge dessen sollte außerdem die Forschungsfrage dieser Arbeit mit ihren Teilfragen beantwortet werden (vgl. Abschnitt 1.2).

In den folgenden Abschnitten werden zunächst die Forschungsergebnisse der Arbeit zusammengefasst und die aufgeworfenen Forschungsfragen aus Kapitel 1 beantwortet bevor abschließend ein Ausblick auf zukünftige Forschungsarbeiten gegeben wird.

### 7.1 Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Um das Ziel dieser Arbeit zu erreichen und die Forschungsfragen beantworten zu können, wurden in Kapitel 2 zunächst die Auslöser und Treiber unternehmerischer Nachhaltigkeit sowie der theoretische Hintergrund eines nachhaltigen Lieferantenmanagements erläutert. Um ein gemeinsames Verständnis des nachhaltigen Lieferantenmanagements zu schaffen wurden im Zuge

dessen ein neues Rahmenkonzept des nachhaltigen Lieferantenmanagement vorgestellt und wesentliche Fachbegriffe definiert.

Im Rahmen einer umfangreichen Literaturstudie in Kapitel 3 wurden die existierenden Modelle zur Entscheidungsunterstützung im nachhaltigen Lieferantenmanagement erfasst, strukturiert und analysiert. Im Zuge dessen wurden die Stärken und Schwächen sowie die Häufigkeit und die Kombinationen verwendeter Methoden zur Risikoabschätzung und Leistungsbewertung aufgezeigt sowie mehrere Forschungslücken gefunden. Darüber hinaus wurde eine Kriterien-Hierarchie mit den wesentlichen ökonomischen, ökologischen und sozialen Kriterien entwickelt, die später im Risiko- und Leistungsmodell Anwendung fand. Aufbauend auf dem erfassten Stand der Wissenschaft und festgestellten Forschungslücken wurden in Kapitel 3 abschließend das Konzept des Risiko- und Leistungsmodells erläutert sowie die Auswahl der dazu verwendeten Methoden begründet.

Das Konzept, bestehend aus dem Risiko- und Leistungsmodell, greift dabei mehrere der identifizierten Forschungslücken auf:

- (1) Bisherige Risikomodelle des nachhaltigen Lieferantenmanagements fokussieren sich überwiegend auf Direktlieferanten. Aspekte vorgelagerter Lieferketten und somit deren Transparenz bleiben weitgehend unberücksichtigt, obwohl stark anzunehmen ist, dass gerade dort ökologische und soziale Misstände anzutreffen sind.
- (2) Diese Risikomodelle ermöglichen bislang nicht gleichzeitig die Abschätzung ökologischer und sozialer Risiken, die Integration von Primärwissen zur Verbesserung der Datenqualität sowie die Berücksichtigung des Vergabevolumens als weiteren Einflussfaktor auf die Risikoabschätzung.
- (3) Lieferanten wurden in vergleichbaren Leistungsmodellen bislang immer zu einer festen fallspezifischen Menge an ökologischen und sozialen Indikatoren befragt. In der Praxis gibt es dagegen eine Vielzahl von unterschiedlichen zu beschaffenden Produkten, die jeweils unterschiedliche ökologische und soziale Risiken aufweisen. Deshalb erscheint ein dyna-

mischer Lieferantenfragebogen in Abhängigkeit vom jeweiligen Risiko aus Effizienzgründen sinnvoller.

- (4) In bisherigen Leistungsmodellen sind häufig nicht alle wesentlichen Dimensionen und Kriterien der Nachhaltigkeit berücksichtigt. Auch beruhen die Ausprägungen dieser Indikatoren in vielen Studien lediglich auf qualitativen Einschätzungen, die nicht selten sogar durch den Einkäufer selbst vorgenommen werden, obwohl bereits teilweise quantitative vergleichbare Indikatoren existieren, die durch den Lieferanten bewertet werden könnten und somit viel aussagekräftiger wären.
- (5) In vielen Studien werden neue Modelle entwickelt, welche bislang aber nicht mit existierenden Modellierungsansätzen auf Basis derselben Lieferantendaten verglichen werden.

Um einen Teil dieser Forschungslücken aufzugreifen wurde mit der Entwicklung des Risikomodells in Kapitel 5 erstmals ein Modell zur Abschätzung ökologischer und sozialer Risiken von Lieferanten und vorgelagerter Lieferketten vorgestellt. Das Modell basiert auf der Input-Output-Analyse und nutzt die Neumann-Reihe und Leontief-Inverse, um durchschnittliche verteilte Wertschöpfungsstufen der Lieferkette zu ermitteln. Darüber hinaus ermöglicht es die Präzisierung dieser bisher auf Statistiken basierenden Berechnungsergebnisse durch die Integration von Primärwissen des einkaufenden Unternehmens über Lieferanten der Lieferkette und berücksichtigt das Vergabevolumen bei der Berechnung der Risiken. Mit einer Befragung von Nachhaltigkeitsexperten eines Automobilherstellers konnte gezeigt werden, dass das Vergabevolumen einen Einfluss auf das empfundene Nachhaltigkeitsrisiko hat. Um die Bedeutung der verschiedenen Risikokriterien bei der Aggregation des Nachhaltigkeitsrisikos eines Lieferanten oder einer Lieferkette zu berücksichtigen, wurden Gewichtungen verwendet. Zur Bestimmung der Gewichtungen diente der FAHP. Um einige der Fähigkeiten des implementierten Risikowerkzeugs SIERRA zu demonstrieren, dessen Nutzen herauszustellen und die Ergebnisse zu plausibilisieren, erfolgte am Ende von Kapitel 5 die Anwendung des Risikomodells am Beispiel von 260 Vergaben eines Automobilherstellers sowie eine Sensitivitätsanalyse der Risikoergebnisse. Mit den Ergebnissen

konnte gezeigt werden, dass ein hohes Nachhaltigkeitsrisiko einer Lieferkette nicht nur bei einem Direktlieferanten mit hohem sondern auch bei einem Direktlieferanten mit niedrigem Nachhaltigkeitsrisiko bestehen kann. Umgekehrt gilt aber, je höher das Nachhaltigkeitsrisiko eines Direktlieferanten ist, desto mehr dominiert dieses die Berechnung des Nachhaltigkeitsrisikos der gesamten Lieferkette. Das Risikoausmaß des Lieferanten bzw. der Lieferkette wird maßgeblich durch das Land des Produktionsstandorts des Direktlieferanten sowie durch die Länderverteilung von dessen ermittelter durchschnittlicher vorgelagerter Lieferkette beeinflusst.

Um für die Lieferantenauswahl und -steuerung eine präzise Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung auf Basis von Primärdaten des Lieferanten zu ermöglichen, wird in dieser Arbeit erstmals ein Leistungsmodell entwickelt, das auf Basis von (Fuzzy) PROMETHEE in Abhängigkeit von den ermittelten Risiken qualitative und vor allem auch quantitative ökonomische, ökologische und soziale Indikatoren berücksichtigt. Am Beispiel der Automobilindustrie wurde deshalb ein umfangreicher Fragebogen mit quantitativen und qualitativen Fragen bzw. Indikatoren zu den Kriterien der entwickelten Kriterien-Hierarchie aus Kapitel 3 entwickelt. Um die Bedeutung dieser Kriterien zu berücksichtigen wurde wieder der FAHP angewendet. In das Leistungsmodell wurden die zwei Modellierungsansätze PROMETHEE und Fuzzy PROMETHEE integriert, um die Anwendbarkeit, den Nutzen und die jeweiligen Stärken und Schwächen der Modellierungsansätze sowohl für sich genommen als auch im Vergleich zu untersuchen. Beide Modellierungsansätze wurden am Beispiel einer Vergabeentscheidung eines Automobilherstellers zur Beschaffung von Stahlcoils angewendet. Durch die Integration der Risikoergebnisse in das Leistungsmodell konnte in dieser Fallstudie aufgezeigt werden, wie eine risikospezifische Befragung zu einer effizienteren nachhaltigen Lieferantenauswahl führt. Dabei hat sich die Methode (Fuzzy) PROMETHEE im Vergleich zu anderen Ansätzen insbesondere aufgrund der Möglichkeit, kriterienspezifische Präferenzen abzubilden, als vorteilhaft erwiesen. Darüber hinaus geben die im Rahmen von PROMETHEE berechneten Ausgangs- und Eingangsflüsse dem Entscheidungsträger ein tieferes Verständnis über die Leistung der potenziellen Lieferanten, als dies bei anderen Modellierungsansätzen der Fall ist. Beim

Vergleich der beiden Modellierungsansätze konnten im Zuge der Fallstudie nur marginale Unterschiede der Berechnungsergebnisse festgestellt werden. Lediglich die Modellierung spezifischer Präferenzfunktionen in Abhängigkeit von der Höhe der zu vergleichenden Ausprägungen konnte als Vorteil von Fuzzy PROMETHEE gewertet werden.

## 7.2 Beantwortung der Forschungsfragen

Dieser Abschnitt widmet sich der Beantwortung, der in Kapitel 1 aufgeworfenen Forschungsfragen. Der Fokus liegt dabei auf der zentralen Forschungsfrage dieser Arbeit: Welche Kombination aus entscheidungsunterstützenden Methoden eignet sich, um neben den ökonomischen die wesentlichen ökologischen und sozialen Aspekte von Direktlieferanten und Lieferanten der vorgelagerten Lieferkette in die Prozesse des Lieferantenmanagements eines Unternehmens zu integrieren und effizient zu verbessern? Im Folgenden werden zunächst die formulierten Teilfragen beantwortet bevor auf die Forschungsfrage dieser Arbeit eingegangen wird.

### **Welche ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekte sind für eine Risikoabschätzung und Leistungsbewertung von Lieferanten relevant?**

Die relevanten Aspekte zur Risikoabschätzung und Leistungsbewertung sind in der Kriterien-Hierarchie in Abbildung 3.2 zu finden. Diese wurden in mehreren Schritten aufbauend auf einer Literaturstudie und in Abstimmung mit Nachhaltigkeitsexperten aus Wissenschaft und Praxis zusammengetragen (vgl. Abschnitt 3.1.2).

### **Mit welchen Informationen können die Nachhaltigkeitsrisiken und die Leistungsausprägungen von Lieferanten hinsichtlich dieser Aspekte bestimmt werden?**

In dieser Arbeit wurde angenommen, dass die Nachhaltigkeitsrisiken auf der Basis von Statistiken und Ratings von Ländern und Wirtschaftssektoren bestimmt werden können. Der erste Schritt der Risikoberechnung besteht deshalb immer darin, den zu untersuchenden Lieferanten, in Abhängigkeit

vom Land des Produktionsstandorts und seines angebotenen Produkts, einem Land und einem Wirtschaftssektor zuzuordnen (vgl. Abschnitt 5.1.1).

Die Nachhaltigkeitsleistung von Lieferanten kann sowohl mit Hilfe von Primärdaten des Lieferanten als auch durch Einschätzungen des einkaufenden Unternehmens bestimmt werden. Dazu wurde für das in dieser Arbeit entwickelte Leistungsmodell ein umfangreicher Fragenkatalog entwickelt, der die relevanten Aspekte zur Bestimmung der Nachhaltigkeitsleistung abdeckt. Die Antworten dieser Fragen werden zur Bestimmung der Indikatoren verwendet, welche die Basis der Leistungsbewertung bilden (vgl. Abschnitt 6.1).

### **Welche entscheidungsunterstützenden Methoden eignen sich zur Abschätzung von Nachhaltigkeitsrisiken von Lieferanten und Lieferketten insbesondere vor dem Hintergrund eine erhöhte Transparenz der vorgelagerten Lieferkette zu erreichen?**

Im Rahmen dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass mit Hilfe der Input-Output-Analyse in Kombination mit dem FAHP ökologische und soziale Risikoabschätzungen entlang der Lieferkette möglich sind (vgl. Abschnitt 5.4). Insbesondere die Anwendung der Leontief-Inversen und Neumann-Reihe im Zuge der Input-Output-Analyse ermöglicht Einblicke in die vorgelagerte Lieferkette und trägt somit zu einer erhöhten Transparenz bei.

### **Welche entscheidungsunterstützenden Methoden eignen sich zur Bewertung und Vergleichbarkeit der Nachhaltigkeitsleistung von Lieferanten?**

Durch die Entwicklung und Anwendung eines Leistungsmodells, basierend auf den Methoden PROMETHEE und Fuzzy PROMETHEE in Kombination mit dem FAHP, konnte deren Eignung für die Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung bestätigt werden (vgl. Abschnitt 6.5). Des Weiteren wurden im Rahmen der Literaturstudie weitere bereits verwendete Modellierungsansätze und Methoden aufgezeigt (vgl. Abbildung 3.1) und deren jeweilige Stärken und Schwächen diskutiert (vgl. Abschnitt 3.1.3.3). Aufgrund des Umfangs konnte deren Tauglichkeit im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht untersucht werden.



### **Wie kann der Prozess der Leistungsbewertung von Lieferanten effizienter gestaltet werden?**

Im Rahmen der Lieferantenauswahl und -steuerung erfordert eine möglichst präzise Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung von Lieferanten viele Informationen. Um den Aufwand zur Informationsbeschaffung sowohl für das einkaufende Unternehmen als auch für den Lieferanten auf ein mögliches Minimum zu reduzieren, sollten bei der Lieferantenauswahl alle potenziellen Lieferanten einen Qualifikationsprozess durchlaufen. Erst wenn sie die Einhaltung der Mindestanforderungen seitens des einkaufenden Unternehmens erfüllen und bestätigen können gelangen sie in die finale Auswahl (vgl. Abschnitt 2.3.3.1). Bei der finalen Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung im Zuge der Lieferantenauswahl und -steuerung kann der Aufwand der Informationsbeschaffung zusätzlich optimiert werden, indem der Fragenkatalog in Abhängigkeit von den ermittelten Risiken um irrelevante Fragen bzw. Bereiche gekürzt wird (vgl. Abschnitt 3.3 und 6.5.2.1).

### **Welche Kombination aus entscheidungsunterstützenden Methoden eignet sich, um neben den ökonomischen die wesentlichen ökologischen und sozialen Aspekte von Direktlieferanten und Lieferanten der vorgelagerten Lieferkette in die Prozesse des Lieferantenmanagements eines Unternehmens zu integrieren und effizient zu verbessern?**

In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass das entwickelte Konzept, bestehend aus Risiko- und Leistungsmodell, eine Möglichkeit darstellt, die ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekte in den Lieferantenauswahl- und steuerungsprozess zu integrieren und auf effiziente Art und Weise zu verbessern. Aus diesem Grund können an dieser Stelle die dazu verwendeten Methoden FAHP, Input-Output-Analyse, (Fuzzy) PROMETHEE zur Beantwortung der Frage genannt werden. Da der Lieferantenentwicklungsprozess als dritter Prozessschritt des nachhaltigen Lieferantenmanagements nicht Gegenstand dieser Forschungsarbeit war, kann hier keine Antwort gegeben werden.

Indirekt stellt sich damit aber die Frage, inwiefern es sich bei dieser Kombination von Methoden tatsächlich um die geeignetste Kombination zur Entschei-

dungsunterstützung der nachhaltigen Lieferantenauswahl und -steuerung handelt. Diese Einschätzung hängt zum einen immer von den Präferenzen der Entscheidungsträger des einkaufenden Unternehmens ab. Zum anderen kann dies auch erst dann deutlicher beurteilt werden, wenn die vielversprechendsten Modellierungsansätze miteinander verglichen werden. Da dies aufgrund des damit verbundenen hohen Aufwands im Zuge dieser Arbeit nicht möglich war, kann diese indirekte Frage nicht abschließend beantwortet werden. Nichtsdestotrotz beruht die Auswahl der in diesem Konzept verwendeten Methoden auf den Erkenntnissen der Literaturstudie und stellt somit eine begründete und gute Möglichkeit zur Integration ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte in den Lieferantenauswahl- und steuerungsprozess dar.

### 7.3 Ausblick

Aufbauend auf den beschriebenen Vor- und Nachteilen des Risiko- und Leistungsmodells in den Abschnitten 5.5 und 6.6 wird im Folgenden ein Ausblick auf potenzielle zukünftige Forschungsarbeiten gegeben.

Die Ergebnisse des Risikomodells konnten im Rahmen dieser Arbeit mit Hilfe einer Fallstudie plausibilisiert werden. Eine Validierung mit bekannten Lieferketten war aufgrund fehlender Informationen nicht möglich, sollte aber Bestandteil der Weiterentwicklung von Modellen zur ökologischen und sozialen Risikoabschätzung sein. Zur Plausibilisierung und Validierung könnte ebenfalls eine Implementierung des Risikomodells mit der Input-Output-Datenbank GTAP und EXIOBASE neue Erkenntnisse über die Aussagekraft der Risikoergebnisse bringen. Bei der Risikoberechnung teilweise bekannter vorgelagerter Lieferketten (vgl. Abschnitt 5.2.3) ist außerdem noch eine Erweiterung der Berechnungsmethodik zur Präzisierung der Risikoergebnisse der vorgelagerten Lieferkette möglich, die in SIERRA noch nicht umgesetzt wurde. In der mathematischen Formulierung in Abschnitt 5.2.3 wird die Länder- und Sektorverteilung der vorgelagerten Lieferkette bislang einmalig in Abhängigkeit von der Nachfrage beim Direktlieferanten mit Hilfe der Leontief-Inversen bzw. Neumann-Reihe bestimmt. Durch die Informationen über weitere bekannte Lieferanten in der vorgelagerten Lieferkette könnten nun

auch deren vorgelagerte Lieferketten mittels der Leontief-Inversen bzw. Neumann-Reihe bestimmt und in die bisherige Verteilungen der Lieferkette des Direktlieferanten integriert werden. Dadurch würde die vorgelagerte Lieferkette der bekannten Lieferanten ab Wertschöpfungsstufe 2 präzisiert werden. Die zur Integration des Vergabevolumens entwickelte Präferenzfunktion basiert auf den Ergebnissen einer Umfrage mit lediglich 10 Nachhaltigkeitsexperten. In zukünftigen Arbeiten sollte dieser Zusammenhang umfassender untersucht werden. Das durch das Unternehmen wahrgenommene Nachhaltigkeitsrisiko von Lieferanten oder Lieferketten bzw. die Bestimmung einer Prioritätsliste wird sehr wahrscheinlich durch die Faktoren „Beeinflussbarkeit des/der Lieferanten/Lieferkette“ und „Wahrnehmung des Produkts in der Öffentlichkeit“ beeinflusst. Diese Faktoren wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht und somit auch nicht im entwickelten Risikomodell berücksichtigt, weshalb deren Integration ebenfalls ein interessantes Forschungsfeld darstellt.

Im Rahmen der Entwicklung des Leistungsmodells wurden ein umfassender Fragenkatalog und eine davon abgeleitete Indikatorenliste erarbeitet. Hierbei wurde vereinfachend deren Vergleichbarkeit angenommen. Die Indikatorenliste stellt einen ersten Entwurf dar, um die wesentlichen Aspekte der Nachhaltigkeitsleistung eines Lieferanten erfassen zu können. Nichtsdestotrotz bedarf es in Zukunft umfassender Forschungsarbeit, um standardisierte ökologische und soziale Indikatoren zu entwickeln, die eine einheitliche Erfassung vorgeben und so deren Vergleichbarkeit gewährleisten. Die Bestimmung der ökonomischen Risikolevels wurde vereinfacht mit dem Vergabevolumen bestimmt. Zur besseren Abschätzung ökonomischer Risiken und der Ableitung risikospezifischer Fragen wäre deshalb die Integration der Ergebnisse eines präziseren ökonomischen Risikomodells interessant. Die Anwendung des Leistungsmodells erfolgte am Beispiel einer Lieferantenauswahl der Automobilindustrie. Um die Tauglichkeit des Leistungsmodells zu demonstrieren sollte das Modell unter Berücksichtigung der dortigen Besonderheiten auch am Beispiel der Lieferantensteuerung und anderer Branchen angewendet werden. In dieser Arbeit konnten durch den Vergleich der beiden entwickelten Modellierungsansätze PROMETHEE und Fuzzy PROMETHEE lediglich kleine

Unterschiede in der Modellierung und vernachlässigbare Unterschiede in den Ergebnissen der Fallstudie festgestellt werden. Trotzdem stellen diese Vergleiche eine wichtige Erkenntnis der quantitativen Forschungsarbeiten dar und sollten in zukünftigen Arbeiten immer durchgeführt werden.

Abschließend soll an dieser Stelle noch auf die potenziellen zukünftigen Forschungsthemen in Abschnitt 3.1 verwiesen werden, die im Zuge dieser Arbeit nicht aufgegriffen werden konnten (vgl. Tabelle 3.11). Besonders hervorzuheben ist dabei das Forschungsthema „Transparenz und Bewertungen entlang der Lieferkette“, welches sehr wahrscheinlich der größte Stellhebel ist, um ökologische und soziale Aspekte entlang einer Lieferkette zu verbessern. Diesbezüglich stellt insbesondere die Entwicklung eines globalen Datenaustauschsystems ähnlich der internationalen Materialdatenbank der Automobilindustrie (vgl. IMDS 2015) ein vielversprechenden Weg dar.

