

Eine entscheidungstheoretische Erweiterung der Data Envelopment Analysis für die Angebotswertung bei öffentlichen Bauaufträgen

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur

der

Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften

der

Ruhr-Universität Bochum

vorgelegt von

Stefan Niewerth, M.Sc.

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Markus Thewes, Ruhr-Universität Bochum
Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb
Prof. Dr.-Ing. Peter Vogt, Hochschule Ruhr West, Mülheim an der Ruhr
Lehrgebiet Baukalkulation und Bauverfahrenstechnik
Prof. Dr.-Ing. Alexander Malkwitz, Universität Duisburg-Essen
Institut für Baubetrieb und Baumanagement

Tag der Einreichung: 09.01.2019

Tag der mündlichen Prüfung: 29.05.2019

Vorwort

Die vorliegende Dissertation ist während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Hochschule Ruhr West (HRW) in Mülheim an der Ruhr entstanden. Es handelt sich um eine kooperative Arbeit, die ich in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb (TLB) der Ruhr-Universität Bochum angefertigt habe.

Ein herzlicher Dank gilt meinem Erstgutachter Herrn Prof. Dr.-Ing. Markus Thewes als TLB-Lehrstuhlinhaber. Durch die regelmäßigen Diskussionen zu methodischen Fragestellungen im Kontext mit baurechtlichen Rahmenbedingungen konnte ein wissenschaftlich fundiertes Wertungsmodell entwickelt werden.

Für seine Unterstützung während der Anfertigung der Dissertation und den entstandenen Publikationen möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Vogt ganz herzlich danken. Für die vielen wertvollen Diskussionen zu bauvergaberechtlichen Themen möchte ich mich gleichermaßen bedanken wie für die Durchsicht dieser Arbeit und für die Erstellung des Gutachtens.

Auch Herrn Prof. Dr.-Ing. Alexander Malkwitz sei für die Erstellung des Gutachtens und die Mitwirkung in der Promotionskommission herzlich gedankt.

Meinen Kolleginnen und Kollegen am Institut Bauingenieurwesen der HRW danke ich für die ausgezeichnete Zusammenarbeit in den vergangenen fünf Jahren. Aus dem kollegialen Austausch, der sowohl innerhalb wie auch außerhalb der Hochschule stattgefunden hat, konnte ich immer wieder neue Motivation für die Umsetzung dieser Arbeit gewinnen. Gleichermäßen bedanke ich mich bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern am TLB-Lehrstuhl für die fachlichen Diskussionen und darüber hinaus für die Einladungen zu den nicht-fachlichen Veranstaltungen des Lehrstuhls. Ich wünsche euch allen das nötige Durchhaltevermögen für das Gelingen eurer Forschungsvorhaben.

Der größte Dank gebührt meiner Frau Melissa. Ich danke dir für die Bereitschaft, mich während der vergangenen fünf Jahre zu unterstützen, auch wenn viele Wochenenden ins Land gezogen sind, an denen freizeitleiche Aktivitäten zu kurz gekommen sind. Dein Rückhalt hat maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Abschließend möchte ich meinen Eltern, Hedwig und Thomas Niewerth, dafür danken, dass sie mir meine wissenschaftliche Ausbildung durch das Studium ermöglicht haben. Ich danke euch und auch meinem Bruder Christian für das jederzeit spürbare Interesse an meiner Forschungsarbeit.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------------|
| Vorwort | I |
| Inhaltsverzeichnis | II |
| Abbildungsverzeichnis | VII |
| Tabellenverzeichnis | X |
| Abkürzungsverzeichnis | XII |
| Kurzfassung | XIV |
| Abstract | XV |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Problemstellung und Motivation..... | 1 |
| 1.2 Zielsetzung und wissenschaftliches Vorgehen | 3 |
| 1.3 Thematische Abgrenzung und Gliederung der Arbeit | 4 |
| 2 Strategische Ziele bei öffentlichen Bauaufträgen | 7 |
| 2.1 Definition und Abgrenzung zu operativen Zielen | 7 |
| 2.2 Der Status quo von strategischen Zielen in der Vergabe | 8 |
| 2.3 Abgrenzung der Begriffe Beschaffung und Vergabe..... | 10 |
| 2.4 Akteure und Handlungsebenen | 11 |
| 2.5 Ableitung des Handlungsbedarfs..... | 13 |
| 3 Auftragsvergabe zugunsten des wirtschaftlichsten Angebots | 14 |
| 3.1 Rechtsgrundlage für die Vergabe öffentlicher Bauaufträge..... | 14 |
| 3.1.1 EU-Schwellenwert und Kaskadenprinzip | 14 |
| 3.1.2 Rechtsvorschriften für Vergaben oberhalb des EU-Schwellenwerts | 16 |
| 3.2 Vorbereitung der Vergabe | 17 |
| 3.2.1 Arten der Vergabe | 17 |
| 3.2.2 Leistungsbeschreibung | 18 |
| 3.2.3 Eignungskriterien | 20 |
| 3.2.4 Zuschlagskriterien | 22 |
| 3.2.5 Gewichtung von Zuschlagskriterien..... | 25 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.2.6 | Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen | 26 |
| 3.2.7 | Zulässigkeit von Nebenangeboten | 27 |
| 3.3 | Definition wirtschaftlichstes Angebot | 28 |
| 3.4 | Angebotsprüfung | 29 |
| 3.5 | Ableitung von Konsequenzen für die wirtschaftliche Auftragsvergabe | 31 |
| 4 | Effizienz als Wertungskennzahl für Angebote | 34 |
| 4.1 | Einführung in die Entscheidungstheorie | 34 |
| 4.2 | Entscheidungstheoretische Basis für die Angebotswertung..... | 36 |
| 4.3 | Vektorielle Entscheidungen | 38 |
| 4.3.1 | Vektorielles Entscheidungsmodell und Pareto-Koopmans Effizienz | 38 |
| 4.3.2 | Anwendungsbeispiel für eine vektorielle Entscheidung | 39 |
| 4.4 | Von der Pareto-Koopmans-Effizienz zur technischen Effizienz | 41 |
| 4.4.1 | Aktivitätenmenge und Produktionsfunktion..... | 42 |
| 4.4.2 | Zuschlagskriterien im Kontext von Aktivitätsanalysen..... | 44 |
| 4.5 | Verfahren zur Berechnung technischer Effizienz | 46 |
| 4.5.1 | Übersicht der Verfahren | 46 |
| 4.5.2 | Verfahren mit Durchschnittsfunktion..... | 47 |
| 4.5.3 | Verfahren der parametrischen Effizienzanalyse | 48 |
| 4.5.4 | Verfahren der nicht-parametrischen Effizienzanalyse..... | 50 |
| 4.6 | Eignung der Effizienz als Wertungskennzahl und Verfahrensauswahl..... | 51 |
| 5 | Nicht-parametrische Effizienzanalyse | 53 |
| 5.1 | Einführung in die nicht-parametrische Effizienzanalyse..... | 53 |
| 5.1.1 | Ergebnis der Literaturrecherche | 53 |
| 5.1.2 | Mathematische Notation..... | 54 |
| 5.1.3 | Elemente der nicht-parametrischen Effizienzanalyse | 56 |
| 5.2 | Effizienzintervalle | 56 |
| 5.3 | Struktureigenschaften von Technologiemengen..... | 57 |
| 5.3.1 | Empirische Vollständigkeit..... | 58 |
| 5.3.2 | Konvexität | 58 |
| 5.3.3 | Skalenerträge..... | 59 |
| 5.3.4 | Verschwendbarkeit..... | 62 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.4 | Distanzfunktionen..... | 63 |
| 5.4.1 | Einleitung | 63 |
| 5.4.2 | Orientierte Distanzfunktionen | 65 |
| 5.4.3 | Unorientierte Distanzfunktionen | 67 |
| 5.4.4 | Vollständig generalisierte Distanzfunktion | 69 |
| 5.5 | Effizienzanalyse mit der Data Envelopment Analysis | 71 |
| 5.5.1 | Quotientenprogramm und Lagrange-Dualität | 71 |
| 5.5.2 | Berechnung technischer Effizienz mit der Multiplier-Form | 74 |
| 5.5.3 | Berechnung technischer Effizienz mit der Envelopment-Form..... | 79 |
| 5.6 | Eignung der DEA für die Angebotswertung | 82 |
| 5.6.1 | DEA als Methodik zur Wertung wirtschaftlicher Angebote | 82 |
| 5.6.2 | DEA als Instrument zur Förderung strategischer Ziele | 84 |
| 6 | Entscheidungstheoretische Restriktion zur Rangfolgenbildung..... | 87 |
| 6.1 | Konzept der Gewinnfunktion | 87 |
| 6.2 | Allokative Effizienz in der DEA | 89 |
| 6.3 | Gewichtung der Zuschlagskriterien als Wertinformationen | 92 |
| 6.4 | Analytischer Hierarchieprozess zur Ermittlung der Gewichtung..... | 92 |
| 6.5 | Eignung der Gewichtung als Wertinformation..... | 97 |
| 7 | Entwicklung eines Modells für die Angebotswertung | 99 |
| 7.1 | Vorgehen bei der Modellentwicklung..... | 99 |
| 7.2 | Implementierung der Gewichtung in die DEA..... | 100 |
| 7.2.1 | Entwicklung eines Umrechnungskonzeptes | 100 |
| 7.2.2 | Mathematische Formulierung des Umrechnungskonzeptes | 102 |
| 7.3 | Zusammenführung technischer und allokativer Effizienz | 104 |
| 7.3.1 | Struktureigenschaften für das Angebotswertungsmodell..... | 104 |
| 7.3.2 | Distanzfunktion für das Angebotswertungsmodell | 108 |
| 7.3.3 | Nerlove'sche Effizienz als Wertungskennzahl für Angebote | 111 |
| 7.3.4 | DEA-Modell für das Angebotswertungsmodell..... | 113 |
| 7.4 | Verbesserungspotenzial unterlegener Bieter..... | 115 |
| 7.4.1 | Projektionen einer DMU_0 | 115 |
| 7.4.2 | Projektionen bei der Existenz begrenzter Zuschlagskriterien..... | 118 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 7.4.3 | Berechnung des Verbesserungspotenzials | 122 |
| 7.5 | Zusammenfassung der Angebotswertung mit dem entwickelten Modell | 123 |
| 7.6 | Modell als Microsoft Excel® Anwendung | 126 |
| 7.6.1 | Zuschlagskriterien, Gewichtung und Mengeneingabe | 126 |
| 7.6.2 | Berechnungsalgorithmus..... | 129 |
| 7.6.3 | Ergebnisauswertung..... | 130 |
| 7.7 | Überprüfung des Modells | 132 |
| 7.7.1 | Verifizierung | 132 |
| 7.7.2 | Randwertbetrachtung | 134 |
| 7.8 | Fazit zum Angebotswertungsmodell..... | 135 |
| 8 | Anwendungsbeispiel für die Angebotswertung einer Erneuerungsmaßnahme ... | 138 |
| 8.1 | Zuschlagskriterien | 138 |
| 8.1.1 | Benennung der Kriterien und ihrer Maßeinheiten | 138 |
| 8.1.2 | Gewichtung | 139 |
| 8.2 | Übersicht der eingereichten Angebote..... | 141 |
| 8.3 | Umrechnung der relativen Wertinformationen | 143 |
| 8.4 | Berechnung der Effizienzwerte und Ableitung der Rangfolge | 145 |
| 8.5 | Berechnung des Verbesserungspotenzials der unterlegenen Bieter..... | 149 |
| 8.5.1 | Projektionen mit radialen Effizienzwerten | 149 |
| 8.5.2 | Korrektur der Projektionen für begrenzte Zuschlagskriterien | 151 |
| 8.6 | Ergebnisstabilität..... | 154 |
| 8.7 | Fazit aus der Beispielrechnung | 155 |
| 9 | Vergabedokumente und Empfehlungen zum Wertungsmodell..... | 158 |
| 9.1 | Modelltheoretische Empfehlungen für die Festlegung der Zuschlagskriterien..... | 158 |
| 9.1.1 | Anzahl der Zuschlagskriterien | 158 |
| 9.1.2 | Skalenniveau der Zuschlagskriterien..... | 159 |
| 9.1.3 | Wertung von mehreren monetären Zuschlagskriterien | 160 |
| 9.2 | Synopse zum Formblatt 227 im VHB Bund | 162 |
| 9.3 | Textbausteine für Vergabedokumente..... | 165 |
| 9.4 | Maßnahmen zur Realisierung des Verbesserungspotenzials | 170 |
| 9.4.1 | Ableitung von Handlungsoptionen unterlegener Bieter | 171 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 9.4.2 | Ableitung von Handlungsoptionen des öffentlichen Auftraggebers | 172 |
| 10 | Zusammenfassung und Ausblick | 174 |
| 10.1 | Zusammenfassung..... | 174 |
| 10.2 | Ausblick..... | 176 |
| | Verzeichnis der Gesetze, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften und Rechtsprechungen | 178 |
| | Literaturverzeichnis | 180 |
| | Anhang..... | 191 |
| | Lebenslauf | 199 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Wissenschaftlicher Aufbau der Dissertation | 6 |
| Abbildung 2: Kapitelaufbau als Einführung in das Thema „Strategische Ziele bei öffentlichen Bauaufträgen“ | 7 |
| Abbildung 3: Abgrenzung der Begriffe Beschaffung und Vergabe mit Hauptakteuren und Aufgaben | 11 |
| Abbildung 4: Stufenkonzept zur Förderung strategischer Ziele | 12 |
| Abbildung 5: Kapitelaufbau als Einführung in das Thema „Auftragsvergabe zugunsten des wirtschaftlichsten Angebots“ | 14 |
| Abbildung 6: Supranationale und nationale Regelungen zur öffentlichen Auftragsvergabe, in Anlehnung an VON DAMM (2004) | 15 |
| Abbildung 7: Unterscheidung von Eignungs- und Zuschlagskriterien | 21 |
| Abbildung 8: Unterscheidung von Haupt- und Nebenangeboten | 27 |
| Abbildung 9: Kapitelaufbau als Einführung in das Thema „Effizienz als Wertungskennzahl für Angebote“ | 34 |
| Abbildung 10: Anwendungsorientierte Unterteilung der Entscheidungslehre | 36 |
| Abbildung 11: Anwendungsmöglichkeit des Decision Supports für die Vergabe | 37 |
| Abbildung 12: Zuordnung der Anforderungen an das Wertungsmodell an die entscheidungstheoretischen Felder | 38 |
| Abbildung 13: Tabellarische und grafische Ermittlung der Pareto-Koopmans Effizienz | 41 |
| Abbildung 14: Aktivitätenmenge und Produktionsfunktion, in Anlehnung an CANTNER ET AL. (2007) | 43 |
| Abbildung 15: „Iso-Nutzenlinie“ zwischen Preis, Bauzeit und Qualität (HIMMEL UND MALKWITZ 2016) | 44 |
| Abbildung 16: Produktionswirtschaftliche Transformation, in Anlehnung an DINKELBACH UND ROSENBERG (2004) | 45 |
| Abbildung 17: Verfahren der Effizienzanalyse, nach BOLES ET AL. (1995), erweitert von HAMMERSCHMIDT (2006) | 47 |
| Abbildung 18: Durchschnittsfunktion mit einfacher kleinster Quadrateschätzung | 47 |
| Abbildung 19: Effizienzanalyse mit parametrischem Ansatz | 49 |
| Abbildung 20: Effizienzanalyse mit nicht-parametrischem Ansatz | 51 |
| Abbildung 21: Kapitelaufbau als Einführung in die nicht-parametrische Effizienzanalyse | 53 |
| Abbildung 22: Schema der Distanzmessung mit einer DEA | 56 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 23: Konvexe und nicht-konvexe Mengen bzw. Aktivitätenmengen | 58 |
| Abbildung 24: Konstante, zunehmende oder abnehmende Skalenerträge von Aktivitäten.... | 60 |
| Abbildung 25: Aktivitätenmengen unter Variation der Struktureigenschaft des Skalenertrags | 61 |
| Abbildung 26: Orientierung und Radialität von Distanzfunktionen..... | 64 |
| Abbildung 27: Orientiertes, radiales Effizienzmaß | 65 |
| Abbildung 28: Orientiertes, nicht-radiales Effizienzmaß..... | 67 |
| Abbildung 29: Unorientiertes, radiales Effizienzmaß..... | 68 |
| Abbildung 30: Unorientiertes, nicht-radiales Effizienzmaß, nach SCHEEL (2000) | 69 |
| Abbildung 31: Vollständig generalisierte Directional Distance Function, nach CHAMBERS ET AL. (1996) | 70 |
| Abbildung 32: Linearisierung des Quotientenprogramms zur Multiplier- und Envelopment-Form | 73 |
| Abbildung 33: Veranschaulichung der Multiplier | 76 |
| Abbildung 34: Translation bei unterschiedlichen Struktureigenschaften | 83 |
| Abbildung 35: Schema über die Rückspiegelung des Verbesserungspotenzials | 85 |
| Abbildung 36: Kapitelaufbau zur Einführung zielbedingter Restriktionen | 87 |
| Abbildung 37: Ermittlung kostenminimaler Aktivitäten..... | 88 |
| Abbildung 38: Input- bzw. Outputallokation..... | 90 |
| Abbildung 39: Ablaufschema des Analytischen Hierarchieprozesses in Anlehnung an OBERMAIER UND SALIGER (2013) | 93 |
| Abbildung 40: Inkonsistenz eines Paarvergleichs | 96 |
| Abbildung 41: Relative Wertinformationen in absolutem Wertesystem | 98 |
| Abbildung 42: Vorgehen zur Modellentwicklung | 99 |
| Abbildung 43: Fließschema zur Generierung und Umrechnung der Wertinformationen..... | 100 |
| Abbildung 44: Umrechnung der Gewichtung über die Bandbreite der technisch effizienten DMUs | 101 |
| Abbildung 45: Bezugsgröße zur Umrechnung relativer Wertinformationen | 103 |
| Abbildung 46: Einschränkungen des Umrechnungskonzepts für Wertinformationen | 104 |
| Abbildung 47: Fallunterscheidung zur Auswahl der Skalenerträge auf der Grundlage der Gewichtung | 106 |
| Abbildung 48: Schema der Distanzmessung für das Angebotswertungsmodell..... | 110 |
| Abbildung 49: Distanzfunktion in Abhängigkeit zur Gewinnfunktion..... | 111 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 50: Prinzip zur Berechnung des Nerlove'schen Effizienzwerts | 112 |
| Abbildung 51: Grafische Darstellung der Projektionen auf einer Gewinn- und Randfunktion | 117 |
| Abbildung 52: Nicht-radiales Effizienzmaß bei nicht realisierbaren Projektionen | 118 |
| Abbildung 53: Fallunterscheidung zur Berechnung von $NE_{0,xi}$ bzw. $NE_{0,yr}$ | 120 |
| Abbildung 54: Schema zur gleichmäßigen Umverteilung des Effizienzfehlbetrags | 121 |
| Abbildung 55: Prüfstufe zur Einhaltung der Grenzwerte nach der Umverteilung von $NE_{0,Fehl}$ | 122 |
| Abbildung 56: Ablaufschema zum Angebotswertungsmodell..... | 125 |
| Abbildung 57: Excel-Anwendung – Mappe „Eingabe“ | 127 |
| Abbildung 58: Excel Anwendung – Eingabemaske für den Befehl „Gewichtung mit AHP“ .. | 127 |
| Abbildung 59: Excel-Anwendung – Hinweissfeld „Paarvergleich abgeschlossen“..... | 128 |
| Abbildung 60: Excel-Anwendung – Eingabefeld für die Grenzwerte der Zuschlagskriterien | 129 |
| Abbildung 61: Excel-Anwendung – Berechnung der technischen Effizienzwerte und Referenzvektoren | 130 |
| Abbildung 62: Excel Anwendung: Mappe Projektionen..... | 131 |
| Abbildung 63: Grafische Verifizierung der Gewinnfunktion in MATLAB anhand des Anwendungsbeispiels nach NIEWERTH ET AL. (2017a)..... | 132 |
| Abbildung 64: Grafische Verifizierung der Projektionen auf der Randfunktion | 133 |
| Abbildung 65: Randwertbetrachtung zur Ermittlung der Projektionen auf der Gewinnfunktion..... | 134 |
| Abbildung 66: Verhältnis der Projektion auf der Gewinnfunktion und der DMU unter Variation der relativen Gewichtung | 135 |
| Abbildung 67: Kapitelaufbau zum Anwendungsbeispiel..... | 138 |
| Abbildung 68: Kapitelaufbau für die Ableitung von Empfehlungen und Vergabedokumenten zum Angebotswertungsmodell | 158 |
| Abbildung 69: Grafische Erläuterung der Wertungsmethodik..... | 167 |
| Abbildung 70: Berechnung der Zuschlagseffizienz mithilfe der maximalen und minimalen Kriterienwerte | 169 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Tabelle 1: Abgrenzung operativer und strategischer Ziele, nach EßIG ET AL. (2014) | 8 |
| Tabelle 2: Hürden bei der Vergabe nachhaltiger Bauleistungen, Hürden nach SOURANI UND SOHAIL (2011), eigene Erweiterung der Arbeitsfelder | 9 |
| Tabelle 3: Zahlenbeispiel zur Erläuterung eines vektoriellen Entscheidungsproblems..... | 40 |
| Tabelle 4: Darstellung der Input- und Output-Mengenvektoren..... | 55 |
| Tabelle 5: Klassifizierung von Distanzfunktionen | 63 |
| Tabelle 6: Quotientenprogramm für ein DEA-Modell mit variablen Skalenerträgen (BANKER ET AL. 1984) | 72 |
| Tabelle 7: Lösungsansatz zur Dualisierung linearer Optimierungsaufgaben..... | 74 |
| Tabelle 8: Multiplier-Form des inputorientierten BCC-Modells (BANKER ET AL. 1984)..... | 75 |
| Tabelle 9: Eingabedaten zur Berechnung der inputorientierten DEA | 75 |
| Tabelle 10: Ergebnis der Multiplier-Form des inputorientierten BCC-Modells für das Zahlenbeispiel | 78 |
| Tabelle 11: Gesamtergebnis der Multiplier-Form für das Zahlenbeispiel..... | 79 |
| Tabelle 12: Envelopment-Form des inputorientierten BCC-Modells (BANKER ET AL. 1984) ... | 80 |
| Tabelle 13: Gesamtergebnis der Envelopment-Form für das Zahlenbeispiel | 81 |
| Tabelle 14: Technische und alloкатive Effizienz für die DMUs A bis E aus Abbildung 38..... | 91 |
| Tabelle 15: Paarvergleichsskala (SAATY 1980)..... | 94 |
| Tabelle 16: Beispiel zur Eigenvektormethode des AHP (OBERMAIER UND SALIGER 2013) | 95 |
| Tabelle 17: Näherungsverfahren zur Berechnung des Eigenvektors (OSSADNIK UND MAUS 1993) | 95 |
| Tabelle 18: Zufallskonsistenzindex RI (SAATY 1980) | 96 |
| Tabelle 19: Rangfolgenbildung anhand der Wertungskennzahl NE_0 | 113 |
| Tabelle 20: DEA Modell zur Ermittlung der technischen Effizienz der DMUs | 114 |
| Tabelle 21: Rückrechnung der Kriteriengewichtung zur Überprüfung des AHPs..... | 140 |
| Tabelle 22: Quantifizierte Angebote des Anwendungsbeispiels..... | 142 |
| Tabelle 23: Technisch effiziente Angebote des Anwendungsbeispiels | 143 |
| Tabelle 24: Minimale und maximale Kriterienmengen der technisch effizienten Angebote . | 144 |
| Tabelle 25: Gewinn der technisch effizienten Angebote | 145 |
| Tabelle 26: Nerlove'sche Effizienz und Rangfolge des Anwendungsbeispiels | 146 |

| | |
|---|-----|
| Tabelle 27: Rangfolgen bei unterschiedlichen Wertungsverfahren für das Anwendungsbeispiel, Erweiterung der Tabelle nach FALAGARIO ET AL. (2012) | 147 |
| Tabelle 28: Absolute Fehlbeträge zwischen den Kriterienmengen eines Angebots und den Projektionen im Anwendungsbeispiel | 150 |
| Tabelle 29: Realisierbare Kriterienmengen und Nerlove'sche Effizienzwerte für Angebot A9 (1. Berechnungsstufe)..... | 152 |
| Tabelle 30: Nicht-radiale Effizienzmaße für alle Zuschlagskriterien des Angebots A9 | 152 |
| Tabelle 31: Zusammenfassung der berechneten Projektionen des Anwendungsbeispiels . | 153 |
| Tabelle 32: Rangfolge infolge sukzessiver Elimination des wirtschaftlichsten Angebots | 155 |
| Tabelle 33: Wertungsmöglichkeit bei mehreren monetären Zuschlagskriterien | 161 |
| Tabelle 34: Formblatt zur Wertungskennzahl "Zuschlagseffizienz" | 163 |
| Tabelle 35: Synopse zu "Hinweise zu 227" aus dem VHB Bund (2017)..... | 163 |
| Tabelle 36: Effizienzanalyse zur Ermittlung der zuschlagsrelevanten Angebote | 168 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------------------|---|
| 3D | dreidimensional |
| abgek. | abgekürzt |
| Abs. | Absatz |
| AE₀ | allokative Effizienz einer DMU ₀ |
| AG | Auftraggeber |
| AHP | Analytischer Hierarchieprozess |
| Anm. d. | Anmerkung des |
| Art. | Artikel |
| BCC(-Modell) | (Modell nach) Banker, Charnes und Cooper |
| BGB | Bürgerliches Gesetzbuch |
| BGH | Bundesgerichtshof |
| BMVBS | Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung |
| BNB | Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen |
| BREEAM | Building Research Establishment Environmental Assessment Method |
| BVergG | Bundesvergabegesetz |
| B. v. | Beschluss vom |
| CCR(-Modell) | (Modell nach) Charnes, Cooper und Rhodes |
| CRS | constant return to scale |
| DEA | Data Envelopment Analysis |
| DDF | Directional Distance Function |
| DFA | Deterministic Frontier Analysis |
| DMU | Decision Making Unit |
| DVA | Deutscher Vergabe- und Vertragsausschuss für Bauleistungen |
| EI | Effizienzintervall |
| engl. | englisch |
| et al. | und andere (lat.) |
| EU | Europäische Union |
| EuGH | Europäischer Gerichtshof |
| EUV | EU-Vertrag |
| FDH | Free Disposal Hull |
| gem. | gemäß |
| gew. | gewichtet |
| GPA | Government Procurement Agreement |
| GWB | Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkung |
| HOAI | Honorarordnung für Architekten und Ingenieure |
| i.F. | im Folgenden |
| i.S. | im Sinne |
| ITA | International Tunneling Association |
| Kap. | Kapitel |
| KrWG | Kreislaufwirtschaftsgesetz |

| | |
|-------------------------|--|
| LEED | Leadership in Energy and Environmental Design |
| Lph | Leistungsphase (der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) |
| LZK | Lebenszykluskosten |
| math. | mathematisch |
| Mon | Monat |
| NDRS | non-decreasing return to scale |
| NE₀ | Nerlove'sche Effizienz einer DMU ₀ |
| NIRS | non-increasing return to scale |
| OLG | Oberlandesgericht |
| op. | operative |
| Pkt | Punkt |
| RL | Richtlinie |
| SE | Skalenertrag |
| SFA | Stochastic Frontier Analysis |
| strat. | strategische |
| sup | Supremum |
| SZR | Sonderziehungsrecht |
| t CO₂ | Tonnen Kohlenstoffdioxid |
| tan | Tangens |
| TE₀ | technische Effizienz einer DMU ₀ |
| TEEA | Tender Evaluation using Efficiency Analysis |
| u.d.N. | unter der Nebenbedingung bzw. unter den Nebenbedingungen |
| UfAB | Unterlagen für die Ausschreibung und Bewertung von IT-Leistungen |
| USK | Umweltschutzkonzept |
| U. v. | Urteil vom |
| VDI | Verein Deutscher Ingenieure e.V. |
| vgl. | vergleiche |
| VgV | Vergabeverordnung |
| VHB Bund | Vergabe- und Vertragshandbuch für die Baumaßnahmen des Bundes |
| VK | Vergabekammer |
| VOB | Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen |
| VOB/A | Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Teil A |
| VRS | variable return to scale |
| Wo | Woche |
| WTO | World Trade Organization (Welthandelsorganisation) |
| ZTV | Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen |

Kurzfassung

Die Vergabe von Bauleistungen für die öffentliche Hand erfolgt in Deutschland zumeist auf Grundlage des niedrigsten Angebotspreises. Von der Politik wird jedoch zunehmend die Einbeziehung von wirtschaftlichen Aspekten gefordert. Hierzu hat der deutsche Gesetzgeber im Jahr 2016 die Grundlagen für eine stärkere Fokussierung auf eine nachhaltige Beschaffung und das Prinzip der Lebenszykluskostenrechnung aus der europäischen Vergaberichtlinie 2014/24/EU in die VOB/A, Abschnitt 2, integriert. Regelungen für die Ausschreibung und Wertung von sozialen, umweltbezogenen und innovativen Eigenschaften unter Einbeziehung der langfristigen Kosten haben hier Eingang gefunden. Für die Vergabepaxis existiert jedoch bisher kein rechtlich zweifelsfreies Anwendungsverfahren, diese Vergabekriterien zu werten. Wie aus Gerichtsurteilen hervorgeht, ist eine Ursache für die Vernachlässigung zusätzlicher Kriterien neben dem Angebotspreis eine vergaberechtliche Unsicherheit, die auf methodische Schwachstellen der Wertungsformeln zurückzuführen ist. Das Ziel dieser Forschungsarbeit fokussiert auf die Entwicklung einer Wertungsmethodik, die die Rahmenbedingungen des Vergaberechts einhält und die Defizite der gängigen Wertungsformeln überwindet. Zugleich soll das Modell die öffentlichen Auftraggeber bei der Förderung von strategischen Zielen, wie z.B. dem Umweltschutz, unterstützen. Für diese Zwecke wird das Prinzip der Effizienzanalyse an die spezifischen Voraussetzungen für die Vergabe öffentlicher Bauaufträge adaptiert und um entscheidungstheoretische Restriktionen erweitert. Bei der Data Envelopment Analysis (DEA), die eine Methode aus dem Feld der Effizienzanalysen ist, erfolgt die Auswertung multidimensionaler Daten mithilfe einer Optimierungsaufgabe. Als Ergebnis werden aus der Menge aller Angebote diejenigen herausgefiltert, die aus einer mathematisch objektiven Sicht für die Zuschlagserteilung in Frage kommen. Da aus der DEA jedoch keine Rangfolge abgeleitet werden kann, muss eine Verknüpfung mit einem Verfahren der Entscheidungsfindung erfolgen. Aufgrund der hohen Transparenz und Nachvollziehbarkeit kommt der Analytische Hierarchieprozess (AHP) zur Anwendung. Für die Kombination der DEA mit dem AHP wird ein Berechnungsansatz entwickelt, der aufgrund des Effizienzkonzeptes auf einer wirtschaftswissenschaftlich fundierten Identifikation zuschlagsrelevanter Angebote basiert.

Neben der eindeutigen Rangfolge aus dem entwickelten Wertungsmodell kann den Bietern das Verbesserungspotenzial einzelner Wertungsaspekte im Vergleich zu den Wettbewerbern quantitativ angezeigt werden. Leistungsdefizite in den Zuschlagskriterien oder eine unzureichende Abstimmung des Angebots an die Präferenzen des Auftraggebers, werden aufgedeckt und rückgespiegelt. In der Folge ergibt sich eine Förderung der strategischen Aspekte mithilfe des entwickelten Wertungsmodells. Das Berechnungskonzept wird anhand eines in der Literatur beschriebenen Vergabeverfahrens für eine reale Baumaßnahme validiert. Die anwenderfreundliche Umsetzung des Modells, Textbausteine für Ausschreibungsdokumente sowie Empfehlungen für Auftraggeber sollen schließlich die Einführung des Angebotswertungsmodells vorbereiten.

Abstract

In Germany, the awarding of construction contracts for the public sector is usually based on the offered price. However, policymakers are increasingly demanding the consideration of economic aspects. In 2016, the German legislator integrated legal regulations for a stronger focus on sustainable procurement and the evaluation of lifecycle costs. These aspects have been transferred from the European procurement directive 2014/24/EU into VOB/A, section 2. Statutory rules for the tendering and evaluation of social, environmental and innovative characteristics, including their impacts on lifecycle costs, have been assigned. However, there is no legally unambiguous and practicable awarding procedure for the evaluation of these award criteria. As court decisions emphasize, one reason for the neglect of additional criteria beside the price is a procurement-related uncertainty due to methodological weaknesses in the evaluation formulas. The aim of this dissertation is to develop an evaluation method that complies with public procurement law and overcomes the shortcomings of current evaluation formulas. In addition to this, the model is intended to support the contracting authority in promoting strategic goals, such as environmental protection. For this purpose, the approach of efficiency analysis is being adapted to the specific framework of public procurement and extended to include decision-theoretical restrictions. With the Data Envelopment Analysis (DEA), a method from the field of efficiency analyses, multidimensional data are evaluated by solving an optimization task. As a result, tenders that are suitable for the award of the contract due to mathematical reasons are filtered. However, since no ranking can be derived from the DEA, a link to a procedure from the field of decision making must be made. The Analytical Hierarchy Process (AHP) is used here due to its high transparency and traceability. In order to combine the DEA with the AHP, a calculation concept is being developed, which allows an economically founded identification of offers that have true relevance for the award due to the efficiency concept.

In addition to the clear ranking from the evaluation model, the potential for improvement in specific evaluation criteria can be quantitatively displayed to bidders. The comparison to competitors enables the reflection of shortfalls in the evaluation criteria or an insufficient match of the tender to the preferences of the contracting authority. As a result, this leads to the promotion of strategic aspects with the help of the developed evaluation model. The calculation concept will be validated on the basis of an award procedure for a real construction project described in the literature. The realization of a user-friendly model, text modules for tender documents as well as recommendations for clients should finally prepare the introduction of the tender evaluation model in the awarding practice.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Motivation

Der Zweck öffentlicher Bauwerke liegt in der Generierung eines volkswirtschaftlichen Nutzens. So dienen z.B. Infrastrukturbauwerke der Aufrechterhaltung eines funktionsfähigen Wirtschaftsstandorts. Verwaltungsgebäude werden für die Erfüllung öffentlichkeitsdienlicher, administrativer Aufgaben errichtet und betrieben. Die in § 650a Abs. 1 Bürgerliches Gesetzbuch¹ (BGB) benannten Prozesse zur Herstellung, Wiederherstellung, Beseitigung und zum Umbau dieser Bauwerke gehen jedoch auch mit negativen volkswirtschaftlichen Folgen einher. Bei der Ausführung dieser i.F. als öffentliche Bauleistungen zusammengefassten Arbeitsvorgänge werden z.B. Klimagase emittiert. Folgen, wie Gesundheits- und Umweltschäden, werden nicht nur von dem Auftraggeber² und den Nutzern des Bauwerks getragen, sondern gleichermaßen von unbeteiligten Dritten. Weitere Beispiele sind Lärm- und Staubemissionen, der Ressourcen- und Flächenverbrauch, ein hohes Abfallaufkommen und soziale Auswirkungen, wie z.B. die Beeinträchtigung von Anwohnern. Um diese negativen volkswirtschaftlichen Folgen zu limitieren, müssen die Ursachen verstärkt bei der Planung und Vergabe einer öffentlichen Bauleistung berücksichtigt werden. Dabei sollen auch Folgewirkungen aus dem nachgelagerten Prozess der Bauwerksnutzung bewertet werden. Die Auftraggeber werden daher von den politischen Entscheidungsträgern in bundes- und landespolitischen Ämtern, die i.F. auch als strategische Entscheider bezeichnet werden (vgl. Kap. 2.4), angehalten, eine positive Beeinflussung volkswirtschaftlicher Werte herbeizuführen. Diese gesellschaftlichen Aspekte halten unter dem Begriff „*strategisch-politische Ziele*“ (EßIG ET AL. 2014) (i.F. abgek. strategische Ziele) vermehrt Einzug in das Vergabewesen.

Die in nationales Recht überführte Vergaberichtlinie 2014/24/EU des EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES (2014) soll Anreize schaffen, die strategischen Ziele stärker in die Vergabe öffentlicher Bauleistungen oberhalb des EU-Schwellenwerts zu integrieren. Sie löst seit April 2016 in Deutschland die Richtlinie 2004/18/EG ab und bildet die Basis für das aktuell gültige Vergaberecht, das bei der Ausschreibung öffentlicher Bauaufträge oberhalb einer taxierten Auftragssumme von 5,548 Mio. € (Stand: 01.01.2018) anzuwenden ist. Für Bauleistungen ergeben sich Neuregelungen im Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen (GWB), der Vergabeverordnung (VgV) sowie der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Teil A, 2. Abschnitt (VOB/A). Die in diesen Werken enthaltenen Inhalte bilden somit den einzuhaltenden rechtlichen Rahmen für die Wertung strategischer Ziele im Zuge der Angebotsprüfung.

Als Instrument für die Wertung einer Bauleistung, die von einem Bieter angeboten wird, dient

¹ Angaben über die verwendeten Fassungen aller Rechtstexte finden sich im Verzeichnis der Gesetze, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften und Rechtsprechungen. Alle im Weiteren aufgeführten Rechtsquellen beziehen sich auf die in dem Verzeichnis genannten Fassungen.

² Aus Gründen der Lesbarkeit wird im Text die männliche Schreibweise gewählt, gleichermaßen beziehen sich die Angaben aber auf Angehörige aller Geschlechter.

gem. § 127 Abs. 1 GWB das Konzept des „*wirtschaftlichsten Angebots*“. Dieses Vergabeprinzip ermöglicht eine über den Angebotspreis hinausgehende Wertung und legitimiert die Zuschlagsentscheidung anhand der operativen und strategischen Zielstellungen. Das heißt, dass neben den Kosten für eine Bauleistung und ggf. weiteren funktionalen Aspekten (operative Ziele) gleichermaßen volkswirtschaftliche Werte (strategische Ziele) bei der Angebotsprüfung gewertet werden können. Hierzu muss der Auftraggeber alle Wertungsparameter, die als Zuschlagskriterien bezeichnet werden, in den Ausschreibungsdokumenten eindeutig vorgeben. Die von den Bietern angebotenen Kriterienwerte entscheiden zusammen mit der Gewichtung der Kriterien über die Vergabe eines Bauauftrags. Verschiedene Studien, in denen die Abfrage strategischer Ziele bei der Vergabe öffentlicher Bauleistungen ausgewertet wurde, zeigen, dass die Implementierung dieser Kriterien zuweilen nur selten genutzt wird (vgl. Kap. 2.2). Somit ergibt sich ein Konflikt zwischen der politischen Forderung, strategische Ziele neben dem Preis im Rahmen der Vergabe für öffentliche Bauleistungen zu berücksichtigen, und der Abfrage ebenjener durch die Bedarfsstellen als Auftraggeber.

Die Auswertung richterlicher Beschlüsse und Urteile zeigt, dass mathematische Schwächen gängiger Wertungsformeln für die Bestimmung des Preis-Leistungs-Verhältnisses gem. § 127 Abs. 1 GWB, ein häufiger Grund für Rechtsstreitigkeiten zwischen dem Auftraggeber und unterlegenen Bietern sind. Um die Gefahr vor Nachprüfungsverfahren auszuschließen, werden Zuschlagskriterien für strategische Ziele nur selten abgefragt. Das Potenzial zur Hebung volkswirtschaftlicher Werte wird somit nicht ausgeschöpft, weil methodische Schwächen bei der Angebotswertung einen Spielraum für juristische Konflikte eröffnen. Den Bietern wird insofern kein Anreiz für eine Weiterentwicklung von Arbeitsprozessen, z.B. hinsichtlich umweltfreundlicherer oder arbeitstechnisch sichererer Bauweisen, geboten, da der Wettbewerb ausschließlich über den Preis entschieden wird.

In verschiedenen Rechtsprechungen wird die benannte Problemstellung erörtert. Von den Gerichten selbst kann jedoch kein Lösungsansatz ausgesprochen werden, um die Vergaberechtskonformität sicherzustellen. In der Konsequenz heißt es bspw. beim Oberlandesgericht (OLG) Düsseldorf, dass Verfahrensmängel bei der Wertung multidimensionaler Zuschlagskriterien (Kriterien mit unterschiedlichen Maßeinheiten, wie bspw. Geldeinheiten, Zeiteinheiten, Bewertungspunkten etc.) hingenommen werden müssen (OLG Düsseldorf, B. v. 03.03.2010 – VII-Verg 48/09). Auch das OLG München stellt fest, dass „*grundsätzlich Bedenken*“ hinsichtlich einer vergaberechtskonformen Ermittlung des Preis-Leistungs-Verhältnisses gem. § 127 Abs. 1 GWB vorliegen (OLG München, B. v. 30.08.2016 – Z3-3/3194/1/28/07/16). Andere richterliche Beschlüsse der zuständigen Vergabekammern und Oberlandesgerichte, als auch Urteile des Bundesgerichtshofs und des Europäischen Gerichtshofs (z.B. VK Westfalen, B. v. 21.01.2015 – 18/14; OLG München, B. v. 30.03.2017 – Verg 10/16; BGH, U. v. 04.04.2017 - X ZB 3/17; EuGH, U. v. 14.07.2016 – C-6/15) zeigen gleichermaßen, dass Unklarheit im Hinblick auf die korrekte Wertung multidimensionaler Zuschlagskriterien herrscht. Es besteht somit Forschungsbedarf, die Vergaberechtskonformität bei einer über den Preis hinausführenden Angebotswertung sicherzustellen und die Vorgabe des strategischen Entscheiders, volkswirtschaftliche Aspekte im Rahmen der Vergabe für öffentliche Bauleistungen abzufragen, einzuhalten.

1.2 Zielsetzung und wissenschaftliches Vorgehen

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wird eine Methodik für die Angebotswertung öffentlicher Bauleistungen entwickelt. Diese kann herangezogen werden, wenn neben dem Preis weitere Zuschlagskriterien abgefragt werden. Die Methodik muss die vergaberechtlichen Rahmenbedingungen und amtlichen Leitsätze zur Angebotswertung einhalten sowie die mathematischen Schwachstellen gängiger Wertungsmethoden überwinden. Zudem soll die neue Methodik dabei unterstützen, die strategischen Zielstellungen umzusetzen. Hierzu wird die Angebotswertung um eine Ergebnisanalyse erweitert. Das Ziel ist die Identifikation und Rückspiegelung des Verbesserungspotenzials der Bieter in den ausgeschriebenen Zuschlagskriterien. Die Feststellung von Leistungsdefiziten, auch in abstrakten Zielen wie z.B. Nachhaltigkeitsaspekten, soll langfristig dazu führen, dass alle an der Vergabe beteiligten Akteure die eigene Leistungsfähigkeit einordnen, auswerten und zielorientiert und kontinuierlich verbessern können. Somit ergibt sich als Primärziel die Entwicklung einer vergaberechtssicheren Wertungsmethodik, die das Sekundärziel der Förderung strategischer Ziele vorantreibt.

Um das Primärziel zu realisieren, werden zunächst die häufigsten Gründe für Nachprüfungsverfahren analysiert. Aus den juristischen Streitständen ergeben sich im Zusammenhang mit den vergaberechtlichen Regelungen in GWB, VgV und VOB/A wesentliche Handlungsbedarfe:

- Die Wertungsmethodik muss die Anforderungen an die Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Vergabeentscheidung erfüllen.
- Die Wertungsmethodik muss die Präferenzen des Auftraggebers korrekt abbilden.
- Die Wertungsmethodik muss eine valide Systematik für die Zusammenführung der multidimensionalen Zuschlagskriterien zu einer eindimensionalen Zuschlagskennzahl darstellen.

Die richterlichen Beschlüsse und Urteile zu den Berechnungsformeln, die derzeit für die Angebotswertung eingesetzt werden, führen zur Ableitung von Konsequenzen für die Entwicklung eines neuen Wertungsmodells. Parallel zur Modellentwicklung werden die formulierten Folgerungen verifiziert bzw. falsifiziert.

Für die Realisierung des Sekundärziels, die Förderung strategischer Ziele im Rahmen der Auftragsvergabe, wird die Hypothese zugrunde gelegt, dass die kontinuierliche Rückspiegelung der aktuellen Leistungsfähigkeit von Bietern langfristig zu einer Überarbeitung bestehender Ausführungs- und Managementkonzepte führen kann. Erhält ein Bieter bspw. mehrfach nicht den Zuschlag für öffentliche Bauleistungen, weil regelmäßig schlechte Werte in bestimmten Zuschlagskriterien zu einer mangelhaften Gesamtwertung führen, sollte eine Verbesserung in diesem Leistungsbereich angestrebt werden. Die wissenschaftliche Anerkennung, dass eine kontinuierliche Ergebnisspiegelung aus einer Mehrzahl an Vergabeverfahren, an denen ein Bieter teilnehmen muss, einen Lerneffekt hervorruft, wird insbesondere in Kap. 5.6.2 durch verschiedene Literaturstellen belegt. Auch die Fragestellung, ob die Besonderheit der Individualfertigung von Bauwerken mit stetig wechselnden Randbedingungen die Identifikation derartiger Leistungsmuster zulässt, wird in dem Kapitel diskutiert. Der Anreiz für die Veränderung der existierenden Prozesse ergibt sich grundsätzlich durch die Chance der Zuschlagserteilung und den damit einhergehenden finanziellen Gewinn für den erfolgreichen Bieter. Für

das Sekundärziel erfolgt daher zunächst eine Literaturrecherche über den Status quo der Auftragsvergabe und weiterführend über Konzepte, die eine Identifikation von Leistungsdefiziten verfolgt. Folgende Fragestellungen lassen sich hieraus ableiten:

- Was sind die aktuell wichtigsten strategisch-politischen Ziele?
- Welche Rahmenbedingungen müssen geschaffen werden, um strategische Zielstellungen durch die öffentliche Auftragsvergabe von Bauleistungen langfristig zu fördern?
- Welche Möglichkeiten besitzt ein Bieter, um seine Leistungsfähigkeit im Vergleich zum Wettbewerb einzuschätzen, um eine zielorientierte Leistungssteigerung herbeizuführen?

Die Bieter müssen anhand des Ergebnisses einer Vergabe erkennen können, auf welchem Leistungsniveau sie sich im Vergleich zu den Wettbewerbern befinden. So erhalten sie, neben dem Anreiz des Auftragsgewinns, die Möglichkeit einer Leistungsanalyse, die über die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit durch die Wertung des Preises hinausführt. Zur Einschätzung des Verbesserungspotenzials benötigen Bieter ein verständliches Wertesystem.

So erkennt jeder Bieter, dass er den Zuschlag für einen Auftrag, der einzig zugunsten des Preises vergeben wird, nicht erhält, wenn er einen höheren Preis anbietet als ein Wettbewerber. Er muss für zukünftige Vergabeverfahren abschätzen, für welche Leistungspositionen modifizierte Preise kalkuliert werden müssen. Auch für wirtschaftliche Auftragsvergaben muss ein derart nachvollziehbares Ergebnis generiert werden. Der Bieter muss erkennen können, welche Kriterienwerte im Vergleich zu konkurrierenden Angeboten zu einer schlechteren Wertung geführt haben. Zudem muss eine Ergebnisanalyse erkennen lassen, welche Auswirkungen die Verbesserung einzelner Zuschlagskriterium auf das Gesamtergebnis und auf das Verbesserungspotenzial anderen Zuschlagskriterien haben.

Hierzu werden verschiedene Verfahren der Entscheidungsfindung bzw. -unterstützung untersucht und gegeneinander abgewogen. Ungeeignete Entscheidungsmodelle werden sukzessive ausgeschlossen, bis eine Methodik identifiziert ist, die die Umsetzung beider Zielstellungen gleichermaßen gewährleistet.

1.3 Thematische Abgrenzung und Gliederung der Arbeit

Da die Überarbeitung der VOB/A, 2. Abschnitt (a-Paragrafen zur europaweiten Vergabe) im April 2016 und daher vor der im Weiteren beschriebenen Entwicklung des Angebotswertungsmodells abgeschlossen ist, basiert das neue Wertungsverfahren auf den Regelungen, die der Angebotswertung öffentlicher Bauleistungen oberhalb des EU-Schwellenwertes gemäß der Richtlinie 2014/24/EU zugrunde liegen. Somit wird ein Wertungskonzept aufgezeigt, das ein öffentlicher, europaweit ausschreibender Auftraggeber nutzen kann. Grundsätzlich kann das Wertungsmodell auch für Vergabeverfahren unterhalb des EU-Schwellenwertes eingesetzt werden, wenn der Gesetzgeber hier keine wesentlichen Änderungen für die Angebotswertung beschließt. Da hinsichtlich der Wertung nicht-monetärer Zuschlagskriterien neben dem Preis bzw. den Lebenszykluskosten einheitliche Regelungen für Vergaben oberhalb sowie unterhalb

des Schwellenwertes angestrebt werden, wird das Modell künftig voraussichtlich auch im Bereich der Unterschwellenvergabe nutzbar sein.

Der Aufbau der Dissertation folgt dem Schema gemäß Abbildung 1. Für die Wertung wirtschaftlicher Angebote werden die Rahmenbedingungen und die vergaberechtlichen Anforderungen aufgezeigt, die an einen Wertungsprozess für Angebote öffentlicher Bauleistungen gestellt werden. Hierzu wird in Kapitel (Kap.) 2 der wesentliche Rahmen der öffentlichen Auftragsvergabe vor dem Hintergrund der Förderung strategischer Ziele thematisiert. Dabei wird eine Abgrenzung zu operativen Zielen hergestellt sowie der Status quo über die Verwendung nicht-monetärer Kriterien und die involvierten Akteure vorgestellt. Die Festlegung einer Definition für die Beschaffung und die Vergabe konkretisiert die Zielstellung und dient der thematischen Abgrenzung. In Kap. 3 werden die Arbeitsschritte, die ein öffentlicher Auftraggeber in Zusammenarbeit mit den Planern im Rahmen der HOAI Leistungsphasen 6 und 7 bearbeitet, von der Vorbereitung der Vergabe bis zur Angebotsprüfung dargestellt. Hierbei werden die wesentlichen rechtlichen Rahmenbedingungen aus den Gesetzen, Verordnungen und Verwaltungsvorschriften sowie die richterlichen Urteile und Beschlüsse thematisiert. In Form eines Zwischenfazit werden die Konsequenzen für die Vergabe wirtschaftlicher Angebote von Bauleistungen abgeleitet. Das Kap. 3 stellt somit den einzuhaltenden rechtlichen Rahmen für die Modellentwicklung dar.