# A. Anhang

## A.1 Daten des Risikomodells

Tabelle A.1: Überblick über die Effizienzwerte und Korrekturfaktoren zur Überführung der Länderindikatoren in Land-Sektor-Indikatoren (Quelle: Dänemark 2005; Eora 2011; EUROSTAT 2012)

Eora Sektoren	Effizienzwerte			Korrekturfaktor
	Energie [kWh/US\$]	Emissionen [kg CO <sub>2</sub> /US\$]	Wasser [m <sup>3</sup> /US\$]	Material bzw. Abfall [%]
Landwirtschaft	0,69	1,01	317,75	0,16
Fischerei	0,69	1,01	1396,13	0,16
Bergbau und Rohstoffabbau	2,12	0,91	9,88	2,69
Essen und Trinken	0,42	0,07	35,38	0,19
Textilien und Kleidung	0,47	0,06	72,25	0,03
Holz und Papier	0,96	0,08	18,5	0,18
Erdöl, chemische, nicht-metallische Mineralprodukte	1,19	0,56	27,31	0,32
Metallprodukte	0,96	0,34	3,00	0,26
Elektronik und Maschinen	0,16	0,05	2,00	0,08
Transportmittel/-ausstattung	0,17	0,09	2,00	0,08
Sonstige Produktion	0,40	0,08	2,00	0,04
Recycling	0,40	0,08	2,00	0,63
Strom, Gas und Wasser	13,36	2,54	172,75	0,37
Bau	0,15	0,04	0,38	3,00
Instandhaltung und Reparatur	0,21	0,06	5,13	0,43
Großhandel	0,14	0,02	5,13	0,12
Einzelhandel	0,26	0,03	3,00	0,12
Hotels und Restaurants	0,38	0,04	13,75	0,02
Transport	3,29	0,70	1,63	0,02
Post und Telekommunikation	0,20	0,02	0,38	0,02
Finanzdienstleistungen	0,08	0,01	1,00	0,02
Öffentliche Verwaltung	0,13	0,03	2,00	0,02
Bildung, Gesundheit und andere Dienstleistungen	0,28	0,03	17,88	0,02
Private Haushalte	0	0,01	0,00	0,79
Sonstiges	0,35	0,51	0,00	0,02

## A Anhang

Tabelle A.2: Liste der verfügbaren Länder der multi-regionalen Input-Output-Tabelle Eora

Afghanistan	DR Congo	Liechtenstein	Senegal
Albania	Denmark	Lithuania	Serbia
Algeria	Djibouti	Luxembourg	Seychelles
Andorra	Dominican Republic	Macao SAR	Sierra Leone
Angola	Ecuador	Madagascar	Singapore
Antigua	Egypt	Malawi	Slovakia
Argentina	El Salvador	Malaysia	Slovenia
Armenia	Eritrea	Maldives	Somalia
Aruba	Estonia	Mali	South Africa
Australia	Ethiopia	Malta	South Sudan
Austria	Fiji	Mauritania	Spain
Azerbaijan	Finland	Mauritius	Sri Lanka
Bahamas	France	Mexico	Sudan
Bahrain	French Polynesia	Monaco	Suriname
Bangladesh	Gabon	Mongolia	Swaziland
Barbados	Gambia	Montenegro	Sweden
Belarus	Georgia	Marocco	Switzerland
Belgium	Germany	Mozambique	Syria
Belize	Ghana	Myanmar	Taiwan
Benin	Greece	Namibia	Tajikistan
Bermuda	Greenland	Nepal	Thailand
Bhutan	Guatemala	Netherlands	TFYR Macedonia
Bolivia	Guinea	Netherlands Antilles	Togo
Bosnia and Herzegovina	Guyana	New Caledonia	Trinidad and Tobago
Botswana	Haiti	New Zealand	Tunisia
Brazil	Honduras	Nicaragua	Turkey
British Virgin Islands	Hong Kong	Niger	Turkmenistan
Brunei	Hungary	Nigeria	Former USSR
Bulgaria	Iceland	Norway	Uganda
Burkina Faso	India	Gaza Strip	Ukraine
Burundi	Indonesia	Oman	UAE
Cambodia	Iran	Pakistan	UK
Cameroon	Iraq	Panama	Tanzania
Canada	Ireland	Papua New Guinea	USA
Cape Verde	Israel	Paraguay	Uruguay
Cayman Islands	Italy	Peru	Uzbekistan
Central African Republic	Jamaica	Philippines	Vanuatu
Chad	Japan	Poland	Venezuela
Chile	Jordan	Portugal	Viet Nam
China	Kazakhstan	Qatar	Yemen
Colombia	Kenya	South Korea	Zambia
Congo	Kuwait	Moldova	Zimbabwe
Costa Rica	Kyrgyzstan	Romania	Rest of the World
Croatia	Laos	Russia	
Cuba	Latvia	Rwanda	
Cyprus	Lebanon	Samoa	
Czech Republic	Lesotho	San Marino	
Cote d'Ivoire	Liberia	Sao Tome and Principe	
North Korea	Libya	Saudi Arabia	

Tabelle A.3: Ergebnis der Befragung von Nachhaltigkeitsexperten zur Untersuchung des Zusammenhangs der Variablen „Risiko“ und „Vergabevolumen“ und „Gesamtrisiko“

Risiko	Vergabevolumen [Mio. €]	Empfundenes Gesamtrisiko der Experten									
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
snr	0,1	snr	snr	snr	snr	snr	snr	snr	snr	snr	snr
nr	0,1	snr	snr	snr	snr	snr	snr	snr	snr	snr	snr
mr	0,1	znr	znr	znr	snr	nr	snr	znr	snr	snr	snr
hr	0,1	ehr	mr	ehr	enr	enr	hr	enr	zhr	mr	znr
shr	0,1	shr	shr	shr	zhr	zhr	shr	hr	shr	hr	enr
snr	1	snr	snr	snr	snr	snr	snr	snr	snr	snr	snr
nr	1	snr	snr	snr	snr	znr	snr	snr	snr	snr	snr
mr	1	znr	nr	nr	znr	enr	znr	nr	znr	znr	snr
hr	1	hr	hr	zhr	ehr	ehr	zhr	hr	shr	ehr	ehr
shr	1	shr	shr	shr	shr	shr	shr	shr	shr	zhr	zhr
snr	10	snr	snr	snr	snr	nr	snr	snr	snr	snr	snr
nr	10	znr	snr	snr	znr	nr	znr	znr	snr	znr	znr
mr	10	nr	nr	znr	enr	mr	nr	nr	nr	nr	nr
hr	10	zhr	shr	shr	hr	hr	shr	zhr	shr	zhr	zhr
shr	10	shr	shr	shr	shr	shr	shr	shr	shr	shr	shr
snr	100	znr	snr	snr	snr	znr	snr	snr	snr	snr	snr
nr	100	nr	znr	znr	znr	enr	nr	znr	znr	znr	znr
mr	100	mr	nr	mr	mr	ehr	ehr	mr	enr	mr	mr
hr	100	zhr	zhr	shr	zhr	shr	shr	shr	shr	shr	shr
shr	100	shr	shr	shr	shr	shr	shr	shr	shr	shr	shr
snr	1000	enr	snr	znr	snr	nr	znr	znr	snr	znr	znr
nr	1000	mr	nr	nr	nr	mr	enr	nr	znr	nr	nr
mr	1000	ehr	mr	hr	hr	hr	hr	hr	ehr	ehr	ehr
hr	1000	shr	shr	shr	shr	shr	shr	shr	shr	shr	shr
shr	1000	shr	shr	shr	shr	shr	shr	shr	shr	shr	shr

Legende: snr = sehr niedriges Risiko, znr = ziemlich niedriges Risiko, nr = niedriges Risiko, enr = eher niedriges Risiko, mr = mittleres Risiko, ehr = eher hohes Risiko, hr = hohes Risiko, zhr = ziemlich hohes Risiko, shr = sehr hohes Risiko

## A Anhang

Tabelle A.4: Defuzzifizierte Ergebnisse der Befragung von Nachhaltigkeitsexperten zur Untersuchung des Zusammenhangs der Variablen „Risiko“ und „Vergabevolumen“ und „Gesamtrisiko“

Risiko	Vergabevolumen [Mio. €]	Empfundenes Gesamtrisiko der Experten									
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
0,58	0,1	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
2,88	0,1	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
4,93	0,1	1,82	1,82	1,82	0,58	2,88	0,58	1,82	0,58	0,58	0,58
6,95	0,1	5,94	4,93	5,94	3,91	3,91	6,95	3,91	7,96	4,93	1,82
8,96	0,1	8,96	8,96	8,96	7,96	7,96	8,96	6,95	8,96	6,95	3,91
0,58	1	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
2,88	1	0,58	0,58	0,58	0,58	1,82	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
4,93	1	1,82	2,88	2,88	1,82	3,91	1,82	2,88	1,82	1,82	0,58
6,95	1	6,95	6,95	7,96	5,94	5,94	7,96	6,95	8,96	5,94	5,94
8,96	1	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	7,96	7,96
0,58	10	0,58	0,58	0,58	0,58	2,88	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
2,88	10	1,82	0,58	0,58	1,82	2,88	1,82	1,82	0,58	1,82	1,82
4,93	10	2,88	2,88	1,82	3,91	4,93	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88
6,95	10	7,96	8,96	8,96	6,95	6,95	8,96	7,96	8,96	7,96	7,96
8,96	10	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96
0,58	100	1,82	0,58	0,58	0,58	1,82	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
2,88	100	2,88	1,82	1,82	1,82	3,91	2,88	1,82	1,82	1,82	1,82
4,93	100	4,93	2,88	4,93	4,93	5,94	5,94	4,93	3,91	4,93	4,93
6,95	100	7,96	7,96	8,96	7,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96
8,96	100	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96
0,58	1000	3,91	0,58	1,82	0,58	2,88	1,82	1,82	0,58	1,82	1,82
2,88	1000	4,93	2,88	2,88	2,88	4,93	3,91	2,88	1,82	2,88	2,88
4,93	1000	5,94	4,93	6,95	6,95	6,95	6,95	6,95	5,94	5,94	5,94
6,95	1000	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96
8,96	1000	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96



## A.2 Daten des Leistungsmodells

Tabelle A.5: Überblick über alle Indikatoren des Leistungsmodells

Kriterium	Indikator	Quelle	Einheit	Ebene	Lokale Gewichtung	Risikolevel
C111	Bewertung der Organisationsstruktur des Lieferanten aus Sicht des einkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	U	3	2
C111	Zusammenpassen der Strategien und Kultur des Lieferanten und deseinkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	U	3	1
C111	Bewertung der Lieferantenstrategie aus Sicht des einkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	U	2	2
C112	Existenz eines internen Berichtswesens	L	Binär	U	1	2
C112	Nutzung von KPIs zur Analyse und Steuerung der Geschäftstätigkeiten	L	Binär	S	3	1
C112	Existenz eines Qualitätsmanagementsystems	L	Binär	S	3	M
C112	Bewertung des Qualitätsmanagementsystems aus Sicht des einkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	S	2	2
C113	Existenz implementierter Eskalationsprozessen bei gravierenden Abweichungen geforderter Standards	L	Binär	U	2	2
C113	Kostentransparenz inkl. des Unterpelieferantenmanagements des Lieferanten aus Sicht des einkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	U	3	1
C113	Berücksichtigung der Umweltleistung der Tier-2 Lieferanten im Rahmen der Lieferantenauswahl	L	Binär	U	1	1
C113	Berücksichtigung der sozialen Leistung der Tier-2 Lieferanten im Rahmen Lieferantenauswahl	L	Binär	U	1	1
C113	Festlegung der Qualitätsanforderungen in den Bestellunterlagen der Tier-2 Lieferanten	L	Binär	U	3	1
C113	Anteil der Tier-2-Lieferanten mit einem ausgefüllten Nachhaltigkeits-Selbstauskunftsfragebogen	L	Prozent	U	1	2
C113	Existenz einer Lieferanten-Nachhaltigkeitsrichtlinie	L	Binär	U	3	M
C113	Aufklärung der Tier-2 Lieferanten über die Nachhaltigkeitsrichtlinie	L	Binär	U	3	M
C113	Integrierte Nachhaltigkeitsrichtlinie mit Tier-2-Lieferanten in Vertragsunterlagen	L	Binär	U	2	1
C113	Bewertung der Marktkenntnisse des Lieferanten aus Sicht des einkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	U	2	2
C113	Existenz eines Steuerungssystem zur Überwachung der Leistung der Unterpelieferanten	L	Binär	S	2	2
C114	Veröffentlichung eines Compliance-Berichts	L	Binär	U	1	2
C114	Einhaltung ethischer Grundsätze	L	Binär	U	3	2
C114	Existenz einer Whistleblower-Methode	L	Binär	U	2	1
C114	Existenz eines Verantwortlichen für ethische Grundsätze	L	Binär	U	2	1
C114	Existenz eines Maßnahmenkatalogs zur Beseitigung von Non-Compliance-Situationen	L	Binär	U	1	2
C114	Existenz eines Maßnahmenkataloges zur Regelung der Ressourcen bei Non-Compliance-Situationen	L	Binär	U	1	2

## A Anhang

Kriterium	Indikator	Quelle	Einheit	Ebene	Lokale Gewichtung	Risikolevel
C114	Durchführung von Schulungen zur Erläuterung der Compliance-Richtlinien	L	Binär	U	2	2
C114	Existenz einer Compliance-Richtlinie	L	Binär	U	3	M
C114	Existenz einer Richtlinie gegen Korruption und Erpressung	L	Binär	U	3	1
C114	Existenz einer Richtlinie gegen Bestechung	L	Binär	U	3	1
C114	Existenz einer Richtlinie zur Annahme von Geschenken und Zuwendungen	L	Binär	U	1	2
C114	Implementierung des Vier-Augen-Prinzips	L	Binär	U	3	1
C114	Regelmäßige Durchführung von Revisionen bzw. Audits	L	Binär	S	2	2
C114	Durchführung der Audits zur Gewährleistung der Compliance	L	Binär	S	1	2
C121	Preis des Produkts	L	[Euro / Tonne]	P	1	1
C121	Gesamtkosten des Produkts für das einkaufende Unternehmen	E	[Euro / Tonne]	P	3	1
C122	Bonität des Lieferantenn	E	Likert Skala	U	3	1
C131	Existenz eines Bemusterungsprozesses	L	Binär	U	1	2
C131	Existenz von Verfahrensweisungen zur Einleitung und Überwachung von Korrekturmaßnahmen	L	Binär	U	1	2
C131	Durchführung von Schulungen zu Produktqualitätsstandards	L	Binär	S	2	2
C131	Existenz eines Verantwortlichen für die Produktqualität	L	Binär	S	2	1
C131	Existenz eines Prozesses zur Steuerung im Fall fehlerhafter Teile	L	Binär	S	2	2
C131	Bewertung der Methodenkenntnisse des Lieferanten hinsichtlich Produkt- und Prozessabsicherung aus Sicht des einkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	S	2	2
C131	Regelmäßige Durchführung von Qualitätssicherungsmaßnahmen	L	Binär	S	2	1
C131	6-Monatswert defekter Teile	E	ppm	P	3	1
C132	Bewertung des Rückstands- und Fehlteilmanagements des Lieferanten aus Sicht des einkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	U	2	2
C132	Logistische Anlieferqualität des Lieferanten aus Sicht des einkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	U	1	1
C132	Bewertung der Produktkapazitäten des Lieferanten aus Sicht des einkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	U	3	1
C132	Bewertung der Prozess- und Fertigungskompetenz des Lieferanten aus Sicht des einkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	U	3	2
C132	Bewertung der Technologiekompetenz des Lieferanten aus Sicht des einkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	S	3	2
C132	Existenz der Notfallstrategien bei Eintritt von Produktionsunterbrechungen	L	Binär	S	1	2
C132	Lieferrisiko des Lieferanten	E	Likert Skala	S	3	1
C132	Standortrisiko des Lieferanten	E	Likert Skala	S	1	2
C132	Bewertung der logistischen Anbindung des Lieferantenstandortes	E	Likert Skala	S	2	1

Kriterium	Indikator	Quelle	Einheit	Ebene	Lokale Gewichtung	Risikolevel
C132	Existenz eines MRP-Systems (Produktionssystems)	L	Binär	S	2	1
C133	Bewertung der Kommunikation und der Kompetenzen des Lieferanten während gemeinsamer Produktentwicklungen	E	Likert Skala	U	2	2
C133	Bewertung der Laborausstattung der Entwicklungsabteilung des Lieferanten aus Sicht des einkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	U	3	2
C133	Bewertung der Innovationskraft des Lieferanten aus Sicht des einkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	U	3	1
C133	Bewertung des Einsatzes innovativer Materialien und Verfahren	E	Likert Skala	U	2	1
C133	Aufwand in Forschung und Entwicklung pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	2	2
C133	Relative Veränderung des Aufwandes in Forschung und Entwicklung pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	2	2
C134	Bewertung des Produkt-Änderungsmanagements des Lieferanten aus der Sicht einkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	U	2	2
C134	Bewertung der Reaktionsgeschwindigkeit des Kundenservices	E	Likert Skala	U	2	1
C134	Existenz eines Service-Ansprechpartner	L	Binär	U	1	1
C135	Bewertung des Informationsaustausches mit dem Lieferanten aus Sicht des einkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	U	3	1
C135	Existenz eines geeigneten Informationssystems für den Datenaustausch	E	Binär	U	3	1
C141	Veröffentlichung des Geschäftsberichts	L	Binär	U	3	1
C141	Veröffentlichung eines Nachhaltigkeitsberichts	L	Binär	U	3	M
C142	Bewertung des Lieferantensehens in der Öffentlichkeit	E	Likert Skala	U	2	2
C142	Bewertung des Lieferantensehens in der Branche	E	Likert Skala	U	2	2
C143	Anteil der Standorte Lieferanten mit einem gültigen Qualitätsmanagementsystem-Zertifikat	L	Prozent	U	3	2
C143	Anteil Standorte mit einem gültigen Umweltmanagementsystem-Zertifikat	L	Prozent	U	2	2
C143	Anteil Standorte mit einem gültigen Sozialmanagementsystem-Zertifikat	L	Prozent	U	1	2
C143	Existenz eines gültigen Qualitätsmanagementsystem-Zertifikats am Lieferantenstandort	L	Binär	S	3	M
C143	Existenz eines gültigen Umweltmanagementsystem-Zertifikates am Lieferantenstandort	L	Binär	S	2	M
C143	Existenz eines gültigen Sozialmanagementsystem-Zertifikates am Lieferantenstandort	L	Binär	S	2	2
C143	Existenz eines gültigen Gefahrstoffmanagementsystem-Zertifikates am Lieferantenstandort	L	Binär	S	1	2
C143	Existenz eines gültigen Arbeitsschutzmanagementsystem-Zertifikates am Lieferantenstandort	L	Binär	S	1	2
C211	Einhaltung der EU Richtlinie 2000/53/EC	L	Binär	U	3	M
C211	Einhaltung branchenspezifischer Normen, Richtlinien und Standards zur recyclingoptimierten und umweltgerechten	L	Binär	U	3	M

## A Anhang

Kriterium	Indikator	Quelle	Einheit	Ebene	Lokale Gewichtung	Risikolevel
	Produktion					
C211	Einhaltung spezifischer Normen, Richtlinien und Standards des einkaufenden Unternehmens durch den Lieferanten zur recyclingoptimierten und umweltgerechten Produktion	L	Binär	U	3	M
C211	Existenz einer Umweltrichtlinie	L	Binär	U	3	M
C211	Existenz einer Energieverbrauchsrichtlinie	L	Binär	U	3	2
C211	Existenz einer Emissionenrichtlinie	L	Binär	U	3	2
C211	Existenz einer Wasserverbrauchsrichtlinie	L	Binär	U	3	2
C211	Existenz einer Abfallmanagement-Richtlinie	L	Binär	U	3	2
C211	Existenz einer Gefahrstoffrichtlinie	L	Binär	U	3	2
C212	Durchführung einer jährlichen Besprechung auf Vorstandsebene zu ökologischer Nachhaltigkeit	L	Binär	U	2	2
C212	Durchführung von jährlichen Schulungen oder Workshops zu ökologischer Nachhaltigkeit	L	Binär	U	2	2
C212	Existenz eines Umweltmanagementsystems	L	Binär	U	3	M
C212	Kontrolle der Verwertungs- und Beseitigungswege von Abfällen	L	Binär	U	2	3
C212	Bewertung des Umweltmanagementsystems des Lieferanten aus Sicht des einkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	U	3	2
C212	Nutzung der KPIs zur Analyse und Steuerung der Umwelteinflüsse	L	Binär	U	3	2
C212	Existenz eines Verantwortlichen für die ökologische Nachhaltigkeit	L	Binär	U	3	2
C212	Existenz eines Gefahrstoffmanagementsystems	L	Binär	U	2	2
C212	Durchführung von Umweltaudits	L	Binär	U	2	M
C213	Umweltschutzaufwendungen pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3
C213	Relative Veränderung der Umweltschutzaufwendungen pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3
C213	Bewertung der ökologischen Innovationsfähigkeit des Lieferanten aus Sicht des einkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	U	2	2
C213	Fähigkeit des Lieferanten Logistik- und Produktionsprozesse ökologischer zu gestalten	E	Likert Skala	U	2	2
C213	Einsatz der Produktökobilanz (ISO 14040/14044) zur umweltorientierten Weiterentwicklung der Lieferumfänge	L	Binär	U	3	2
C213	Behebung von Beanstandungen externer Audits	L	Binär	S	3	2
C221	Materialverbrauch pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	[Kilogramm / Euro]	U	3	3
C221	Relative Veränderung des Materialverbrauches pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3
C221	Rohstoffverbrauch pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	[Kilogramm / Euro]	U	3	3
C221	Menge des Verpackungsmaterials pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	[Kilogramm / Euro]	U	3	3
C221	Relative Veränderung der Menge des Verpackungsmaterials pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3

## A.2 Daten des Leistungsmodells

Kriterium	Indikator	Quelle	Einheit	Ebene	Lokale Gewichtung	Risikolevel
C221	Durchführung von Maßnahmen zur Reduzierung des Materialverbrauchs	L	Binär	U	2	2
C221	Erfassung des Materialverbrauchs	L	Binär	S	3	2
C222	Messung des Energieverbrauchs	L	Binär	U	3	2
C222	Durchführung von Maßnahmen zur Reduzierung des Energiebedarfs	L	Binär	U	2	2
C222	Produktion erneuerbarer Energien	L	Binär	U	1	3
C222	Energieverbrauch pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	[Kilowattstunden / Euro]	U	3	3
C222	Relative Veränderung des Energieverbrauches pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3
C222	Erfassung des Anteils erneuerbarer Energien am direkten Energieverbrauch	L	Binär	S	3	2
C223	Messung der Emissionen	L	Binär	U	3	2
C223	Durchführung von Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen	L	Binär	U	2	2
C223	Verwendung flüchtiger, organische Lösemittel (VOC)	L	Binär	U	1	2
C223	THG-Emissionen nach Scope 1 pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	[Kilogramm THG / Euro]	U	3	3
C223	Relative Veränderung der THG-Emissionen nach Scope 1 pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3
C223	THG-Emissionen nach Scope 2 pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	[Kilogramm THG / Euro]	U	3	3
C223	Relative Veränderung der THG-Emissionen nach Scope 2 pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3
C223	VOC-Emissionen pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	[Kilogramm VOC / Euro]	U	2	3
C223	Relative Veränderung der VOC-Emissionen pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	2	3
C223	NOx-Emissionen pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	[Kilogramm NOx / Euro]	U	2	3
C223	Relative Veränderung der NOx-Emissionen pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	2	3
C223	NH <sup>3</sup> -Emissionen pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	[Kilogramm NH <sup>3</sup> / Euro]	U	2	3
C223	Relative Veränderung der NH <sup>3</sup> -Emissionen pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	2	3
C223	SOx-Emissionen pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	[Kilogramm SOx / Euro]	U	2	3
C223	Relative Veränderung der SOx-Emissionen pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	2	3
C224	Messung des Wasserverbrauchs	L	Binär	U	3	2
C224	Messung des Prozessabwassers	L	Binär	U	3	3
C224	Durchführung von Maßnahmen zur Reduzierung des Wasserverbrauches	L	Binär	U	2	2

## A Anhang

Kriterium	Indikator	Quelle	Einheit	Ebene	Lokale Gewichtung	Risikolevel
C224	Wasserverbrauch pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	[Kilogramm / Euro]	U	3	3
C224	Relative Veränderung des Wasserverbrauches pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3
C224	Abwassermenge pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	[Kilogramm / Euro]	U	3	3
C224	Relative Veränderung der Abwassermenge pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3
C224	Stickstoffmenge im Abwasser pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	[Kilogramm N / Euro]	U	2	3
C224	Relative Veränderung der Stickstoffmenge im Abwasser pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	2	3
C224	Phosphormenge im Abwasser pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	[Kilogramm P / Euro]	U	2	3
C224	Relative Veränderung der Phosphormenge im Abwasser pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	2	3
C224	Menge der Schwermetall-Emissionen im Abwasser pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	[Kilogramm / Euro]	U	2	3
C224	Relative Veränderung der Menge der Schwermetall-Emissionen im Abwasser pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	2	3
C225	Messung des Beseitigungsabfalls	L	Binär	U	3	2
C225	Messung des Verwertungsabfalls	L	Binär	U	3	2
C225	Durchführung von Maßnahmen zur Reduzierung des Abfalls	L	Binär	U	2	2
C225	Abfallmenge pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	[Kilogramm / Euro]	U	3	3
C225	Relative Veränderung der Abfallmenge pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3
C225	Jährliche Überprüfung des Verwertungs- und Beseitigungsweges von Abfällen	L	Binär	U	2	3
C225	Anteil des recycelten Abfallaufkommens im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3
C226	CO <sub>2</sub> Emissionen pro Produkt	L	[Kilogramm THG / Tonne Produkt]	P	3	3
C226	Anteil des recyclebaren Materials im angefragten Produkt	L	Prozent	P	3	3
C226	Bewertung der Nachhaltigkeit des Produkts aus Sicht des einkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	P	2	2
C226	Energieintensität pro Kilogramm des angefragten Produktes	L	[Gigajoule / Tonne Produkt]	P	3	3
C311	Existenz eines Verhaltenskodexes	L	Binär	U	3	1
C311	Veröffentlichung eines Verhaltenskodex	L	Binär	U	2	2
C311	Existenz sozialer Richtlinien zu Kinder- und Zwangsarbeit, Menschenrechte, Arbeitsbedingungen, Lohn- und Arbeitszeit, Diskriminierung, Vereinigungsfreiheit und Tarifverhandlungen	L	Binär	U	3	M

## A.2 Daten des Leistungsmodells

Kriterium	Indikator	Quelle	Einheit	Ebene	Lokale Gewichtung	Risikolevel
C311	Existenz einer Arbeitsschutzrichtlinie	L	Binär	U	3	M
C311	Sicherstellung diskriminierungsfreier Einstellungsprozesse	L	Binär	U	3	2
C312	Durchführung einer jährlichen Besprechung auf Vorstandsebene zu sozialer Nachhaltigkeit	L	Binär	U	2	2
C312	Jährliche Durchführung von Schulungen oder Workshops zu sozialer Nachhaltigkeit	L	Binär	U	2	2
C312	Existenz eines Sozialmanagementsystems	L	Binär	U	3	3
C312	Nutzung von KPIs zur Analyse und Steuerung sozialer Aspekte	L	Binär	U	3	2
C312	Existenz eines Verantwortlichen für die soziale Nachhaltigkeit	L	Binär	U	3	2
C312	Existenz eines Arbeitsschutzmanagementsystems	L	Binär	U	3	3
C312	Durchführung von Sozialaudits	L	Binär	U	2	M
C312	Durchführung von Arbeitsschutzaudits	L	Binär	U	1	2
C321	Einsatz von Zwangsarbeitern	L	Binär	U	3	M
C321	Kinderarbeit am Standort des angefragten Produkts gemäß ILO-Konvention 138	L	Binär	U	3	M
C321	Anteil der Standorte des Lieferanten, die Kinderarbeit im Durchschnitt der letzten fünf Jahre gemäß ILO-Konvention 138 einsetzen	L	Prozent	U	3	3
C321	Kinder- oder Zwangsarbeit bei vorgelagerten Lieferanten in den letzten 10 Jahren	E	Binär	U	3	2
C322	Durchführung kostenloser Erste-Hilfe-Fortbildungen	L	Binär	U	3	1
C322	Schutz minderjähriger Mitarbeiter vor gesundheitsschädlicher Arbeit	L	Binär	U	3	2
C322	Anzahl verlorener Arbeitsstunden pro Million geleisteter Arbeitsstunden (LTIFR) im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3
C322	Durchführung arbeitsschutz- und gesundheitsfördernder Aktivitäten	L	Binär	U	2	M
C322	Finanzielle Unterstützung beim Kauf von Sicherheitskleidung	L	Binär	U	3	2
C322	Investitionen in Sicherheitstechnik pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3
C322	Relative Veränderung der Investitionen in Sicherheitstechnik pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3
C322	Anzahl tödlicher Arbeitsunfälle pro Million Mitarbeiter im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	[Tödliche Unfälle / 1 Mio Mitarbeiter]	U	3	3
C322	Anzahl Arbeitsunfälle pro Million Mitarbeiter im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	[Unfälle / 1 Mio Mitarbeiter]	U	3	3
C322	Wartung der Sicherheitstechnik	L	Binär	U	3	2
C322	Existenz von Verbandskästen	L	Binär	S	2	1
C322	Einsatz und Wartung der Feuerlöschgeräte, Brandmeldean-	L	Binär	S	2	1

## A Anhang

Kriterium	Indikator	Quelle	Einheit	Ebene	Lokale Gewichtung	Risikolevel
	lagen und Notausgänge					
C322	Dokumentation der Unfälle	L	Binär	S	2	2
C322	Bewertung der Arbeitssicherheit aus Sicht des einkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	S	2	2
C323	Löhne über dem Existenzminimum	L	Binär	U	3	3
C323	Einhaltung der Ruhezeiten gemäß ILO	L	Binär	U	3	2
C323	Einhaltung der Regelarbeitszeit unter der ländertypischen Arbeitszeit gemäß ILO	L	Binär	U	3	2
C323	Anteil Vollzeitmitarbeiter mit vertraglich festgelegter Arbeitszeit unter der ländertypischen Arbeitszeit gemäß ILO im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3
C323	Anteil Beschäftigter, die bei Vollbeschäftigung im Durchschnitt der letzten fünf Jahre ein Gehalt über dem lokalen Mindestgehalt erhalten	L	Prozent	U	3	3
C323	Pünktliche Überweisung des Gehalts	L	Binär	U	2	3
C323	Mehrentlohn bei Nacht-, Überstunden-, und Wochenendarbeit	L	Binär	U	2	2
C323	Existenz regelmäßiger und angemessener Arbeitspausen	L	Binär	U	2	2
C323	Minimaler Jahresurlaubsanspruch bei Vollbeschäftigung	L	[Tage / Jahr]	S	2	2
C324	Anzahl der Fortbildungstage pro Mitarbeiter im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	[Tage / Mitarbeiter]	U	3	3
C324	Anteil der Beschäftigten, die innerhalb der letzten fünf Jahre mindestens an einer Ausbildungsmaßnahme teilgenommen haben	L	Prozent	U	3	3
C324	Anteil kostenloser Fort- und Weiterbildungen im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3
C324	Anteil der Beschäftigten, die in Anti-Korruptionsmaßnahmen geschult wurden	L	Prozent	U	2	3
C324	Durchführung von Weiterbildungen im Themenbereich Nachhaltigkeit	L	Binär	U	2	3
C324	Durchführung externer Weiterbildungen im Themenbereich Nachhaltigkeit	L	Binär	U	2	3
C324	Jährliche Durchführung von Fort- und Weiterbildungen	L	Binär	S	3	2
C325	Abschluss schriftlicher Arbeitsverträge, in denen Arbeitszeiten, Urlaubsregelungen und Entgelt festgelegt werden	L	Binär	U	3	2
C325	Überprüfung der Echtheit der Bewerbungsunterlagen bei Einstellung neuer Mitarbeiter	L	Binär	U	2	3
C325	Fluktuationsquote im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3
C325	Beschäftigungsverhältnis der Arbeiter am Standort des Lieferanten aus Sicht des einkaufenden Unternehmens	E	Likert Skala	U	2	2
C325	Relative Veränderung der Fluktuationsquote im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3
C325	Durchschnittliche Betriebszugehörigkeit	L	Jahre	U	2	3
C325	Anteil unbefristeter Beschäftigten der Gesamtbelegschaft im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3



Kriterium	Indikator	Quelle	Einheit	Ebene	Lokale Gewichtung	Risikolevel
C326	Sicherstellung diskriminierungsfreier Beschäftigung	L	Binär	U	3	2
C326	Gleiche Fortbildungsmöglichkeiten für alle Angestellten unabhängig von Herkunft, Religion, Geschlecht etc.	L	Binär	U	3	2
C326	Anteil Frauen an der Gesamtbelegschaft im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	2	3
C326	Anteil Frauen in Führungspositionen im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	2	3
C326	Gewährung eines Mutterschaftsurlaubs	L	Binär	U	3	2
C326	Anteil Beschäftigter mit Behinderung an der Gesamtbelegschaft im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	2	3
C326	Existenz getrennter Toiletten für Männer und Frauen	L	Binär	S	3	3
C327	Existenz einer Richtlinie zur Versammlungsfreiheit	L	Binär	U	3	2
C327	Gewährung einer unabhängigen Arbeitnehmervertretung	L	Binär	U	3	2
C327	Anteil der Beschäftigten, die im Durchschnitt der letzten fünf Jahre in einer Gewerkschaft organisiert waren/sind	L	Prozent	U	3	3
C327	Anteil der Mitarbeiter, die durch Kollektivvereinbarungen im Durchschnitt der letzten fünf Jahre erfasst wurden	L	Prozent	U	3	3
C331	Jährliche Durchführung von Workshops zu ökologischen und sozialen Aspekten mit NGOs	L	Binär	U	3	3
C331	Jährliche Durchführung von Workshops zu ökologischen und sozialen Aspekten mit Kunden	L	Binär	U	2	3
C331	Jährliche Durchführung von Workshops zu ökologischen und sozialen Aspekten mit Gemeinden	L	Binär	U	2	3
C331	Existenz eines Ideenmanagementsystems	L	Binär	U	2	2
C332	Höhe der Spenden pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3
C332	Relative Veränderung der Spendenhöhe pro Euro Umsatz im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3
C332	Anzahl ehrenamtlich geleisteter Stunden pro Mitarbeiter im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	[Stunden / Mitarbeiter]	U	3	3
C332	Relative Veränderung der Anzahl ehrenamtlich geleisteter Stunden pro Mitarbeiter im Durchschnitt der letzten fünf Jahre	L	Prozent	U	3	3
C332	Anteil der Auszubildenden an der Gesamtbelegschaft	L	Prozent	U	3	2
C332	Übernahmequote der Auszubildenden	L	Prozent	U	2	2
C332	Anzahl der Betreuungsplätze für Kinder pro Mitarbeiter	L	[Plätze / Mitarbeiter]	U	2	2

E: Bewertung durch einkaufendes Unternehmen; L: Beantwortung durch Lieferanten; M: Mindestanforderungen; P: Produktebene; S: Standortebe; U: Unternehmensebene

## A Anhang

Tabelle A.6: Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Nachhaltigkeit“

	Ökonomische Aspekte (C <sub>1</sub> )	Ökologische Aspekte (C <sub>2</sub> )	Soziale Aspekte (C <sub>3</sub> )
Ökonomische Aspekte (C <sub>1</sub> )	(1; 1; 1)	(0,86; 1,95; 3,18)	(1,01; 2,17; 3,45)
Ökologische Aspekte (C <sub>2</sub> )	(0,31; 0,51; 0,1,16)	(1; 1; 1)	(0,74; 1,08; 1,41)
Soziale Aspekte (C <sub>3</sub> )	(0,29; 0,46; 0,99)	(0,71; 0,92; 1,35)	(1; 1; 1)

Tabelle A.7: Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Ökonomische Aspekte“

	Management und Organisation (C <sub>11</sub> )	Finanzielle Leistung (C <sub>12</sub> )	Fähigkeiten (C <sub>13</sub> )	Externe Wahrnehmung (C <sub>14</sub> )
Management und Organisation (C <sub>11</sub> )	(1; 1; 1)	(0,24; 0,41; 0,97)	(0,40; 0,55; 1,09)	(0,62; 1,20; 2,14)
Finanzielle Leistung (C <sub>12</sub> )	(1,03; 2,42; 4,11)	(1; 1; 1)	(0,62; 1,22; 1,82)	(1,10; 2,74; 4,37)
Fähigkeiten (C <sub>13</sub> )	(0,92; 1,80; 2,52)	(0,55; 0,82; 1,62)	(1; 1; 1)	(0,85; 2,24; 3,62)
Externe Wahrnehmung (C <sub>14</sub> )	(0,47; 0,83; 1,62)	(0,23; 0,37; 0,91)	(0,28; 0,45; 1,18)	(1; 1; 1)

Tabelle A.8: Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Ökologische Aspekte“

	Umweltpraktiken (C <sub>21</sub> )	Umweltleistung (C <sub>22</sub> )
Umweltpraktiken (C <sub>21</sub> )	(1; 1; 1)	(0,31; 0,55; 1,28)
Umweltleistung (C <sub>22</sub> )	(0,78; 1,82; 3,25)	(1; 1; 1)

Tabelle A.9: Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Soziale Aspekte“

	Interne soziale Praktiken (C <sub>31</sub> )	Soziale Leistung (C <sub>32</sub> )	Externe soziale Praktiken (C <sub>33</sub> )
Interne soziale Praktiken (C <sub>31</sub> )	(1; 1; 1)	(0,35; 0,55; 1,11)	(0,70; 1,37; 2,68)
Soziale Leistung (C <sub>32</sub> )	(0,90; 1,82; 2,83)	(1; 1; 1)	(0,97; 2,48; 3,98)
Externe soziale Praktiken (C <sub>33</sub> )	(0,37; 0,73; 1,43)	(0,25; 0,40; 1,03)	(1; 1; 1)

Tabelle A.10: Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Management und Organisation“

	Strategie und Organisation (C <sub>111</sub> )	Internes Management (C <sub>112</sub> )	Lieferantenmanagement (C <sub>113</sub> )	Compliance (C <sub>114</sub> )
Strategie und Organisation (C <sub>111</sub> )	(1; 1; 1)	(0,76; 1,08; 1,38)	(0,51; 1,01; 1,87)	(0,44; 0,88; 1,93)
Internes Management (C <sub>112</sub> )	(0,72; 0,92; 1,32)	(1; 1; 1)	(0,52; 0,95; 1,70)	(0,53; 1,03; 2,32)
Lieferantenmanagement (C <sub>113</sub> )	(0,53; 0,99; 1,97)	(0,59; 1,05; 1,91)	(1; 1; 1)	(0,66; 1,14; 2,03)
Compliance (C <sub>114</sub> )	(0,52; 1,14; 2,27)	(0,43; 0,97; 1,90)	(0,49; 0,88; 1,53)	(1; 1; 1)

Tabelle A.11: Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Finanzielle Leistung“

	Kosten (C <sub>121</sub> )	Finanzielle Situation (C <sub>122</sub> )
Kosten (C <sub>121</sub> )	(1; 1; 1)	(0,79; 1,60; 2,26)
Finanzielle Situation (C <sub>122</sub> )	(0,44; 0,62; 1,27)	(1; 1; 1)

Tabelle A.12: Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Fähigkeiten“

	Qualität (C <sub>131</sub> )	Produktion und Logistik (C <sub>132</sub> )	Technologie (C <sub>133</sub> )	Service (C <sub>134</sub> )	Kommunikation (C <sub>135</sub> )
Qualität (C <sub>131</sub> )	(1; 1; 1)	(0,83; 1,70; 2,66)	(0,88; 1,91; 2,81)	(1,08; 2,46; 3,74)	(0,72; 1,97; 3,22)
Produktion und Logistik (C <sub>132</sub> )	(0,38; 0,59; 1,21)	(1; 1; 1)	(0,72; 1,10; 1,58)	(0,74; 1,67; 2,47)	(0,55; 1,30; 2,51)
Technologie (C <sub>133</sub> )	(0,36; 0,52; 1,14)	(0,63; 0,91; 1,38)	(1; 1; 1)	(0,74; 1,56; 2,46)	(0,65; 1,41; 2,24)
Service (C <sub>134</sub> )	(0,27; 0,41; 0,92)	(0,40; 0,60; 1,36)	(0,41; 0,64; 1,35)	(1; 1; 1)	(0,68; 0,88; 1,26)
Kommunikation (C <sub>135</sub> )	(0,31; 0,51; 1,40)	(0,40; 0,77; 1,82)	(0,45; 0,71; 1,55)	(0,79; 1,14; 1,48)	(1; 1; 1)

Tabelle A.13: Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Externe Wahrnehmung“

	Öffentliche Berichterstattung (C <sub>141</sub> )	Reputation und Marktstruktur (C <sub>142</sub> )	Zertifikate (C <sub>143</sub> )
Öffentliche Berichterstattung (C <sub>141</sub> )	(1; 1; 1)	(0,27; 0,45; 1,08)	(0,38; 0,54; 1,03)
Reputation und Marktstruktur (C <sub>142</sub> )	(0,93; 2,24; 3,75)	(1; 1; 1)	(0,52; 1,22; 2,13)
Zertifikate (C <sub>143</sub> )	(0,97; 1,87; 2,60)	(0,47; 0,82; 1,91)	(1; 1; 1)

Tabelle A.14: Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Umweltpraktiken“

	Ökologische Selbstverpflichtung (C <sub>211</sub> )	Umweltmanagement (C <sub>212</sub> )	Ökologische Fähigkeiten (C <sub>213</sub> )
Ökologische Selbstverpflichtung (C <sub>211</sub> )	(1; 1; 1)	(0,52; 0,67; 1,07)	(0,52; 0,65; 1,06)
Umweltmanagement (C <sub>212</sub> )	(0,93; 1,50; 1,91)	(1; 1; 1)	(0,59; 0,95; 1,51)
Ökologische Fähigkeiten (C <sub>213</sub> )	(0,94; 1,53; 1,94)	(0,66; 1,05; 1,70)	(1; 1; 1)

Tabelle A.15: Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Umweltleistung“

	Material (C <sub>221</sub> )	Energie (C <sub>222</sub> )	Emissionen (C <sub>223</sub> )	Wasser (C <sub>224</sub> )	Abfall (C <sub>225</sub> )	Umweltauswirkungen des Produkts (C <sub>226</sub> )
C <sub>221</sub>	(1; 1; 1)	(0,76; 1,55; 2,19)	(0,71; 1,61; 2,40)	(1,01; 2,34; 3,57)	(1,13; 2,52; 3,83)	(0,66; 1,36; 2,48)
C <sub>222</sub>	(0,46; 0,65; 1,32)	(1; 1; 1)	(0,91; 1,05; 1,23)	(0,84; 1,73; 2,70)	(0,81; 1,96; 3,02)	(0,66; 1,08; 1,58)
C <sub>223</sub>	(0,42; 0,62; 1,41)	(0,81; 0,95; 1,10)	(1; 1; 1)	(0,80; 1,67; 2,62)	(0,81; 1,79; 2,63)	(0,62; 1,03; 1,51)
C <sub>224</sub>	(0,27; 0,42; 0,96)	(0,37; 0,58; 1,19)	(0,38; 0,60; 1,24)	(1; 1; 1)	(0,59; 1,04; 1,74)	(0,34; 0,55; 1,26)
C <sub>225</sub>	(0,26; 0,40; 0,89)	(0,33; 0,51; 1,23)	(0,38; 0,56; 1,23)	(0,58; 0,96; 1,70)	(1; 1; 1)	(0,38; 0,64; 1,24)
C <sub>226</sub>	(0,40; 0,73; 1,52)	(0,63; 0,92; 1,52)	(0,66; 0,97; 1,62)	(0,79; 1,80; 2,96)	(0,81; 1,57; 2,60)	(1; 1; 1)

Tabelle A.16: Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Interne soziale Praktiken“

	Soziale Selbstverpflichtung (C <sub>311</sub> )	Soziales Management (C <sub>312</sub> )
Soziale Selbstverpflichtung (C <sub>311</sub> )	(1; 1; 1)	(0,50; 0,67; 1,23)
Soziales Management (C <sub>312</sub> )	(0,81; 1,49; 2,00)	(1; 1; 1)

Tabelle A.17: Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Soziale Leistung“

	Kinder- und Zwangsarbeit (C <sub>321</sub> )	Arbeitsschutz, -gesundheit, -sicherheit (C <sub>322</sub> )	Arbeitslohn, -zeit (C <sub>323</sub> )	Bildung der Mitarbeiter (C <sub>324</sub> )	Beschäftigungsverhältnis (C <sub>325</sub> )	Diskriminierung, Diversität (C <sub>326</sub> )	Vereinigungsfreiheit (C <sub>327</sub> )
C <sub>321</sub>	(1; 1; 1)	(0,85; 1,29; 1,71)	(0,88; 1,93; 3,08)	(1,18; 2,68; 4,42)	(1,01; 2,36; 3,92)	(1,04; 2,21; 3,50)	(1,18; 2,46; 3,89)
C <sub>322</sub>	(0,58; 0,77; 1,18)	(1; 1; 1)	(0,91; 1,62; 2,16)	(1,07; 2,67; 4,27)	(1,08; 2,23; 3,23)	(1,08; 2,05; 2,84)	(1,01; 2,37; 3,64)
C <sub>323</sub>	(0,32; 0,52; 1,14)	(0,46; 0,62; 1,10)	(1; 1; 1)	(0,83; 2,05; 3,51)	(0,81; 1,49; 2,00)	(0,72; 1,54; 2,42)	(0,86; 1,90; 3,04)
C <sub>324</sub>	(0,23; 0,37; 0,85)	(0,23; 0,37; 0,94)	(0,29; 0,49; 1,21)	(1; 1; 1)	(0,42; 0,71; 1,42)	(0,49; 0,74; 1,45)	(0,60; 0,92; 1,58)
C <sub>325</sub>	(0,25; 0,42; 0,99)	(0,31; 0,45; 0,92)	(0,50; 0,67; 1,23)	(0,70; 1,42; 2,37)	(1; 1; 1)	(0,55; 1,18; 1,99)	(0,62; 1,32; 2,46)
C <sub>326</sub>	(0,29; 0,45; 0,96)	(0,35; 0,49; 0,92)	(0,41; 0,65; 1,39)	(0,69; 1,36; 2,04)	(0,50; 0,85; 1,82)	(1; 1; 1)	(0,79; 1,04; 1,29)
C <sub>327</sub>	(0,26; 0,41; 0,85)	(0,27; 0,42; 0,99)	(0,33; 0,53; 1,17)	(0,63; 1,08; 1,66)	(0,41; 0,76; 1,62)	(0,78; 0,96; 1,26)	(1; 1; 1)

Tabelle A.18: Aggregierte Fuzzy-Vergleichsmatrix der Kriteriengruppe „Externe soziale Praktiken“