Da es sich bei der Wertung wirtschaftlicher Angebote um einen Prozess der multidimensionalen Entscheidungstheorie handelt, wird in Kap. 4 die Adaption der Angebotswertung an ein entscheidungstheoretisches Prinzip untersucht. Hierzu wird der Wertungsprozess mit den Zuschlagskriterien als Leistungsindikatoren in einem modellorientierten Kontext analysiert. Im Ergebnis muss eine methodische Basis gefunden werden, auf der die Umsetzung des in Kap. 2.5 und 3.5 hergeleiteten Handlungsbedarfs erfolgen kann. Dabei wird insbesondere die Eignung der Effizienz im aktivitätsanalytischen Kontext als Wertungskennzahl für die öffentliche Auftragsvergabe untersucht und ein Verfahren für die Berechnung dieser Kennzahl für den Anwendungsfall benannt. In Kap. 5 wird die nicht-parametrische Effizienzanalyse detailliert untersucht. Dabei werden die verschiedenen Möglichkeiten zur Ausgestaltung der Effizienzanalyse für die Berechnung des technischen Effizienzwertes vorgestellt. Hierzu zählen insbesondere die Effizienzintervalle, die Struktureigenschaften und die Arten der Distanzfunktion. Nach der Einführung dieser Elemente und der Erläuterung der mathematischen Berechnung des technischen Effizienzwertes wird die Eignung der Data Envelopment Analysis (DEA), als Methodik der nicht-parametrischen Effizienzanalysen, hinsichtlich ihrer Eignung für die Angebotswertung überprüft. Hierzu erfolgt eine Verifizierung für die benannten Zielstellungen. Zunächst wird bewertet, ob sich die DEA grundsätzlich dazu eignet, das Primärziel der vergaberechtskonformen Angebotswertung zu ermöglichen. Im zweiten Schritt wird bewertet, ob sie ein geeignetes Instrument zur Erfüllung des Sekundärziels, der Förderung strategischer Ziele, ist. Als Ergebnis von Kap. 4 und 5 zeigt sich, dass die DEA grundsätzlich eine geeignete Basis darstellt, aber noch eine entscheidungstheoretische Erweiterung für die Angebotswertung erfordert. Aus diesem Grund werden in Kap. 6 zielbedingte Restriktionen eingeführt. Die hierzu erforderlichen Wertinformationen für Zuschlagskriterien werden mithilfe des Analytischen Hierarchyprozesses (AHP) erzeugt.

Auf die theoretischen Ausführungen baut in Kap. 7 die Entwicklung des Wertungsmodells für Angebote öffentlicher Bauaufträge auf. Im ersten Schritt der Modellentwicklung muss ein Umrechnungskonzept konzipiert werden, um eine Zusammenführung der Variablen des AHPs und der DEA zu ermöglichen. Anschließend erfolgt die Ausgestaltung der DEA mit den Struktureigenschaften, der Distanzfunktion und dem Effizienzintervall für die anwendungsspezifischen Besonderheiten bei der Angebotswertung. Um eine anwenderfreundliche Angebotswertung seitens der Vergabestellen zu ermöglichen, wird das Modell abschließend als Microsoft Excel® Tool programmiert. In Kap. 8 folgt die Validierung der Anwendung; hierzu wird ein in der Literatur beschriebener Praxisfall, der mehrere Wertungskriterien beinhaltet, herangezogen. Die Ergebnisstabilität wird ermittelt und bewertet. In Kap. 9 werden Vergabedokumente erstellt und Empfehlungen für den öffentlichen Auftraggeber benannt. Das Kapitel soll die wissenschaftliche Komplexität reduzieren und dadurch die Anwendbarkeit des Wertungsmodells steigern. Zusätzlich werden Ansätze einer Nutzung der gewonnenen Informationen für die Ableitung von Maßnahmen zur Realisierung einer Leistungssteigerung aufgezeigt. Die Forschungsarbeit schließt in Kap. 10 mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick. Die gesamte Gliederung ist in Abbildung 1 zusammengefasst.



Abbildung 1: Wissenschaftlicher Aufbau der Dissertation

2 Strategische Ziele bei öffentlichen Bauaufträgen

Die Einführung der europäischen Vergaberichtlinie 2014/24/EU, die in nationales Recht überführt und am 16. April 2016 in Kraft getreten ist, führt zu umfangreichen Neuregelungen bei der Vergabe öffentlicher Bauaufträge oberhalb des EU-Schwellenwerts (vgl. Kap. 3.1.1). Ein wesentliches Ziel bei der Überarbeitung der rechtlichen Regelungen ist die Stärkung strategischer Ziele bei der Vergabe öffentlicher Aufträge. Vor dem Hintergrund dieser Vorgabe werden in diesem einleitenden Kapitel aktuelle strategische Ziele für öffentliche Bauleistungen benannt. Die Darstellung des Status quo gibt einen Überblick über die Umsetzung und darauf aufbauend die Abgrenzung des Forschungsgegenstands, wie in Abbildung 2 aufgezeigt.

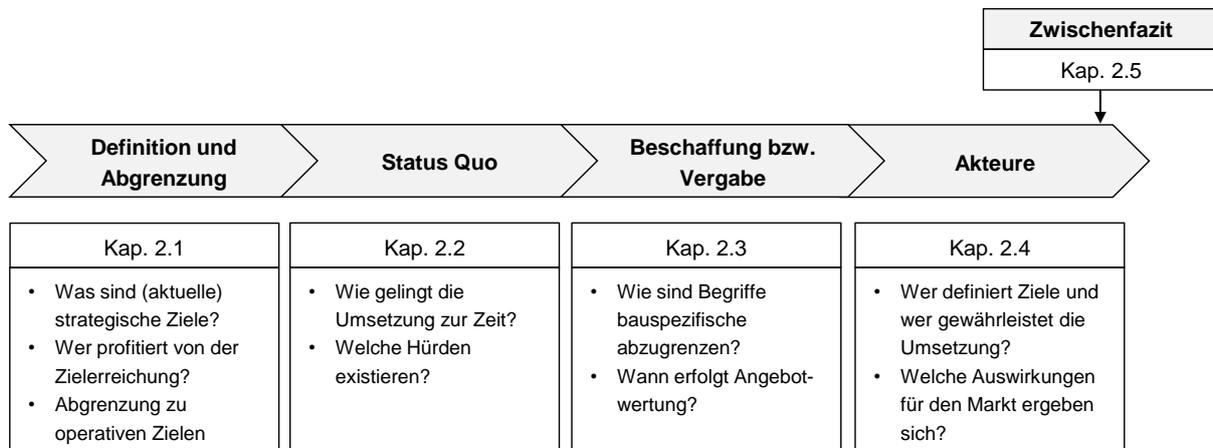


Abbildung 2: Kapitelaufbau als Einführung in das Thema „Strategische Ziele bei öffentlichen Bauaufträgen“

2.1 Definition und Abgrenzung zu operativen Zielen

Als strategische Ziele werden Maßnahmen bezeichnet, die gesellschaftspolitische Entscheidungen unterstützen und fördern sollen. Die Novellierung der EU-Vergaberichtlinien durch das Europäische Parlament und den Rat als oberste politische Instanz im europäischen Wirtschaftsraum gilt als Signal für die gesteigerte Relevanz zur Berücksichtigung der Ziele im Rahmen der Beschaffung von Bauleistungen.

Aufbauend auf Art. 3 Abs. 3 EU-Vertrag (EUV) in der aktuell gültigen Fassung ist Nachhaltigkeit das aktuell wichtigste strategische Ziel im europäischen Wirtschaftsraum. In dem Artikel werden Kriterien genannt, die den drei Säulen der Nachhaltigkeit zuzuordnen sind:

- Ökonomie: „ausgewogenes Wirtschaftswachstum“, „Preisstabilität“, „wettbewerbsfähige soziale Marktwirtschaft“
- Ökologie: „Umweltschutz und Verbesserung der Umweltqualität“
- Soziales: „Vollbeschäftigung“, „sozialer Fortschritt“

Die in Art. 3 Abs. 3 EUV weiterführend genannte Förderung von „wissenschaftlichem und technischem Fortschritt“ wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter

dem Stichwort „*Innovationsförderung*“ ebenfalls als strategisches Ziel angeführt (EßIG ET AL. 2014). BERG UND BLANKENBERG (2016) stellen hierzu fest, dass Innovationen ein zweckdienliches Mittel sind, um beispielsweise die Entwicklung nachhaltiger Leistungen und Produkte voranzutreiben. Auch in der Agenda 2030 der VEREINTEN NATIONEN (2015) wird im Ziel 12.7 gefordert, dass „*in der öffentlichen Beschaffung nachhaltige Verfahren [...] im Einklang mit den nationalen Politiken und Prioritäten*“ gefördert werden müssen. Ein Kennzeichen strategischer Ziele ist die Inhärenz volkswirtschaftlichen Nutzens. Somit profitieren durch eine Zielerreichung nicht nur die Betreiber und Nutzer eines öffentlichen Bauwerks, sondern auch unbeteiligte Dritte.

Als Abgrenzung zu strategischen Zielen weisen operative Ziele Eigenschaften auf, die einen betriebswirtschaftlichen Nutzen stiften. Im Leitfaden „*Impulse für mehr Innovationen im öffentlichen Beschaffungswesen*“ (EßIG ET AL. 2014), herausgegeben vom BMWi als zuständige oberste Bundesbehörde, sind relevante operative und strategische Ziele formuliert. Die im Leitfaden genannten Aspekte sind in Tabelle 1 zusammengetragen. Die Tabelle ist nicht als abschließend anzusehen, vielmehr variieren Zielstellungen, da sich politische Schwerpunkte mit der Zeit verändern. Aus diesem Grund werden strategische Ziele in dieser Forschungsarbeit auch bewusst als solche bezeichnet, anstatt den ebenfalls häufig verwendeten Begriff der nachhaltigen Beschaffung zu nutzen.

Tabelle 1: Abgrenzung operativer und strategischer Ziele, nach EßIG ET AL. (2014)

| operative Ziele | strategische Ziele |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • „<i>Wirtschaftlichkeit</i>“ i.S.d. Verhältnisses aus Kosten und Nutzen während des gesamten Bauwerklebenszyklus • „<i>effizientere Aufgabenerbringung</i>“ i.S.d. Bedarfserfüllung | <ul style="list-style-type: none"> • „<i>Reduzierung der CO₂-Emissionen</i>“ • „<i>Energiewende</i>“ i.S. energieeffizienter Produkte und Dienstleistungen • „<i>Sicherung von Arbeitsplätzen</i>“ • „<i>Innovationsförderung</i>“ |

Um eine Zielerreichung zu gewährleisten, müssen operative als auch strategische Ziele bereits in einer sehr frühen Projektphase definiert und in allen Leistungsphasen einer Bauleistung berücksichtigt werden. Im Rahmen der Konkretisierung der Planung, die ihren Abschluss in der Vergabe findet, müssen auch die strategischen Ziele sukzessive geschärft werden. Inwiefern dieser Entwicklungsschritt bereits gelingt, zeigt ein Überblick über den Status quo.

2.2 Der Status quo von strategischen Zielen in der Vergabe

Eine von der BAYERISCHEN INGENIEUREKAMMER-BAU (2015) veröffentlichte Umfrage zeigt, dass Bauleistungen in Deutschland schätzungsweise in 76% der Fälle zugunsten des niedrigsten Angebotspreises beauftragt werden. Strategische Ziele oder eine Lebenszykluskostenberechnung im Zuge der Auftragsvergabe von Bauleistungen finden bisher nicht nur in Deutschland geringe Berücksichtigung. Dies wirft die Frage möglicher Ursachen auf.

In einer in Großbritannien von SOURANI UND SOHAIL (2011) durchgeführten Erhebung führen die Autoren Hürden bei der öffentlichen Vergabe nachhaltiger Bauleistungen auf. Diese lassen

sich, wie im rechten Teil der Tabelle 2 gezeigt, zu vier korrelierenden Arbeitsfeldern zusammenfassen. Nach der Einschätzung der Befragten fehlen Perspektiven und Handlungsanweisungen. Zudem herrscht Misstrauen, weshalb eine Anpassung der Ressourcen, die zur Zielerreichung notwendig sind, ausbleibt. BUTLER UND KEAVENEY (2014) kommen, in einer in Irland durchgeführten Studie zur Vergabe öffentlicher Bauleistung, zu einem vergleichbaren Ergebnis.

Tabelle 2: Hürden bei der Vergabe nachhaltiger Bauleistungen, Hürden nach SOURANI UND SOHAIL (2011), eigene Erweiterung der Arbeitsfelder

| Hürden | Arbeitsfelder |
|--|----------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • finanzielle Engpässe öffentlicher Bedarfsträger • wenig Zeit zur Berücksichtigung strategischer Ziele | Ressourcen |
| <ul style="list-style-type: none"> • fehlendes Bewusstsein und Engagement • subjektive Wahrnehmung, dass Nachhaltigkeit stets mit höheren Investitionskosten einhergeht • Unbestimmtheit bzw. divergierende Interpretationsmöglichkeiten • Widerstand gegen Veränderungen • unzureichende Einführung in die Bauwirtschaft | Misstrauen |
| <ul style="list-style-type: none"> • Fehlen zuverlässiger Richtlinien und Vorschriften • unzureichende bzw. widersprüchliche Arbeitsmethoden | Handlungsanweisungen |
| <ul style="list-style-type: none"> • Fehlen langfristiger Perspektiven, keine Anreize • unzureichende Forschung und Entwicklung | Perspektiven |

Auch in einer Studie der Europäischen Union (FORAY ET AL. 2011) über die Berücksichtigung von Zuschlagskriterien mit dem Fokus auf Umweltschutzmaßnahmen und der Innovationsförderung zeigt sich, dass strategische Kriterien nur selten abgefragt werden. Kommt es zur Ausschreibung, beeinflussen sie zudem nur selten die Wertung, wie VARNÄS ET AL. (2009) betonen.

EßIG ET AL. (2014) zeigen Hindernisse für eine erfolgreiche Förderung strategischer Ziele bei der öffentlichen Beschaffung in Deutschland auf. Die Autoren nennen Ursachen, ohne jedoch einen spezifischen Bezug zu Bauleistungen herzustellen. Als solche Ursachen führen sie an:

- Nichtberücksichtigung von Lebenszykluskosten und innovationsorientierten Zielen
- zu spezifische und nicht funktionale Leistungsbeschreibungen (bei Bauaufträgen ist in diesem Zusammenhang jedoch auf die Einschränkung zur Anwendung funktionaler Leistungsbeschreibungen gem. § 7c EU Abs. 1 VOB/A hinzuweisen)
- Nichtzulassung von Nebenangeboten
- zu wenig Zeit für die Berücksichtigung bei der Planung und Ausschreibung
- Fehlen geeigneter Hilfsmittel und Instrumente

Neben den in den Studien evaluierten Hürden sind auch methodische Mängel und rechtliche Unsicherheiten bei der Wertung der Ziele im Rahmen der Angebotsprüfung zu nennen (KRAUS

UND BRONNEN 2017; BARTSCH UND VON GEHLEN 2015). Die Formulierung von Zuschlagskriterien zur Indikation des Zielerreichungsgrads und Methoden zur Wertung der Angebote, bei denen die Rechtssicherheit gemäß der aktuellen Rechtsprechung ungeklärt ist (KRAUS UND BRONNER 2017), führen dazu, dass strategische Ziele nur selten abgefragt werden. Die Problemstellungen im Vergaberecht werden detailliert in den Kapiteln 3.2.4, 3.2.5 und 3.4 ausgeführt.

2.3 Abgrenzung der Begriffe Beschaffung und Vergabe

Um eine eindeutige Zuordnung der Forschungsarbeit sicherzustellen, werden die Begriffe „Beschaffung“ und „Vergabe“ voneinander abgegrenzt. Die allgemeine Definition eines Beschaffungsprozesses nach EßIG (2008) kann für den speziellen Beschaffungsgegenstand einer öffentlichen Bauleistung in das in Abbildung 3 dargestellte Schema überführt werden. Die Beschaffung entspricht demnach der Zeitspanne von der Bedarfsfeststellung bis zur Zahlung der Schlussrechnung durch den Auftraggeber und schließt somit die Leistungsphasen (Lph) 1 bis 8 der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) ein. Die wesentlichen Aufgaben beginnen mit der Formulierung des Bedarfs durch den Auftraggeber und reichen bis zur Abwicklung und Prüfung der erbrachten Leistungen des Auftragnehmers. Der hier abgebildete Prozess und die zugeordneten Aufgaben beziehen sich auf Bauleistungen, denen eine vollständig vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Ausführungsplanung vorausgeht. In der Folge ergeben sich die Unternehmereinsatzformen der Einzelvergaben (fachlosweise Vergabe) mit gewerkespezifischen Leistungsbeschreibungen oder eines „Generalunternehmers-Ausführung“ (RACKY 2009), die bei öffentlichen Bauleistungen häufig angewendet werden.

Als Vergabe im engeren Sinne (i.e.S.) werden bei Bauleistungen die Lph 6 und 7 der HOAI bezeichnet. Hier erfolgt die Erstellung und Veröffentlichung der Vergabeunterlagen und im Anschluss die Prüfung der Angebote mit der Zuschlagserteilung durch den Auftraggeber. Diese Leistungsphasen bilden den Übergang von der Planungs- in die Ausführungsphase. In den benannten Unternehmereinsatzformen tritt der Auftragnehmer zunächst als Bieter in den Beschaffungsprozess ein. Durch die Abgabe eines Angebots zeigt der Bieter sein Interesse an der Ausführung der ausgeschriebenen Leistung an.

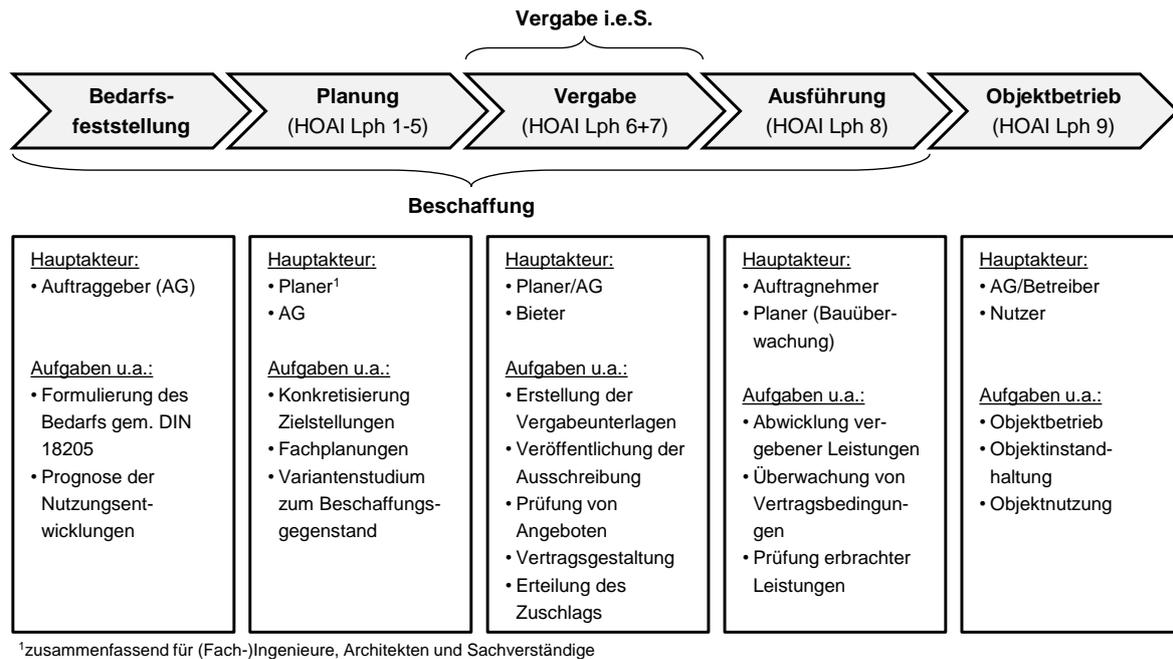


Abbildung 3: Abgrenzung der Begriffe Beschaffung und Vergabe mit Hauptakteuren und Aufgaben

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wird der Prozess der Beschaffung einer öffentlichen Bauleistung eingegrenzt, indem nur die Vergabe i.e.S. und hier die Wertung eingereicherter Angebote betrachtet wird. Bei der Vergabe zeigen Zuschlagskriterien an, in welchem Ausmaß ein Bieter, als Bewerber um die Ausführung der Bauleistung, die Zielstellung umsetzt. Diese Kriterien können daher als Indikatoren der strategischen Ziele im Rahmen der Vergabe bezeichnet werden. Es ergibt sich die Leitfrage, welche Akteure für die Definition und die Gewährleistung der Zielerreichung verantwortlich sind.

2.4 Akteure und Handlungsebenen

Ähnlich wie bei der Entwicklung einer Unternehmensstrategie werden strategische Ziele der öffentlichen Hand auf den höchsten politischen Entscheidungsebenen festgelegt. Dies sind in Deutschland z. B. bundes- und landespolitische Behörden, wie Ministerien und Ämter. Sie werden nach EßIG ET AL. (2014) als „strategische Entscheider“ bezeichnet. Der finanzielle Anreiz, den ein Bieter durch die Möglichkeit des Auftragsgewinns erfährt, birgt Potenzial, um eine Beeinflussung des Leistungsangebots hinsichtlich strategischer Aspekte im Rahmen der Vergabe herbeizuführen (BARTH ET AL. 2005). In Art. 18 Abs. 2 Richtlinie (RL) 2014/24/EU wird eine umwelt-, sozial- und arbeitsrechtlich objektive Auftragsvergabe gefordert. Die Umsetzung dieser Vorgabe obliegt dem Auftraggeber der Bauleistung, dem „operativen Beschaffer“. Für die Förderung strategischer Ziele tragen auftraggeberseitig daher insbesondere die folgenden Akteure Sorge (EßIG ET AL. 2014):

- Der strategische Entscheider übernimmt die Formulierung der strategischen Ziele.
- Der operative Beschaffer stellt die ziel- und bedarfsorientierte Planung und Vergabe sicher.

GRALLA (2011) führt in diesem Zusammenhang aus, dass die Beauftragung von Bauleistungen öffentlicher Auftraggeber in Deutschland dezentral organisiert ist. Der gesamte Beschaffungsprozess wird von den Bedarfsträgern eigenverantwortlich abgewickelt, weshalb es eine große Zahl an operativen Beschaffern gibt. Damit die Umsetzung der politischen Strategie durch die operativen Beschaffer³ gelingt, müssen im Rahmen der Planung einer Bauleistung verschiedene Kompetenzen gebündelt werden. So ist vertieftes Fachwissen zu Bauprozessen und -produkten, als auch zum Vergaberecht erforderlich. Diese Kompetenzen besitzt der Auftraggeber i.d.R. nicht selbst, weshalb er von (Fach-)Ingenieuren, Architekten und Sachverständigen unterstützt wird. Diese Akteure werden zusammenfassend als Planer bezeichnet. Sie erstellen ein bedarfsorientiertes Objektkonzept, das die formulierten strategischen Ziele einbindet.

Die Chance des Auftraggewinns stellt für den Bieter einen Anreiz dar, Bauprozesse mit besonders positiven Eigenschaften hinsichtlich der strategischen Ziele (bspw. sehr geringer Energieverbrauch, möglichst kurze Ausführungszeit etc.) anzubieten. Der bedarfs- und zielorientierte Einkauf eines Bieters bei Zulieferern und Händlern ist, neben der zielorientierten Bauausführung, ein wichtiger Baustein zur Förderung der Ziele. Erfolgt die Abfrage strategischer Ziele in der Ausschreibung nicht punktuell durch wenige, sondern flächendeckend durch eine große Anzahl der öffentlichen Auftraggeber, ist die Entwicklung von Bauleistungen und -produkten, die im Einklang mit den strategischen Zielen stehen, für Bieter und Zulieferer finanziell lohnenswert. Es entwickelt sich ein marktorientiertes Produkt- und Prozessangebot, wenn öffentliche Auftraggeber entsprechende Anreize schaffen (TESTA ET AL. 2012; BRATT ET AL. 2013; OSEBOLD ET AL. 2015). Auch BLÄTTEL-MINK (2001) kommt, losgelöst von Bauprozessen und -produkten, zu der Schlussfolgerung, dass Investitionen nur dann vorgenommen werden, wenn sie zu einer Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit führen. Die Vergabe öffentlicher Bauaufträge kann somit zu einer Beeinflussung der Entwicklungstätigkeit seitens der Bieter führen, wie in Abbildung 4 aufgezeigt. Innerhalb definierter rechtlicher Rahmenbedingungen sind daher Zuschlagskriterien vom Auftraggeber zu formulieren, um einen strategischen Gewinn im Rahmen der Vergabe einer öffentlichen Bauleistung zu generieren.

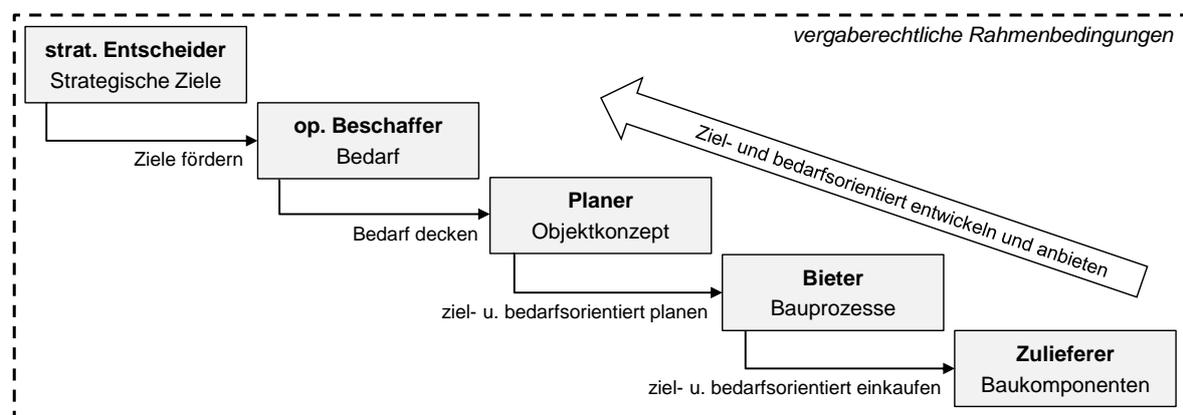


Abbildung 4: Stufenkonzept zur Förderung strategischer Ziele

³ i.S.d Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) i.F. auch als „Auftraggeber“ bezeichnet

2.5 Ableitung des Handlungsbedarfs

Um strategische Ziele in die Ausschreibung und Vergabe von Bauaufträgen zu integrieren, müssen sie frühzeitig definiert und konsequent entlang der in Abbildung 4 gezeigten Wertschöpfungskette vom Auftraggeber bis zum Zulieferer eingefordert werden. Gleichmaßen wie die Vorgaben zu operativen Zielen, müssen die strategischen Ziele bereits ab der Bedarfplanung benannt werden, da sich hieraus die Planung und Vergabe mit Leistungsbeschreibung, Eignungs- und Zuschlagskriterien sowie Vertragsbedingungen (vgl. Kap. 3.2.2 bis 3.2.6) ergibt. Um die Ausarbeitung von Bauprozessen und -produkten mit positiven Eigenschaften hinsichtlich der strategischen Ziele zu fördern, sind diese Aspekte wettbewerbswirksam vom Auftraggeber einzufordern. Ihre Umsetzung während der Ausführung ist zudem durch Vertreter seitens des Auftraggebers zu kontrollieren. Werden neben dem Preis keine weiteren Zuschlagskriterien benannt, so wird Bietern und Zulieferern kein Anreiz geboten, eine zunächst ggf. kostenintensive Entwicklung zu veranlassen (BRATT ET AL. 2013). Somit ist die Formulierung bewertbarer und kontrollierbarer Kriterien, die einen volkswirtschaftlich relevanten Nutzen stiften, erforderlich. Das Ziel dieser Arbeit besteht nicht in der Formulierung konkreter, neuer Zuschlagskriterien. In Kap. 3.2.4 werden aber einige in der Literatur beschriebene strategische Kriterien sowie Maßnahmen für die Sicherstellung der Einhaltung der angebotenen Kriterienwerte benannt.