	Involvement Stakeholder (C <sub>331</sub> )	Gesellschaftliche Verantwortung (C <sub>332</sub> )
Involvement Stakeholder (C <sub>331</sub> )	(1; 1; 1)	(0,79; 1,18; 1,86)
Gesellschaftliche Verantwortung (C <sub>332</sub> )	(0,54; 0,84; 1,27)	(1; 1; 1)

A Anhang

Tabelle A.19: Globale Individualgewichtungen der Kriterien auf Ebene 4 in Abhängigkeit vom Experten

Code	Globale Gewichtung [%]									
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
C <sub>111</sub>	2,7	0,9	2,7	2,0	3,8	3,3	3,1	1,8	3,9	2,1
C <sub>112</sub>	4,5	1,3	2,9	1,6	3,8	3,7	3,1	1,8	2,6	2,1
C <sub>113</sub>	4,1	3,5	2,5	1,4	1,9	2,8	3,4	4,0	2,6	3,6
C <sub>114</sub>	1,7	3,5	4,1	2,0	4,6	3,8	2,1	4,0	1,2	2,0
C <sub>121</sub>	13,1	2,9	6,4	4,0	14,4	8,3	6,1	11,4	10,3	8,2
C <sub>122</sub>	13,1	2,9	6,4	3,2	6,2	6,7	4,9	9,1	4,5	1,7
C <sub>131</sub>	8,6	3,8	5,1	2,8	7,8	4,4	3,6	11,1	4,3	4,0
C <sub>132</sub>	10,8	2,1	5,1	2,3	5,3	3,5	3,5	9,1	2,5	2,9
C <sub>133</sub>	10,4	1,9	5,1	2,5	5,3	3,8	3,1	4,3	3,7	2,0
C <sub>134</sub>	6,1	1,7	5,1	1,5	4,1	3,1	2,9	4,0	2,0	2,3
C <sub>135</sub>	6,1	3,4	4,1	1,2	5,9	3,5	2,2	4,3	3,0	1,9
C <sub>141</sub>	2,2	3,1	7,9	1,6	1,7	2,2	1,8	2,8	0,8	2,9
C <sub>142</sub>	5,8	1,4	10,5	2,1	7,6	5,7	5,9	6,1	4,3	3,8
C <sub>143</sub>	4,9	3,1	7,9	2,6	5,0	4,9	4,3	3,5	4,3	2,9
C <sub>211</sub>	0,1	2,6	0,7	3,8	0,9	2,5	4,5	0,3	0,9	2,1
C <sub>212</sub>	0,1	2,6	1,4	6,0	0,9	2,5	7,1	0,4	1,1	6,0
C <sub>213</sub>	0,1	2,6	1,7	4,8	0,9	2,5	5,7	0,8	1,8	2,6
C <sub>221</sub>	0,5	6,2	1,8	1,9	2,0	2,6	2,0	2,0	4,5	3,5
C <sub>222</sub>	0,3	3,8	1,8	2,9	1,6	2,4	1,6	1,6	4,6	2,4
C <sub>223</sub>	0,3	3,8	1,8	3,3	1,6	2,4	1,5	1,6	4,6	2,5
C <sub>224</sub>	0,4	1,8	1,8	1,3	0,6	1,1	1,7	1,4	2,2	2,4
C <sub>225</sub>	0,3	4,5	1,8	1,1	0,9	1,4	1,4	1,0	2,2	2,2
C <sub>226</sub>	0,6	2,4	1,8	4,1	1,3	1,7	1,3	1,6	4,8	3,6
C <sub>311</sub>	0,3	3,2	0,5	3,1	1,1	2,1	1,6	0,9	1,9	2,9
C <sub>312</sub>	0,3	3,2	1,3	7,2	1,1	2,7	3,7	1,1	1,9	3,6
C <sub>321</sub>	0,5	1,8	1,1	3,9	1,4	2,3	2,5	1,5	2,9	3,3
C <sub>322</sub>	0,4	3,4	1,1	3,8	1,3	2,2	2,4	1,4	2,8	3,2
C <sub>323</sub>	0,4	3,4	1,0	3,4	1,2	2,0	2,2	1,3	2,5	2,9
C <sub>324</sub>	0,1	2,9	0,9	3,1	1,1	1,8	1,9	1,1	2,2	2,6
C <sub>325</sub>	0,3	2,7	0,9	3,1	1,1	1,8	1,9	1,1	2,2	2,6
C <sub>326</sub>	0,2	2,9	0,4	1,6	0,5	0,9	1,0	0,6	1,1	1,3
C <sub>327</sub>	0,1	2,9	0,3	1,2	0,4	0,7	0,7	0,4	0,9	1,0
C <sub>331</sub>	0,5	3,4	0,6	6,8	1,3	2,5	4,5	1,1	2,4	3,6
C <sub>332</sub>	0,1	4,2	1,5	2,9	1,3	2,5	0,9	1,4	2,4	3,6

Tabelle A.20: Globale Gewichtungen der Kriterien auf Ebene 4 pro Szenario der Sensitivitätsanalyse der Gewichtungen der neun Bereiche der Kriterien-Hierarchie

Code	Globale Gewichtung [%]									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C <sub>111</sub>	2,8	<b>3,9</b>	2,3	1,9	2,3	2,5	2,5	2,7	2,5	2,6
C <sub>112</sub>	2,8	<b>4,5</b>	2,3	1,9	2,3	2,5	2,4	2,7	2,5	2,6
C <sub>113</sub>	2,9	<b>4,1</b>	2,4	2,0	2,3	2,6	2,5	2,8	2,6	2,7
C <sub>114</sub>	2,8	<b>4,6</b>	2,3	1,9	2,3	2,5	2,5	2,7	2,5	2,6
C <sub>121</sub>	7,7	7,3	<b>14,4</b>	5,2	6,3	7,0	6,8	7,4	7,0	7,2
C <sub>122</sub>	4,8	4,5	<b>13,1</b>	3,3	3,9	4,3	4,2	4,6	4,3	4,5
C <sub>131</sub>	4,8	4,5	4,0	<b>11,1</b>	3,9	4,3	4,2	4,6	4,3	4,5
C <sub>132</sub>	3,7	3,5	3,1	<b>10,8</b>	3,0	3,3	3,2	3,5	3,3	3,5
C <sub>133</sub>	3,6	3,4	3,0	<b>10,4</b>	2,9	3,2	3,1	3,4	3,2	3,3
C <sub>134</sub>	2,6	2,5	2,2	<b>6,1</b>	2,1	2,4	2,3	2,5	2,4	2,5
C <sub>135</sub>	3,1	2,9	2,6	<b>6,1</b>	2,5	2,8	2,7	3,0	2,8	2,9
C <sub>141</sub>	2,1	1,9	1,7	1,4	<b>7,9</b>	1,9	1,8	2,0	1,9	1,9
C <sub>142</sub>	3,7	3,4	3,0	2,5	<b>10,5</b>	3,3	3,2	3,5	3,3	3,4
C <sub>143</sub>	3,3	3,1	2,7	2,2	<b>7,9</b>	3,0	2,9	3,1	3,0	3,1
C <sub>211</sub>	1,9	1,8	1,6	1,3	1,6	<b>4,5</b>	1,7	1,8	1,7	1,8
C <sub>212</sub>	3,0	2,8	2,5	2,0	2,4	<b>7,1</b>	2,6	2,9	2,7	2,8
C <sub>213</sub>	3,1	2,9	2,6	2,1	2,5	<b>5,7</b>	2,7	3,0	2,8	2,9
C <sub>221</sub>	3,6	3,3	2,9	2,4	2,9	3,2	<b>6,2</b>	3,4	3,2	3,3
C <sub>222</sub>	3,0	2,8	2,4	2,0	2,4	2,7	<b>4,6</b>	2,8	2,7	2,8
C <sub>223</sub>	2,8	2,7	2,4	1,9	2,3	2,6	<b>4,6</b>	2,7	2,6	2,7
C <sub>224</sub>	2,1	1,9	1,7	1,4	1,7	1,9	<b>2,4</b>	2,0	1,9	1,9
C <sub>225</sub>	2,0	1,9	1,7	1,4	1,7	1,8	<b>4,5</b>	1,9	1,8	1,9
C <sub>226</sub>	2,9	2,7	2,4	2,0	2,3	2,6	<b>4,8</b>	2,8	2,6	2,7
C <sub>311</sub>	2,3	2,1	1,9	1,5	1,8	2,0	2,0	<b>3,2</b>	2,0	2,1
C <sub>312</sub>	3,6	3,4	3,0	2,5	3,0	3,3	3,2	<b>7,2</b>	3,3	3,4
C <sub>321</sub>	2,8	2,7	2,4	1,9	2,3	2,6	2,5	2,7	<b>3,9</b>	2,7
C <sub>322</sub>	2,7	2,5	2,3	1,8	2,2	2,4	2,4	2,6	<b>3,8</b>	2,5
C <sub>323</sub>	2,3	2,1	1,9	1,5	1,9	2,1	2,0	2,2	<b>3,4</b>	2,1
C <sub>324</sub>	1,5	1,4	1,2	1,0	1,2	1,3	1,3	1,4	<b>3,1</b>	1,4
C <sub>325</sub>	1,9	1,7	1,5	1,3	1,5	1,7	1,6	1,8	<b>3,1</b>	1,7
C <sub>326</sub>	1,7	1,6	1,4	1,1	1,4	1,5	1,5	1,6	<b>2,9</b>	1,6
C <sub>327</sub>	1,5	1,4	1,3	1,0	1,2	1,4	1,3	1,4	<b>2,9</b>	1,4
C <sub>331</sub>	2,5	2,3	2,1	1,7	2,0	2,2	2,2	2,4	2,2	<b>6,8</b>
C <sub>332</sub>	2,0	1,9	1,6	1,3	1,6	1,8	1,7	1,9	1,8	<b>4,2</b>





## B. Literaturverzeichnis

- ACQUAYE, ADOLF, ANDREA GENOVESE, JOHN BARRETT UND S.C. LENNY KOH, 2014. "Benchmarking Carbon Emissions Performance in Supply Chains." *Supply Chain Management: An International Journal* 19 (3): 306-321.
- ACQUAYE, ADOLF A, THOMAS WIEDMANN, KUISHANG FENG, ROBERT H CRAWFORD, JOHN BARRETT, JOHAN KUYLENSTIERNA, AIDAN P DUFFY, SC LENNY KOH UND SIMON MCQUEEN-MASON, 2011. "Identification of 'carbon hot-spots' and quantification of GHG intensities in the biodiesel supply chain using hybrid LCA and structural path analysis." *Environmental Science & Technology* 45 (6): 2471-2478.
- AGARWAL, GOPAL UND LOKESH VIJAYVARGY, 2012. Green Supplier Assessment in Environmentally Responsive Supply Chains through Analytical Network Process. Konferenzbeitrag präsentiert auf der *International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, Hong Kong, 14.-16. März 2012.
- AGARWAL, PRINCE, MANJARI SAHAI, VAIBHAV MISHRA, MONARK BAG UND VRIJENDRA SINGH, 2011. "A Review of Multi-Criteria Decision Making Techniques for Supplier Evaluation and Selection." *International Journal of Industrial Engineering Computations* 2 (4): 801-810.
- AGERON, BLANDINE, ANGAPPA GUNASEKARAN UND ALAIN SPALANZANI, 2012. "Sustainable supply management: An empirical study." *International Journal of Production Economics* 140 (1): 168-182.
- AGUEZZOUL, AICHA, 2014. "Third-party Logistics Selection problem: A literature review on criteria and methods." *Omega* 49: 69-78.
- AHI, PAYMAN UND CORY SEARCY, 2015. "An analysis of metrics used to measure performance in green and sustainable supply chains." *Journal of Cleaner Production* 86: 360-377.

- AKAMP, MARION UND MARTIN MÜLLER, 2013. "Supplier management in developing countries." *Journal of Cleaner Production* 56: 54-62.
- AKMAN, GÜLŞEN UND HAMIT PISKIN, 2013. "Evaluating Green Performance of Suppliers via Analytic Network Process and TOPSIS." *Journal of Industrial Engineering* vol. 2013 (Article ID 915241): 13 pages.
- AKMAN, GÜLŞEN, 2015. "Evaluating suppliers to include green supplier development programs via fuzzy c-means and VIKOR methods." *Computers & Industrial Engineering* 86: 69-82.
- AKZONOBEL, ARKEMA, BASF, BAYER, CLARIANT, DSM, EVONIK INDUSTRIES ET AL., "Together for sustainability." Internetadresse: [http://www.tfs-initiative.com/about\\_us.html](http://www.tfs-initiative.com/about_us.html) [Aufruf: 15.05.2015].
- ALBINO, VITO, CARMEN IZZO UND SILVANA KÜHTZ, 2002. "Input–output models for the analysis of a local/global supply chain." *International Journal of Production Economics* 78 (2): 119-131.
- AMIN, SAMAN HASSANZADEH UND JAFAR RAZMI, 2009. "An integrated fuzzy model for supplier management: A case study of ISP selection and evaluation." *Expert Systems with Applications* 36 (4): 8639-8648.
- AMINDOUST, ATEFEH, SHAMSUDDIN AHMED, ALI SAGHAFINIA UND ARDESHIR BAHREININEJAD, 2012. "Sustainable supplier selection: A ranking model based on fuzzy inference system." *Applied Soft Computing* 12 (6): 1668-1677.
- AMINDOUST, ATEFEH, SHAMSUDDIN AHMED UND ALI SAGHAFINIA, 2013. "Using Data Envelopment Analysis for Green Supplier Selection in Manufacturing under Vague Environment." *Advanced Materials Research* 622-623: 1682-1685.
- ANDERSON, DAN ROBERT, 2005. *Corporate survival: critical importance of sustainability risk management*. New York: iUniverse.
- ANTAI, IMO, 2011. "Supply chain vs supply chain competition: a niche-based approach." *Management Research Review* 34 (10): 1107-1124.

- ANTAI, IMO H UND HANS OLSON, 2013. "Interaction: a new focus for supply chain vs supply chain competition." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 43 (7): 511-528.
- AON, 2007. "Sustainability – Beyond Enterprise Risk Management." Internetadresse:  
[http://www.aon.com/about-aon/intellectual-capital/attachments/risk-services/sustainability\\_beyond\\_enterprise\\_risk\\_management.pdf](http://www.aon.com/about-aon/intellectual-capital/attachments/risk-services/sustainability_beyond_enterprise_risk_management.pdf)  
[Aufruf: 25.05.2015].
- ARAZ, CEYHUN UND IREM OZKARAHAN, 2007. "Supplier evaluation and management system for strategic sourcing based on a new multicriteria sorting procedure." *International Journal of Production Economics* 106 (2): 585-606.
- ARNOLD, BERNHARD, 2004. *Strategische Lieferantenintegration: ein Modell zur Entscheidungsunterstützung für die Automobilindustrie und den Maschinenbau*: Deutscher Universitätsverlag.
- ARNOLD, ULLI, 1997. *Beschaffungsmanagement*. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- ARNOLDS, HANS, FRANZ HEEGE, CARSTEN RÖH UND WERNER TUSSING, 2013. *Materialwirtschaft und Einkauf: Grundlagen - Spezialthemen - Übungen*. 12. Auflage: Springer-Verlag.
- ASH, COLIN G., 2007. *Strategic Planning and Outsourcing*. In: *Handbook of Information Technology in Organizations and Electronic Markets*. Herausgegeben von: Salazar Angel, und Steve Sawyer, S. 245-275. Singapore: World Scientific.
- AWASTHI, ANJALI, SATYAVEER S. CHAUHAN UND SURSEH K. GOYAL, 2010. "A fuzzy multicriteria approach for evaluating environmental performance of suppliers." *International Journal of Production Economics* 126 (2): 370-378.
- AYAĞ, ZEKI, 2005. "A fuzzy AHP-based simulation approach to concept evaluation in a NPD environment." *IIE Transactions* 37 (9): 827-842.

- AZADI, MAJID, MOSTAFA JAFARIAN, REZA FARZIPOOR SAEN UND SEYED MOSTAFA MIRHEDAYATIAN, 2015. "A new fuzzy DEA model for evaluation of efficiency and effectiveness of suppliers in sustainable supply chain management context." *Computers & Operations Research* 54: 274–285.
- AZADNIA, AMIR HOSSEIN, MUHAMAD ZAMERI MAT SAMAN, KUAN YEW WONG, PEZHMAN GHADIMI UND NORHAYATI ZAKUAN, 2012. "Sustainable Supplier Selection based on Self-organizing Map Neural Network and Multi Criteria Decision Making Approaches." *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 65: 879-884.
- AZADNIA, AMIR HOSSEIN, PEZHMAN GHADIMI, MUHAMED ZAMERI MAT SAMAN, KUAN YEW WONG UND CATHAL HEAVEY, 2013. "An Integrated Approach for Sustainable Supplier Selection Using Fuzzy Logic and Fuzzy AHP." *Applied Mechanics and Materials* 315: 206-210.
- AZADNIA, AMIR HOSSEIN, MUHAMAD ZAMERI MAT SAMAN UND KUAN YEW WONG, 2015. "Sustainable supplier selection and order lot-sizing: an integrated multi-objective decision-making process." *International Journal of Production Research* 53 (2): 383-408.
- AZZONE, GIOVANNI UND UMBERTO BERTELE, 1994. "Exploiting green strategies for competitive advantage." *Long Range Planning* 27 (6): 69-81.
- BAI, CHUNGUANG UND JOSEPH SARKIS, 2010a. "Integrating sustainability into supplier selection with grey system and rough set methodologies." *International Journal of Production Economics* 124 (1): 252-264.
- BAI, CHUNGUANG UND JOSEPH SARKIS, 2010b. "Green supplier development: analytical evaluation using rough set theory." *Journal of Cleaner Production* 18 (12): 1200-1210.
- BAI, CHUNGUANG, JOSEPH SARKIS UND XIAOPENG WEI, 2010. "Addressing key sustainable supply chain management issues using rough set methodology." *Management Research Review* 33 (12): 1113-1127.
- BAI, CHUNGUANG UND JOSEPH SARKIS, 2011. "Evaluating supplier development programs with a grey based rough set methodology." *Expert Systems with Applications* 38 (11): 13505-13517.

- BAI, CHUNGUANG UND JOSEPH SARKIS, 2012. *Performance Measurement and Evaluation for Sustainable Supply Chains using Rough Set and Data Envelopment Analysis*. In: *Sustainable Supply Chains*. Herausgegeben von: Tonya Boone, Vaidyanathan Jayaraman, und Ram Ganeshan, S. 223-241. Springer New York.
- BAI, CHUNGUANG, JOSEPH SARKIS, XIAOPENG WEI UND LENNY KOH, 2012. "Evaluating ecological sustainable performance measures for supply chain management." *Supply Chain Management: An International Journal* 17 (1): 78-92.
- BAI, CHUNGUANG UND JOSEPH SARKIS, 2014. "Determining and applying sustainable supplier key performance indicators." *Supply Chain Management: An International Journal* 19 (3): 275-291.
- BAIRD, INGA SKROMME UND HOWARD THOMAS, 1985. "Toward a contingency model of strategic risk taking." *Academy of Management Review* 10 (2): 230-243.
- BAKESHLOU, EHSAN AFSHAR, ALIREZA ARSHADI KHAMSEH, MOHAMMAD ALI GOUDARZIAN ASL, JAVAD SADEGHI UND MOSTAFA ABBASZADEH, 2014. "Evaluating a green supplier selection problem using a hybrid MODM algorithm." *Journal of Intelligent Manufacturing* 2014: 1-15.
- BALI, OZKAN, ERKAN KOSE UND SERKAN GUMUS, 2013. "Green supplier selection based on IFS and GRA." *Grey Systems: Theory and Application* 3 (2): 158-176.
- BANAEIAN, NARGES, IZABELA EWA NIELSEN, HOSSEIN MOBILI UND MAHMOUD OMID, 2014. "Green supplier selection in edible oil production by a hybrid model using Delphi method and Green Data Envelopment Analysis (GDEA)." *Management and Production Engineering Review* 5 (4): 3-8.
- BANSAL, PRATIMA, 2005. "Evolving sustainably: a longitudinal study of corporate sustainable development." *Strategic Management Journal* 26 (3): 197-218.
- BARTOLOMEI DE LA CRUZ, HECTOR, GERALDO VON POTOBOSKY UND LEE SWEPSTON, 1996. *The International Labor Organization: the international standards system and basic human rights*. Boulder, Colorado: Westview Press.

- BASKARAN, VENKATESAN, SUBRAMANIAN NACHIAPPAN UND SHAMS RAHMAN, 2012. "Indian textile suppliers' sustainability evaluation using the grey approach." *International Journal of Production Economics* 135 (2): 647-658.
- BATRAN, ALEXANDER, 2008. *Realooptionen in der Lieferantenentwicklung: Bewertung von Handlungsspielräumen dynamischer Wertschöpfungspartnerschaften*. Dissertation: Universität der Bundeswehr München. Neubiberg: Gabler.
- BAUMANN, HENRIKKE, RICKARD ARVIDSSON, HUI TONG UND YING WANG, 2013. "Does the production of an airbag injure more people than it saves in traffic? Discussing an alternative approach to S-LCA methodology." *Journal of Industrial Ecology* 17 (4): 517-527.
- BEAMON, BENITA M., 1999. "Designing the green supply chain." *Logistics Information Management* 12 (4): 332-342.
- BEBBINGTON, JAN, CARLOS LARRINAGA UND JOSE M. MONEVA, 2008. "Corporate social reporting and reputation risk management." *Accounting, Auditing & Accountability Journal* 21 (3): 337-361.
- BEHZADIAN, MAJID, REZA BARADARAN KAZEMZADEH, AMIR ALBADVI UND MOHAMMAD AGHDASI, 2010. "PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications." *European Journal of Operational Research* 200 (1): 198-215.
- BELTON, VALERIE UND STEPHEN VICKERS, 1990. *Use of a Simple Multi-Attribute Value Function Incorporating Visual Interactive Sensitivity Analysis for Multiple Criteria Decision Making*. In: *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*. Herausgegeben von: Carlos A. Bana e Costa, S. 319-334. Berlin, Heidelberg: Springer.
- BENG, LEE GUANG UND BADRUL OMAR, 2014. "Green Supplier Selection: Analysis of Qualitative Environmental Criteria Using Fuzzy Axiomatic Approach." *Applied Mechanics and Materials* 465-466: 1054-1059.
- BENOÎT, CATHERINE, 2009. *Guidelines for social life cycle assessment of products*. Paris: UNEP/Earthprint.

- BENOÎT, CATHERINE UND BERNARD MAZIJN, 2009. "Guidelines for social life cycle assessment of products." In *UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, Sustainable Product and Consumption Branch*. Paris: United Nations Environment Programme.
- BENOÎT, CATHERINE, GREGORYA NORRIS, SONIA VALDIVIA, ANDREAS CIROTH, ASA MOBERG, ULRIKE BOS, SIDDHARTH PRAKASH, CASSIA UGAYA UND TABEA BECK, 2010. "The guidelines for social life cycle assessment of products: just in time!" *The International Journal of Life Cycle Assessment* 15 (2): 156-163.
- BENOÎT NORRIS, CATHERINE, DEANA AULISIO CAVAN UND GREGORY NORRIS, 2012. "Identifying Social Impacts in Product Supply Chains: Overview and Application of the Social Hotspot Database." *Sustainability* 4 (9): 1946-1965.
- BENOÎT NORRIS, CATHERINE, GREGORY NORRIS UND DEANA AULISIO, 2014. "Efficient Assessment of Social Hotspots in the Supply Chains of 100 Product Categories Using the Social Hotspots Database." *Sustainability* 6 (10): 6973-6984.
- BEVILACQUA, MAURIZIO UND ALBERTO PETRONI, 2002. "From Traditional Purchasing to Supplier Management: A Fuzzy Logic-based Approach to Supplier Selection." *International Journal of Logistics Research and Applications* 5 (3): 235-255.
- BHATTACHARYA, ARIJIT, PRIYABRATA MOHAPATRA, VIKAS KUMAR, PRASANTA KUMAR DEY, MALCOLM BRADY, MANOJ KUMAR TIWARI UND SAI S. NUDURUPATI, 2014. "Green supply chain performance measurement using fuzzy ANP-based balanced scorecard: a collaborative decision-making approach." *Production Planning & Control* 25 (8): 698-714.
- BILSEL, R. UFUK, GÜLÇİN BÜYÜKÖZKAN UND DA RUAN, 2006. "A Fuzzy Preference-Ranking Model for a Quality Evaluation of Hospital Web Sites." *INTERNATIONAL JOURNAL OF INTELLIGENT SYSTEMS* 21: 1181-1197.
- BODE, CHRISTOPH, STEPHAN M WAGNER, KENNETH J PETERSEN UND LISA M ELLRAM, 2011. "Understanding responses to supply chain disruptions: Insights from information processing and resource dependence perspectives." *Academy of management Journal* 54 (4): 833-856.

- BOGGIA, ANTONIO UND CARLA CORTINA, 2010. "Measuring sustainable development using a multi-criteria model: A case study." *Journal of Environmental Management* 91 (11): 2301-2306.
- BOOSOTHONSATIT, KANDA, SAMI KARA UND SUPHUNNIKA IBBOTSON, 2012. A Generic Simulation Model for Green Supplier Selection. Konferenzbeitrag präsentiert auf der *19th CIRP Conference on Life Cycle Engineering - Leveraging Technology for a Sustainable World*, Berkeley, USA, 23.-25. Mai 2012.
- BRANDENBURG, MARCUS, KANNAN GOVINDAN, JOSEPH SARKIS UND STEFAN SEURING, 2014. "Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions." *European Journal of Operational Research* 233 (2): 299-312.
- BRANS, J.P., 1982. L'ingénierie de la décision. Elaboration d'instruments d'aide à la décision. Méthode PROMETHEE. Konferenzbeitrag präsentiert auf der *L'aide à la Décision: Nature, Instruments et Perspectives d'avenir*, Québec, Canada.
- BRENT, ALAN UND CARIN LABUSCHAGNE, 2006. "Social indicators for sustainable project and technology life cycle management in the process industry (13 pp+ 4)." *The International Journal of Life Cycle Assessment* 11 (1): 3-15.
- BRETZKE, WOLF-RÜDIGER, 2012. *Nachhaltige Logistik: Antworten auf eine globale Herausforderung*: Springer-Verlag.
- BREUN, PATRICK, 2015. *Ein Ansatz zur Bewertung klimapolitischer Instrumente am Beispiel der Metallerzeugung und -verarbeitung*. Dissertation: Karlsruher Institut für Technologie. Noch nicht veröffentlicht.
- BRUGGER, FLORIAN, 2010. *Nachhaltigkeit in Der Unternehmenskommunikation: Bedeutung, Charakteristika und Herausforderungen Der Unternehmens Nachhaltigkeitskommunikation*: Springer-Verlag.
- BRUNNER, JOHANNES, 1994. *Interaktive Fuzzy Optimierung - Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems*. Heidelberg: Physica.



- BRUNO, GIUSEPPE, EMILIO ESPOSITO, ANDREA GENOVESE UND RENATO PASSARO, 2012. "AHP-based approaches for supplier evaluation: Problems and perspectives." *Journal of Purchasing and Supply Management* 18 (3): 159-172.
- BÜSCH, MARIO, 2007. *Praxishandbuch Strategischer Einkauf*: Springer.
- BÜYÜKÖZKAN, GÜLÇİN UND GIZEM ÇİFÇİ, 2011. "A novel fuzzy multi-criteria decision framework for sustainable supplier selection with incomplete information." *Computers in Industry* 62 (2): 164-174.
- BÜYÜKÖZKAN, GÜLÇİN, 2012. "An integrated fuzzy multi-criteria group decision-making approach for green supplier evaluation." *International Journal of Production Research* 50 (11): 2892-2909.
- BÜYÜKÖZKAN, GÜLÇİN UND GIZEM ÇİFÇİ, 2012a. "A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers." *Expert Systems with Applications* 39 (3): 3000-3011.
- BÜYÜKÖZKAN, GÜLÇİN UND GIZEM ÇİFÇİ, 2012b. "Evaluation of the green supply chain management practices: a fuzzy ANP approach." *Production Planning & Control* 23 (6): 405-418.
- BÜYÜKÖZKAN, GÜLÇİN UND GIZEM ÇİFÇİ, 2012c. "A combined fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS based strategic analysis of electronic service quality in healthcare industry." *Expert Systems with Applications* 39 (3): 2341-2354.
- CARR, AMELIA S. UND JOHN N. PEARSON, 1999. "Strategically managed buyer-supplier relationships and performance outcomes." *Journal of Operations Management* 17 (5): 497-519.
- CARTER, CRAIG R. UND JOSEPH R. CARTER, 1998. "Interorganizational Determinants of Environmental Purchasing: Initial Evidence from the Consumer Products Industries." *Decision Sciences* 29 (3): 659-684.
- CARTER, CRAIG R., LISA M. ELLRAM UND KATHRYN J. READY, 1998. "Environmental Purchasing: Benchmarking Our German Counterparts." *International Journal of Purchasing and Materials Management* 34 (3): 28-38.

- CARTER, CRAIG R. UND DALE S. ROGERS, 2008. "A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 38 (5): 360-387.
- CHAABANE, AMIN, MARC PAQUET UND AMAR RAMUDHIN, 2009. Designing and evaluating sustainable supply chains: A carbon market oriented approach. Konferenzbeitrag präsentiert auf der *13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing*, Moscow, 3.-5. Juni 2009.
- CHAABANE, AMIN, AMAR RAMUDHIN UND MARC PAQUET, 2012. "Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme." *International Journal of Production Economics* 135 (1): 37-49.
- CHAE, BONGSUG, 2009. "Developing key performance indicators for supply chain: an industry perspective." *Supply Chain Management: An International Journal* 14 (6): 422-428.
- CHAHARSOOGHI, S. KAMAL UND MEHDI ASHRAFI, 2014. "Sustainable Supplier Performance Evaluation and Selection with Neofuzzy TOPSIS Method." *International Scholarly Research Notices* vol. 2014 (Article ID 434168): 10 pages.
- CHAI, JUNYI, JAMES N. K. LIU UND ERIC W. T. NGAI, 2013. "Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature." *Expert Systems with Applications* 40 (10): 3872-3885.
- CHAN, FELIX T. S., N. KUMAR, M. K. TIWARI, H. C. W. LAU UND K. L. CHOY, 2008. "Global supplier selection: a fuzzy-AHP approach." *International Journal of Production Research* 46 (14): 3825-3857.
- CHAN, FELIX TS UND NIRAJ KUMAR, 2007. "Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach." *Omega* 35 (4): 417-431.
- CHANG, DA-YONG, 1996. "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP." *European Journal of Operational Research* 95 (3): 649-655.

- CHE, ZHEN-HUA, TZU-AN CHIANG, CHUANG TU UND CHENG-JUI CHIANG, 2010. "A supplier selection model for product design changes." *International Journal of Electronic Business Management* 8 (1): 20-30.
- CHE, ZHU-HUA, 2010. "Using fuzzy analytic hierarchy process and particle swarm optimisation for balanced and defective supply chain problems considering WEEE/RoHS directives." *International Journal of Production Research* 48 (11): 3355-3381.
- CHEE TAHIR, A. UND R. C. DARTON, 2010. "The Process Analysis Method of selecting indicators to quantify the sustainability performance of a business operation." *Journal of Cleaner Production* 18 (16–17): 1598-1607.
- CHEN, C. C., M. L. TSENG, Y. H. LIN UND Z. S. LIN, 2010. Implementation of green supply chain management in uncertainty. Konferenzbeitrag präsentiert auf der *International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Macao, 7.-10. Dezember 2010.
- CHEN, YUH-JEN, 2011. "Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain." *Information Sciences* 181 (9): 1651-1670.
- CHERAGHI, S. HOSSEIN, MOHAMMAD DADASHZADEH UND MUTHU SUBRAMANIAN, 2004. "Critical success factors for supplier selection: An update." *Journal of Applied Business Research* 20 (2): 91-107.
- CHHIPI-SHRESTHA, GYAN KUMAR, KASUN HEWAGE UND REHAN SADIQ, 2015. "'Socializing' sustainability: a critical review on current development status of social life cycle impact assessment method." *Clean Technologies and Environmental Policy* 17 (3): 579-596.
- CHIOU, C. Y., CHIA-WEI HSU UND W. Y. HWANG, 2008. Comparative investigation on green supplier selection of the American, Japanese and Taiwanese Electronics Industry in China. Konferenzbeitrag präsentiert auf der *International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Singapore, 8.-11. Dezember 2008.

- CHIOU, C. Y., CHIA-WEI HSU UND H. C. CHEN, 2011. Using DEMATEL to explore a casual and effect model of sustainable supplier selection. Konferenzbeitrag präsentiert auf der *International Summer Conference of Asia Pacific Business Innovation and Technology Management*, Dalian, 10.-12. Juli 2011.
- CHIOUY, CHERNG-YING, SHIH-HUNG CHOU UND CHUN-YUAN YEH, 2011. "Using fuzzy AHP in selecting and prioritizing sustainable supplier on CSR for Taiwan's electronics industry." *Journal of Information and Optimization Sciences* 32 (5): 1135-1153.
- CHOU, W. C., W. T. LIN UND C. Y. LIN, 2007. "Application of fuzzy theory and PROMETHEE technique to evaluate suitable ecotechnology method: A case study in Shihmen Reservoir Watershed, Taiwan." *Ecological Engineering* 31 (4): 269-280.
- CHOY, K.L. UND W.B. LEE, 2003. "A generic supplier management tool for outsourcing manufacturing." *Supply Chain Management: An International Journal* 8 (2): 140-154.
- CHRISTOPHER, MARTIN UND DENIS R TOWILL, 2002. "Developing market specific supply chain strategies." *International Journal of Logistics Management* 13 (1): 1-14.
- CHRISTOPHER, MARTIN UND HAU LEE, 2004. "Mitigating supply chain risk through improved confidence." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 34 (5): 388-396.
- CHRISTOPHER, MARTIN, CARLOS MENA, OMER KHAN UND OZNUR YURT, 2011. "Approaches to managing global sourcing risk." *Supply Chain Management: An International Journal* 16 (2): 67-81.
- CIA, "The World Factbook." Internetadresse:  
<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>  
[Aufruf: 04.08.2015].
- ÇİFÇI, GİZEM UND GÜLÇİN BÜYÜKÖZKAN, 2011. "A Fuzzy MCDM Approach to Evaluate Green Suppliers." *International Journal of Computational Intelligence Systems* 4 (5): 894-909.

- COLSMAN, BERNHARD, 2013. *Nachhaltigkeitscontrolling: Strategien, Ziele, Umsetzung*. Bad Homburg: Springer-Verlag.
- COLSMAN, ROBIN, 2003. *Strategisches und taktisches Logistikmonitoring der prozesskettenorientierten Produktion*. Dissertation: Universität Hannover.
- CORSTEN, HANS UND STEFAN ROTH, 2012. *Nachhaltigkeit als integriertes Konzept*. In: *Nachhaltigkeit: Unternehmerisches Handeln in globaler Verantwortung*. Herausgegeben von: Hans Corsten, und Stefan Roth, S. 1-13. Wiesbaden: Springer.
- COUSINS, PAUL D., RICHARD C. LAMMING UND FRANCES BOWEN, 2004. "The role of risk in environment-related supplier initiatives." *International Journal of Operations & Production Management* 24 (6): 554-565.
- CSR EUROPE, BMW GROUP, DAIMLER, FORD, JAGUAR, LAND ROVER, PSA PEUGEOT CITOEN, SCANIA, TOYOTA, VOLKSWAGEN, VOLVO, "Self-Assessment Questionnaire on CSR/Sustainability for Automotive Sector Suppliers." Internetadresse: <http://www.csreurope.org/sites/default/files/CSR%20SAQ%20automotive%20sector.pdf> [Aufruf: 15.05.2015].
- ČUČEK, LIDIJA, JIŘÍ JAROMÍR KLEMEŠ UND ZDRAVKO KRAVANJA, 2012. "A review of footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability." *Journal of Cleaner Production* 34: 9-20.
- CZAJA, LOTHAR, 2009. *Qualitätsfrühwarnsysteme für die Automobilindustrie*. Dissertation: Universität Erlangen-Nürnberg. Wiesbaden: Gabler.
- DAGDEVIREN, M., 2008. "Decision making in equipment selection: An integrated approach with AHP and PROMETHEE." *Journal of Intelligent Manufacturing* 19 (4): 397-406.
- DAI, JING UND JENNIFER BLACKHURST, 2012. "A four-phase AHP-QFD approach for supplier assessment: a sustainability perspective." *International Journal of Production Research* 50 (19): 5474-5490.

- DÄNEMARK, "The industries final consumption of water by industry and final demand." Internetadresse: [www.statistikbanken.dk/statbank5a/](http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/) [Aufruf: 05.08.2015].
- DATTA, SAURAV, CHITRASEN SAMANTRA, SIBA SANKAR MAHAPATRA, SABYASACHI BANERJEE UND ASISH BANDYOPADHYAY, 2012. "Green supplier evaluation and selection using VIKOR method embedded in fuzzy expert system with interval-valued fuzzy numbers." *International Journal of Procurement Management* 5 (5): 647-678.
- DAVIDSON, KATHRYN, 2009. *Monitoring systems for sustainability: what are they measuring?* Dissertation: University of Adelaide, School of Social Sciences.
- DE BOER, LUITZEN, EVA LABRO UND PIERANGELA MORLACCHI, 2001. "A review of methods supporting supplier selection." *European Journal of Purchasing & Supply Management* 7 (2): 75-89.
- DEGRAEVE, ZEGER, EVA LABRO UND FILIP ROODHOOFT, 2000. "An evaluation of vendor selection models from a total cost of ownership perspective." *European Journal of Operational Research* 125 (1): 34-58.
- DEY, PRASANTA KUMAR UND WALID CHEFFI, 2013. "Green supply chain performance measurement using the analytic hierarchy process: a comparative analysis of manufacturing organisations." *Production Planning & Control* 24 (8-9): 702-720.
- DICKSON, G. W., 1966. "An analysis of vendor selection systems and decisions." *Journal of Purchasing* 2 (1): 5-17.
- DITTRICH, MONIKA, "Global Material Flows Database." Internetadresse: <http://www.materialflows.net> [Aufruf: 04.08.2015].
- DOBOS, IMRE UND GYÖNGYI VÖRÖSMARTY, 2014. "Green supplier selection and evaluation using DEA-type composite indicators." *International Journal of Production Economics* 157 (11): 273-278.

- DÖLLE, JOHANNES E, 2013. *Lieferantenmanagement in der Automobilindustrie: Struktur und Entwicklung der Lieferantenbeziehungen von Automobilherstellern*. Dissertation: Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt. Wiesbaden: Springer Gabler.
- DOU, YIJIE UND JOSEPH SARKIS, 2010. "A joint location and outsourcing sustainability analysis for a strategic offshoring decision." *International Journal of Production Research* 48 (2): 567-592.
- DOU, YIJIE, QINGHUA ZHU UND JOSEPH SARKIS, 2014. "Evaluating green supplier development programs with a grey-analytical network process-based methodology." *European Journal of Operational Research* 233 (2): 420-431.
- DUBOIS, D. UND H. PRADE, 1978. "Operations on fuzzy numbers." *International Journal of Systems Science* 9: 613-626.
- DURST, SEBASTIAN M, 2011. *Strategische Lieferantenentwicklung–Rahmenbedingungen, Optionen und Auswirkungen auf Abnehmer und Lieferant*. Dissertation: Otto-Friedrich-Universität Bamberg. Wiesbaden: Gabler.
- DYLLICK, THOMAS UND KAI HOCKERTS, 2002. "Beyond the business case for corporate sustainability." *Business Strategy and the Environment* 11 (2): 130-141.
- DYLLICK, THOMAS, 2003. *Konzeptionelle Grundlagen unternehmerischer Nachhaltigkeit*. In: *Handbuch Nachhaltige Entwicklung*. Herausgegeben von: Linne Gudrun, S. 235-243. Wiesbaden: Springer.
- ECOVADIS, SNCF, NEDERLANDSE SPOORWEGEN NV, DEUTSCHE BAHN, ALSTOM, KNORR-BREMSE, BOMBARDIER, "Railponsible."  
Internetadresse: <http://railponsible.ecovadis.com/about-us/#members>  
[Aufruf: 15.05.2015].
- EIA, "U.S. Energy Information Administration - Independent Statistics and Analysis." Internetadresse: [www.eia.gov](http://www.eia.gov) [Aufruf: 04.08.2015].

- EICKELKAMP, TIMO, 2013. *Input-Output Ansatz zur Berücksichtigung von Anlagegütern in Ökobilanzen - angewendet für einen Offshore-Windpark*. Dissertation: Ruhr-Universität Bochum. Münster: LIT Verlag
- ELKINGTON, JOHN, 1998. *Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business*. Gabriola Island: New Society Publishers.
- ENARSSON, LEIF, 1998. "Evaluation of suppliers: how to consider the environment." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 28 (1): 5-17.
- ENQUETE-KOMMISSION, 1998. "Konzept Nachhaltigkeit: Vom Leitbild zur Umsetzung. Abschlussbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt-Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“." In *„Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages*, edited by Deutscher Bundestag. Bonn
- EORA, "The Eora MRIO Database." Internetadresse: <http://worldmrio.com/> [Aufruf: 04.08.2015].
- EPI, "Environmental Performance Index." Internetadresse: <http://epi.yale.edu> [Aufruf: 04.08.2015].
- EPSTEIN, MARC J. UND MARIE-JOSÉE ROY, 2001. "Sustainability in Action: Identifying and Measuring the Key Performance Drivers." *Long Range Planning* 34 (5): 585-604.
- EROL, ISMAIL, SAFIYE SENCER UND RAMAZAN SARI, 2011. "A new fuzzy multi-criteria framework for measuring sustainability performance of a supply chain." *Ecological Economics* 70 (6): 1088-1100.
- EU, 2000. "Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of life vehicles." Strasbourg: European Union.
- EUROSTAT, Internetadresse: <http://ec.europa.eu/eurostat/de/data/database> [Aufruf: 05.08.2015].



- FALATOONITOOSI, ELHAM, ZULKIFLLE LEMAN UND SHAHRYAR SOROOSHIAN, 2013. "Modeling for Green Supply Chain Evaluation." *Mathematical Problems in Engineering* vol. 2013 (Article ID 201208): 9 pages.
- FALATOONITOOSI, ELHAM, SHAMSUDDIN AHMED UND SHAHRYAR SOROOSHIAN, 2014. "A Multicriteria Framework to Evaluate Supplier's Greenness." *Abstract and Applied Analysis* vol. 2014 (Article ID 396923): 12 pages.
- FALLAHIAN-NAJAFABADI, ALI, SAJAD KAZEMI, IRAJ LATIFI UND NIMA SOLTANMOHAMMAD, 2013. "A green managerial criteria pyramid model and key criteria for green supplier evaluation." *Advances in Environmental Biology* 7 (11): 3505-3516.
- FARHAUER, OLIVER UND ALEXANDRA KRÖLL, 2013. *Input–Output-Analyse*. In: *Standorttheorien*. Herausgegeben von: Oliver Farhauer, und Alexandra Kröll, S. 389-425. Wiesbaden: Springer.
- FARZAD, TAHRIRI, OSMAN M. RASID, ALI AIDY, MOHD YUSUFF ROSNAH UND ESFANDIARY ALIREZA, 2008. "AHP approach for supplier evaluation and selection in a steel manufacturing company." *Journal of Industrial Engineering and Management* 1 (2): 54-76.
- FENG, KUISHUANG, ASHOK CHAPAGAIN, SANGWON SUH, STEPHAN PFISTER UND KLAUS HUBACEK, 2011. "COMPARISON OF BOTTOM-UP AND TOP-DOWN APPROACHES TO CALCULATING THE WATER FOOTPRINTS OF NATIONS." *Economic Systems Research* 23 (4): 371-385.
- FIGUEIRA, JOSÉ, SALVATORE GRECO UND MATTHIAS EHRGOTT, 2005. *ELECTRE Methods*. In: *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Herausgegeben von: José Figueira, Vincent Mousseau, und Bernard Roy, S. 133-153. New York: Springer
- FOERSTL, KAI, CARSTEN REUTER, EVI HARTMANN UND CONSTANTIN BLOME, 2010. "Managing supplier sustainability risks in a dynamically changing environment—Sustainable supplier management in the chemical industry." *Journal of Purchasing and Supply Management* 16 (2): 118-130.

- FREEMAN, R EDWARD, 2010. *Strategic management: A stakeholder approach*: Cambridge University Press.
- FRÖHLING, MAGNUS, 2006. *Zur taktisch-operativen Planung stoffstrombasierter Produktionssysteme*. Dissertation: Technische Universität Karlsruhe. Karlsruhe: Deutscher Universitäts-Verlag.
- GABLER, 2013. *Gabler Wirtschafts Lexikon*: Springer-Verlag.
- GANGULY, KUNAL K. UND KALYAN K. GUIN, 2013. "A fuzzy AHP approach for inbound supply risk assessment." *Benchmarking: An International Journal* 20 (1): 129-146.
- GANI, A NAGOOR UND SN MOHAMED ASSARUDEEN, 2012. "A new operation on triangular fuzzy number for solving fuzzy linear programming problem." *Applied Mathematical Sciences* 6 (11): 525-532.
- GANSE, JOACHIM, FLORIAN WERHAHN UND SIGRID GSCHMACK, 2012. "Nachhaltigkeit im Supply Chain Management." *Zeitschrift für Controlling und Management* (4).
- GAO, MEIMEI UND MENGCHU ZHOU, 2004. Sustainability improvement through supplier selection. Konferenzbeitrag präsentiert auf der *International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, The Hague, 10.-13. Oktober 2004.
- GAULTIER-GAILLARD, SOPHIE, JEAN-PAUL LOUISOT UND JENNY RAYNER, 2009. *Managing reputational risk—from theory to practice*. In: *Reputation Capital*. Herausgegeben von: Klewes J., und Wreschniok R., S. 161-178. Berlin, Heidelberg: Springer.
- GE, YAN, 2009. Research on Green Suppliers' Evaluation Based on AHP & Genetic Algorithm. Konferenzbeitrag präsentiert auf der *International Conference on Signal Processing Systems*, Singapore, 15.-17. Mai 2009.
- GELDERMANN, JUTTA, THOMAS SPENGLER UND OTTO RENTZ, 2000. "Fuzzy outranking for environmental assessment. Case study: Iron and steel making industry." *Fuzzy Set Systems* 115 (1): 45-65.