Grundsätzlich resultiert aus der Berücksichtigung strategischer Kriterien eine Erweiterung der eindimensionalen Wertung (Niedrigpreisvergabe) zu einem multidimensionalen Wertungsprozess (wirtschaftliche Vergabe). Auftraggeberseitig ergibt sich der folgende Handlungsbedarf im Rahmen der Vergabe öffentlicher Bauleistungen:

- Konkretisierung der frühzeitig definierten strategischen Ziele für die Ausführungsphase (bspw. Reduzierung von CO₂-Emissionen durch den Einsatz moderner Baugeräte)
- Sensibilisierung der Akteure in der Wertschöpfungskette hinsichtlich des Nutzens strategischer Ziele im Spannungsfeld mit ggf. erforderlichen Investitionskosten
- Schaffung von Möglichkeiten zur Erfolgsmessung strategischer Ziele

Im Weiteren werden rechtliche Vorgaben zur Vergabe von Bauleistungen aufgezeigt. Die politischen Forderungen aus Kap. 2 sowie die vergaberechtlichen Restriktionen aus Kap. 3 stellen dann weiterführend die Grundlage für die Entwicklung eines Modells zur Wertung wirtschaftlicher Angebote dar.

3 Auftragsvergabe zugunsten des wirtschaftlichsten Angebots

Die Vergabe zugunsten wirtschaftlicher Angebote, die synonym auch als wirtschaftliche Auftragsvergabe bezeichnet werden kann, unterstützt den Vergabeprozess i.e.S., indem die strategischen und operativen Ziele als Zuschlagskriterien definiert werden. Der Aufbau des Kapitels ist in Abbildung 5 gezeigt.

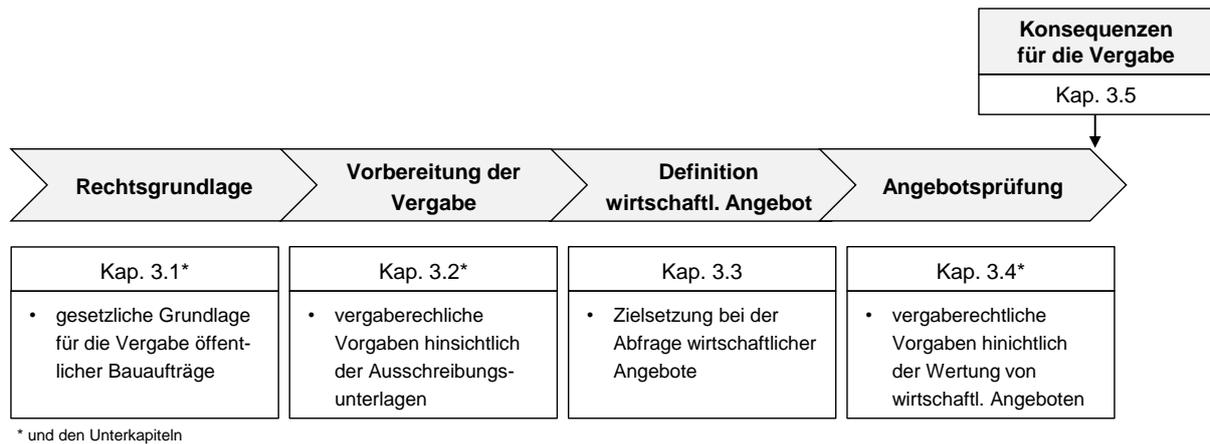


Abbildung 5: Kapitelaufbau als Einführung in das Thema „Auftragsvergabe zugunsten des wirtschaftlichsten Angebots“

3.1 Rechtsgrundlage für die Vergabe öffentlicher Bauaufträge

Der vom Auftraggeber vor der Ausschreibung der Bauleistung geschätzte Auftragswert entscheidet darüber, ob für ein Vergabeverfahren nationale oder europäische Rechtsstandards gelten. Liegt der erwartete Auftragswert oberhalb des EU-Schwellenwertes, sind Rechtsnormen und Vorschriften anzuwenden, die auf supranationalen Richtlinien basieren. Unterhalb des Wertes sind national geltende Rechtsnormen und Vorschriften heranzuziehen.

3.1.1 EU-Schwellenwert und Kaskadenprinzip

Der EU-Schwellenwert gibt die untere Preisgrenze an, ab der für ein Vergabeverfahren das Kartellvergaberecht (§ 97 bis § 184 GWB) anzuwenden ist. Abbildung 6 zeigt die relevanten nationalen Regelungen im Unterschwellenbereich sowie die supranationalen und nationalen Regelungen im Oberschwellenbereich für Bauaufträge. Nach dem Kaskadenprinzip erfolgt im Oberschwellenbereich eine Implementierung oder ein Verweis von den nationalen Gesetzen, Verordnungen und Verwaltungsvorschriften auf die supranationalen, also globalen und europäischen Regelungen. Durch dieses Prinzip erfahren die supranationalen Regelungen eine Legitimation im deutschen Rechtswesen. Die stufenweise Anordnung von Gesetzen, Verordnungen und Verwaltungsvorschriften gewährleistet eine Steigerung des Detaillierungsgrads für spezifische Beschaffungsgegenstände von der Gesetzesebene zur Ebene der Verwaltungsvorschrift.

Der EU-Schwellenwert wird in Art. 4 der europäischen Richtlinie 2014/24/EU genannt. In dem deutschen Gesetz § 106 Abs. 2 Nr. 1 GWB wird auf diesen Artikel in der jeweils geltenden Fassung der Richtlinie, gemäß dem Kaskadenprinzip, verwiesen. Für unterschiedliche Beschaffungsgegenstände bspw. Bauleistungen oder Liefer- und Dienstleistungen sind gem. Art. 4 RL 2014/24/EU verschiedene Schwellenwerte anzuwenden. Eine Einführung in die Vergaberegulungen für Auftragsvergaben oberhalb des EU-Schwellenwerts erfolgt im nachfolgenden Kap. 3.1.2. Für einen Überblick über die Regelungen unterhalb des EU-Schwellenwerts wird auf ZEISS (2016) verwiesen.

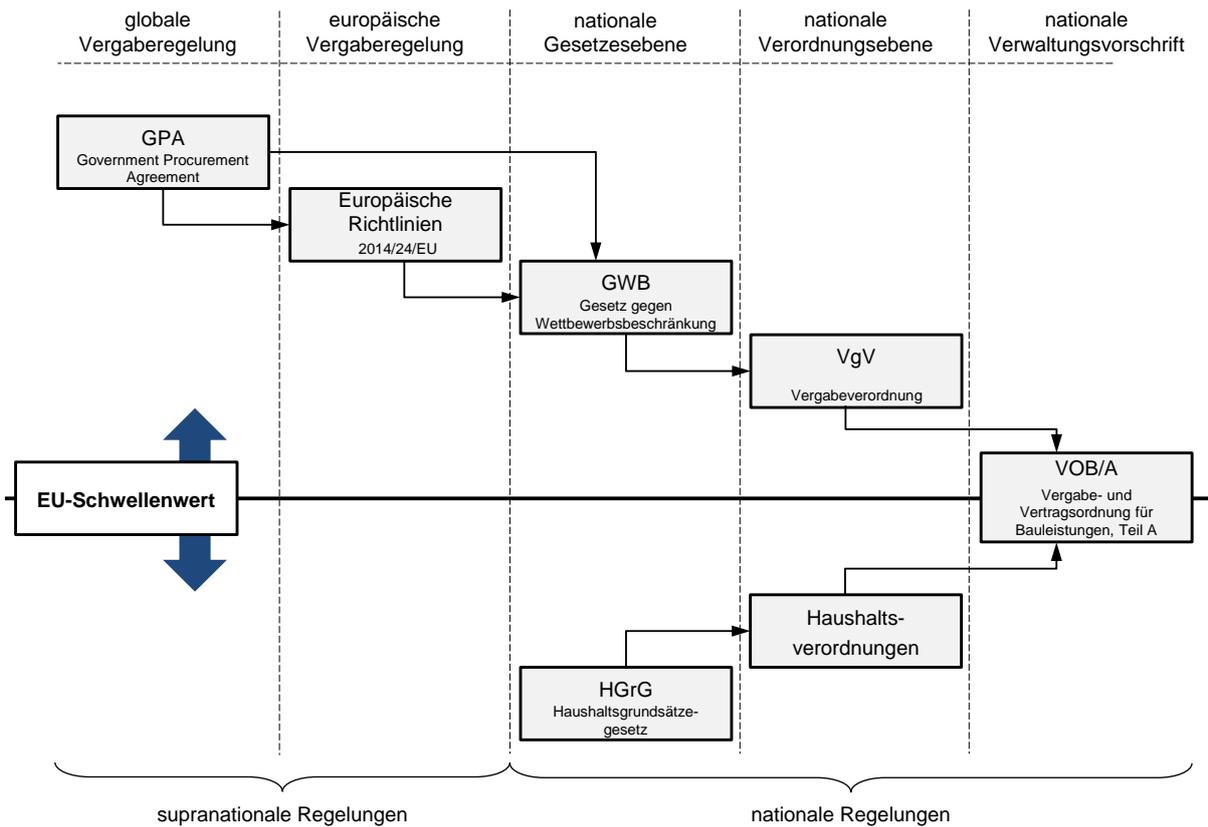


Abbildung 6: Supranationale und nationale Regelungen zur öffentlichen Auftragsvergabe, in Anlehnung an VON DAMM (2004)

Der EU-Schwellenwert für Bauaufträge beträgt in Europa 5 Mio. Einheiten des Sonderziehungsrechts (SZR). Dabei handelt es sich um eine von der Welthandelsorganisation (WTO) künstlich geschaffene Währungseinheit, bestehend aus den Währungen US-Dollar, EURO, YEN, Pfund Sterling und Renminbi (chinesischer Yuan) zu jeweils unterschiedlichen Mengenanteilen. Durch die Umrechnung von SZR in EURO (€) ergibt sich der derzeit gültige Schwellenwert für öffentliche Ausschreibungen in den EU-Staaten von 5,548 Mio. € (Stand: 01.01.2018). Der Eurowert wird alle zwei Jahre durch die Kommission der Europäischen Union an Währungsschwankungen angepasst (FERBER 2012). Der Schwellenwert von 5 Mio. SZR für öffentliche Bauleistungen ist in dem Übereinkommen über das öffentliche Beschaffungswesen (engl. Government Procurement Agreement (GPA)) geregelt. Zurzeit (Stand: Januar

2019) haben sich dem Abkommen 19 Staaten, Staatengemeinschaften bzw. Sonderverwaltungszone⁴ angeschlossen, um Unternehmen internationalen Zugang zu öffentlichen Aufträgen zu sichern. Weitere Staaten führen Beitrittsverhandlungen. Die Europäische Union ist dem GPA am 01. Januar 1996 beigetreten (FERBER 2012).

3.1.2 Rechtsvorschriften für Vergaben oberhalb des EU-Schwellenwerts

Die Grundlage des europäischen Vergaberechts bildet der EG-Gemeinschaftsvertrag, der den „freien Waren- und Dienstleistungsverkehr“, die „Freizügigkeit der Arbeitnehmer“ und das „Diskriminierungsverbot“ benennt. Im Jahr 1971 wurde vom Europäischen Rat die Richtlinie 71/305/EWG über die „Koordinierung der Verfahren zur Vergabe öffentlicher Bauaufträge“ als erste Regelung für europaweite Vergabeverfahren erarbeitet. Aus dieser ursprünglichen Richtlinie sind bis heute diverse Novellierungen hervorgegangen (SCHALK 2007). Gleichmaßen wie die Richtlinie werden auch die Vergabegrundsätze regelmäßig überarbeitet. In der Vorgängerversion der aktuell gültigen Richtlinie 2014/24/EU sind die Vergabegrundsätze „Gleichbehandlung“, „Nichtdiskriminierung“, „Gegenseitige Anerkennung“ sowie „Verhältnismäßigkeit“ und „Transparenz“ genannt. In Art. 18 Abs. 2 RL 2014/24/EU werden sie um einen weiteren Punkt ergänzt. Die „Einhaltung nachhaltiger Aspekte“ in Vergabeprozessen wird in der letzten Novellierung zu einem vergaberechtlichen Grundsatz erklärt. Diese und alle weiteren Veränderungen in den jeweiligen Neufassungen müssen von den Mitgliedstaaten der EU, binnen einer festgelegten Frist, in nationales Recht überführt werden. Gemäß dem Kaskadenprinzip aus Abbildung 6 sind die übergeordneten europäischen und globalen Richtlinien in Deutschland jeweils in die entsprechenden nationalen Regelungen

- Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkung (GWB),
- Vergabeverordnung (VgV),
- Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Teil A, Abschnitt 2 (VOB/A),

eingegangen. Die Überführung der RL 2014/24/EU in nationales Recht ist für Vergabeverfahren oberhalb des EU-Schwellenwerts abgeschlossen und besitzt seit dem 18. April 2016 Gültigkeit. Darüber hinaus existieren teilweise Vergabehandbücher, die aufgrund ihrer Klassifikation als Dokumente mit Empfehlungscharakter nicht in der Abbildung 6 aufgeführt sind. Dem Prinzip der Steigerung des Detaillierungsgrades folgend, könnten z.B. Handbücher, wie das Vergabe- und Vertragshandbuch für Baumaßnahmen des Bundes 2008 (VHB Bund) (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG 2017), auf einer weiteren Ebene unterhalb der VOB/A platziert werden. Unterhalb des EG-Schwellenwertes steht die Entscheidung über eine Anpassung nationaler Rechtsnormen mit dem Ziel der Vereinheitlichung der Rechtstexte noch aus. Gemäß dem Beschluss des Deutschen Vergabe- und Vertragsausschusses für Bauleistungen (DVA) ist „eine neue Gesamtausgabe der VOB [...] derzeit für Mitte 2019 geplant“ (FORUM VERGABE E.V. 2018).

⁴ Armenien, Aruba, Europäische Union, Hong Kong, Island, Israel, Japan, Kanada, Liechtenstein, Moldau, Montenegro, Neuseeland, Norwegen, Schweiz, Singapur, Südkorea, Taiwan, Ukraine, Vereinigte Staaten von Amerika

3.2 Vorbereitung der Vergabe

Die Vorbereitung der Vergabe erfolgt gem. HOAI nach Abschluss der Planung in der Leistungsphase 6. Auf der Grundlage der Planungsergebnisse und Projektzieldefinitionen werden die Ausschreibungsunterlagen erstellt und dem Bieterkreis zugänglich gemacht.

3.2.1 Arten der Vergabe

Als „*Arten der Vergabe*“ (i.F. auch Vergabeart) werden gem. § 3 EU VOB/A verschiedene Ablaufverfahren für Vergabeprozesse bezeichnet. Im Oberschwellenbereich wird zwischen fünf Verfahren unterschieden. Die neueste Art der Vergabe ist die Innovationspartnerschaft, die erstmals in der Richtlinie 2014/24/EU beschrieben wird. Die Vergabearten für supranationale Ausschreibungen lauten:

- offenes Verfahren (§ 3 EU Nr. 1 VOB/A)
- nicht offenes Verfahren (§ 3 EU Nr. 2 VOB/A)
- Verhandlungsverfahren (§ 3 EU Nr. 3 VOB/A)
- wettbewerblicher Dialog (§ 3 EU Nr. 4 VOB/A)
- Innovationspartnerschaft (§ 3 EU Nr. 5 VOB/A)

Nach der Einführung der Richtlinie 2014/24/EU haben sich wesentliche Änderungen zu den vormals gültigen Regelungen ergeben. War das offene Verfahren bis zur Reform jene Vergabeart, die Vorrang vor allen anderen Verfahren besaß, ist die Anwendung des nicht offenen Verfahrens nun gleichberechtigt. Gem. § 3a EU Abs. 1 VOB/A stehen „*dem öffentlichen Auftraggeber [...] nach seiner Wahl das offene und das nicht offene Verfahren zur Verfügung*“. Bei dem nicht offenen Verfahren kann der Auftraggeber gem. § 3b EU Abs. 3 Nr. 1 VOB/A eine „*unbeschränkte Anzahl von Unternehmen öffentlich zur Abgabe von Teilnahmeanträgen*“ anfragen. Gem. § 52 VgV antworten die angefragten Unternehmen mit einer „*Interessensbestätigung*“ und erstellen dann ein Angebot für die ausgeschriebene Leistung. Nach einer Eignungsprüfung, für die im Vorfeld entsprechende Eignungskriterien (vgl. Kap. 3.2.3) definiert und öffentlich bekannt gemacht werden, kann der Auftraggeber „*eine beschränkte Anzahl von Unternehmen [zur Angebotsabgabe] auswählen*“. Hierzu sind aus dem Bewerberfeld mindestens fünf Bieter zur Angebotsabgabe aufzufordern.

Weitere Vergabearten, an die höhere Anwendungsvoraussetzungen als an das offene und an das nicht offene Verfahren gestellt werden, sind das Verhandlungsverfahren, der wettbewerbliche Dialog und die Innovationspartnerschaft. Das Verhandlungsverfahren und der wettbewerbliche Dialog können nur angewendet werden, wenn mindestens ein Kriterium gem. § 3a EU Abs. 2 VOB/A erfüllt ist:

- „*Die Bedürfnisse des öffentlichen Auftraggebers können nicht ohne die Anpassung bereits verfügbarer Lösungen erfüllt werden.*“
- „*Der Auftrag umfasst konzeptionelle oder innovative Lösungen.*“
- „*Auftrag kann aufgrund [...] der Art, der Komplexität oder dem rechtlichen oder finan-*

ziellen Rahmen oder den damit einhergehenden Risiken [...], nicht ohne vorherige Verhandlungen vergeben werden.“

- *„Technische Spezifikationen können vom öffentlichen Auftraggeber nicht mit ausreichender Genauigkeit [...] erstellt werden.“*

Die Verfahren sind somit nur bei komplexeren Bauleistungen anwendbar. Bei den Verfahren kommuniziert der Auftraggeber in mehreren aufeinander folgenden Phasen mit Bietern über die erarbeiteten Lösungsansätze für die Bauleistung. Durch diesen Prozess werden die potenziellen Auftragnehmer in die Planungsphase integriert. Gem. § 3b EU Abs. 3 Nr. 8 und Abs. 4 Nr. 5 VOB/A *„kann die Zahl der zu erörternden Lösungen anhand der vorgegebenen Zuschlagskriterien verringert werden“*. Bei diesen Vergabearten müssen gem. § 3b EU Abs. 3 Nr. 8 VOB/A *„noch so viele Angebote vorliegen, dass ein echter Wettbewerb gewährleistet ist“*. Die EUROPÄISCHE KOMMISSION (2018) führt hierzu weiter aus, dass geeignete Vergabekriterien in Bezug auf die Qualität und weitere nicht-monetäre Aspekte notwendige Elemente für die Beschaffung innovativer Leistungen bzw. Produkte sind. Für einen weiterführenden Vergleich zwischen dem Verhandlungsverfahren und dem wettbewerblichen Dialog wird auf TRIEB (2009) und ECKARDT (2010) verwiesen.

Derart umfangreich benannte Anforderungen werden an die Innovationspartnerschaft nicht gestellt. Die Hürde zur Anwendung liegt dennoch höher als bei dem Verhandlungsverfahren und dem wettbewerblichen Dialog. Die Vergabeart darf gem. § 3a EU Abs. 5 VOB/A nur dann zur Anwendung kommen, wenn *„der Beschaffungsbedarf [...] nicht durch auf dem Markt bereits verfügbare Bauleistungen befriedigt werden“* kann. Es muss sich also um den Erwerb einer nicht existenten, innovativen Leistung handeln. Die Anzahl an Auftragsgegenständen, die diese Anforderung erfüllen, ist gering. Gem. § 3a EU Abs. 5 Nr. 6 VOB/A ist *„eine Erteilung des Zuschlags allein auf der Grundlage des niedrigsten Preises oder der niedrigsten Kosten [...] ausgeschlossen.“*

3.2.2 Leistungsbeschreibung

Die VOB/A nennt zwei Varianten, die dem Auftraggeber für die Beschreibung der auszuführenden Leistungen zur Verfügung stehen:

- Leistungsbeschreibung mit Leistungsverzeichnis (§ 7b EU VOB/A)
- Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm (§ 7c EU VOB/A)

Dem Auftraggeber wird gem. § 7b EU Abs. 1 VOB/A auferlegt, die zu leistende Bauaufgabe mithilfe eines *„in Teilleistungen gegliederten Leistungsverzeichnisses“* auszuschreiben. Die Vergabe auf der Grundlage eines Leistungsprogramms darf hingegen nur erfolgen, wenn dies gem. § 7c EU Abs. 1 VOB/A *„nach Abwägung aller Umstände zweckmäßig ist“*. Durch das Leistungsverzeichnis wird gem. § 7c EU Abs. 1 VOB/A vermieden, den *„Entwurf für eine Leistung dem Wettbewerb zu unterstellen“*. Sollte eine Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm zur Anwendung kommen, sind gemäß dem Beschluss des OLG Düsseldorf neben dem Preis weitere Zuschlagskriterien zur Vergabe heranzuziehen (OLG Düsseldorf, B. v. 11.12.2013 - VII-Verg 22/13). Der Beschluss wird durch mögliche qualitative oder bauzeitliche

Leistungsunterschiede begründet. MALKWITZ ET AL. (2009) nennen als Nachteil der Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm gegenüber Ausschreibungen mit Leistungsverzeichnis, dass für den potenziellen Auftragnehmer ein deutlich höherer zeitlicher und finanzieller Aufwand entsteht. Dies geht mit monetären Verlusten einher, wenn der Zuschlag nicht erteilt wird (MALKWITZ ET AL. 2009). Gem. § 8b EU VOB/A ist für den Mehraufwand zur Erstellung von „Entwürfen, Plänen, Zeichnungen, statischen Berechnungen, Mengenberechnungen oder anderen Unterlagen“ eine „angemessene Entschädigung“ in der Ausschreibung festzulegen.

Zu den Leistungsmerkmalen, die ein öffentlicher Auftraggeber formulieren muss, zählen gem. § 31 Abs. 3 VgV auch „umweltbezogene Aspekte“. Angaben, bspw. zum Energieverbrauch elektrischer Anlagen, können in unterschiedlichen Leistungspositionen abgefragt werden, um Folgekosten im Rahmen einer Lebenszykluskostenrechnung zu ermitteln. Angaben zu dem Reinigungsaufwand, der Instandhaltungsintensität oder der Recyclingfähigkeit von Bauteilen und Baustoffen können gleichermaßen wie Energiekosten in die Lebenszykluskostenrechnung bei Bauauftragsvergaben einfließen. Hierzu sind belastbare Kosten- und Nutzungsdauerangaben zur Leistungsermittlung abzufragen. Mit der Richtlinie 4703 „Facility Management - Lebenszyklusorientierte Ausschreibung“ vom VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2015) (VDI) existiert eine Norm, die den Lebenszyklusansatz für die Vergabe standardisiert.

Bei der Beschreibung des Vergabegegenstands unterliegt der öffentliche Auftraggeber nur wenigen rechtlichen Einschränkungen. AMELUNG (2013) stellt fest, dass diese Freiheit im Oberschwellenbereich seit 2011 dahingehend eingeschränkt wird, dass über die VOB hinaus die Vorgaben aus § 67 VgV und § 45 Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) beachtet werden müssen.

- § 67 VgV regelt die Vergabe energieverbrauchsrelevanter Waren, technischer Geräte oder Ausrüstungen. In § 67 Abs. 2 VgV wird angeführt, dass vom Auftraggeber in der Leistungsbeschreibung „das höchste Leistungsniveau an Energieeffizienz“ oder „die höchste Energieeffizienzklasse“ einzufordern ist. ZEISS (2011) führt hierzu aus, dass diese Vorgaben nur für „wesentliche Bestandteile der Bauleistung“ gelten. Baumaschinen und Baufahrzeuge sind somit von der Regelung ausgeschlossen. Als energieverbrauchsrelevante Waren gelten nach der Energieverbrauchskennzeichnungsrichtlinie von 2010 nicht nur elektronische Geräte, sondern ebenfalls Produkte, die den Energieverbrauch durch ihre Eigenschaften beeinflussen. Auch eine energetische Bewertung von z.B. Dämmstoffen oder Verglasung ist somit erforderlich, um die Vorgabe zu erfüllen (FRANKE UND WALLICZEK 2015).
- § 45 KrWG benennt die Prüfpflicht für Bundesbehörden und die der Aufsicht des Bundes unterstehenden juristischen Personen des öffentlichen Rechts bei der Vergabe von „Material und Gebrauchsgütern bei Bauvorhaben“. Gem. § 45 Abs. 1 KrWG ist zu prüfen, ob Erzeugnisse eingesetzt werden können, „die sich durch Langlebigkeit, Reparaturfreundlichkeit und Wiederverwendbarkeit oder Verwertbarkeit auszeichnen“.

Diese Vorschriften unterstützen die in Tabelle 1 genannten strategischen Ziele zum Umweltschutz (bspw. „Energiewende“) sowie das operative Ziel der Wirtschaftlichkeit. AMELUNG (2013) weist darauf hin, dass alle angebotenen Leistungen nach Angebotsabgabe zu Vertragsbestandteilen werden. Dies gilt somit auch für die strategischen Aspekte der angebotenen

Leistung.

Die Vergabe von Leistungen mit besonderen strategischen Merkmalen erfordert eine erschöpfende Beschreibung innerhalb der Leistungsbeschreibung bzw. der jeweiligen Leistungsposition. Einzufordernde Nachweise, wie z.B. zu Aspekten des Umweltschutzes, können neben messbaren Angaben wie dem Energieverbrauch auch über produktspezifische Gütesiegel wie dem „Blauen Engel“ belegt werden. Auf die namentliche Nennung von Gütezeichen sollte jedoch verzichtet werden, um das Diskriminierungsverbot zu wahren, wie der Europäische Gerichtshof (EuGH) in seinem Urteil feststellt (EuGH, U. v. 10.05.2012 - C-368/10). Alternativ ist die Beschreibung mit dem Zusatz „oder gleichwertig“ zu versehen.

3.2.3 Eignungskriterien

Vor der Angebotswertung⁵ auf Grundlage der Zuschlagskriterien ist gem. § 16b EU VOB/A mithilfe von Eignungskriterien festzustellen, ob ein Bieter die notwendige fachliche Kompetenz zur Durchführung der ausgeschriebenen Leistungen besitzt. Eignungskriterien beziehen sich demnach nicht auf die Bauaufgabe an sich, sondern auf die Leistungsfähigkeit eines potenziellen Auftragnehmers (SOLBACH UND BODE 2015). Eine Vermischung von Zuschlags- und Eignungskriterien ist grundsätzlich unzulässig, wie der EuGH 2009 in einem Urteil festlegt. Für Eignungskriterien wird vorgegeben, dass sie „mit der Beurteilung der fachlichen Eignung der Bieter für die Ausführung des betreffenden Auftrags zusammenhängen“ müssen (EuGH, U. v. 12.11.2009 - C 199/07). Gem. § 6 EU Abs. 1 VOB/A können öffentliche Aufträge u.a. nur an „fachkundige und leistungsfähige (geeignete) Unternehmen“ vergeben werden. Für die Überprüfung der Eignung eines Unternehmens wird in § 6 EU Abs. 2 VOB/A aufgeführt, dass durch die Abfrage festzustellen ist, ob ein Bieter nachfolgende Fähigkeiten besitzt:

- „Befähigung und Erlaubnis zur Berufsausübung“
- „wirtschaftliche und finanzielle Leistungsfähigkeit“
- „technische und berufliche Leistungsfähigkeit“

Hierzu sind die Eignungskriterien unmissverständlich vom Auftraggeber zu formulieren. Für Bauleistungen kann zur technischen Leistungsfähigkeit beispielsweise die „Anzahl an Referenzen“ oder die „Beschreibung des Personalkonzepts“ (SOLBACH UND BODE 2015) gefordert werden. Auch der Nachweis über die Leistungsfähigkeit zur Einhaltung strategischer Ziele kann bewertet werden. Handelt es sich bei der zu beauftragenden Bauleistung um ein Objekt

⁵ Die Begriffe „Bewertung“ und „Wertung“ werden für die weitere Arbeit voneinander abgegrenzt. Eine Bewertung kennzeichnet sich durch den Vergleich von Angaben mit einem Bewertungsmaßstab (Kosten, Punkte etc.). Der Begriff der Wertung wird im Zusammenhang mit der Ableitung einer Entscheidung verwendet. Für die wirtschaftliche Vergabe wird daher im Folgenden von der Wertung von Angeboten und von der Bewertung einzelner Eignungs- und Zuschlagskriterien gesprochen. Die Inhalte einiger Literaturquellen, auf die im Rahmen dieser Arbeit verwiesen wird, können von dieser Abgrenzung abweichen.

mit hohen Nachhaltigkeitsanforderungen, verbunden mit einer Zertifizierung (bspw. BNB⁶, LEED⁷, BREEAM⁸ o.ä.), kann die technische Leistungsfähigkeit eines Bieters in Bezug auf diesen Sachverhalt ebenfalls anhand von Referenzen abgefragt werden.

Alle Eignungskriterien sind in die Ausschreibungsunterlagen aufzunehmen. Bei der Bewertung gilt im Sinne der Marktzugänglichkeit der Grundsatz „*kein Mehr an Eignung*“ (EuGH, U. v. 24.01.2008 - RS C-532/06). Um auch klein- und mittelständischen Unternehmen den Zugang zu öffentlichen Aufträgen zu ermöglichen, darf die Bewertung nicht derart erfolgen, dass etwa ein Bieter mit fünf Referenzprojekten in einem Kriterium besser bewertet wird als ein Wettbewerber mit drei Referenzobjekten. ORTNER (2014) konkretisiert, dass ausschließlich die Einhaltung einer Mindestvorgabe (bspw. mindestens zwei Referenzobjekte) erforderlich ist, wie es auch in Abbildung 7 dargestellt wird.

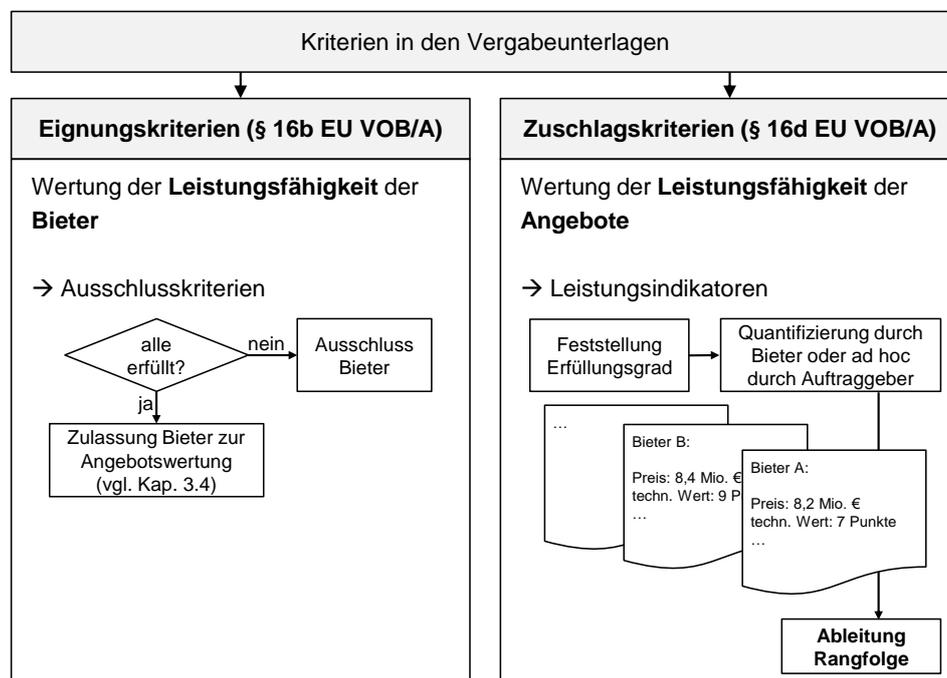


Abbildung 7: Unterscheidung von Eignungs- und Zuschlagskriterien

Neben den Eignungskriterien mit Bezug zu strategischen Zielen sind formale Ausschlussgründe eines Bieters zu prüfen. Hierzu wird in Art. 59 RL 2014/24/EU die Einheitliche Europäische Eigenerklärung eingeführt, die in § 6b EU Abs. 2 VOB/A übertragen worden ist. Dabei handelt es sich um einen standardisierten Nachweis, der die vorläufige Eignung im offenen Vergabeverfahren anzeigt und den Aufwand des Bieters bei der Zusammenstellung der Angebotsunterlagen reduzieren soll. Beim nicht offenen Verfahren, beim Verhandlungsverfahren, beim wettbewerblichen Dialog und bei der Innovationspartnerschaft ist gem. § 6b EU Abs. 2 Nr. 3 VOB/A die „*Eigenerklärung durch einschlägige Nachweise unverzüglich zu belegen*“. Da

⁶ „Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen“ des BUNDESMINISTERIUM DES INNERN, FÜR BAU UND HEIMAT (2019)

⁷ „Leadership in Energy and Environmental Design“ des U.S. GREEN BUILDING COUNCIL (2019)

⁸ „Building Research Establishment Environmental Assessment Method“ des BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT (2019)

es sich bei Eignungskriterien immer um Ausschlusskriterien handelt, also um Kriterien, deren Erfüllung für die Zulassung zur Angebotsprüfung vorausgesetzt wird, ist kein mathematisches Verfahren für die Wertung erforderlich.

3.2.4 Zuschlagskriterien

Gem. § 97 Abs. 3 GWB können „*Innovationen sowie soziale und umweltbezogene Aspekte*“ berücksichtigt werden, wenn sie gem. § 127 Abs. 3 GWB „*mit dem Auftragsgegenstand in Verbindung stehen*“. Auch gem. § 16d EU Abs. 2 Nr. 1 VOB/A können qualitative, umweltbezogene oder soziale Aspekte „*neben dem Preis oder den Kosten*⁹“ berücksichtigt werden. Hierzu enthält § 16d EU Abs. 2 Nr. 2 VOB/A einige spezifischere Angaben über mögliche Kriterien. Die benannten Zuschlagskriterien sind nicht-monetär und dienen der Abfrage strategischer sowie funktioneller Zielstellungen. In § 16d EU Abs. 2 Nr. 2 VOB/A werden folgende Zuschlagskriterien beispielhaft aufgeführt:

- „*Qualität einschließlich technischer Wert, Ästhetik, Zweckmäßigkeit, Zugänglichkeit, „Design für alle“, soziale, umweltbezogene und innovative Eigenschaften*“
- „*Organisation, Qualifikation und Erfahrung des mit der Ausführung des Auftrags beauftragten Personals [...]*“
- „*Kundendienst und technische Hilfe sowie Ausführungsfrist*“

In § 16d EU Abs. 2 Nr. 2 b) VOB/A wird als Zuschlagskriterium die Bewertung der „*Qualifikation und Erfahrung des mit der Ausführung des Auftrags beauftragten Personals*“ definiert. Hierbei gilt es zu beachten, dass eine Bewertung als Zuschlagskriterium und nicht als Eignungskriterium nur möglich ist, wenn ausschließlich Personal beurteilt wird, das für die konkret auszuführenden Arbeiten vorgesehen ist (KUNDE 2015).

Vom Auftraggeber können andere als die in § 16d EU Abs. 2 Nr. 2 VOB/A genannten Kriterien abgefragt werden, wenn bestimmte Regeln eingehalten werden. Die Kriterien müssen leistungsbezogen und objektiv zur Feststellung des wirtschaftlichsten Angebots nutzbar sein (SOLBACH UND BODE 2015). Das bedeutet, dass sie gemäß § 16d EU Abs. 2 Nr. 2 VOB/A „*im sachlichen Zusammenhang mit dem Auftragsgegenstand stehen und sich aus der Leistungsbeschreibung ergeben*“. Dieser Zusammenhang kann sich nach § 16d EU Abs. 2 Nr. 2 VOB/A auch auf den Herstellprozess beziehen, „*auch wenn derartige Faktoren sich nicht auf die materiellen Eigenschaften des Auftragsgegenstandes auswirken*“. Ergänzende Erläuterungen über die Bewertung der Zuschlagskriterien, z.B. in Form einer Bewertungsmatrix, sind bei Bedarf erforderlich und vom Auftraggeber bekanntzugeben. Damit alle Bieter die Kriterien gleichermaßen verstehen, müssen diese so erschöpfend wie nötig beschrieben werden. Der Bundesgerichtshof (BGH) stellt hierzu fest, dass der erforderliche Rahmen für die Beschreibung der Zuschlagskriterien auf den „*objektiven Empfängerhorizont eines verständigen und mit Leistungen der ausgeschriebenen Art vertrauten Bieters*“ ausgerichtet sein muss (BGH, U. v. 28.02.2002 - VII ZR 376/00).

⁹ entspricht den „*Lebenszykluskosten*“ gem. § 16d EU Abs. 2 Nr. 5 und Nr. 6 VOB/A

Zur Unterstützung des öffentlichen Auftraggebers bei der Formulierung von Zuschlagskriterien existieren verschiedene Dokumente mit Empfehlungscharakter. Für Bundesbaumaßnahmen nennt das VHB Bund in der aktuellsten Lesefassung aus dem Jahr 2017 in Formblatt 227 bspw. die Zuschlagskriterien „Preis“, „*technischer Wert*“, „*Vertragsbedingungen*“, „*Folgekosten*“, „*Energieeffizienz*“ und „*andere, z.B. emissionsarme Baumaschinen*“ (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG 2017). In den Hinweisen zu Formblatt 227 des VHB Bund wird angegeben, dass der Preis immer als Zuschlagskriterium angegeben werden muss. Diese Empfehlung steht im Widerspruch zur gültigen Fassung der VOB/A. Gem. § 16d EU Abs. 2 Nr. 4 VOB/A können auch *„Festpreise oder Festkosten vorgegeben werden, sodass der Wettbewerb nur über die Qualität stattfindet“*.

Für spezifische Gewerke, wie bspw. den Tunnelbau, existieren ebenfalls Leitfäden, die bei der Formulierung von Zuschlagskriterien unterstützen. Durch das AUSTRIAN NATIONAL COMMITTEE OF ITA (2014) (International Tunneling Association) wurde in Österreich ein Kriterienkatalog für das *„Bestbieterprinzip“*, das dem wirtschaftlichen Angebot i.S.d. § 127 Abs. 1 GWB in Deutschland entspricht, erstellt. Die Autoren definieren insgesamt 55 Kriterien, die projektspezifisch anwendbar sind. Auch die Bundesanstalt für Straßenwesen (FIEDLER ET AL. 2016) hat eine Empfehlung zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien zur Vergabe von Elementen der Straßeninfrastruktur erarbeitet. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass sich für die Vergabe derartiger Baumaßnahmen die Zuschlagskriterien *„Bauzeit“*, *„Einsatz energie-, abgas- und lärmreduzierter Baumaschinen“* und *„projektspezifische Qualitätssicherung“* eignen. Grundsätzlich besitzt ein deutscher Auftraggeber auch nach der Einführung der Richtlinie 2014/24/EU in nationales Recht weiterhin die Freiheit, den Angebotspreis als einziges Entscheidungskriterium abzufragen. Anders wurde die Einführung der EU-Richtlinie in Österreich ausgelegt. Hier wird im novellierten Bundesvergabe-gesetz (BVergG) seit 1. März 2016 das Bestbieterprinzip mit mindestens einem weiteren Zuschlagskriterium neben dem Angebotspreis vorgeschrieben. Von der Sozialpartner-Initiative FAIRE VERGABE (2016) wurde daher ein Kriterienkatalog erarbeitet, der bei der Festlegung von Zuschlagskriterien Hilfestellung leistet. Die Auswahl der Kriterien sowie deren Gewichtung obliegt dem Auftraggeber.

Die Bewertung qualitativer Zuschlagskriterien, die z.B. Konzepte zur Bauablaufplanung oder Aspekte des Umweltschutzes abbilden, erfolgt auftraggeberseitig durch eine Bewertungskommission. Sie wird im Folgenden auch als Ad hoc-Bewertung bezeichnet. Mit der Hilfe von Bewertungsmatrizen vergleichen die Kommissionsmitglieder die angebotenen Leistungen mit im Vorfeld definierten Referenzleistungen und bepunkten oder benoten die Leistung aller Bieter. Dabei erbringt nicht die objektive Richtigkeit der Ad hoc-Bewertung Rechtssicherheit, sondern die Nachvollziehbarkeit der Entscheidung (SOLBACH UND BODE 2015). Das OLG Düsseldorf stellt hierzu fest, dass es insbesondere beim Qualitätskriterium von hoher Relevanz sei, dass Bieter nachvollziehen können, wie ein Auftraggeber Qualität bewertet, welche Maßstäbe er also mit einer hohen oder einer geringen Qualität in Verbindung bringt (OLG Düsseldorf, B. v. 19.06.2013 - VII-Verg 8/13). Die Vergabekammer Lüneburg führt weiter aus, dass die Entscheidungen zu den vergebenen Punkten vollumfänglich zu dokumentieren sind (VK Lüneburg, B. v. 03.02.2014 - VgK - 48/2013).

Mit der in § 16d EU Abs. 2 Nr. 5 und Nr. 6 VOB/A aufgeführten Lebenszykluskostenrechnung

wird der Vergabeprozess um die Möglichkeit der Ermittlung von Folgekosten ergänzt. So können Kosten aus der Betriebsphase und am Ende der Nutzungsdauer zur Vergabeentscheidung wettbewerbswirksam abgefragt werden. Folgende Kostenanteile nennt § 16d EU Abs. 2 Nr. 5 VOB/A:

- „Anschaffungskosten“
- „Nutzungskosten“
- „Wartungskosten“
- „Kosten am Ende der Nutzungsdauer“
- „Kosten, die durch die externen Effekte der Umweltbelastung entstehen [...] sofern ihr Geldwert bestimmt und geprüft werden kann“

In § 16d EU Abs. 2 Nr. 5 b) VOB/A) wird in diesem Kontext ein expliziter Zusammenhang zu dem strategischen Ziel der „Reduzierung der CO₂-Emissionen“ benannt. Demnach können Kosten durch externe Effekte der Umweltbelastung berücksichtigt werden, um „die Eindämmung des Klimawandels“ zu unterstützen. Um belastbare Ergebnisse für die Lebenszykluskosten zu erhalten, sind vom Auftraggeber entsprechende Zusatzinformationen in den Ausschreibungsunterlagen anzugeben. Handlungsempfehlungen für die Ausschreibung bietet bspw. die bereits benannte VDI-Richtlinie 4703 (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE 2015). Eine u.a. erforderliche Information ist die Angabe des Betrachtungszeitraums für die Lebenszykluskostenrechnung. Ein akzeptierter Zeitraum von 10 Jahren wird in zwei richterlichen Beschlüssen als zulässig bewertet (VK Düsseldorf, B. v. 13.04.2000 - VK-4/2000-L, OLG Saarbrücken, B. v. 09.11.2005 - Verg 4/05). Um die langfristige Rentabilität von Bauleistungen bewerten zu können, sind aufgrund ggf. hoher Amortisationszeiten längere Zeiträume abzufragen. Durch die Bundesregierung wurde im Jahr 2006 die „Hightech-Strategie“ zur Förderung von Innovationen erarbeitet. In dem daran anknüpfenden Maßnahmenpapier beschreibt das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), dass „eine Abschätzung der zu erwartenden Folgekosten in Hinblick auf die voraussichtliche Lebensdauer als ausreichend angesehen“ wird (BMVBS, 10.01.2008, B 15-O 1082-000/2). Die Umsetzung dieser Strategie wird vom BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (2019) unter dem Titel „Hightech-Strategie 2025“ weiterhin verfolgt. Ein Vergabeprozess mit einer Lebenszykluskostenberechnung unter Berücksichtigung einer 30-jährigen Nutzungsdauer wurde beispielsweise durch die Bundeswehr im Rahmen der Vergabe eines Raketenabwehrsystems erfolgreich abgewickelt, wie EßIG ET AL. (2016) beschreiben. Um die verschiedenen Kostenarten zu Lebenszykluskosten zusammenzufassen, existiert gem. § 16d EU Abs. 2 Nr. 7 VOB/A derzeit noch keine Festlegung zugunsten einer Berechnungsmethode. Für den weiteren Verlauf dieser Arbeit werden Lebenszykluskosten in Anlehnung an VOGT (2013) daher als Summe aller Barwerte der Initial- und Folgekosten verstanden. Für eine umfangreiche Darstellung der Lebenszykluskostenrechnung wird auf VOGT (2013) verwiesen.

Ein wichtiger Aspekt für die Festlegung geeigneter Zuschlagskriterien ist auch die Kontrollierbarkeit während der Bauausführungsphase. Ad hoc bewertete, nicht-monetäre Kriterien, wie z.B. „Beschreibung eines Umweltschutzkonzepts“, „Darstellung einer Projektabwicklungsplanung“ etc., sind durch Vertreter seitens des Auftraggebers gleichermaßen zu überwachen wie quantitative Kriterien. Zu seltene Prüfungen an einigen, im Vorfeld festgelegten Terminen sind

bei nicht-monetären Kriterien zumeist nicht zielführend. Im Vergleich mit Kosten- oder Zeitkriterien erfordert die Kontrolle von Aspekten, die bspw. Eigenschaften von Baustellenprozessen abbilden (z.B. Lärmintensität, Energieverbrauch etc.) etwa häufigere Baustellenbegehungen. Für den Auftragnehmer resultiert zudem i.d.R. ein Mehraufwand für die Dokumentation.

Für den Fall der Nichteinhaltung quantitativer und qualitativer Leistungskriterien sind entsprechende Sanktionen im Bauvertrag zu fixieren. Da der Grund für die Durchführung einer Bauleistung durch ein ausführendes Unternehmen stets der monetäre Gewinn ist, müssen die Vertragsstrafen diesen geldwerten Vorteil des Auftragnehmers in angemessener und verhältnismäßiger Weise abmindern. Für einen zeitlichen Verzug gelten z.B. die Regelungen gem. § 11 VOB/B. Der BGH stellt in einem Urteil fest, dass eine vereinbarte Vertragsstrafe mit einem Anteil von bis zu 5% der Nettoauftragssumme bei Eintreten einer Bauzeitverzögerung rechtmäßig ist (BGH, U. v. 05.11.2015 - VII ZR 43/15). Hinsichtlich anderer nicht-monetärer Leistungen existieren keine derart konkreten Handlungsanweisungen. Die Höhe von Vertragsstrafen für strategische Aspekte sind daher wohl grundsätzlich an die Relevanz des spezifischen Zuschlagskriteriums anzulehnen. Falls Schadensfolgen belastbar monetär taxiert werden können, sind sie zudem ggf. von diesen Werten abzuleiten.

Damit alle Zuschlagskriterien vom Bieter bei der Angebotserstellung berücksichtigt werden können, hat das OLG Düsseldorf im April 2014 entschieden, dass sowohl die Zuschlagskriterien als auch deren Gewichtung „*rechtzeitig vor Ablauf der Angebotsfrist*“ festzulegen und dem Bieterkreis zugänglich zu machen sind (OLG Düsseldorf, B. v. 09.04.2014 - VII-Verg 36/13). Um Rechtssicherheit zu erzielen, müssen daher bereits mit der Veröffentlichung der Ausschreibung alle Kriterien sowie deren Gewichtungen vorliegen. Die Rechtsprechung basiert auf dem Urteil des EuGHs, der 2008 festlegt, dass „*ein öffentlicher Auftraggeber nicht nachträglich Unterkriterien oder Gewichtungskoeffizienten einführen darf, wenn er in der Vergabebekanntmachung oder in den Vergabeunterlagen Zuschlagskriterien angegeben hat*“ (EuGH, U. v. 24.01.2008 – Rs C-532/06).

3.2.5 Gewichtung von Zuschlagskriterien

Die Abfrage mehrerer Zuschlagskriterien erfordert gem. § 127 Abs. 5 GWB „*deren Gewichtung*“. In den Rechtsnormen werden hierzu keine konkreteren Vorgaben angeführt. Bei der Verteilung der Gewichte ist der Auftraggeber daher grundsätzlich frei. Das OLG Düsseldorf spricht dem Auftraggeber für die Gewichtung einen vertretbaren Festlegungsspielraum zu (OLG Düsseldorf, B. v. 21.05.2012 – VII-Verg 3/12). Er muss die Gewichte so wählen, dass sie seine Präferenzen hinsichtlich der festgelegten Kriterien widerspiegeln. Zudem muss die Gewichtung für die Bieter verständlich sein, weshalb die Zuschlagskriterien i.d.R. mit v.H.-Werten (von hundert bzw. synonym Prozentwerten), die in der Summe 100% ergeben, multipliziert werden. Eine andere, seltener verwendete Variante ist die Sortierung der Zuschlagskriterien nach ihrer Relevanz.