- GELDERMANN, JUTTA UND NILS LERCHE, o.J. "Leitfaden zur Anwendung von Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung." Internetadresse: <http://www.uni-goettingen.de/de/multimedia--software/171915.html> [Aufruf: 15.08.2015].
- GENOVESE, ANDREA, S. C. LENNY KOH, GIUSEPPE BRUNO UND PAOLO BRUNO, 2010. Green supplier selection: A literature review and a critical perspective. Konferenzbeitrag präsentiert auf der *8th International Conference on Supply Chain Management and Information Systems*, Hong Kong, 6.-9. Oktober 2010.
- GENOVESE, ANDREA, S. C. LENNY KOH, GIUSEPPE BRUNO UND EMILIO ESPOSITO, 2013. "Greener supplier selection: state of the art and some empirical evidence." *International Journal of Production Research* 51 (10): 2868-2886.
- GHADGE, ABHIJEET, SAMIR DANI UND ROY KALAWSKY, 2012. "Supply chain risk management: present and future scope." *The International Journal of Logistics Management* 23 (3): 313-339.
- GHADIMI, PEZHMAN UND CATHAL HEAVEY, 2014. "Sustainable Supplier Selection in Medical Device Industry: Toward Sustainable Manufacturing." *Procedia CIRP* 15: 165-170.
- GHODSYPOUR, S. H. UND C. O'BRIEN, 1998. "A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming." *International Journal of Production Economics* 56-57: 199-212.
- GHODSYPOUR, S. H. UND C. O'BRIEN, 2001. "The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint." *International Journal of Production Economics* 73 (1): 15-27.
- GLANTSCHNIG, ELISABETH, 1994. *Merkmalsgestützte Lieferantenbewertung*. Dissertation: Universität zu Köln. Köln: Fördergesellschaft Produkt-Marketing e.V.
- GODFREY, PAUL, 2007. "The dynamics of social responsibility: Processes, positions, and paths in the oil and gas industry." *Schmalenbach Business Review* 59.

- GOLD, STEFAN, STEFAN SEURING UND PHILIP BESKE, 2010. "The constructs of sustainable supply chain management - A content analysis based on published case studies." *Progress in Industrial Ecology, An International Journal* 7 (2): 114-137.
- GOLDEN, BRUCE L, EDWARD A WASIL UND PATRICK T HARKER, 1989. *The Analytic Hierarchy Process: Applications and Studies*. Berlin. Heidelberg: Springer.
- GOPALAKRISHNAN, KAVITHA, YAHAYA Y. YUSUF, AHMED MUSA, TIJANI ABUBAKAR UND HAFSAT M. AMBURSA, 2012. "Sustainable supply chain management: A case study of British Aerospace (BAe) Systems." *International Journal of Production Economics* 140 (1): 193-203.
- GÖTZE, UWE, 2014. *Investitionsrechnung - Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben*. Berlin Heidelberg: Gabler Verlag.
- GOUMAS, M. UND V. LYGEROU, 2000. "An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects." *European journal of operational research* 123 (3): 606-613.
- GOVINDAN, KANNAN, ROOHOLLAH KHODAVERDI UND AHMAD JAFARIAN, 2013. "A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach." *Journal of Cleaner Production* 47: 345-354.
- GOVINDAN, KANNAN, SIVAKUMAR RAJENDRAN, JOSEPH SARKIS UND P. MURUGESAN, 2015. "Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review." *Journal of Cleaner Production* 98: 66-83.
- GRI, 2013. "G4 Sustainability Reporting Guidelines. Reporting Principles and Standard Disclosures." Global Reporting Initiative. Retrieved from <https://www.globalreporting.org/resourcelibrary/GRIG4-Part1-Reporting-Principles-and-Standard-Disclosures.pdf>.

- GRIMM, JÖRG H., WOLFGANG STÖLZLE UND JOERG S. HOFSTETTER, 2013. *Conceptualizing the Capability of Supplier Sustainability Risk Management*. In: *Kompetenz, Interdisziplinarität und Komplexität in der Betriebswirtschaftslehre*. Herausgegeben von: Wolfgang Kersten, und Jochen Wittmann, S. 39-56. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- GROBER, ULRICH, 2002. "Tiefe Wurzeln: Eine kleine Begriffsgeschichte von 'sustainable development' – Nachhaltigkeit." *Natur und Kultur* 3 (1): 116-128.
- GRUNWALD, ARMIN UND JÜRGEN KOPFMÜLLER, 2012. *Nachhaltigkeit: Eine Einführung*. 2: Campus Verlag.
- GUINEE, JEROEN B, REINOUT HEIJUNGS, GJALT HUPPES, ALESSANDRA ZAMAGNI, PAOLO MASONI, ROBERTO BUONAMICI, TOMAS EKVALL UND TOMAS RYDBERG, 2011. "Life cycle assessment: past, present, and future." *Environmental Science & Technology* 45 (1): 90-96.
- HAHN, CHARLES K., CHARLES A. WATTS UND KEE YOUNG KIM, 1990. "The supplier development program: A conceptual model." *Journal of Purchasing and Materials Management* 26 (2): 2-7.
- HALLIKAS, JUKKA, VELI-MATTI VIROLAINEN UND MARKKU TUOMINEN, 2002. "Risk analysis and assessment in network environments: A dyadic case study." *International Journal of Production Economics* 78 (1): 45-55.
- HANDELSBLATT, "Foxconn - Selbstmord-Serie bei Apple-Partner." Internetadresse: <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/it-medien/foxconn-selbstmord-serie-bei-apple-partner/3444528.html> [Aufruf: 25.05.2015].
- HANDFIELD, ROBERT, STEVEN V. WALTON, ROBERT SROUFE UND STEVEN A. MELNYK, 2002. "Applying environmental criteria to supplier assessment: A study in the application of the Analytical Hierarchy Process." *European Journal of Operational Research* 141 (1): 70-87.
- HANDFIELD, ROBERT B, DANIEL R KRAUSE, THOMAS V SCANNELL UND ROBERT M MONCZKA, 2000. "Avoid the pitfalls in supplier development." *Sloan Management Review* 41: 37-49.

- HANDFIELD, ROBERT B., STEVE V. WALTON, LISA K. SEEGER UND STEVEN A. MELNYK, 1997. "Green' value chain practices in the furniture industry." *Journal of Operations Management* 15 (4): 293-315.
- HANNA, MARK D., W. ROCKY NEWMAN UND PAMELA JOHNSON, 2000. "Linking operational and environmental improvement through employee involvement." *International Journal of Operations & Production Management* 20 (2): 148-165.
- HARPUR, OONAGH MARY, 2002. "Corporate Social Responsibility Monitor." London: Gee Publishing Chapter B.
- HARTING, DETLEF, 1994. *Lieferanten-Wertanalyse: ein Arbeitshandbuch mit Checklisten und Arbeitsblättern für Auswahl Bewertung und Kontrolle von Zulieferern*. 2. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- HARTLEY, JANET L. UND THOMAS Y. CHOI, 1996. "Supplier development: Customers as a catalyst of process change." *Business Horizons* 39 (4): 37-44.
- HARTLEY, JANET L. UND GWEN E. JONES, 1997. "Process Oriented Supplier Development: Building the Capability for Change." *International Journal of Purchasing and Materials Management* 33 (2): 24-29.
- HARTMANN, HORST, HANS-JOACHIM PAHL UND HANS SPOHRER, 1997. *Lieferantenbewertung - aber wie? Lösungsansätze und erprobte Verfahren*: Dt. Betriebswirte-Verlag.
- HARTMANN, HORST, 2010. *Lieferantenmanagement : Gestaltungsfelder, Methoden, Instrumente mit Beispielen aus der Praxis*. 2. erw. Aufl. ed, *Praxisreihe Einkauf, Materialwirtschaft* ; 11. Gernsbach: Deutscher Betriebswirte-Verlag.
- HASHEMI, SEYED H., AMIR KARIMI, NAGHME AGHAKHANI UND PAYAM KALANTAR, 2013. A grey-based carbon management model for green supplier selection. Konferenzbeitrag präsentiert auf der *International Conference on Grey Systems and Intelligent Services* Macao, 15.-17. November 2013.

- HAUBACH, CHRISTIAN, 2013. *Umweltmanagement in globalen Wertschöpfungsketten - Eine Analyse am Beispiel der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung*. Dissertation: Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg. Pforzheim: Springer Gabler.
- HECKMANN, IRIS, TINA COMES UND STEFAN NICKEL, 2015. "A critical review on supply chain risk – Definition, measure and modeling." *Omega* 52: 119-132.
- HENKE, M. , H. HOFMANN, C. BUSSE UND C. BODE, 2013. "Nachhaltigkeitsrisiken – Eine neue Herausforderung für das Einkaufsmanagement." Internetadresse: [http://www.baumev.de/global/download/BAUM\\_eV\\_-\\_Nachhaltigkeitsrisiken\\_im\\_Einkauf.pdf](http://www.baumev.de/global/download/BAUM_eV_-_Nachhaltigkeitsrisiken_im_Einkauf.pdf) [Aufruf: 10.02.2015].
- HENRIQUES, IRENE UND PERRY SADORSKY, 1999. "The relationship between environmental commitment and managerial perceptions of stakeholder importance." *Academy of management Journal* 42 (1): 87-99.
- HERVANI, AREF A., MARILYN MICHELLE HELMS UND JOSEPH SARKIS, 2005. "Performance measurement for green supply chain management." *Benchmarking: An International Journal* 12 (4): 330-353.
- HO, WILLIAM, XIAOWEI XU UND PRASANTA K. DEY, 2010. "Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review." *European Journal of Operational Research* 202 (1): 16-24.
- HOFBAUER, GÜNTER, TAREK MASHHOUR UND MICHAEL FISCHER, 2009. *Lieferantenmanagement: Die wertorientierte Gestaltung der Lieferbeziehung*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.
- HOFFMANN, PETRA, 2013. *Innovative supply risk management*. In: *Supply Management Research: Aktuelle Forschungsergebnisse 2013*. Herausgegeben von: Ronald Bogaschewsky, Michael Eßig, Rainer Lasch, und Wolfgang Stölzle, S. 79-104. Wiesbaden: Springer-Verlag.
- HOFMANN, HANNES, CHRISTIAN BUSSE, CHRISTOPH BODE UND MICHAEL HENKE, 2014. "Sustainability-Related Supply Chain Risks: Conceptualization and Management." *Business Strategy and the Environment* 23 (3): 160-172.

- HOORNWEG, DANIEL UND PERINAZ BHADA-TATA, 2012. "hat a Waste : A Global Review of Solid Waste Management." Internetadresse: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388> [Aufruf: 20.08.2015].
- HOU, FANG MIAO, 2012. "Supplier selection and evaluation in environmental purchase." *Advanced Materials Research* 479-481: 352-356.
- HSU, CHIA-WEI UND ALLEN H. HU, 2007. Application of analytic network process on supplier selection to hazardous substance management in green supply chain management. Konferenzbeitrag präsentiert auf der *International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* Singapore, 2.-4. Dezember 2007.
- HSU, CHIA-WEI UND ALLEN H. HU, 2009. "Applying hazardous substance management to supplier selection using analytic network process." *Journal of Cleaner Production* 17 (2): 255-264.
- HSU, CHIA-WEI, TSAI-CHI KUO, SHENG-HUNG CHEN UND ALLEN H. HU, 2013. "Using DEMATEL to develop a carbon management model of supplier selection in green supply chain management." *Journal of Cleaner Production* 56: 164-172.
- HSU, CHIA-WEI, R. J. KUO UND C. Y. CHIOU, 2014a. "A multi-criteria decision-making approach for evaluating carbon performance of suppliers in the electronics industry." *International Journal of Environmental Science and Technology* 11 (3): 775-784.
- HSU, CHIA-WEI, TSAI-CHI KUO, GUEY-SHIN SHYU UND PI-SHEN CHEN, 2014b. "Low Carbon Supplier Selection in the Hotel Industry." *Sustainability* 6 (5): 2658-2684.
- HUANG, SAMUEL H. UND HARSHAL KESKAR, 2007. "Comprehensive and configurable metrics for supplier selection." *International Journal of Production Economics* 105 (2): 510-523.



- HUMPHREYS, PAUL, RONAN MCLIVOR UND FELIX CHAN, 2003a. "Using case-based reasoning to evaluate supplier environmental management performance." *Expert Systems with Applications* 25 (2): 141-153.
- HUMPHREYS, PAUL, Y. K. WONG UND F. T. S. CHAN, 2003b. "Integrating environmental criteria into the supplier selection process." *Journal of Materials Processing Technology* 138 (1-3): 349-356.
- HUMPHREYS, PAUL, ANTHONY MCCLOSKEY, R MCLIVOR, LIAM MAGUIRE UND CORNELIUS GLACKIN, 2006. "Employing dynamic fuzzy membership functions to assess environmental performance in the supplier selection process." *International Journal of Production Research* 44 (12): 2379-2419.
- HUTCHINS, MARGOT J. UND JOHN W. SUTHERLAND, 2008. "An exploration of measures of social sustainability and their application to supply chain decisions." *Journal of Cleaner Production* 16 (15): 1688-1698.
- IEA, "Energy efficiency indicators." Internetadresse:  
<http://data.worldbank.org/indicator/EG.GDP.PUSE.KO.PP.KD>  
[Aufruf: 04.08.2015].
- IGARASHI, MIEKO, LUITZEN DE BOER UND ANNIK MAGERHOLM FET, 2013. "What is required for greener supplier selection? A literature review and conceptual model development." *Journal of Purchasing and Supply Management* 19 (4): 247-263.
- ILO, "Ratification by Convention." Internetadresse:  
<http://www.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:12001:0::NO::>  
[Aufruf: 04.08.2015].
- ILO, "LABORSTA Labour Statistics Database." Internetadresse:  
<http://laborsta.ilo.org/> [Aufruf: 01.12.2014].
- IMDS, "International Material Data System." Internetadresse:  
<http://www.mdsystem.com> [Aufruf: 08.03.2015].

- ITTNER, CHRISTOPHER D., DAVID F. LARCKER, VENKATESH NAGAR UND MADHAV V. RAJAN, 1999. "Supplier selection, monitoring practices, and firm performance." *Journal of Accounting and Public Policy* 18 (3): 253-281.
- JAKHAR, SURESH KUMAR, 2014. "Designing the Green Supply Chain Performance Optimisation Model." *Global Journal of Flexible Systems Management* 15 (3): 235-259.
- JANKER, CHRISTIAN G., 2008. *Multivariate Lieferantenbewertung : empirisch gestützte Konzeption eines anforderungsgerechten Bewertungssystems*. 2., aktualisierte und erw. Aufl. ed, Gabler Edition Wissenschaft. Wiesbaden: Gabler.
- JAUHAR, SUNIL KUMAR, MILLIE PANT UND AJITH ABRAHAM, 2014. *A Novel Approach for Sustainable Supplier Selection Using Differential Evolution: A Case on Pulp and Paper Industry*. In: *Intelligent Data analysis and its Applications*. Herausgegeben von: Jeng-Shyang Pan, Vaclav Snasel, Emilio S. Corchado, Ajith Abraham, und Shyue-Liang Wang, S. 105-117. Shenzhen, China: Springer.
- Ji, SHOU WEN, QING XIA XIE UND YAN TAO DONG, 2012. "Green Supply Chain Comprehensive Performance Evaluation in Electronics Manufacturers." *Advanced Materials Research* 479-481: 309-313.
- JØRGENSEN, ANDREAS, 2013. "Social LCA—a way ahead?" *The International Journal of Life Cycle Assessment* 18 (2): 296-299.
- JÜTTNER, UTA, HELEN PECK UND MARTIN CHRISTOPHER, 2003. "Supply chain risk management: outlining an agenda for future research." *International Journal of Logistics Research and Applications* 6 (4): 197-210.
- KANNAN, DEVIKA, ROOHOLLAH KHODAVEEDI, LAYA OLFAT, AHMAD JAFARIAN UND ALI DIABAT, 2013. "Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain." *Journal of Cleaner Production* 47: 355-367.

- KANNAN, DEVIKA, ANA BEATRIZ LOPES DE SOUSA JABBOUR UND CHARBEL JOSÉ CHIAPPETTA JABBOUR, 2014. "Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company." *European Journal of Operational Research* 233 (2): 432-447.
- KANNAN, DEVIKA, KANNAN GOVINDAN UND SIVAKUMAR RAJENDRAN, 2015. "Fuzzy Axiomatic Design approach based green supplier selection: a case study from Singapore." *Journal of Cleaner Production* 96: 194–208.
- KANNAN, GOVINDAN, A. NOORUL HAQ, P. SASIKUMAR UND ARUNACHALAM SUBRAMANIAM, 2008. "Analysis and selection of green suppliers using interpretative structural modelling and analytic hierarchy process." *International Journal of Management and Decision Making* 9 (2): 163-182.
- KASTENHOLZ, HANS G, KARL-HEINZ ERDMANN UND MANFRED WOLFF, 1996. *Nachhaltige Entwicklung: Zukunftschancen für Mensch und Umwelt*. Berlin Heidelberg: Springer.
- KERN, DANIEL, ROGER MOSER, EVI HARTMANN UND MARCO MODER, 2012. "Supply risk management: model development and empirical analysis." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 42 (1): 60-82.
- KESKIN, GÜLŞEN AYDIN, SEVINÇ İLHAN UND COŞKUN ÖZKAN, 2010. "The Fuzzy ART algorithm: A categorization method for supplier evaluation and selection." *Expert Systems with Applications* 37 (2): 1235-1240.
- KHAMSEH, ALIREZA ARSHADI UND MAHDI MAHMOODI, 2014. "A New Fuzzy TOPSIS-TODIM Hybrid Method for Green Supplier Selection Using Fuzzy Time Function." *Advances in Fuzzy Systems* vol. 2014 (Article ID 841405): 10 pages.
- KLEIN, NAOMI, 2000. *No Logo: Taking Aim at the Brand Bullies*: Knopf Canada.
- KLEINAU, ANDREAS C, 1995. *Zur Strategie der Lieferantenentwicklung: Konzeption einer neuen Beschaffungsstrategie und deren Beurteilung im Rahmen eines strategischen Beschaffungsmanagement*. Frankfurt am Main: Lang.

- KLEINDORFER, PAUL R, KALYAN SINGHAL UND LUK N WASSENHOVE, 2005. "Sustainable operations management." *Production and Operations Management* 14 (4): 482-492.
- KLEINDORFER, PAUL R. UND GERMAINE H. SAAD, 2005. "Managing Disruption Risks in Supply Chains." *Production and Operations Management* 14 (1): 53-68.
- KLEINE, ALEXANDRO, 2009. *Operationalisierung einer Nachhaltigkeitsstrategie: Ökologie, Ökonomie und Soziales integrieren*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- KLEINSORGE, ILENE K., PHILIP B. SCHARY UND RAY D. TANNER, 1992. "Data Envelopment Analysis for monitoring customer-supplier relationships." *Journal of Accounting and Public Policy* 11 (4): 357-372.
- KOPLIN, JULIA, 2006. *Nachhaltigkeit im Beschaffungsmanagement : Ein Konzept zur Integration von Umwelt- und Sozialstandards*. Dissertation: Universität Oldenburg. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- KOPPELMANN, UDO, 2000. *Beschaffungsmarketing*. 3. Auflage: Springer Berlin.
- KRAUSE, DANIEL R., 1997. "Supplier Development: Current Practices and Outcomes." *International Journal of Purchasing and Materials Management* 33 (1): 12-19.
- KRAUSE, DANIEL R. UND LISA M. ELLRAM, 1997a. "Success factors in supplier development." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 27 (1): 39-52.
- KRAUSE, DANIEL R. UND LISA M. ELLRAM, 1997b. "Critical elements of supplier development The buying-firm perspective." *European Journal of Purchasing & Supply Management* 3 (1): 21-31.
- KRAUSE, DANIEL R., ROBERT B. HANDFIELD UND THOMAS V. SCANNELL, 1998. "An empirical investigation of supplier development: reactive and strategic processes." *Journal of Operations Management* 17 (1): 39-58.

- KRAUSE, DANIEL R., STEPHAN VACHON UND ROBERT D. KLASSEN, 2009. "Special Topic Forum on Sustainable Supply Chain Management: Introduction and Reflections on the role of purchasing management." *Journal of Supply Chain Management* 45 (4): 18-25.
- KUHN, ANDREAS, 2010. "Input-Output-Rechnung im Überblick." Internetadresse: [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Volkswirtschaftlich/eGesamtrechnungen/InputOutputRechnung/InputOutputRechnungUeberblick5815116099004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Volkswirtschaftlich/eGesamtrechnungen/InputOutputRechnung/InputOutputRechnungUeberblick5815116099004.pdf?__blob=publicationFile) [Aufruf: 12.06.2015].
- KUMAR, AMIT UND VIPUL JAIN, 2010. Supplier selection: A green approach with carbon footprint monitoring. Konferenzbeitrag präsentiert auf der *8th International Conference on Supply Chain Management and Information Systems*, Hong Kong, 6.-9. Oktober 2010.
- KUMAR, AMIT, VIPUL JAIN UND SAMEER KUMAR, 2014. "A comprehensive environment friendly approach for supplier selection." *Omega* 42 (1): 109-123.
- KUO, JUN-YUAN , BEN-CHANG SHIA, YUN-CHIN CHEN UND JOU-YING HO, 2011. "Evaluating the green suppliers of the printed circuit board factories on the fuzzy analytic hierarchy process and VIKOR." *American Journal of Applied Sciences* 8 (3): 246-253.
- KUO, RENJIEH. J., YU C. WANG UND FANGCHIH C. TIEN, 2010. "Integration of artificial neural network and MADA methods for green supplier selection." *Journal of Cleaner Production* 18 (12): 1161-1170.
- KUO, RENJIEH. J. UND YU J. LIN, 2012. "Supplier selection using analytic network process and data envelopment analysis." *International Journal of Production Research* 50 (11): 2852-2863.
- KUSI-SARPONG, SIMONOV, CHUNGUANG BAI, JOSEPH SARKIS UND XUPING WANG, 2014. "Green supply chain practices evaluation in the mining industry using a joint rough sets and fuzzy TOPSIS methodology." *Resources Policy* (erscheint).