In der deutschen Vergabepaxis begrenzen einige Rechtsprechungen den v.H.-Wert, mit dem ein Kriterium gewichtet werden darf. So darf z.B. das Preiskriterium nicht deutlich über- oder untergewichtet werden. Der Vergabesenat des OLG Düsseldorf und darauf aufbauend der

BGH unterstellen in ihrem Beschluss bzw. Urteil, dass eine Gewichtung eines Kriteriums unter 10% einer „Alibifunktion“ gleichkommt (OLG Düsseldorf, B. v. 02.11.2011 – VII-Verg 22/11; BGH, U. v. 07.01.2014 – XZB 15/13). Die Begründung dieser Einschätzung basiert auf dem damals geltenden Recht zur Abfrage von Nebenangeboten. Vor der Vergaberechtsreform im Jahr 2016 war die Abfrage von Nebenangeboten nur möglich, wenn neben dem Preis weitere Zuschlagskriterien definiert wurden (SCHUMM 2014). Das OLG unterstellte dem Auftraggeber kein tatsächliches Interesse an den ausgeschriebenen Kriterien. Der Beschluss bildet einen Präzedenzfall, nachdem Kriterien mindestens in solchem Maße zu gewichten sind, dass sie die Rangfolge des Ergebnisses tatsächlich beeinflussen können. SOLBACH UND BODE (2015) sind der Meinung, dass nicht-monetären Zuschlagskriterien keine Alibifunktion zukommt, wenn die Gewichtung des Preiskriteriums höchstens 85% beträgt. Als Untergrenze nennen sie eine Gewichtung des Preises von 40% als „auf der sicheren Seite“ liegend (SOLBACH UND BODE 2015). Das OLG Dresden legt fest, dass der Preis mindestens zu 30% in die Wertung einfließen muss, um den Wirtschaftlichkeitsgrundsatz zu wahren (OLG Dresden, B. v. 05.01.2001 - Verg 11 u. 12/00). Gleichermaßen unterliegt die Gewichtung ökologischer Kriterien keinen festen Regelungen. Der EuGH erklärte im Jahr 2003 ein Umweltschutzkriterium, das mit 45% gewichtet wurde, für zulässig (EuGH, U. v. 04.12.2003 - C 448/01). Beispiele aus anderen EU-Staaten zeigen, dass auch eine geringere Gewichtung des Preises möglich ist, wenn es der Auftragsgegenstand und die Vergabeart rechtfertigen. So weist ein Beispiel über die Durchführung eines wettbewerblichen Dialogs in Dänemark eine Gewichtung des Preises von 25% auf. Die Leistungsfähigkeit und die Umweltverträglichkeit des Vergabegegenstandes wurden als deutlich höher eingestuft, da der Auftraggeber eine innovative Leistung (neues Beleuchtungskonzept für die Stadt Kopenhagen) beschafft hat (STADT KOPENHAGEN 2012).

3.2.6 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen

In den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen (ZTV), die ergänzend zu den Allgemeinen Vertragsbedingungen aufgestellt werden können, legt der Auftraggeber relevante Mindeststandards für die Ausführung fest. SCHMIDT (2016) nennt für das strategische Ziel Umweltschutz einige Aspekte, die als ZTV vorgegeben werden können:

- lärmende Tätigkeiten und Erschütterungen
- staubende Tätigkeiten
- Abfallaufkommen
- optimierte Transportlogistik

Weiterführend können konkrete Handlungsanweisungen zur Unterstützung strategischer Ziele, wie beispielsweise das Positionieren des Baucontainers als Lärmschutzwand, vorgegeben werden (SCHMIDT 2016).

Mit der Leistungsbeschreibung, den Eignungs- und gewichteten Zuschlagskriterien, den Allgemeinen und den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen sowie ggf. weiteren Planungsdokumenten (Bauwerksmodell, Pläne etc.) liegen alle für die Angebotsbearbeitung erforderlichen Angaben vor. Vor der Veröffentlichung der Ausschreibung ist vom Auftraggeber noch festzulegen, ob Nebenangebote, die in Teilen von der geplanten Leistung abweichen,

zugelassen werden.

3.2.7 Zulässigkeit von Nebenangeboten

Die Einstufung eines Angebots als Nebenangebot ist immer zutreffend, wenn eine leistungsseitige Abweichung von der ausgeschriebenen Leistung vorliegt (technisches Nebenangebot). Bei einer entgeltseitigen Abweichung (bspw. Abrechnung nach anderen Mengeneinheiten) oder einer Abweichung von den vertraglichen Rahmenbedingungen (bspw. Bauzeitveränderung) kann es sich um ein nicht-technisches Nebenangebot handeln (SCHALK 2007). Die Einstufung als Nebenangebot ist im Einzelfall zu prüfen. Um die Gleichwertigkeit von Hauptangeboten und technischen Nebenangeboten bewerten zu können, muss der Auftraggeber in den Vergabeunterlagen gem. § 8 EU Abs. 2 Nr. 3 VOB/A Mindestanforderungen festlegen. Die Zulässigkeit von Nebenangeboten erhöht im Rahmen der Angebotsprüfung den Prüfaufwand, kann jedoch zur Beauftragung wirtschaftlicherer Angebote führen. Die Verantwortung hinsichtlich technischer und finanzieller Risiken während der Ausführung eines sog. Sondervorschlags verbleiben beim Auftragnehmer. Für den Auftraggeber entstehen infolgedessen Risiken hinsichtlich der Einhaltung von Fristen und Qualität, da ggf. wenig erprobte Bauverfahren ausgeführt werden (HEIERMANN ET AL. 2017), wie Abbildung 8 darstellt.

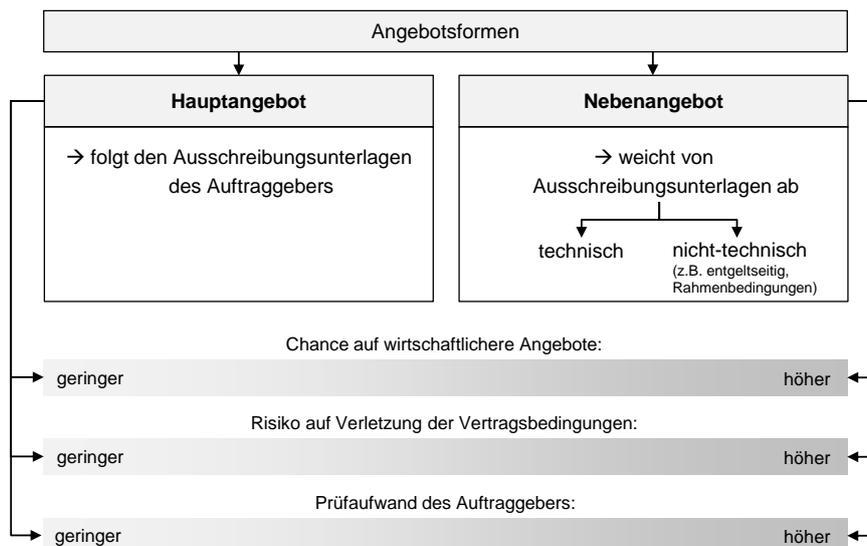


Abbildung 8: Unterscheidung von Haupt- und Nebenangeboten

Der strategische Entscheider fordert die operativen Beschaffer im Rahmen der Hightech-Strategie (BMVBS, 10.01.2008, B 15-O 1082-000/2) dazu auf, Nebenangebote bei öffentlichen Ausschreibungen zuzulassen. Ob der Auftraggeber dieser Aufforderung nachkommt, entscheidet dieser jedoch eigenständig. Um die Zulässigkeit anzuzeigen, sind die Rahmenbedingungen nach der VOB/A einzuhalten. Unterhalb des EU-Schwellenwertes sind Nebenangebote zulässig, wenn sie gem. § 8 Abs. 2 Nr. 3 VOB/A durch den Auftraggeber nicht explizit ausgeschlossen werden. Oberhalb des EU-Schwellenwertes muss der öffentliche Auftraggeber Nebenangebote ausdrücklich zulassen. Gem. § 8 EU, Abs. 2 Nr. 3 VOB/A kann „der öffentliche Auftraggeber [...] Nebenangebote in der Auftragsbekanntmachung oder in der Aufforderung zur Interessensbestätigung zulassen oder vorschreiben. Fehlt eine entsprechende

Angabe, sind keine Nebenangebote zugelassen.“

Die Vorgabe von Mindestanforderungen, die den wettbewerblichen Vergleich mit Hauptangeboten ermöglichen, ist zwingend erforderlich. Durch das Urteil des EuGHs (EuGH, U. v. 16.10.2003 - Rs. C-421/01) wird klargestellt, dass Mindestanforderungen erforderlich sind, wenn Nebenangebote gewertet und zugelassen werden. Für die Vergabepraxis nimmt das Urteil einen signifikanten Stellenwert bei der Angebotswertung ein. Vergisst der Auftraggeber, Mindestanforderungen zu benennen, darf er Nebenangebote nicht werten, auch wenn er deren Zulässigkeit in den allgemeinen Rahmenbedingungen festgelegt hat (SCHALK 2007). Eine Gleichwertigkeitsprüfung, die ausschließlich anhand des Leistungsverzeichnisses ohne definierte Mindestanforderungen erfolgt, ist laut eines BGH-Urteils unzulässig (BGH, B. v. 07.01.2014 - X ZB 15/13). Angebote werden nur zum Wettbewerb zugelassen, wenn die technischen bzw. funktionellen Mindestanforderungen erfüllt sind. Ebenfalls nicht gewertet werden Nebenangebote, bei denen die Leistungsbeschreibung des Bieters unvollständig oder nicht nachvollziehbar ist. WANNINGER (2007) beschreibt einen Fall, bei dem ein Nebenangebot mit einer Bauzeitreduzierung von 25 auf 15 Monate ausgeschlossen wurde, da nicht erkennbar war, wie die zeitliche Ersparnis erreicht werden sollte.

3.3 Definition wirtschaftlichstes Angebot

Für Bauaufträge mit einem geschätzten Auftragswert oberhalb des EU-Schwellenwerts ist der Zuschlag gem. § 127 Abs. 1 GWB auf das „*wirtschaftlichste Angebot*“ zu erteilen. Es weist gemäß dem Rechtstext das „*beste Preis-Leistungs-Verhältnis*“ aller eingereichten Angebote auf. Neben dem Preis sind hierzu weitere Zuschlagskriterien abzufragen, anhand derer die operative und strategische Leistung gemessen wird. Die Fragestellung zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Angeboten beantwortet erstmals das Urteil des Rechtsfalls „*Concordia Bus Finland*“ des EuGHs aus dem Jahr 2002 (EuGH, U. v. 17.09.2002 - C-513/99). Bei dem Vergabeverfahren von Bussen wurde die Stadt Helsinki von einem unterlegenen Bieter angeklagt, nachdem sie als Auftraggeber neben dem Preis die Zuschlagskriterien „*Qualität des Fuhrparks*“ sowie das „*Qualitäts- und Umweltkonzept*“ der Bieter abgefragt und bewertet hat (EuGH, U. v. 17.09.2002 - C-513/99). Dabei wurden die angebotenen Konzepte hinsichtlich der Lärm- und Stickoxidemissionen bewertet. Im Rahmen der Rechtsprechung wurde das Prädikat wirtschaftlich erstmals genauer untersucht (MAIBACH ET AL. 2007). In der Begründung des Urteils wird ausgeführt, dass die Berücksichtigung nicht-monetärer Kriterien grundsätzlich zulässig ist, wenn sich hierdurch ein volkswirtschaftlicher Nutzen einstellt. Die Wirtschaftlichkeit der Vergabe berechnet sich auch über langfristig, begünstigend wirkende Kosteneffekte¹⁰. Der Auftraggeber argumentiert, dass sich durch die Berücksichtigung der strategischen Kriterien Spareffekte im medizinisch-sozialen Bereich einstellen. In der Rechtsprechung bekräftigt das Gericht diese Einschätzung und urteilt, dass Faktoren, die zur Verbesserung der Gesundheit der Bevölkerung beitragen, zu einer Verringerung der Kosten durch Krankheiten führen.

¹⁰ Inzwischen konkret in VOB/A benannt: „*Kosten, die durch die externen Effekte der Umweltbelastung entstehen*“ (§16d EU Abs. 2 Nr. 5b) VOB/A, vgl. Kap. 3.2.4).

Somit müssen Zuschlagskriterien keinen unmittelbaren betriebswirtschaftlichen Vorteil erbringen, sondern können zur Erzielung des volkswirtschaftlichen Nutzens vom öffentlichen Auftraggeber abgefragt werden. Die Definition von Wirtschaftlichkeit des EuGHs, mit dem damit verbundenen Resultat der Zulässigkeit weiterer Zuschlagskriterien neben dem Angebotspreis, besteht bei Vergaben oberhalb des EU-Schwellenwerts seit 2004 (WILHAUS 2015).

3.4 Angebotsprüfung

Die Prüfung der eingereichten Angebote folgt einem vierstufigen Prozess, wobei ein Angebot bzw. der jeweilige Bieter zunächst auf die drei Punkte

- 1. formale Fehler,**
- 2. Eignung des Bieters,**
- 3. unangemessen hoher oder niedriger Preis**

überprüft wird. Hierbei wird vom Auftraggeber geklärt, ob ein Angebot aufgrund inhaltlicher oder formaler Abweichungen von den Vorgaben in § 13 EU VOB/A oder § 16 EU VOB/A zwingend auszuschließen ist. Somit ist u.a. zu prüfen, ob

- Fristen eingehalten wurden,
- Unterlagen und Preisangaben vollständig sind,
- ein ggf. unzulässiges Nebenangebot eingereicht wurde,
- das Angebot an den erforderlichen Stellen unterzeichnet wurde.

Der Gesamtpreis ist rechnerisch, technisch und wirtschaftlich zu überprüfen (SOLBACH UND BODE 2015). Bei der rechnerischen Prüfung ist festzustellen, ob Abweichungen zwischen den Positionspreisen und dem daraus resultierenden Gesamtpreis vorliegen. Eine Anpassung durch den Bieter ist nach der Feststellung fehlerhafter Berechnungen möglich. Technisch ist gem. § 16 EU Nr. 3 VOB/A zu prüfen, ob ggf. Missverständnisse der ausgeschriebenen Leistungen zu ungewöhnlich niedrigen oder hohen Positionspreisen geführt haben. Sollte nach Ausschluss dieser Fehler der Gesamtpreis gem. § 16d EU Abs. 1 Nr. 1 VOB/A dennoch unangemessen niedrig oder hoch sein, ist das Angebot von der Vergabe auszuschließen. Hierzu nutzt der Auftraggeber i.d.R. die eigene Kostenschätzung und die Angebotssummen anderer Bieter. Eine eindeutige Rechtsauslegung, ab wann ein Angebot als ungewöhnlich niedrig (ungewöhnlich hoch) anzusehen ist, existiert nicht. Der überwiegende Teil der Rechtsprechungen zu dieser Fragestellung folgt jedoch dem Beschluss des OLG Düsseldorf, das hierzu feststellt, dass die Differenz des niedrigsten (höchsten) Angebotspreises zum nächsthöheren (nächstniedrigeren) 20% nicht überschreiten soll (OLG Düsseldorf, B. v. 25.04.2012 - VII-Verg 61/11).

Alle Angebote, die nicht wegen formaler Fehler, eines unangemessenen Preises oder fehlender Nachweise der Eignung ausgeschlossen sind, werden auf Grundlage der ausgeschriebenen Zuschlagskriterien auf der vierten Stufe des Prüfungsprozesses gewertet:

4. Angebotswertung

Gem. § 127 Abs. 1 GWB ist im Rahmen der Angebotswertung zu ermitteln, welches Angebot das beste Preis-Leistungs-Verhältnis aufweist. Das Ziel der Angebotswertung liegt darin, aus

den abgefragten Zuschlagskriterien und unter Berücksichtigung der Gewichte eine Rangfolge der Angebote abzuleiten. Weiterführende Vorgaben zur Ermittlung dieser Wertungskennzahl gibt der Gesetzgeber nicht an, weshalb verschiedene Handbücher als Dokumente mit Empfehlungscharakter entwickelt wurden. Für Bauleistungen des Bundes ist hier z. B. das VHB Bund (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG 2017) zu nennen. Im Formblatt 227 des Handbuchs wird für die Angebotswertung ein Verfahren empfohlen, das BARTSCH UND VON GEHLEN (2015) als „*Interpolationsmethode*“ bezeichnen. Bei der Wertungsmethode werden alle Zuschlagskriterien, also das Preiskriterium und die Leistungskriterien, additiv verknüpft, wie in Gleichung (3.1). Der Begriff „*Leistung*“ umfasst alle Kriterien, die neben dem Preis bzw. den Lebenszykluskosten vom Auftraggeber abgefragt werden. Um diese i.d.R. nicht-monetären Kriterien additiv oder subtraktiv mit dem Preis zu verknüpfen, müssen alle Zuschlagskriterien in derselben Maßeinheit vorliegen. Üblicherweise werden Preise daher in Wertungspunkte umgerechnet.

$$Z=L\pm P \quad (3.1)$$

Z: Zuschlagskennzahl

L: Leistungskriterien

P: Preiskriterien

Zur Umrechnung wird im VHB Bund eine Skala von 0 bis 10 Punkten vorgeschlagen. Das Angebot mit dem günstigsten Preis erhält den höchsten Wert, also 10 Punkte. Ein fiktives Angebot, das den doppelten Preis des günstigsten Bieters aufweist, erhält 0 Punkte. Die Preise aller dazwischenliegenden Angebote werden linear interpoliert und auf diese Weise in Punkte umgerechnet. Die Punkte aller Kriterien werden dann mit einer vorab festgelegten Gewichtung multipliziert und abschließend zur Zuschlagskennzahl summiert. Das Angebot mit den meisten Punkten wird als wirtschaftlichstes Angebot gewertet. Unterschiedliche Autoren weisen eine Rangfolgeninstabilität der Methodik mithilfe von Beispielrechnungen nach (DE BOER ET AL. 2006; CHEN (2008); BARTSCH UND VAN GEHLEN 2015). Diese Instabilität wird auch als „*Flipping Effekt*“ (BARTSCH UND VAN GEHLEN 2015) bezeichnet. Dieser Begriff soll die Abhängigkeit der Zuschlagskennzahl zu einem oder mehreren unwirtschaftlichen und daher zuschlagsirrelevanten Angeboten betonen.

In anderen Handbüchern werden weitere Methoden beschrieben. So werden vom BESCHAFFUNGSAMT DES BUNDESMINISTERIUMS DES INNEREN (2018) die Unterlagen für Ausschreibung und Bewertung von IT-Leistungen (UfAB) veröffentlicht. BARTSCH ET AL. (2012) erläutern, dass die in den UfAB veröffentlichten Methoden zur Angebotswertung nicht nur im IT Sektor herangezogen werden. In der neusten Fassung der UfAB (Stand: 2018) wird die additive Verknüpfung von Preis- und Leistungskriterien nicht mehr benannt, sondern nur noch ein Verhältniswert als Zuschlagskennzahl beschrieben, wie in Gleichung (3.2).

$$Z= L/P \quad (3.2)$$

In diversen Gerichtsverfahren (BGH, U. v. 04.04.2017 - X ZB 3/17; OLG Düsseldorf, B. v. 03.03.2010 - Verg 48/09; OLG Düsseldorf, B. v. 22.01.2014 - VII-Verg 26/13; OLG München, B. v. 30.03.2017 – Verg 10/16) wurden die verschiedenen Methoden zur Ermittlung des wirtschaftlichsten Angebots untersucht und auf die Eignung zur Ermittlung des Preis-

Leistungs-Verhältnisses bewertet. Ein Konsens über die Eignung einer konkreten Wertungsmethodik existiert nicht. Aufgrund der rechtlichen Unsicherheit, die nicht nur in Deutschland herrscht, hat sich der EuGH ebenfalls mit der Fragestellung befasst (EuGH, U. v. 14.07.2016 – C-6/15). In seinem Urteil argumentiert der EuGH nicht zugunsten einer spezifischen Wertungsmethode; vielmehr darf die Methode jedoch „keine Veränderung der Zuschlagskriterien oder ihrer Gewichtung bewirken“.

3.5 Ableitung von Konsequenzen für die wirtschaftliche Auftragsvergabe

Wirtschaftliche Angebote sind das konsequente, rechtliche Instrument zur Unterstützung strategischer Ziele im Rahmen der Vergabe öffentlicher Bauaufträge. Hierbei werden die strategischen Ziele vom Auftraggeber in Form geeigneter Zuschlagskriterien vorgegeben. Durch die projektspezifische Gewichtung der Kriterien erhalten die Bieter Informationen bzgl. der Präferenz des Auftraggebers im Hinblick auf die verschiedenen Zielstellungen. Strategische Aspekte sind darüber hinaus auch in die Leistungsbeschreibung zu integrieren. So ist z.B. die Vergabe von energieeinsparenden Bauteilen (z.B. elektrische Anlagen mit geringem Energieverbrauch, aber auch z.B. Dämmstoffe; vgl. Kap. 3.2.2) für öffentliche Bauaufträge verpflichtend einzuhalten. Zusätzlich können strategische Ziele in die Eignungskriterien und in die zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen implementiert werden. Zur Beurteilung der technischen Leistungsfähigkeit der Bieter werden Referenzen mit Bezug zum strategischen Ziel gefordert und im Rahmen der Eignungsprüfung überprüft. Diese unterschiedlichen Bestandteile der Ausschreibung tragen zur Förderung strategischer Ziele bei, ihr Förderungspotenzial ist jedoch unterschiedlich stark ausgeprägt. So stellen die ZTV und die Eignungskriterien keine Wettbewerbsfaktoren dar, sondern beschreiben einzuhaltende Mindeststandards. Wettbewerbswirksam werden hingegen Leistungsunterschiede innerhalb der Leistungspositionen, aus denen weiterführend eine Verbesserung der Zuschlagskriterien resultiert. Vom BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND NUKLEARE SICHERHEIT (2018) wird indes die Rechtssicherheit des reformierten Vergaberechts hinsichtlich aller genannten Bereiche der strategischen Vergabe betont. Die Berücksichtigung der vormals als „*vergabefremd*“ (WEGENER 2010) bezeichneten strategischen Ziele ist zusammenfassend nicht nur möglich, sondern wird vom Gesetzgeber ausdrücklich gefordert. Bereits aus den benannten Leitfäden, in denen Zuschlagskriterien formuliert werden (bspw. AUSTRIAN NATIONAL COMMITTEE OF ITA 2014; FIEDLER ET AL. 2016), wird deutlich, wie groß die Bandbreite an Kriterien ist, die als rechtskonform eingestuft werden. So sind die Autoren des ITA-Leitfadens der Meinung, dass 55 Zuschlagskriterien definierbar sind, die Autoren des Leitfadens der Bundesanstalt für Straßenwesen (FIEDLER ET AL. 2016) erkennen hingegen nur drei Kriterien als rechtssicher an. Neben der Anreicherung der Vertragsunterlagen mit strategischen Zielen dient insbesondere auch die Zulässigkeit von Nebenangeboten der Zielerreichung. Bieter wird die Möglichkeit geboten, neue Produkte oder Bauverfahren anzubieten und deren Leistungsfähigkeit unter Beweis zu stellen. Alternative Ausführungskonzepte weisen ggf. bessere Eigenschaften hinsichtlich der strategischen Ziele auf als bewährte Verfahren und Materialien, wie HIMMEL (2015) anhand von Beispielen aufzeigt.

Der Nutzen strategischer Aspekte muss bei jeder öffentlichen Vergabe auch mit dem Wirtschaftlichkeitsgrundsatz in Einklang stehen (EBIG ET AL. 2014). Ob und in welchem Maß sich die Nachfrage strategischer Ziele in höheren Baukosten widerspiegelt, muss daher vom Auftraggeber evaluiert werden. Gängige Methoden zur Angebotswertung ermöglichen zwar grundsätzlich die Ermittlung einer Rangfolge, weisen jedoch teilweise mathematische Schwächen auf, die zu Rügen und Nachprüfungsverfahren führen können. Aufgrund der vielen Gerichtsverfahren untersuchen WANNINGER ET AL. (2006) die Ursachen der Nachprüfungsverfahren. Demnach wird dieses Rechtsmittel zu 81% aufgrund von Fehlern bei der Angebotswertung von unterlegenen Bietern herangezogen. Die mathematischen Schwächen der Wertungsformel in Gleichung (3.1), die als „*Flipping Effekt*“ (BARTSCH UND VAN GEHLEN 2015) bezeichnet wird, bietet eine Angriffsfläche für diese Bieter. Als Folge der Nachprüfungsverfahren resultieren Kostensteigerungen, da eine Verzögerung des Baubeginns durch Beschleunigungsmaßnahmen oder die Umstellung des Bauablaufs kompensiert werden müssen (HORNUFF 2003). Neben den rechtlichen Unsicherheiten ist gleichsam die wirtschaftliche Dimension der Zuschlagskennzahl, bspw. bei der additiven Verknüpfung multidimensionaler Zuschlagskriterien in Gleichung (3.1), zum „*Preis-Leistungs-Verhältnis*“ gem. § 127 Abs. 1 GWB, aus mathematischer Sicht zu hinterfragen. So betonen KRAUS UND BRONNEN (2017), dass das Risiko des Auftraggebers, „*eine falsche oder zumindest eine unerwünschte Wertungsentscheidung [zu treffen,] zu hoch*“ ist. SCHEEL (2000) stellt losgelöst von dem Anwendungsgegenstand der Vergabe fest, dass „*ein abstrakter Index, der keine Interpretationsmöglichkeiten im Sinne von quantifizierten Verbesserungspotenzialen o.ä. bietet, [...] sich auch bei Erfüllung aller denkbaren formalen Eigenschaften schwerlich in der Praxis durchsetzen [kann]*“.

Auch die Ermittlung des Verhältniswertes in Gleichung (3.2) eignet sich für Vergaben von Bauaufträgen i.d.R. nicht. Sie kann nur verwendet werden, wenn der Auftraggeber die Relevanz von Preis und Leistung als gleichwertig einstuft. Dieser Umstand ist der Tatsache geschuldet, dass eine Gewichtung von Zähler und Nenner nicht zu einer Beeinflussung der Rangfolge führt, wie BARTSCH ET AL. (2012) zeigen. In den Hinweisen zum Formblatt 227 VHB Bund „Gewichtung der Zuschlagskriterien“ wird jedoch empfohlen, für Bauaufträge eine „*Gewichtung (Prozentsatz) [...] für jedes Vergabeverfahren [...] festzulegen*“.

Für die Wertung wirtschaftlicher Angebote (4. Stufe des Prüfungsprozesses) sollen die in Kap. 2.5 benannten Anforderungen daher erweitert werden:

- frühzeitige Definition strategischer Ziele
- Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Zuschlagsentscheidung
- ganzheitliche Erfolgsmessung zur Ableitung einer Rangfolge durch simultane Berücksichtigung aller Zuschlagskriterien
- kardinale Identifizierung von Leistungsdefiziten in einzelnen Zuschlagskriterien zur Identifizierung des Verbesserungspotenzials
- Sensibilisierung der Akteure in der Wertschöpfungskette hinsichtlich des Mehrwerts strategischer Ziele im Spannungsfeld mit ggf. höheren Investitionskosten

Im Weiteren werden verschiedene entscheidungstheoretische Ansätze erläutert und auf ihre Adaptierbarkeit an die Angebotswertung für öffentliche Bauaufträge untersucht. Die Analyse unterschiedlicher Entscheidungsmethoden und Wertungskennzahlen wird unter Berücksichtigung der in diesem Kapitel beschriebenen Anforderungen für die Wertung wirtschaftlicher Angebote durchgeführt.

4 Effizienz als Wertungskennzahl für Angebote

Die öffentliche Auftragsvergabe stellt besondere Anforderungen an die Objektivität und Transparenz der Angebotswertung, insbesondere, wenn qualitative Zuschlagskriterien abgefragt werden. In diesem Kapitel wird Effizienz im aktivitätsanalytischen¹¹ Kontext als alternative Wertungskennzahl zum Preis-Leistungs-Verhältnis gem. § 127 Abs. 1 GWB, untersucht. Das Ziel ist die Adaption an die Angebotswertung mit dem in Abbildung 9 beschriebenen Ablauf.

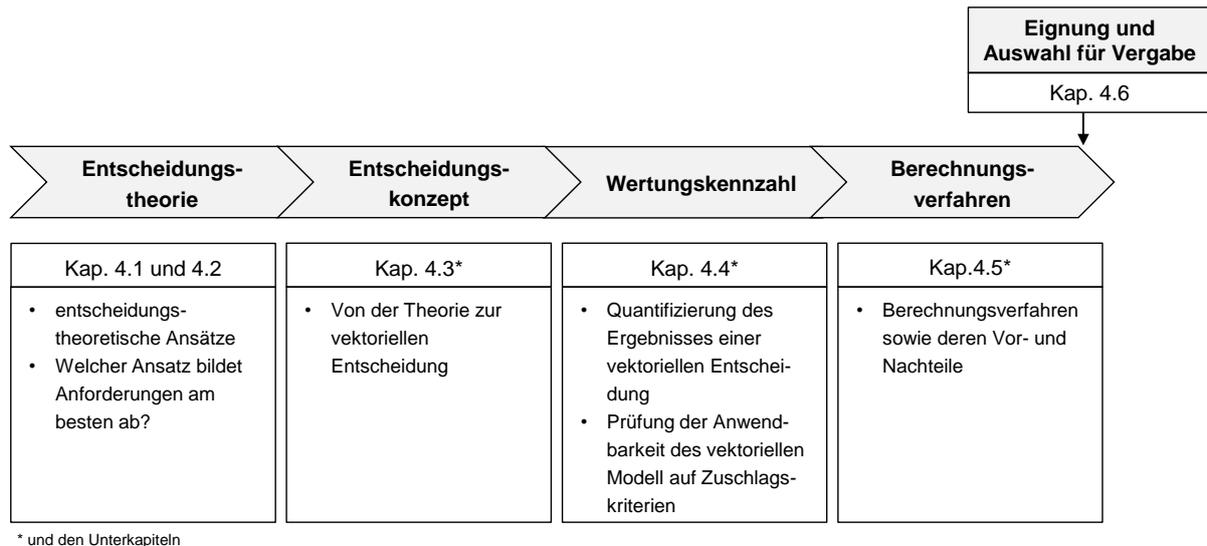


Abbildung 9: Kapitelaufbau als Einführung in das Thema „Effizienz als Wertungskennzahl für Angebote“

4.1 Einführung in die Entscheidungstheorie

Die Angebotswertung ist ein entscheidungstheoretischer Prozess. Nach KLEINE (2002) handelt es sich bei der Entscheidungsfindung um einen Vorgang,

- bei der ein Entscheidungsträger
- die Zielstellung anhand ausgewählter Kriterien
- und deren Optimierungsaufgabe (max./min.) beschreibt, um
- anhand der zur Verfügung stehenden Informationen
- aus einer Aktivitätenmenge
- zur bestmöglichen Auswahl zu gelangen.

Hinsichtlich der Wertung wirtschaftlicher Angebote lässt sich die Aussage von KLEINE (2002) anpassen: Die Vergabe ist ein Prozess, bei dem der Auftraggeber die operative und strategische Zielstellung anhand ausgewählter Zuschlagskriterien beschreibt, um mithilfe von Bieterangaben aus der Menge aller Angebote zum wirtschaftlichsten Angebot zu gelangen. Es wird

¹¹ vgl. DYCKHOFF (2006) zur Aktivitätsanalyse: „prozessorientierte Theorie, welche große Teile der traditionellen Produktions- und Kostentheorie abdeckt. Durch die Verwendung grafischer (bzw. graphentheoretischer) Instrumente besitzt sie eine konstruktive Ausrichtung.“

daher überprüft, welche Möglichkeiten existieren, um die Anforderungen an ein Wertungsmodell entscheidungstheoretisch abzubilden.

Wie BELTON UND STEWART (1999) ausführen, haben sich in den Entscheidungswissenschaften hinsichtlich der Anwendungsorientierung zwei abweichende Ansätze entwickelt:

- **Decision Making:** Der Sammelbegriff subsumiert Methoden, die unter Berücksichtigung quantitativer und/oder qualitativer Planungsdaten vor der Durchführung einer Maßnahme eingesetzt werden. ALLEN (2002) betont, dass es sich bei der Anwendungsorientierung „*ausdrücklich um ex ante-Analysen*“ handelt. Das Ergebnis zeigt, welche Maßnahme, allgemein als Aktivität bezeichnet, voraussichtlich am geeignetsten ist. Hierzu erfolgt i.d.R. eine Rangfolgenbildung der untersuchten Aktivitäten. Das Resultat einer Decision Making Methode ist wesentlich von der Präferenz des Entscheiders abhängig. Eine wichtige Voraussetzung für die Anwendung von Decision Making ist daher, dass der Entscheider möglichst präzise Angaben über persönliche Präferenzen machen kann. ALLEN (2002) spricht in diesem Zusammenhang auch von einem „*Management der Subjektivität*“. Häufig werden Varianten des Decision Makings in die Gruppe der multiobjektiven oder der multiattributiven Verfahren eingeordnet (ZIMMERMANN UND GUTSCHE 1991; WEBER 1993). Im Rahmen dieser Arbeit wird Decision Making, in gleicher Weise wie bei den existierenden Wertungsformeln (vgl. Kap. 3.4), im Sinne multiattributiver Verfahren verstanden. Hierbei handelt es sich um Methoden, die mithilfe einer festgelegten Anzahl von Zielstellungen (Zuschlagskriterien) eine diskrete Menge an Alternativen (Angeboten) in eine Rangfolge bringen (KAMARIANAKIS 2013).
- **Decision Support:** Ansätze des Decision Supports beurteilen Daten i.d.R. ex post, d.h. nachdem eine Aktivität durchgeführt wurde. Ursprünglich aus der Produktionswirtschaft stammend, werden Produktionsprozesse, die allgemein ebenfalls als Aktivität bezeichnet werden, anhand gemessener Daten analysiert. Das Ziel ist die Identifikation von Leistungsdefiziten, um eine Verbesserung der Aktivität herbeizuführen. Hierzu werden im Decision Support so wenig subjektive Vorgaben an die Wertungsmethodik gestellt wie möglich. Anstatt die Auswahl auf der Grundlage der Präferenzen des Entscheiders zu treffen, sollen Informationen ausschließlich aus den Daten gewonnen werden (ALLEN 2002; CHERCHYE ET AL. 2013). Im Ergebnis wird die Effizienz als Kennzahl jeder Aktivität ermittelt. Der Entscheider erhält abschließend i.d.R. keine eindeutige Rangfolge, sondern zwei disjunktive Mengen, in die alle Aktivitäten eingeteilt werden: eine Menge effizienter und eine Menge ineffizienter Aktivitäten.

KLEINE (2002) fasst den wesentlichen methodischen Unterschied aus mathematischer Sicht zusammen. Er führt aus, dass bei Verfahren des Decision Makings Präferenzinformationen anhand von „*zielbedingten Nebenbedingungen*“ als „*zusätzliche Restriktionen*“ berücksichtigt werden, um eine Auswahlentscheidung zu treffen. Im Gegensatz dazu basieren „*vektorielle Entscheidungsmodelle*“, als Grundlage des Decision Supports, „*ausschließlich auf einem Vektor von zu maximierenden Zielfunktionen*“ (KLEINE 2002). Ein einfaches Beispiel aus der Angebotsbewertung verdeutlicht den Unterschied. Bei einer Vergabeentscheidung zwischen zwei Bietern B_1 und B_2 ist der Angebotspreis von B_1 niedriger und daher besser als der Preis von B_2 , die Bauzeit von Bieter B_1 ist jedoch länger und daher schlechter als die von B_2 . Modelle

des Decision Makings stellen nun durch zielbedingte Nebenbedingungen (bspw. Umrechnung in Bewertungspunkte und Gewichtung) ein Verhältnis zwischen den Größen her. Das mehrdimensionale Problem wird also in ein eindimensionales Wertesystem überführt. Bei vektoriellem Entscheidungsmodell wird dieser Ansatz verworfen. Als Begründung stellt FLEBA (2010) fest, dass die „*Addition ordinaler Größen unzulässig*“ ist, da sie im Ergebnis zu instabilen Rangfolgen führen kann. KLEINE (2002) betrachtet das Problem ebenfalls kritisch und fragt, „*ob sich überhaupt alle für eine Beurteilung relevanten Kriterien (Leistungen, Ziele) geeignet kumulieren lassen*“. BARTSCH (2013) stellt im Zusammenhang mit Vergabeverfahren fest, dass die „*homogene Vereinbarkeit*“ verschiedener Wertungsräume (Preise, strategische Ziele, funktionelle Werte etc.) „*offenbar nicht möglich*“ ist. BERGMAN UND LUNDBERG (2013) betonen, dass Qualitätskriterien nicht zusammengeführt werden können: „*if quality is measured in more than one dimension [...] they cannot simply be added together*“.

Im Resultat führt ein vektorielles Entscheidungsmodell jedoch nicht zwangsläufig zu einem eindeutigen Ergebnis in Form einer Rangfolge. In Abbildung 10 werden die wesentlichen Unterschiede und Zielstellungen von Decision Making Verfahren und Decision Support Verfahren zusammengefasst. Der Konflikt zwischen dem vergaberechtlichen Erfordernis einer Rangfolge und den genannten kritischen Einschätzungen über Decision Making-Verfahren für die Angebotsbewertung werden weiterführend thematisiert.

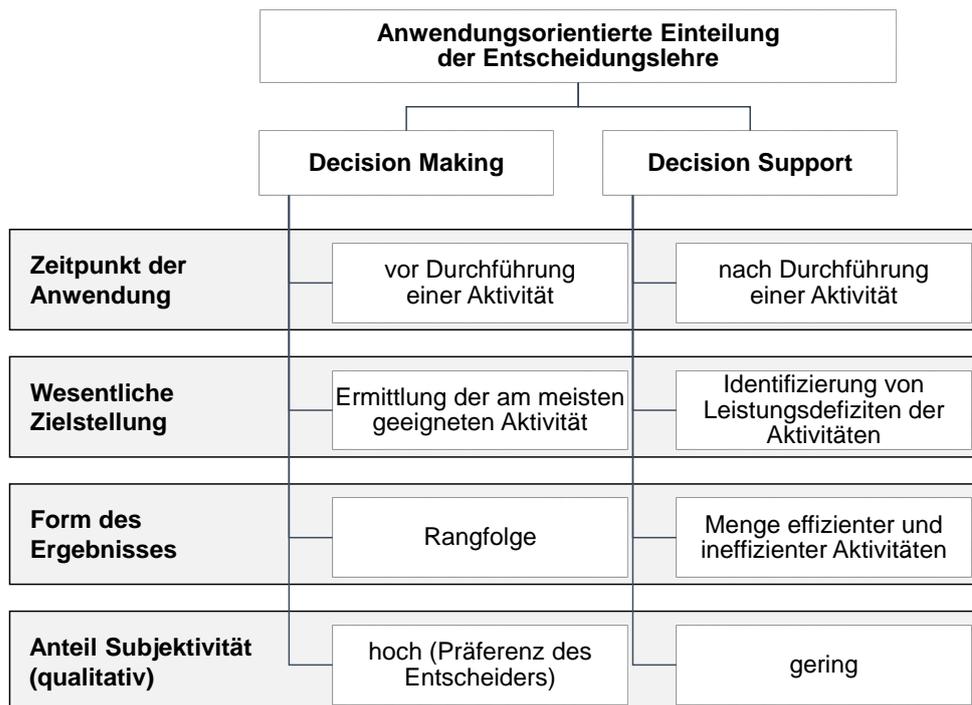


Abbildung 10: Anwendungsorientierte Unterteilung der Entscheidungslehre

4.2 Entscheidungstheoretische Basis für die Angebotsbewertung

Im Hinblick auf die Angebotsbewertung weisen beide in Kap. 4.1 erläuterten Ansätze verschiedene Vor- und Nachteile auf. Insbesondere der Zeitpunkt der Angebotsbewertung, der vor der Ausführung der Bauaktivität liegt, spricht zunächst für den Ausschluss eines Decision Support

Verfahrens. Da zu diesem Zeitpunkt aber bereits alle Kriterienwerte vorliegen, ist eine Analyse aus methodischer Sicht durchführbar. Da sie zudem vertraglich fixiert werden, müssen die angebotenen Werte in allen Zuschlagskriterien nach der Ausführung erfüllt sein, wie Abbildung 11 zeigt. So gilt bspw. der Angebotspreis als vertraglich festgeschriebener Wert und somit als geschuldete Leistungsvergütung. Unter der Prämisse eines planmäßigen Bauablaufs sind die Daten nach der Durchführung der Bauaktivität also jene, die im Vorfeld vom Bieter angegeben wurden. Auch wenn Wertveränderungen sich in der Baupraxis regelmäßig einstellen, dürfen Mutmaßungen hierzu bei öffentlichen Bauaufträgen nicht ex ante in die Wertung einfließen.

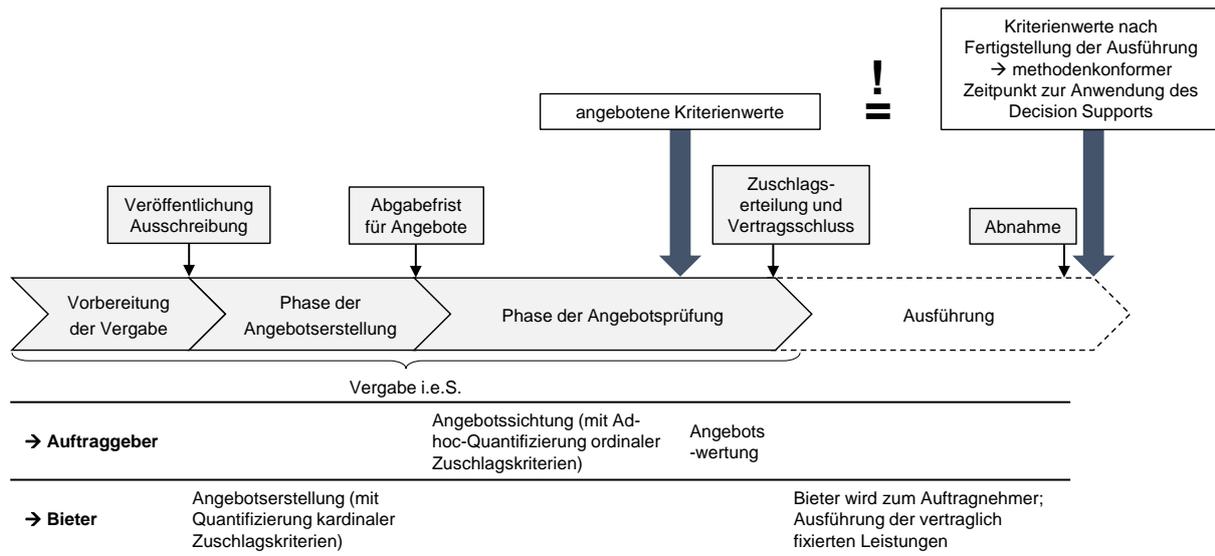


Abbildung 11: Anwendungsmöglichkeit des Decision Supports für die Vergabe

Der geringe Anteil an Subjektivität spricht für die Wahl eines Verfahrens aus dem Feld des Decision Supports. Insbesondere vor dem Hintergrund der Förderung strategischer Ziele weisen Decision Support Methoden Vorteile auf, da das mögliche Verbesserungspotenzial der Bieter in einzelnen strategischen Zielen identifiziert wird. Informationen über Fehlbeträge in den Zuschlagskriterien können Bietern, mit dem Ziel der Leistungssteigerung, zurückgespiegelt werden. REICHMANN (2011) betont in diesem Zusammenhang, dass erst durch den Vergleich von Alternativen „die Qualität der Ausschöpfung strategischer Erfolgspotenziale angemessen beurteilt“ werden kann. Das Ergebnis eines Decision Support Verfahrens ist die Effizienz im aktivitätsanalytischen Kontext. Da die Ermittlung einer vergaberechtlich erforderlichen, eindeutigen Rangfolge anhand dieser Kennzahl nicht möglich ist, muss eine methodische Erweiterung erfolgen. Für das Wertungsmodell, das die in Kap. 3.5 aufgeführten Anforderungen erfüllt, soll eine Kombination aus beiden Anwendungsfeldern entwickelt werden. Grundsätzlich müssen alle methodischen Festlegungen zur Angebotswertung mit dem geltenden Vergaberecht in Einklang stehen. Es bildet daher den einzuhaltenden Rahmen, wie aus Abbildung 12 ersichtlich wird. In der Darstellung erfolgt eine Zuordnung der in Kap. 3.5 benannten Anforderungen an das Wertungsmodell zu einem der entscheidungstheoretischen Feldern. Wie grafisch dargestellt, muss das Modell in einer Schnittmenge aus beiden Ansätzen liegen, um alle Anforderungen zu erfüllen. Im Rahmen der Modellentwicklung soll eine Methodik des Decision Supports die Basis des Wertungsmodells schaffen, die um ein Verfahren des Decision Makings erweitert wird. Zunächst wird daher das vektorielle Entscheidungsmodell,

als Grundlage des Decision Supports, thematisiert. Die Erläuterungen erfolgen unmittelbar im Kontext der Angebotswertung unter Berücksichtigung der Zuschlagskriterien als Leistungsindikatoren.

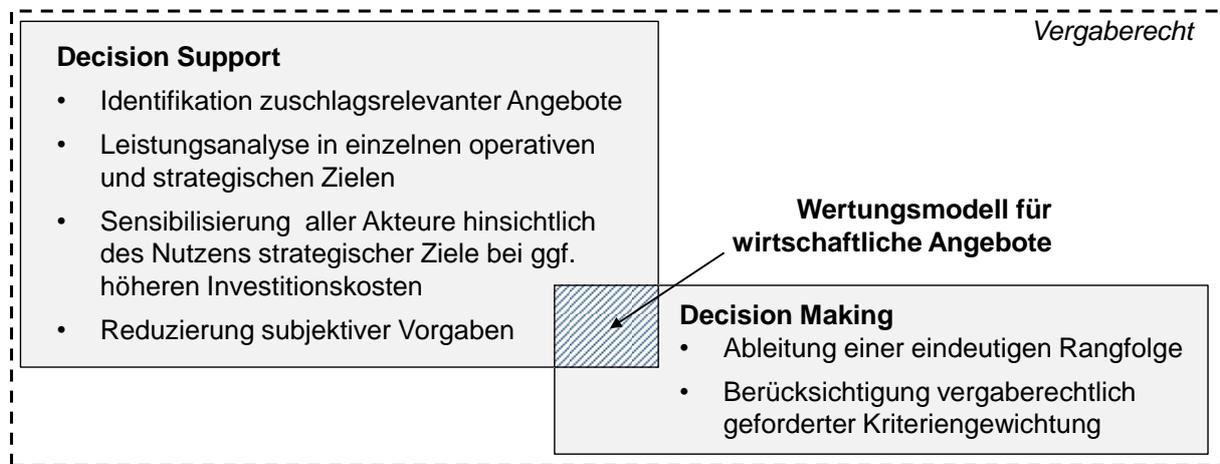


Abbildung 12: Zuordnung der Anforderungen an das Wertungsmodell an die entscheidungstheoretischen Felder

4.3 Vektorielle Entscheidungen

4.3.1 Vektorielles Entscheidungsmodell und Pareto-Koopmans Effizienz

Bei einer Auftragsvergabe, die ausschließlich auf der Grundlage des niedrigsten Angebotspreises erfolgt, handelt es sich um eine skalare (bzw. eindimensionale, vgl. Kap. 2.5) Entscheidung. Aus einer einzigen Kennzahl, nämlich dem Preis, kann ein Ergebnis in Form einer Rangfolge abgeleitet werden. Werden weitere, nicht-monetäre Kennzahlen für die Entscheidungsfindung herangezogen, ist ein vektorielles Entscheidungsmodell erforderlich. Die Zahlenwerte aller Zuschlagskriterien eines Bieters bilden einen Vektor, der in das Entscheidungsmodell einfließt. Per Definition liegt ein vektorielles Entscheidungsproblem somit vor, wenn mehrere Aktivitäten (Angebote) existieren und die Wertung mit mehreren Nutzenfunktionen (Zuschlagskriterien) erfolgt, wie in Gleichung (4.1) nach DINKELBACH UND ROSENBERG (2004) dargestellt.

$$\text{VEM} \quad \max \left\{ \left(\begin{array}{c} z_1(A_j) \\ \vdots \\ z_s(A_j) \end{array} \right) \middle| A_j \in M \right\} \quad (4.1)$$

VEM: vektorielles Entscheidungsmodell

A_j : $j=1, \dots, J$ Aktivitäten

$z_s(A_j)$: $s=1, \dots, S$ Zielfunktionen der j Aktivitäten

$M \subset \mathbb{R}^S$ ($S \geq 1$): Aktivitätenmenge im s -dimensionalen Vektorraum

Eine Aktivität, die gem. (4.1) in allen Zielfunktionen die höchsten Funktionswerte besitzt, dominiert die anderen Aktivitäten und gilt als Pareto-Koopmans effizient (DEBREU 1951; KOOPMANS 1951). Sie ist also besser als die dominierten Aktivitäten. Die Entscheidung zugunsten einer konkreten Alternative ist aufgrund der Freiheiten, die sich im vektoriiellen Entscheidungsmodell durch das Fehlen von Nebenbedingungen ergeben, i.d.R. nicht möglich. Im Allgemeinen wird eine Aktivität A_1 in einigen Zielfunktionen bessere Ergebnisse ausweisen als eine Aktivität A_2 und in anderen Zielfunktionen schlechtere. Die Häufigkeit, bei der das Ergebnis dieser These zutrifft, also wahr ist, steigt mit erhöhter Anzahl gewählter Zielfunktionen (Zuschlagskriterien) bei gleichbleibender Anzahl an Aktivitäten (Angeboten). Es wird darauf hingewiesen, dass bei der Angebotswertung ausschließlich konstante Zielfunktionen existieren, nämlich die Werte der Zuschlagskriterien.

Als Ergebnis wird die Aktivitätenmenge in zwei disjunktive Teilmengen geteilt. Es wird zwischen Pareto-Koopmans effizienten und Pareto-Koopmans ineffizienten Aktivitäten unterschieden. Eine Aktivität gilt als Pareto-Koopmans effizient, wenn die Verbesserung einer Zielfunktion (bspw. Qualitätssteigerung) nur in Kombination mit der Verschlechterung einer anderen Zielfunktion (bspw. Kostensteigerung) möglich ist (SCHEEL 2000). Solange eine Steigerung (der Qualität) ohne die Verschlechterung einer anderen Zielfunktion (Preissteigerung) möglich ist, ist die Aktivität Pareto-Koopmans ineffizient. Dieser Zusammenhang wird durch die Präferenzrelation in Gleichung (4.2) ausgedrückt. Eine Aktivität A_1 ist Pareto-Koopmans effizient gegenüber einer Aktivität A_2 (bzw. synonym: A_1 dominiert $A_2 \rightarrow A_1 \succ A_2$), wenn A_1 in allen Zielfunktionen gleichwertig oder besser ist als A_2 ($A_1 \succeq A_2$) und in mindestens einer Zielfunktion bessere Werte besitzt als A_2 ($\exists A_1 \succ A_2$) (KLEINE 2002; CORSTEN UND GOSSINGER 2016).

$$A_1 \succ A_2 \Leftrightarrow A_1 \succeq A_2 \text{ und } \exists | A_1 \succ A_2 \quad (4.2)$$

Zur Entscheidung verbleiben alle Zielfunktionen in ihrer ursprünglichen Maßeinheit (z.B. Kosten in [€], Zeit in [Wochen], Emissionswerte in [t CO₂]). Eine Umrechnung beispielsweise zu Punkten erfolgt nicht. Das Ergebnis aus dem vektoriiellen Entscheidungsmodell, die Pareto-Koopmans Effizienz, wird anhand eines Anwendungsbeispiels verdeutlicht.