- KWONG, C. K. UND H. BAI, 2003. "Determining the Importance Weights for the Customer Requirements in QFD Using a Fuzzy AHP with an Extent Analysis Approach." *IIE Transactions* 35 (7): 619-626.
- LABUSCHAGNE, CARIN, ALAN C. BRENT UND RON P. G. VAN ERCK, 2005. "Assessing the sustainability performances of industries." *Journal of Cleaner Production* 13 (4): 373-385.
- LAGE JUNIOR, MURIS UND MOACIR GODINHO FILHO, 2010. "Variations of the kanban system: Literature review and classification." *International Journal of Production Economics* 125 (1): 13-21.
- LAMBERT, DOUGLAS M. UND MARTHA C. COOPER, 2000. "Issues in Supply Chain Management." *Industrial Marketing Management* 29 (1): 65-83.
- LAMMING, RICHARD UND JON HAMPSON, 1996. "The Environment as a Supply Chain Management Issue." *British Journal of Management* 7: 45-62.
- LARGE, RUDOLF, 2009. *Strategisches Beschaffungsmanagement: Eine praxisorientierte Einführung mit Fallstudien*. 4., vollständig überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Gabler.
- LARKIN, JUDY, 2003. *Strategic reputation risk management*. Houndmills, Basingstoke, Hampshire, New York: Palgrave Macmillan.
- LARSON, PAUL D. UND JACK D. KULCHITSKY, 1998. "Single Sourcing and Supplier Certification: Performance and Relationship Implications." *Industrial Marketing Management* 27 (1): 73-81.
- LEE, AMY H. I., HE-YAU KANG, CHANG-FU HSU UND HSIAO-CHU HUNG, 2009. "A green supplier selection model for high-tech industry." *Expert Systems with Applications* 36 (4): 7917-7927.
- LEE, SU-YOL UND ROBERT D KLASSEN, 2008. "Drivers and enablers that foster environmental management capabilities in small-and medium-sized suppliers in supply chains." *Production and Operations Management* 17 (6): 573-586.

- LEE, TZONG RU, THI PHUONG NHA LE, ANDREA GENOVESE UND LENNY S.C. KOH, 2012. "Using FAHP to determine the criteria for partner's selection within a green supply chain." *Journal of Manufacturing Technology Management* 23 (1): 25-55.
- LEENDERS, MICHIEL R, 1989. "Supplier development." *Journal of Purchasing & Materials Management* 25 (1): 47.
- LENZEN, MANFRED, 2007. "Structural path analysis of ecosystem networks." *Ecological Modelling* 200 (3): 334-342.
- LENZEN, MANFRED, DANIEL MORAN, KEIICHIRO KANEMOTO UND ARNE GESCHKE, 2013. "Building Eora: A global multi-region input-output database at high country and sector resolution." *Economic Systems Research* 25 (1): 20-49.
- LI, SUHONG, BHANU RAGU-NATHAN, T. S. RAGU-NATHAN UND S. SUBBA RAO, 2006. "The impact of supply chain management practices on competitive advantage and organizational performance." *Omega* 34 (2): 107-124.
- LI, XIAOPENG UND CHANGXIN ZHAO, 2009. Selection of suppliers of vehicle components based on green supply chain. Konferenzbeitrag präsentiert auf der *16th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2009.*, Beijing, 21.-23. Oktober 2009.
- LIFART, BRUNO, 1997. *Lieferantenmanagement*. In: *Erfolgspotentiale in der Beschaffungslogistik*. Herausgegeben von: Hans Peter Wehrli, S. 177-187. Aarau.
- LIN, CHAI-TSAI, CHIE-BEIN CHEN UND YING-CHAN TING, 2012. "A Green Purchasing Model by Using ANP and LP Methods." *Journal of Testing and Evaluation* 40 (2): 203-210.
- LIN, RU-JEN, RONG-HUEI CHEN UND THI-HANG NGUYEN, 2011. "Green supply chain management performance in automobile manufacturing industry under uncertainty." *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 25: 233-245.

- LOEW, T., 2004. *Bedeutung der internationalen CSR-Diskussion für Nachhaltigkeit und die sich daraus ergebenden Anforderungen an Unternehmen mit Fokus Berichterstattung: Endbericht*: Future e.V.
- LOMBARDI, M., 2010. *Processo della policy e indicatori di monitoraggio*. In: *Costruire e usare indicatori nella ricerca sociale e nella valutazione*. Herausgegeben von: C. Bezzi, L. Cannavò, und M. Palumbo. Milan: Franco Angeli Verlag.
- LU, LOUIS Y. Y., C. H. WU UND TSAI C. KUO, 2007. "Environmental principles applicable to green supplier evaluation by using multi-objective decision analysis." *International Journal of Production Research* 45 (18-19): 4317-4331.
- LUMMUS, RHONDA R. UND ROBERT J. VOKURKA, 1999. "Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines." *Industrial Management & Data Systems* 99 (1): 11-17.
- MA, XIANGGUO UND TONGJUAN LIU, 2011. Supplier selection analysis under the green supply chain. Konferenzbeitrag präsentiert auf der *International Conference on Automation and Logistics*, Chongqing, 15.-16. August 2011.
- MACHARIS, CATHY, JOHAN SPRINGAEL, KLAAS DE BRUCKER UND ALAIN VERBEKE, 2004. "PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis.: Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP." *European journal of Operational Research* 153 (2): 307-317.
- MANUJ, ILA UND JOHN T. MENTZER, 2008. "Global supply chain risk management strategies." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 38 (3): 192-223.
- MAPLECROFT, Internetadresse: [www.maplecroft.com](http://www.maplecroft.com) [Aufruf: 29.11.2013].
- MARON, B. UND J. BRÜCKNER, 1998. "Aktives Lieferantenmanagement." *Qualität und Zuverlässigkeit* 6: 5.



- MAVI, REZA KIANI, SAJAD KAZEMI, ALI FALLAHIAN-NAJAFABADI UND HOSEIN BEMANI MOUSAABADI, 2013. "Identification and assessment of logistical factors to evaluate a green supplier using the fuzzy logic DEMATEL method." *Polish Journal of Environmental Studies* 22 (2): 445-455.
- MEADOWS, DONELLA H., JØRGEN RANDERS UND DENNIS L. MEADOWS, 2009. *Grenzen des Wachstums - das 30-Jahre-Update : Signal zum Kurswechsel*. 3. Auflage. Stuttgart: Hirzel.
- MEIXELL, MARY J. UND VIDYARANYA B. GARGEYA, 2005. "Global supply chain design: A literature review and critique." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 41 (6): 531-550.
- MEYER-ABICH, KLAUS MICHAEL, 2001. "Nachhaltigkeit - ein kulturelles, bisher aber chancenloses Wirtschaftsziel." *Zeitschrift für Wirtschafts-und Unternehmensethik* 2 (2): 291-310.
- MIEMCZYK, JOE, THOMAS E. JOHNSEN UND MONICA MACQUET, 2012. "Sustainable purchasing and supply management: a structured literature review of definitions and measures at the dyad, chain and network levels." *Supply Chain Management: An International Journal* 17 (5): 478-496.
- MILLER, RONALD E UND PETER D BLAIR, 2009. *Input-output analysis: foundations and extensions*: Cambridge University Press.
- MIN, HOKEY UND WILLIAM P GALLE, 1997. "Green purchasing strategies: trends and implications." *International Journal of Purchasing and Materials Management* 33 (2): 10-17.
- MIRHEDAYATIAN, SEYED MOSTAFA, MAJID AZADI UND REZA FARZIPOOR SAEN, 2014. "A novel network data envelopment analysis model for evaluating green supply chain management." *International Journal of Production Economics* 147: 544-554.
- MONCZKA, ROBERT M., ROBERT J. TRENT UND THOMAS J. CALLAHAN, 1993. "Supply Base Strategies to Maximize Supplier Performance." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 23 (4): 42-54.

- MORTENSEN, LARS O UND MAJ BRIT JENSEN, 2012. "Methods in sustainable monitoring: plot sampling versus interviews." *Biodiversity and Conservation* 21 (1): 145-153.
- MÜLLER-CHRIST, GEORG, 2001. *Nachhaltiges Ressourcenmanagement: Eine wirtschaftsökologische Fundierung*. Marburg: Metropolis-Verlag.
- MÜLLER, GÜNTER, 2012. *Intelligente Objekte und Softwaredienste als Beitrag für ein nachhaltigeres Lieferkettenmanagement*. In: *Nachhaltigkeit*. Herausgegeben von: Hans Corsten, und Stefan Roth, S. 153-169. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- MURALIDHARAN, C., N. ANANTHARAMAN UND S. G. DESHMUKH, 2002. "A Multi-Criteria Group Decisionmaking Model for Supplier Rating." *Journal of Supply Chain Management* 38 (3): 22-33.
- MUSCHINSKI, WILLI, 1998. *Lieferantenbewertung*. In: *Das große Handbuch Einkaufs- und Beschaffungsmanagement*. Herausgegeben von: Manfred Strub, S. 77-126. Landsberg/Lech: Verlag Moderne Industrie.
- NARAYANAN, BADRI, ANGEL AGUIAR UND ROBERT MCDUGALL, 2012. "Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 8 Data Base." *Center for Global Trade Analysis, Purdue University*.
- NARAYANAN, G. BADRI UND TERRIE L. WALMSLEY, "Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 7 Data Base, Center for Global Trade Analysis." Internetadresse:  
[http://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v7/v7\\_doco.asp](http://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v7/v7_doco.asp)  
[Aufruf: 04.08.2015]
- NEW, STEVE UND DANA BROWN, 2011. "The Four Challenges of Supply Chain Transparency." *The European Business Review* July-August: 4-6.
- NIE, XUELING, 2013. "Green Suppliers Selecting Based on Analytic Hierarchy Process for Biotechnology Industry." In *International Conference on Information Engineering and Applications*, edited by Zhicai Zhong, 253-260. London: Springer.

- NIELSEN, IZABELA EWA, NARGES BANAEIAN, PAULINA GOLIŃSKA, HOSSEIN MOBLI UND MAHMOUD O MID, 2014. *Green Supplier Selection Criteria: From a Literature Review to a Flexible Framework for Determination of Suitable Criteria*. In: *Logistics Operations, Supply Chain Management and Sustainability*. Herausgegeben von: Paulina Golinska, S. 79-99. Cham: Springer.
- NOCI, GIULIANO, 1997. "Designing 'green' vendor rating systems for the assessment of a supplier's environmental performance." *European Journal of Purchasing & Supply Management* 3 (2): 103-114.
- OECD, "OECD statistics." Internetadresse: <http://stats.oecd.org/> [Aufruf: 01.12.2014].
- OFORI, GEORGE, 2000. "Greening the construction supply chain in Singapore." *European Journal of Purchasing & Supply Management* 6 (3-4): 195-206.
- ORJI, IFEYINWA UND SUN WEI, 2014. "A decision support tool for sustainable supplier selection in manufacturing firms." *Journal of Industrial Engineering and Management* 7 (5): 1293-1315.
- PAECH, NIKO UND REINHARD PFRIEM, 2007. "Wie kommt das Soziale in die Nachhaltigkeit." *Jahrbuch Ökologische Ökonomik* 5: 99-128.
- PAGELL, MARK, ZHAOHUI WU UND MICHAEL E. WASSERMAN, 2010. "Thinking differently about purchasing portfolios: An assessment of sustainable sourcing." *Journal of Supply Chain Management* 46 (1): 57-73.
- PARMIGIANI, ANNE, ROBERT D. KLASSEN UND MICHAEL V. RUSSO, 2011. "Efficiency meets accountability: Performance implications of supply chain configuration, control, and capabilities." *Journal of Operations Management* 29 (3): 212-223.
- PAUL, VIRENDER UND ARVIND JAYANT, 2014. "A green supplier selection model for an agriculture-machinery industry." *International Journal of Applied Engineering Research* 9 (5): 597-605.

- PENG, JIANLIANG, 2012. "Research on the optimization of green suppliers based on AHP and GRA." *International Journal of Information and Computational Science* 9 (1): 173-182.
- PETERS, NILS, 2010. *Inter-organisational Design of Voluntary Sustainability Initiatives: Increasing the Legitimacy of Sustainability Strategies for Supply Chains*. Dissertation: Universität St. Gallen. Wiesbaden: Gabler.
- PFOHL, HANS-CHRISTIAN, KARIN GAREIS UND WOLFGANG STÖLZLE, 1999. "Logistikaudit - Einsatz für die Lieferantenauswahl und-entwicklung." *Logistik Management* 1 (1): 5-18.
- QUICK, REINER UND DIPL.-KFM MARTIN KNOCINSKI, 2006. "Nachhaltigkeitsberichterstattung – Empirische Befunde zur Berichterstattungspraxis von HDAX-Unternehmen." *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* 76 (6): 615-650.
- RAGAZZI, SERENA, ALBERTO CRESCENTINI UND LUCIANA CASTELLI, 2012. "Evaluation and Monitoring of Innovation in school: A Case Study." *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 69: 414-421.
- RAO, SHASHANK UND THOMAS J. GOLDSBY, 2009. "Supply chain risks: a review and typology." *The International Journal of Logistics Management* 20 (1): 97-123.
- RAYNER, JENNY, 2003. *Managing reputational risk: curbing threats, leveraging opportunities*. Chichester: John Wiley & Sons.
- REUTER, CARSTEN, KAI FOERSTL, EVI HARTMANN UND CONSTANTIN BLOME, 2010. "Sustainable global supplier management: the role of dynamic capabilities in achieving competitive advantage." *Journal of Supply Chain Management* 46 (2): 45-63.
- RICARDO ALÁEZ-ALLER, JUAN CARLOS LONGÁS-GARCÍA, 2010. "Dynamic supplier management in the automotive industry." *International Journal of Operations & Production Management* 30 (3): 312-335.

- RITCHIE, BOB UND CLARE BRINDLEY, 2007. "Supply chain risk management and performance." *International Journal of Operations & Production Management* 27 (3): 303-322.
- ROBERTS, SARAH, 2003. "Supply Chain Specific? Understanding the Patchy Success of Ethical Sourcing Initiatives." *Journal of Business Ethics* 44 (2-3): 159-170.
- ROSS, TIMOTHY J, 2009. *Fuzzy logic with engineering applications*: John Wiley & Sons.
- RUHLAND, ALEXANDER, 2004. *Entscheidungsunterstützung zur Auswahl von Verfahren der Trinkwasseraufbereitung an den Beispielen Arsenentfernung und zentrale Enthärtung*. Dissertation: Technische Universität Berlin.
- SAATY, THOMAS L, 1990. "How to make a decision: the analytic hierarchy process." *European Journal of Operational Research* 48 (1): 9-26.
- SAATY, THOMAS L, 2008. "Decision making with the analytic hierarchy process." *International Journal of Services Sciences* 1 (1): 83-98.
- SADIQ, REHAN UND TAHIR HUSAIN, 2005. "A fuzzy-based methodology for an aggregative environmental risk assessment: a case study of drilling waste." *Environmental Modelling & Software* 20 (1): 33-46.
- SAHU, ANOOP KUMAR, SAURAV DATTA UND SIBA SANKAR MAHAPATRA, 2013. "Green supply chain performance benchmarking using integrated IVFN-TOPSIS methodology." *International Journal of Management and Benchmarking* 3 (4): 511-551.
- SAHU, NITIN KUMAR, SAURAV DATTA UND SIBA SANKAR MAHAPATRA, 2014. "Green supplier appraisalment in fuzzy environment." *Benchmarking: An International Journal* 21 (3): 412-429.
- SALTELLI, ANDREA; RATTO, MARCO; ANDRES, TERRY; CAMPOLONGO, FRANCESCA; CARIBONI, JESSICA; GATELLI, DEBORA; SAISANA, MICHAELA; TARANTOLA, STEFANO, 2008. *Global Sensitivity Analysis. The Primer*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.

- SARKIS, JOSEPH, 1998. "Evaluating environmentally conscious business practices." *European Journal of Operational Research* 107 (1): 159-174.
- SARKIS, JOSEPH, 2003. "A strategic decision framework for green supply chain management." *Journal of Cleaner Production* 11 (4): 397-409.
- SARKIS, JOSEPH, MARILYN MICHELLE HELMS UND AREF A. HERVANI, 2010. "Reverse logistics and social sustainability." *Corporate Social Responsibility and Environmental Management* 17 (6): 337-354.
- SARKIS, JOSEPH UND DILEEP G. DHAVALA, 2015. "Supplier selection for sustainable operations: A triple-bottom-line approach using a Bayesian framework." *International Journal of Production Economics* 166: 177-191.
- SCHMIDT, BENEDIKT, 2013. *Soziale Nachhaltigkeit bei der Lieferantenauswahl: Eine conjoint-und kausalanalytische ökonomische Untersuchung*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- SESHADRI, SRIDHAR UND MARTI SUBRAHMANYAM, 2005. "Introduction to the special issue on "risk management in operations"." *Production and Operations Management* 14 (1): 1-4.
- SEURING, STEFAN UND MARTIN MÜLLER, 2008. "From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management." *Journal of Cleaner Production* 16 (15): 1699-1710.
- SEURING, STEFAN UND STEFAN GOLD, 2012. "Conducting content-analysis based literature reviews in supply chain management." *Supply Chain Management: An International Journal* 17 (5): 544-555.
- SEURING, STEFAN, 2013. "A review of modeling approaches for sustainable supply chain management." *Decision Support Systems* 54 (4): 1513-1520.
- SHAIK, MOHAMMED UND WALID ABDUL-KADER, 2011. "Green supplier selection generic framework: a multi-attribute utility theory approach." *International Journal of Sustainable Engineering* 4 (1): 37-56.

- SHAVERDI, MEYSAM, MOHAMMAD RASOUL HESHMATI, EBRAHIM ESKANDARIPOUR UND ALI AKBAR AKBARI TABAR, 2013. "Developing Sustainable SCM Evaluation Model Using Fuzzy AHP in Publishing Industry." *Procedia Computer Science* 17: 340-349.
- SHAW, KRISHNENDU, RAVI SHANKAR, SURENDRA S. YADAV UND LAKSHMAN S. THAKUR, 2012. "Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain." *Expert Systems with Applications* 39 (9): 8182-8192.
- SHAW, KRISHNENDU , RAVI SHANKAR, SURENDRA S. YADAV UND LAKSHMAN S. THAKUR, 2013. "Global supplier selection considering sustainability and carbon footprint issue: AHP multi-objective fuzzy linear programming approach." *International Journal of Operational Research* 17 (2): 215-247.
- SHEN, LIXIN, KAMALAKANTA MUDULI UND AKHILESH BARVE, 2013a. "Developing a sustainable development framework in the context of mining industries: AHP approach." *Resources Policy* (erscheint).
- SHEN, LIXIN, LAYA OLFAT, KANNAN GOVINDAN, ROOHOLLAH KHODAVERDI UND ALI DIABAT, 2013b. "A fuzzy multi criteria approach for evaluating green supplier's performance in green supply chain with linguistic preferences." *Resources, Conservation and Recycling* 74: 170-179.
- SHI, PING, BO YAN, SONG SHI UND CHENXU KE, 2014. "A decision support system to select suppliers for a sustainable supply chain based on a systematic DEA approach." *Information Technology and Management* (erscheint).
- SINGH, SUJIT, EZUTAH UDONCY OLUGU UND ALIREZA FALLAHPUR, 2014. "Fuzzy-based sustainable manufacturing assessment model for SMEs." *Clean Technologies and Environmental Policy* 16 (5): 847-860.
- SINGHAL, PIYUSH, GOPAL AGARWAL UND MURALI LAL MITTAL, 2011. "Supply chain risk management: review, classification and future research directions." *Int. Journal of Business Science and Applied Management* 6 (3): 15-42.

- SIVAKUMAR, RAMAKRISHNAN, DEVIKA KANNAN UND PALZHA MURUGESAN, 2014. "Green vendor evaluation and selection using AHP and Taguchi loss functions in production outsourcing in mining industry." *Resources Policy* (erscheint).
- SLOAN, THOMAS W, 2010. "Measuring the sustainability of global supply chains: Current practices and future directions." *Journal of Global Business Management* 6 (1): 92-107.
- SOWA, ALEKSANDRA, 2011. *Metriken - der Schlüssel zum erfolgreichen Security und Compliance Monitoring*. Wiesbaden: Vieweg + Teuber Verlag.
- STOCKMANN, REINHARD, 2007. *Konkurrierende und komplementäre Ansätze zur Evaluation*. In: *Handbuch zur Evaluation*, Münster: Waxmann. Herausgegeben von: Reinhard Stockmann, S. 71-107. Münster: Waxmann Verlag.
- ŠTREIMIKIENĖ, DALIA, STASYS GIRDZIJAUSKAS UND LIUTAURAS STOŠKUS, 2009. "Sustainability assessment methods and their application to harmonization of policies and sustainability monitoring." *Environmental Research, Engineering and Management* 48 (2): 51-62.
- STURM, ANKE, 2000. *Performance measurement und environmental performance measurement*. Dissertation: Technische Universität Dresden.
- SUBRAMANIAN, NACHIAPPAN UND RAMAKRISHNAN RAMANATHAN, 2012. "A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management." *International Journal of Production Economics* 138 (2): 215-241.
- SUN, MINGBO UND DAN YE, 2009. Integrating environmental performance into the supplier evaluation: A GRA-based method. Konferenzbeitrag präsentiert auf der *16th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Beijing, 21.-23. Oktober 2009.
- SVENSSON, GÖRAN, 2007. "Aspects of sustainable supply chain management (SSCM): conceptual framework and empirical example." *Supply Chain Management: An International Journal* 12 (4): 262-266.



- TAJBAKHSH, ALIREZA UND ELKAFI HASSINI, 2014. "A data envelopment analysis approach to evaluate sustainability in supply chain networks." *Journal of Cleaner Production* 105: 74–85.
- TANG, CHRISTOPHER S., 2006. "Perspectives in supply chain risk management." *International Journal of Production Economics* 103 (2): 451-488.
- TATE, WENDY L., LISA M. ELLRAM UND KEVIN J. DOOLEY, 2012. "Environmental purchasing and supplier management (EPSM): Theory and practice." *Journal of Purchasing and Supply Management* 18 (3): 173-188.
- THEIßEN, SEBASTIAN UND STEFAN SPINLER, 2014. "Strategic analysis of manufacturer-supplier partnerships: An ANP model for collaborative CO2 reduction management." *European Journal of Operational Research* 233 (2): 383-397.
- THIRUCHELVAM, S. UND J. E. TOOKEY, 2011. "Evolving Trends of Supplier Selection Criteria And Methods." *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering* 4: 437-454.
- THOMMEN, JEAN-PAUL, 1996. *Glaubwürdigkeit: die Grundlage unternehmerischen Denkens und Handelns*. Zürich: Versus.
- TIMMER, MARCEL, AA ERUMBAN, R GOUMA, B LOS, U TEMURSHOEV, GJ DE VRIES UND I ARTO, 2012. "The world input-output database (WIOD): contents, sources and methods." Internetadresse: [http://www.wiod.org/publications/source\\_docs/WIOD\\_sources.pdf](http://www.wiod.org/publications/source_docs/WIOD_sources.pdf) [Aufruf: 12.09.2015].
- TOPOROWSKI, WALDEMAR, ZIELKE STEPHAN UND JULIAN KELLNER, 2012. *Lieferantenmanagement*. In: *Handbuch Handel. Strategien – Perspektiven – Internationaler Wettbewerb*. Herausgegeben von: Joachim Zentes, Bernhard Swoboda, Dirk Morschet, und Hanna Schramm-Klein. Wiesbaden: Gabler.
- TRAPP, ANDREW C. UND JOSEPH SARKIS, (erscheint). "Identifying Robust portfolios of suppliers: a sustainability selection and development perspective." *Journal of Cleaner Production* (erscheint).

- TRELEVEN, MARK UND SHARON BERGMAN SCHWEIKHART, 1988. "A risk/benefit analysis of sourcing strategies: Single vs. multiple sourcing." *Journal of Operations Management* 7 (3-4): 93-114.
- TSAI, WEN-HESIEN UND SHIH-JIEH HUNG, 2009. "A fuzzy goal programming approach for green supply chain optimisation under activity-based costing and performance evaluation with a value-chain structure." *International Journal of Production Research* 47 (18): 4991-5017.
- TSENG, MING-LANG, YUAN-HSU LIN UND ANTHONY SF CHIU, 2009. "Fuzzy AHP-based study of cleaner production implementation in Taiwan PWB manufacturer." *Journal of Cleaner Production* 17 (14): 1249-1256.
- TSENG, MING-LANG, 2010. "Using linguistic preferences and grey relational analysis to evaluate the environmental knowledge management capacity." *Expert Systems with Applications* 37 (1): 70-81.
- TSENG, MING-LANG, 2011. "Green supply chain management with linguistic preferences and incomplete information." *Applied Soft Computing* 11 (8): 4894-4903.
- TSENG, MING-LANG, LAWRENCE W. LAN, RAY WANG, ANTHONY CHIU UND HUI-PING CHENG, 2011. "Using hybrid method to evaluate the green performance in uncertainty." *Environmental Monitoring and Assessment* 175 (1-4): 367-385.
- TSENG, MING-LANG UND ANTHONY S.F. CHIU, 2013. "Evaluating firm's green supply chain management in linguistic preferences." *Journal of Cleaner Production* 40: 22-31.
- TSOULFAS, GIANNIS T. UND COSTAS P. PAPPIS, 2008. "A model for supply chains environmental performance analysis and decision making." *Journal of Cleaner Production* 16 (15): 1647-1657.
- TSUI, CHE-WEI UND UE-PYNG WEN, 2012. Developing the Green Supplier Selection Procedure Based on Analytical Hierarchy Process and Outranking Methods. Konferenzbeitrag präsentiert auf der *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Istanbul, 3.-6. Juli 2012.

- TSUI, CHE-WEI, GWO-HSHIUNG TZENG UND UE-PYNG WEN, 2014. "A hybrid MCDM approach for improving the performance of green suppliers in the TFT-LCD industry." *International Journal of Production Research* (erscheint).
- TUKKER, ARNOLD, ARJAN DE KONING, RICHARD WOOD, TROY HAWKINS, STEPHAN LUTTER, JOSE ACOSTA, JOSE M. RUEDA CANTUCHEE ET AL., 2013. " EXIOPOL – Development and illustrative analyses of a detailed global MR EE SUT/IOT." *Economic Systems Research* 25 (1): 50-70.
- TUZKAYA, GÜLFEM, ARZUM OZGEN, DOGAN OZGEN UND Umut R. TUZKAYA, 2009. "Environmental performance evaluation of suppliers: A hybrid fuzzy multi-criteria decision approach." *International Journal of Environmental Science and Technology* 6 (3): 477-490.
- TUZKAYA, GÜLFEM, 2013. "An intuitionistic fuzzy Choquet integral operator based methodology for environmental criteria integrated supplier evaluation process." *International Journal of Environmental Science and Technology* 10 (3): 423-432.
- UMWELTBUNDESAMT, 1998. *Nachhaltiges Deutschland: Wege zu einer dauerhaft umweltgerechten Entwicklung*. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH.
- UN, 2012. "Nachhaltigkeit in der Lieferkette: Ein praktischer Leitfaden zur kontinuierlichen Verbesserung." Internetadresse:  
[http://www.globalcompact.de/sites/default/files/jahr/publikation/nachhaltigkeit\\_in\\_lieferkette\\_120818.pdf](http://www.globalcompact.de/sites/default/files/jahr/publikation/nachhaltigkeit_in_lieferkette_120818.pdf) [Aufruf: 09.05.2015].
- UN, "Social Indicators." Internetadresse:  
<http://unstats.un.org/unsd/demographic/products/socind/>  
[Aufruf: 04.08.2015].
- UN, "Millenium Development Goals Indicators." Internetadresse:  
<http://unstats.un.org/unsd/mdg/Data.aspx> [Aufruf: 04.08.2015].

UNEP, 2010. *Assessing the environmental impacts of consumption and production: priority products and materials. A Report of the Working Group on the Environmental Impacts of Products and Materials to the International Panel for Sustainable Resource Management*. Edited by E. Hertwich, van der Voet, E., Suh, S., Tukker, A., Huijbregts M., Kazmierczyk, P., Lenzen, M., McNeely, J., Moriguchi, Y. Nairobi, Kenya: United Nations Environmental Programme.

UNESCO, Internetadresse: <http://data.uis.unesco.org/> [Aufruf: 03.08.2015].

UNIDO, Internetadresse: <http://www.unido.org> [Aufruf: 01.12.2014].

UYSAL, FAHRIYE, 2012. "An Integrated Model for Sustainable Performance Measurement in Supply Chain." *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 62: 689-694.

VAIDYA, OMKARPRASAD S. UND SUSHIL KUMAR, 2006. "Analytic hierarchy process: An overview of applications." *European Journal of Operational Research* 169 (1): 1-29.

VANANY, IWAN, SUHAIZA ZAILANI UND NYOMAN PUJAWAN, 2009. "Supply chain risk management: literature review and future research." *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management* 2 (1): 16-33.

VERDECHO, MARÍA JOSÉ, JUAN JOSÉ ALFARO-SAZ UND RAÚL RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, 2010. *An Approach to Select Suppliers for Sustainable Collaborative Networks*. In: *Collaborative Networks for a Sustainable World*. Herausgegeben von: Luis M. Camarinha-Matos, Xavier Boucher, und Hamideh Afsarmanesh, S. 304-311. Berlin: Springer.

VERGHESE, KARLI UND HELEN LEWIS, 2007. "Environmental innovation in industrial packaging: a supply chain approach." *International Journal of Production Research* 45 (18-19): 4381-4401.

VINCKE, PH UND JP BRANS, 1985. "A Preference Ranking Organization Method: The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making." *Management Science* 31 (6): 647-656.

- VINODH, S. UND K. JAYAKRISHNA, 2013. "Assessment of product sustainability and the associated risk/benefits for an automotive organisation." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 66 (5-8): 733-740.
- VISWANADHAM, NUKALA UND AYINASH SAMVEDI, 2013. Multi tier supplier selection for a sustainable global supply chain. Konferenzbeitrag präsentiert auf der *International Conference on Automation Science and Engineering*, Madison, 17.-20. August 2013.
- WAGNER, STEPHAN M UND ROMAN BOUTELLIER, 2003. "Lieferantenentwicklung in der Supply Chain–Eine Bestandsaufnahme." *Logistik Management* 5 (4): 50-70.
- WAGNER, STEPHAN M., 2002. *Lieferantenmanagement*. München: Hanser.
- WAGNER, STEPHAN M. UND CHRISTOPH BODE, 2008. "AN EMPIRICAL EXAMINATION OF SUPPLY CHAIN PERFORMANCE ALONG SEVERAL DIMENSIONS OF RISK." *Journal of Business Logistics* 29 (1): 307-325.
- WALKER, HELEN, LUCIO DI SISTO UND DARIAN MCBAIN, 2008. "Drivers and barriers to environmental supply chain management practices: Lessons from the public and private sectors." *Journal of Purchasing and Supply Management* 14 (1): 69-85.
- WANG, FAN, XIAOFAN LAI UND NING SHI, 2011. "A multi-objective optimization for green supply chain network design." *Decision Support Systems* 51 (2): 262-269.
- WANG, XIAOJUN, HING KAI CHAN, RACHEL W. Y. YEE UND IVAN DIAZ-RAINEY, 2012. "A two-stage fuzzy-AHP model for risk assessment of implementing green initiatives in the fashion supply chain." *International Journal of Production Economics* 135 (2): 595-606.
- WANG, XIAOJUN UND HING KAI CHAN, 2013. "A hierarchical fuzzy TOPSIS approach to assess improvement areas when implementing green supply chain initiatives." *International Journal of Production Research* 51 (10): 3117-3130.

- WANNENWETSCH, HELMUT, 2005. *Vernetztes supply chain management*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- WATTS, CHARLES A. UND CHAN K. HAHN, 1993. "Supplier Development Programs: An Empirical Analysis." *International Journal of Purchasing and Materials Management* 29 (1): 10-17.
- WCED, 1987. *Our common future*. Oxford: Oxford University Press.
- WEBER, CHARLES A., JOHN R. CURRENT UND W. C. BENTON, 1991. "Vendor selection criteria and methods." *European Journal of Operational Research* 50 (1): 2-18.
- WEIGAND, CHRISTOPH, 2009. *Statistik mit und ohne Zufall: Eine anwendungsorientierte Einführung*. 2. Auflage. Heidelberg Dordrecht London New York: Springer.
- WELTBANK, "World Bank Open Data." Internetadresse: <http://data.worldbank.org/> [Aufruf: 04.08.2015].
- WEN, LEI, LONGXIU XU UND RUI WANG, 2013. "Sustainable supplier evaluation based on intuitionistic fuzzy sets group decision methods." *Journal of Information & Computational Science* 10 (10): 3209-2330.
- WEN, UE-PYING UND J. M. CHI, 2010. Developing green supplier selection procedure: A DEA approach. Konferenzbeitrag präsentiert auf der *17th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Xiamen, 29.-31. Oktober 2010.
- WIEBE, KIRSTEN S., MARTIN BRUCKNER, STEFAN GILJUM UND CHRISTIAN LUTZ, 2012. "Calculating energy-related CO2 emissions embodied in international trade using a global input-output model." *Economic Systems Research* 24 (2): 113-139.
- WILLIS, T HILLMAN, C RICHARD HUSTON UND FRANK POHLKAMP, 1993. "Evaluation measures of just-in-time supplier performance." *Production and Inventory Management Journal* 34: 1-1.

- WINKER, PETER, 2010. *Empirische Wirtschaftsforschung und Ökonometrie*. Berlin Heidelberg: Springer.
- WISNER, JOEL D, 2011. *Principles of supply chain management: a balanced approach*. Mason: Cengage Learning.
- WITTSTRUCK, DAVID UND FRANK TEUTEBERG, 2011. *Towards a Holistic Approach for Sustainable Partner Selection in the Electrics and Electronics Industry*. In: *Governance and Sustainability in Information Systems. Managing the Transfer and Diffusion of IT*. Herausgegeben von: Markus Nüttgens, Andreas Gadatsch, Karlheinz Kautz, Ingrid Schirmer, und Nadine Blinn, S. 45-69. Hamburg: Springer.
- WITTSTRUCK, DAVID UND FRANK TEUTEBERG, 2012. "Integrating the concept of sustainability into the partner selection process: A fuzzy-AHP-TOPSIS approach." *International Journal of Logistics Systems and Management* 12 (2): 195-226.
- WOOD, RICHARD UND MANFRED LENZEN, 2009. "Structural path decomposition." *Energy Economics* 31 (3): 335-341.
- WOUTERS, MARC, EWOUT VAN JARWAARDE UND BIANCA GROEN, 2007. "Supplier development and cost management in Southeast Asia—Results from a field study." *Journal of Purchasing and Supply Management* 13 (4): 228-244.
- WU, CHONG UND DAVID BARNES, 2011. "A literature review of decision-making models and approaches for partner selection in agile supply chains." *Journal of Purchasing and Supply Management* 17 (4): 256-274.
- WU, CHUNG-MIN, CHING-LIN HSIEH UND KUEI-LUN CHANG, 2013. "A Hybrid Multiple Criteria Decision Making Model for Supplier Selection." *Mathematical Problems in Engineering* vol. 2013 (Article ID 324283): 8 pages.
- WU, TERESA, DAN SHUNK, JENNIFER BLACKHURST UND RAJENDRA APPALLA, 2007. "AIDEA: a methodology for supplier evaluation and selection in a supplier-based manufacturing environment." *International Journal of Manufacturing Technology and Management* 11 (2): 174-192.

- XU, LEI, D. THRESH KUMAR, K. MADAN SHANKAR, DEVIKA KANNAN UND GANG CHEN, 2013. "Analyzing criteria and sub-criteria for the corporate social responsibility-based supplier selection process using AHP." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 68 (1-4): 907-916.
- YAKOVLEVA, NATALIA, JOSEPH SARKIS UND THOMAS SLOAN, 2012. "Sustainable benchmarking of supply chains: the case of the food industry." *International Journal of Production Research* 50 (5): 1297-1317.
- YAZDANI, MORTEZA, 2014. "An integrated MCDM approach to green supplier selection." *International Journal of Industrial Engineering Computations* 5 (3): 443-458.
- YEH, WEI-CHANG UND MEI-CHI CHUANG, 2011. "Using multi-objective genetic algorithm for partner selection in green supply chain problems." *Expert Systems with Applications* 38 (4): 4244-4253.
- ZADEH, LOTFI A, 1965. "Fuzzy sets." *Information and Control* 8 (3): 338-353.
- ZHANG, HONG-CHAO UND JIANZHI LI, 2003. "Using Fuzzy Multi-Agent Decision-Making In Environmentally Conscious Supplier Management." *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 52 (1): 385-388.
- ZHANG, QI, NILAY SHAH, JOHN WASSICK, RICH HELLING UND PETER VAN EBERSCHOT, 2014. "Sustainable supply chain optimisation: An industrial case study." *Computers & Industrial Engineering* 74: 68-83.
- ZHANG, YUE, FEI TAO, YUANJUN LAI, BAOCUN HOU, LIN LV UND LIN ZHANG, 2013. "Green partner selection in virtual enterprise based on Pareto genetic algorithms." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 67 (9-12): 2109-2125.
- ZHANG, ZHIGUANG, 2012. "An approach to dynamic multi-attribute decision making for choosing green supplier." *Journal of Convergence Information Technology* 7 (21): 261-269.



- ZHAO, HUIRU UND SEN GUO, 2014. "Selecting Green Supplier of Thermal Power Equipment by Using a Hybrid MCDM Method for Sustainability." *Sustainability* 6 (1): 217-235.
- ZHE, SUN, T. N. WONG UND L. H. LEE, 2013. Using data envelopment analysis for supplier evaluation with environmental considerations. Konferenzbeitrag präsentiert auf der *International Systems Conference*, Orlando, 15.-18. April 2015.
- ZHU, KE-JUN, YU JING UND DA-YONG CHANG, 1999. "A discussion on Extent Analysis Method and applications of fuzzy AHP." *European Journal of Operational Research* 116 (2): 450-456.
- ZHU, QINGHUA, YIJIE DOU UND JOSEPH SARKIS, 2010. "A portfolio-based analysis for green supplier management using the analytical network process." *Supply Chain Management* 15 (4): 306-319.
- ZIMMER, KONRAD, MAGNUS FRÖHLING UND FRANK SCHULTMANN, 2015. "Sustainable Supplier Management – A Review of Models Supporting Sustainable Supplier Selection, Monitoring and Development." *International Journal of Production Research* 54 (5): 1412-1442.
- ZIMMER, KONRAD, MAGNUS FRÖHLING UND FRANK SCHULTMANN, 2016. "Assessing social risks of global supply chains" (Unter Begutachtung).
- ZIMMERMANN, HANS-JÜRGEN UND LOTHAR GUTSCHE, 1991. *Multi-Criteria Analyse - Einführung in die Theorie der Entscheidungen bei Mehrfachzielsetzungen, Multi-Criteria Analyse*. Berlin Heidelberg: Springer
- ZIMMERMANN, HANS-JÜRGEN, 1996. *Fuzzy set theory—and its applications*. Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers.
- ZSIDISIN, GEORGE A., LISA M. ELLRAM, JOSEPH R. CARTER UND JOSEPH L. CAVINATO, 2004. "An analysis of supply risk assessment techniques." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 34 (5): 397-413.



## PRODUKTION UND ENERGIE

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)



Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion  
Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung

---

ISSN 2194-2404

---

Die Bände sind unter [www.ksp.kit.edu](http://www.ksp.kit.edu) als PDF frei verfügbar  
oder als Druckausgabe zu bestellen.

- Band 1**    **National Integrated Assessment Modelling zur Bewertung  
umweltpolitischer Instrumente.**  
Entwicklung des otello-Modellsystems und dessen Anwendung  
auf die Bundesrepublik Deutschland. 2012  
ISBN 978-3-86644-853-7
- Band 2**    **Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz und  
Reduzierung der Treibhausgasemissionen in der Eisen-,  
Stahl- und Zinkindustrie (ERESTRE).** 2013  
ISBN 978-3-86644-857-5
- Band 3**    **Frederik Trippe**  
**Techno-ökonomische Bewertung alternativer Verfahrens-  
konfigurationen zur Herstellung von Biomass-to-Liquid (BtL)  
Kraftstoffen und Chemikalien.** 2013  
ISBN 978-3-7315-0031-5
- Band 4**    **Dogan Keles**  
**Uncertainties in energy markets and their  
consideration in energy storage evaluation.** 2013  
ISBN 978-3-7315-0046-9
- Band 5**    **Heidi Ursula Heinrichs**  
**Analyse der langfristigen Auswirkungen von  
Elektromobilität auf das deutsche Energiesystem  
im europäischen Energieverbund.** 2013  
ISBN 978-3-7315-0131-2



- Band 6** Julian Stengel  
**Akteursbasierte Simulation der energetischen  
Modernisierung des Wohngebäudebestands  
in Deutschland.** 2014  
ISBN 978-3-7315-0236-4
- Band 7** Sonja Babrowski  
**Bedarf und Verteilung elektrischer Tagesspeicher im  
zukünftigen deutschen Energiesystem.** 2015  
ISBN 978-3-7315-0306-4
- Band 8** Marius Wunder  
**Integration neuer Technologien der  
Bitumenkalthandhabung in die Versorgungskette.** 2015  
ISBN 978-3-7315-0319-4
- Band 9** Felix Teufel  
**Speicherbedarf und dessen Auswirkungen auf  
die Energiewirtschaft bei Umsetzung der politischen  
Ziele zur Energiewende.** 2015  
ISBN 978-3-7315-0341-5
- Band 10** D. Keles, L. Renz, A. Bublitz, F. Zimmermann, M. Genoese,  
W. Fichtner, H. Höfling, F. Sensfuß, J. Winkler  
**Zukunftsfähige Designoptionen für den deutschen  
Strommarkt: Ein Vergleich des Energy-only-Marktes  
mit Kapazitätsmärkten.** 2016  
ISBN 978-3-7315-0453-5
- Band 11** Patrick Breun  
**Ein Ansatz zur Bewertung klimapolitischer Instrumente  
am Beispiel der Metallerzeugung und -verarbeitung.** 2016  
ISBN 978-3-7315-0494-8



- Band 12** P. Ringle, H. Schermeyer, M. Ruppert, M. Hayn,  
V. Bertsch, D. Keles, W. Fichtner  
**Decentralized Energy Systems,  
Market Integration, Optimization.** 2016  
ISBN 978-3-7315-0505-1
- Band 13** Marian Hayn  
**Modellgestützte Analyse neuer Stromtarife für  
Haushalte unter Berücksichtigung bedarfsorientierter  
Versorgungssicherheitsniveaus.** 2016  
ISBN 978-3-7315-0499-3
- Band 14** Frank Schätter  
**Decision support system for a reactive management  
of disaster-caused supply chain disturbances.** 2016  
ISBN 978-3-7315-0530-3
- Band 15** Robert Kunze  
**Techno-ökonomische Planung energetischer  
Wohngebäudemodernisierungen: Ein gemischt-  
ganzzahliges lineares Optimierungsmodell auf  
Basis einer vollständigen Finanzplanung.** 2016  
ISBN 978-3-7315-0531-0
- Band 16** A. Kühlen, J. Stengel, R. Volk, F. Schultmann,  
M. Reinhardt, H. Schlick, S. Haghsheno, A. Mettke,  
S. Asmus, S. Schmidt, J. Harzheim  
**ISA: Immissionsschutz beim Abbruch - Minimierung  
von Umweltbelastungen (Lärm, Staub, Erschütterungen)  
beim Abbruch von Hoch-/Tiefbauten und Schaffung  
hochwertiger Recyclingmöglichkeiten für Materialien  
aus Gebäudeabbruch.** 2017  
ISBN 978-3-7315-0534-1



**Band 17** Konrad Zimmer  
Entscheidungsunterstützung zur Auswahl und Steuerung  
von Lieferanten und Lieferketten unter Berücksichtigung  
von Nachhaltigkeitsaspekten. 2016  
ISBN 978-3-7315-0537-2





Im Lieferantenmanagement gewinnen soziale und ökologische Aspekte entlang der Lieferkette zunehmend an Bedeutung. Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Systems zur Entscheidungsunterstützung der Auswahl und Steuerung von Lieferanten und Lieferketten unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten. Dazu wird ein zweistufiger Ansatz entwickelt, der aus einem Risiko- und einem Leistungsmodell besteht. Dieser ermöglicht sowohl eine Verbesserung der Transparenz entlang der Lieferkette als auch eine effiziente Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung von Lieferanten. Das Risikomodell liefert länder- und industriespezifische soziale und ökologische Risikoabschätzungen von Lieferanten der gesamten Lieferkette und dient außerdem der Generierung eines risikospezifischen Fragebogens. Das Leistungsmodell unterstützt den Entscheider in der Bewertung der Antworten dieses Fragebogens. Anhand einer Fallstudie der Automobilindustrie wird gezeigt, dass das Risiko- und Leistungsmodell zur Verbesserung der ökologischen und sozialen Kenntnisse und somit zur verbesserten Entscheidungsfindung im Lieferantenmanagement beiträgt.