4.3.2 Anwendungsbeispiel für eine vektorielle Entscheidung

Zur Angebotswertung werden sechs fiktive Angebote anhand der konstanten Zielfunktionen Kosten (p), Bauzeit (z) und Qualität (q) miteinander verglichen. Die vektorielle Entscheidung für die Aktivitätenmenge M , bestehend aus den Angeboten $j=1, \dots, 6$, wird als Maximierungsaufgabe in (4.3) angegeben. Um ein einheitliches Optimierungsziel zu erzeugen, muss bei dem vektoriiellen Entscheidungsmodell für die zu minimierenden Zielfunktionen Kosten und Bauzeit der Reziprokwert gebildet werden.

$$\max \left\{ \begin{pmatrix} 1/p_j \\ 1/z_j \\ q_j \end{pmatrix} \middle| A_j \in M \right\} \quad (4.3)$$

Tabelle 3 beinhaltet die Werte der drei Zielfunktionen (Zuschlagskriterien) der Angebote A_1 bis A_6 . Die Kosten sind in [€] und die Bauzeit in [Wochen] angegeben. Es handelt sich um kardinale Daten. Die Qualität bewertet ein Konsortium des Auftraggebers ad hoc mithilfe einer Bewertungsmatrix. Dabei wird den Angeboten entweder eine geringe, mittlere oder hohe Qualität zugesprochen. Das Skalenniveau für das Kriterium ist somit ordinal und das Bewertungsmaß qualitativ.

Tabelle 3: Zahlenbeispiel zur Erläuterung eines vektoriellen Entscheidungsproblems

| Kriterium \ Angebot | Angebot | | | | | |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|
| | A_1 | A_2 | A_3 | A_4 | A_5 | A_6 |
| Kosten p [€] | 9,8 Mio. | 9,9 Mio. | 9,9 Mio. | 9,9 Mio. | 10 Mio. | 9,7 Mio. |
| Bauzeit z [Wochen] | 62 | 59 | 62 | 60 | 60 | 61 |
| Qualität q [qualitativ] | gering | mittel | hoch | gering | hoch | mittel |

Um die Ermittlung der Pareto-Koopmans Effizienz zu verdeutlichen, werden die Daten in Abbildung 13 als Punkte in das dreidimensionale Koordinatensystem eingetragen. Die zu minimierenden Kriterien Kosten und Bauzeit befinden sich auf den horizontal angeordneten Achsen und das Kriterium Qualität auf der Vertikalachse. Von allen Angeboten ausgehend wird ein „Dominanzbereich“ (ALLEN 2002) durch blau, gestrichelte Linien in Abhängigkeit von der Optimierungsrichtung der Zuschlagskriterien aufgespannt. Für die zwei zu minimierenden Kriterien wird der Bereich von den dargestellten Linien begrenzt, die in positive Achsrichtung weisen, für das zu maximierende Kriterium verläuft die Begrenzungslinie in negative Achsrichtung. So wird ersichtlich, welche Angebote sich innerhalb des Dominanzbereichs eines anderen Angebots befinden. Für das Angebot A_6 sind die Grenzen des Dominanzbereichs in der Abbildung deutlich hervorgehoben. Räumlich betrachtet befindet sich das Angebot A_1 hinter dem Angebot A_6 und somit in seinem Dominanzbereich. Dieses Ergebnis ist auch in der nebenstehenden Tabelle durch das Symbol $<$ gekennzeichnet und farblich hervorgehoben. Es kann der Tabelle durch zeilenweises Lesen entnommen werden ($A_1 < A_6 \rightarrow A_1$ wird von A_6 dominiert). Gleichermassen befindet sich das Angebot A_4 im Dominanzbereich von Angebot A_2 . Es liegt genau auf der Grenze des Dominanzbereiches und ist diesem damit zugehörig. A_2 weist in dem Kriterium Kosten den gleichen Wert und in den Zuschlagskriterien Qualität und Bauzeit bessere Werte auf als das Angebot A_4 . Das Angebot A_2 erfüllt somit die Bedingungen aus Gleichung (4.2) und dominiert das Angebot A_4 . Die dominierten Angebote A_1 und A_4 weisen folglich, im Gegensatz zu allen anderen Angeboten, keine Pareto-Koopmans Effizienz aus. Da die Zielfunktionswerte nicht umgerechnet werden, ist das Ergebnis unabhängig von Größenänderungen, bspw. aus einer veränderten Skalierung der Achsen.

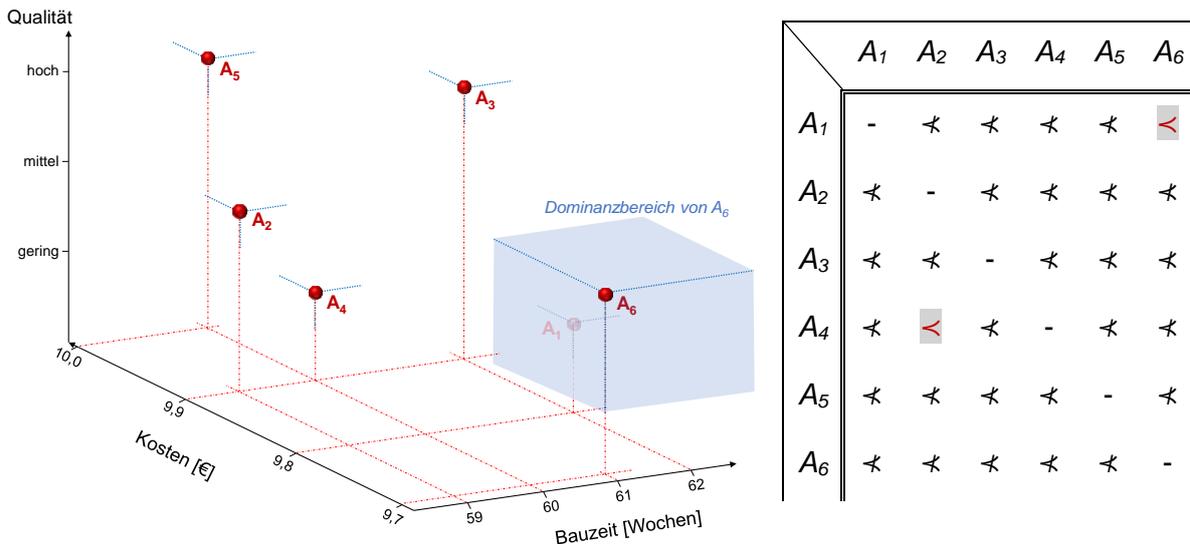


Abbildung 13: Tabellarische und grafische Ermittlung der Pareto-Koopmans Effizienz

Aus dem Beispiel geht hervor, dass das Maß der Pareto-Koopmans Effizienz nicht für eine eindeutige Angebotswertung genutzt werden kann, da keine Unterscheidung der effizienten Angebote erfolgt. Lediglich dominierte Angebote (hier A₁ und A₄) können ausgeschlossen werden. Die Unterteilung der Aktivitätenmenge in Pareto-Koopmans effiziente und Pareto-Koopmans ineffiziente Aktivitäten lässt folglich noch keine Rangfolgenbildung zu.

Auch eine Quantifizierung, um welchen Faktor eine dominierte Aktivität im Vergleich zu einer dominierenden schlechter ist, erfolgt bei diesem allgemeinen Effizienzmaß nicht. Eine detaillierte Leistungsanalyse, wie sie in Abbildung 12 gefordert wird, ist daher mit dieser Form der Effizienz nicht möglich. Für vektorielle Entscheidungen wurden deshalb weiterführende Ansätze entwickelt, die das Konzept der Pareto-Koopmans Effizienz erweitern, um Aktivitäten relativ zueinander zu vergleichen. Verfahren zur Ermittlung der technischen Effizienz bilden die wesentlichen Berechnungsverfahren des Decision Supports.

4.4 Von der Pareto-Koopmans-Effizienz zur technischen Effizienz

Der Begriff der technischen Effizienz geht auf die Arbeit von FARRELL (1957) zurück. Er formuliert diese Form der Effizienz aus einer produktionsorientierten Perspektive. CANTNER ET AL. (2007) begründen die Bezeichnung der Effizienz als technisch damit, dass durch eine Produktionsfunktion und durch ein Maß zur Abstandsmessung das Konzept der Pareto-Koopmans Effizienz operationalisiert wird. Einleitend wird der produktionswirtschaftliche Anwendungsfall für die weiteren Erläuterungen aufgegriffen. Da es sich bei Zuschlagskriterien jedoch nicht um Produktionsgüter handelt, wird in Kapitel 4.4.2 explizit auf die Anwendbarkeit vektorieller Entscheidungen für die Angebotswertung eingegangen.

4.4.1 Aktivitätenmenge und Produktionsfunktion

Aufbauend auf KOOPMANS (1951) und DEBREU (1951) beschreibt FARRELL (1957) technische Effizienz als relative Kennzahl. Sie weist einen quantifizierbaren Unterschied zwischen einer dominierten, i.F. technisch ineffizienten, und einer oder mehrerer dominierenden, i.F. technisch effizienten, Aktivitäten aus. Um die Quantifizierung der Effizienz zu ermöglichen, ist die Definition einer Bezugsgröße erforderlich. Hierzu wird auf das Konzept der Produktionsfunktion zurückgegriffen. Im Sinne des ursprünglichen Entwicklungsgegenstands, der Produktionswirtschaft, wird eine Aktivität als Einheit definiert, die mithilfe der verfügbaren organisatorischen Strukturen und gemäß dem Stand des technischen Wissens, einen Input in einen Output transformiert. Die Effizienz einer Aktivität A_j bemisst sich also anhand der zu minimierenden (min) Inputmengen aller $i=1, \dots, m$ Inputs x_i wie in (4.4) und der zu maximierenden (max) Outputmengen aller $r=1, \dots, s$ Outputs y_r wie in (4.5). Jede Aktivität $j=1, \dots, n$ besteht daher aus einem Input- und ein Output-Mengenvektor (DINKELBACH UND ROSENBERG 2004). Die Aktivitätenmenge ist folglich von der Dimension \mathbb{R}^{s+m} .

$$\text{Input-Mengenvektor: } \quad x_i = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^m, \quad \min x_i \quad (4.4)$$

$$\text{Output-Mengenvektor: } \quad y_r = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_s \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^s, \quad \max y_r \quad (4.5)$$

Gleichermaßen wie bei dem Pareto-Koopmans Effizienzansatz teilt sich die Aktivitätenmenge in die zwei disjunktiven Teilmengen der technisch effizienten und technisch ineffizienten Aktivitäten. Alle technisch effizienten Aktivitäten liegen auf der sich maximal einstellenden Produktionsfunktion, die im Folgenden losgelöst von Produktionsprozessen i.e.S. als Randfunktion (engl. frontier function) oder effizienter Rand bezeichnet wird. Abbildung 14 zeigt eine Aktivitätenmenge bestehend aus n Aktivitäten, die durch einen Output y_1 und einen Input x_1 beschrieben wird. Die Aktivitätenmenge ist folglich zweidimensional ($x_1, y_1 \in \mathbb{R}^2$) und beispielhaft vom Typ Cobb-Douglas ($y_1 = x_1^\alpha$, mit $\alpha=0,5$) dargestellt. Zwischen dem effizienten Rand und der Input-Achse befinden sich alle realisierbaren Aktivitäten. Oberhalb der Randfunktion ist die Realisierung einer Aktivität technologisch nicht möglich. Das aus technologischer Sicht beste Ergebnis, die technische Effizienz, erzielt eine Aktivität, die auf der Randfunktion liegt (CANTNER ET AL. 2007). Ihr Output y_1 kann bei gleichbleibendem Input x_1 nicht weiter gesteigert bzw. ihr Input x_1 bei gleichbleibendem Output y_1 nicht weiter verringert werden. Die Verbesserung des Inputs (Outputs) ist nur in Kombination mit der Verschlechterung des Outputs (Inputs) möglich. Das ökonomische Minimalprinzip (Maximalprinzip) bildet daher die wesentliche Grundlage. Eine Technologie, bei der das Verhältnis zwischen Output und Input nicht verbessert werden kann, wird als technisch effizient bezeichnet.

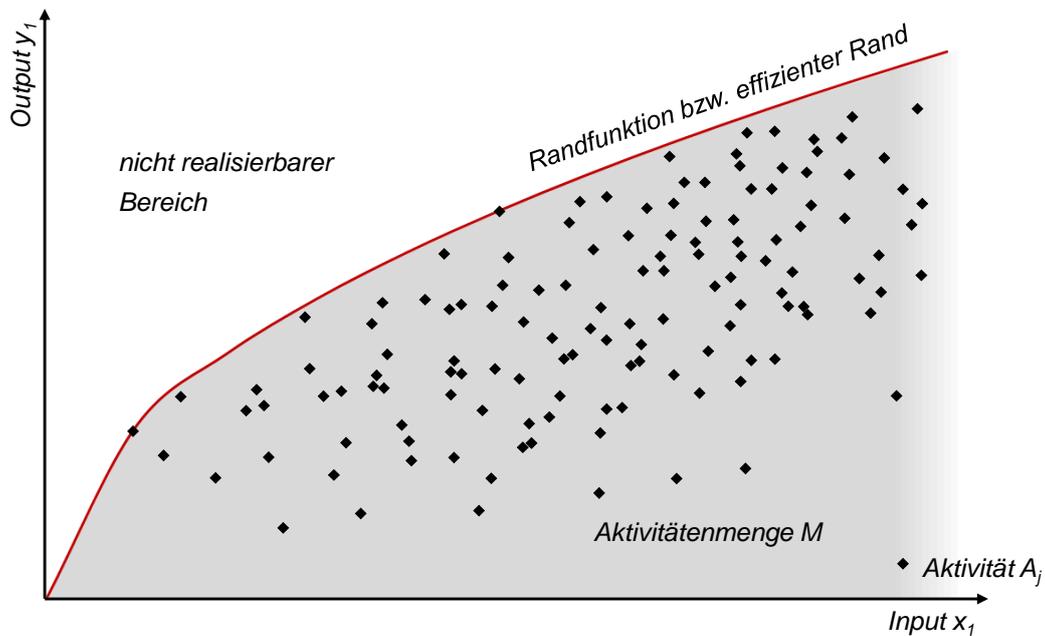


Abbildung 14: Aktivitätenmenge und Produktionsfunktion, in Anlehnung an CANTNER ET AL. (2007)

Eine wesentliche Aufgabe bei der Durchführung einer Effizienzanalyse mit Randfunktion ist die Modellierung des effizienten Rands. Die Funktion kann vereinfacht als die aktuell maximale technologische (Produktions-)Möglichkeit interpretiert werden. CANTNER ET AL. (2007) sprechen in diesem Zusammenhang auch von „*actual-practice-Produktionsfunktionen*“. Um eine vergleichende Analyse zu ermöglichen, dürfen Aktivitätenmengen ausschließlich aus vergleichbaren Aktivitäten mit gleichen Inputs und Outputs bestehen. Diese Forderung ist bei der Angebotswertung für eine Bauleistung grundsätzlich gegeben, da sich alle Angebote auf dieselbe Leistung beziehen und auf Grundlage derselben Zuschlagskriterien gewertet werden. Eine Übertragung der produktionswirtschaftlichen Theorie zur Wertung von Angeboten findet sich auch in einigen Literaturquellen, die im Folgenden kurz erläutert werden sollen.

HIMMEL UND MALKWITZ (2016) beschreiben für die Vergabe von Bauleistungen eine theoretische Randfunktion für den Angebotsvergleich. Sie bezeichnen die dreidimensionale Fläche, die sie aus den zu minimierenden Kriterien „*Preis*“ und „*Bauzeit*“ sowie dem zu maximierenden Kriterium „*Qualität*“ herleiten, als „*Iso-Nutzenfläche*“ und führen die Notwendigkeit der Abwägung dieser Kriterien für die Zulässigkeit von Nebenangeboten auf. Die Funktion, dargestellt in Abbildung 15, weist kein lineares, sondern ein konvexes Verhalten „*nach Cobb-Douglas*“ auf (HIMMEL UND MALKWITZ 2016).

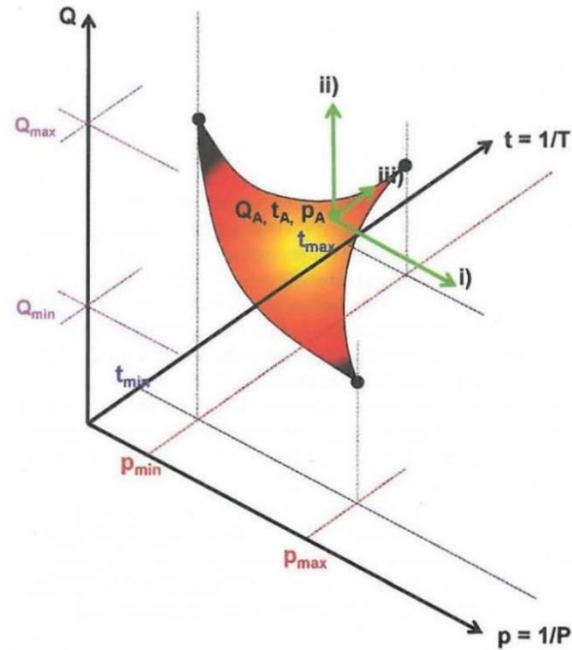


Abbildung 15: „Iso-Nutzenlinie“ zwischen Preis, Bauzeit und Qualität (HIMMEL UND MALKWITZ 2016)

Auch BERGMAN UND LUNDBERG (2013) formulieren einen theoretischen Rahmen für die Angebotsbewertung auf Basis mikroökonomischer Prinzipien. Sie fordern für die Wertung von Angeboten einen ökonomisch fundierten Ansatz, da sie zu dem Schluss kommen, dass Scoring-Methoden, wie die Interpolationsmethode (vgl. Kap. 3.4), zur Berechnung des Preis-Leistungs-Verhältnisses ungeeignet sind. Als Lösungsvorschlag führen sie ebenfalls die Möglichkeit der Verwendung konvexer Funktionen [„production cost curve“] an. Ausgehend von diesen theoretischen Formulierungen wird die Verwendung von Produktions- bzw. Randfunktionen als Basis für die Angebotsbewertung öffentlicher Bauleistungen weiterführend aus konzeptioneller Sicht untersucht.

4.4.2 Zuschlagskriterien im Kontext von Aktivitätsanalysen

Bei produktionswirtschaftlichen Prozessen wird die Produktivität von Technologien (Aktivitäten) anhand des Transformationsverhaltens von Faktoren (Inputs) zu Produkten (Outputs) gewertet. Weiterführende Forschungsansätze berücksichtigen zudem Nebenfaktoren bzw. Nebenprodukte (DINKELBACH UND ROSENBERG 2004). Sie bezeichnen Faktoren bzw. Produkte, die zum Ablauf des Produktionsprozesses erforderlich, aber vom Produzierenden i.d.R. unerwünscht sind. Wie in Abbildung 16 schematisch dargestellt, werden (Neben-)Faktoren eingesetzt, um (Neben-)Produkte herzustellen. Im Folgenden werden (Neben-)Faktoren und (Neben-)Produkte nach DINKELBACH UND ROSENBERG (2004) zusammenfassend als Produktionsgüter bezeichnet.

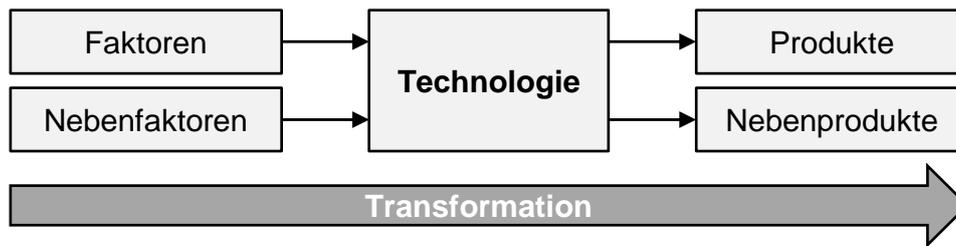


Abbildung 16: Produktionswirtschaftliche Transformation, in Anlehnung an DINKELBACH UND ROSENBERG (2004)

Die Transformation von (Neben-)faktoren zu (Neben-)produkten kann nicht vollständig mit der aktivitätsanalytischen Wertung von Zuschlagskriterien gleichgesetzt werden. Im Wesentlichen liegt dies daran, dass die zu minimierenden Zuschlagskriterien (Inputs) nicht zwangsläufig und/oder nicht vollständig in die zu maximierenden Zuschlagskriterien (Outputs) transformiert werden. So wird bspw. die Bauzeit methodisch als Input verstanden. Eine Bauzeitverkürzung geht jedoch nicht notwendigerweise mit einer Veränderung eines zu maximierenden, qualitativen Kriteriums (z.B. Lärmschutzkonzept für die Baustelle) einher. Eine Abhängigkeit im Sinne der Umwandlung, wie sie bei Produktionsgütern existiert, muss bei Zuschlagskriterien nicht vorliegen. Grundsätzlich ist auch eine Auftragsvergabe denkbar, bei der ausschließlich zu minimierende (zu maximierende) und keine zu maximierenden (minimierenden) Zuschlagskriterien zu werten sind. Zudem unterliegen Produktionsgüter spezifischen Restriktionen, die für Zuschlagskriterien ggf. ohne Relevanz sind. Für die Eigenschaften der Teilbarkeit und Additivität, als wesentliche Einschränkungen bei der Transformation von Produktionsgütern (BREYER 2015), erfolgt eine Bewertung für Zuschlagskriterien.

- **Teilbarkeit:** Produktionsgüter sind nicht in jedem Fall unbegrenzt teilbar. Der Faktor „Mitarbeiter“ beispielsweise kann nur als ganzzahliger Wert in eine Effizienzanalyse einfließen. Dies gilt konzeptionell auch für einige Zuschlagskriterien. So werden qualitative Zuschlagskriterien ordinal und daher ganzzahlig bewertet. Für die spätere Zusammenführung verschiedener Kriterien im Rahmen der Angebotswertung ist festzulegen, ob eine Teilbarkeit für diese Kriterien zulässig ist oder ob das ordinale Skalenniveau erhalten bleiben muss. In gängigen Verfahren bewirkt die Gewichtung einen Verlust des ordinalen Skalenniveaus ($3 \text{ Punkte} * 20\% = 0,6 \text{ Punkte}$). Vergaberechtlich wird die rechnerische Teilbarkeit nicht beanstandet, weshalb von einer Zulässigkeit für Zuschlagskriterien auszugehen ist.
- **Additivität:** Die Additivität trifft Aussagen über Einschränkungen bei der Vervielfachung der Produktionsgüter. So bewirkt ggf. nur die Vervielfachung aller Faktormengen eine Veränderung der Produktmengen. Die Vervielfachung einzelner Faktoren indes erhöht ggf. nicht die Produktmenge (bspw. 4 Reifen und 1 Motor ergeben max. 1 Auto; 5 Reifen und 1 Motor ergeben max. 1 Auto). In diesem Kontext stellt sich die Frage, welches Ergebnis aus der Verbesserung eines Zuschlagskriteriums resultieren muss. Der amtliche Leitsatz, nachdem „jeder [...] gesparte oder mehr aufgewendete Euro sich gleichermaßen auswirken“ (VK München, B. v. 30.08.2016 - Z3-3/3194/1/28/07/16) muss, besagt, dass die Verbesserung einzelner Kriterienwerte sich stets in einer Verbesserung des Ergebnisses niederschlagen muss. Werden andere Kriterien als der

Preis abgefragt, muss dieser Leitsatz äquivalent Gültigkeit besitzen. Aus dem Anwendungsfall der Angebotswertung resultieren somit keine einschränkenden Vorgaben hinsichtlich der Additivität.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass Zuschlagskriterien nicht mit Faktoren oder Produkten gleichzusetzen sind. Restriktive Eigenschaften, wie sie für Produktionsgüter existieren, sind für Zuschlagskriterien weitgehend irrelevant. Im Rahmen der Effizienzanalyse steht ausschließlich ihr Optimierungsziel im Vordergrund. Als solches gilt, dass ein zu minimierendes Kriterium als Input und ein zu maximierendes als Output deklariert wird. Sie werden anhand ihrer Kriterienwerte, bzw. im Kontext der Effizienzanalyse synonym als Kriterienmengen bezeichnet, quantifiziert.

Verfahren der Effizienzanalyse werden grundsätzlich nicht ausschließlich für die Wertung produktionswirtschaftlicher Prozesse herangezogen, sondern sind auch für andere Anwendungsfälle nutzbar. Mehrere Beispiele, bei denen ebenfalls Entscheidungs- bzw. Leistungskriterien anstelle von Produktionsgütern analysiert werden, zeigen die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten. Ein Beispiel einer kennzahlenbasierten Analyse beschreibt SANFT (2015), der eine Effizienzanalyse von Gasnetzbetreibern mit dem Ziel der Anreizregulierung für effiziente Rehabilitationsstrategien aufzeigt. Andere Beispiele finden sich im Bankenwesen (BURGER 2008), im Medizin- und Gesundheitswesen (SMITH 2009) oder in der Agrarwirtschaft (ALLENDORF UND BERG 2014). Auflistungen mit Anwendungsbeispielen sind z.B. bei SCHEFCZYK (1996) und CANTNER ET AL. (2007) zu finden. Eine Statistik über die Anzahl der Veröffentlichungen in verschiedenen Wirtschaftssektoren führt EMROUZNEJAD (2008) auf. REUCHER ET AL. (2008) merken hierzu an, dass kennzahlenbasierte Kriterien als Analysegrößen zur Effizienzermittlung *„eher als Aufwands- und Leistungsindikatoren, [Anm. d. Autors: denn als Produktionsfaktoren] zu verstehen sind“*. Die technische Effizienz kann somit als Fundament für die Angebotswertung herangezogen werden.

4.5 Verfahren zur Berechnung technischer Effizienz

Um eine Berechnung der technischen Effizienz zu ermöglichen, wird der theoretische Ansatz der Produktionsfunktion angewendet. Hierzu existieren verschiedene Ansätze, die weiterführend mit dem Ziel der Verfahrensauswahl für die Angebotswertung vorgestellt werden.

4.5.1 Übersicht der Verfahren

Der Einsatz der Effizienzanalyse in unterschiedlichen Wirtschaftssektoren (vgl. Kap. 4.4.2) führt zur Entwicklung verschiedener Ansätze für die Berechnung der technischen Effizienz. Diese Ansätze können in mehrere Verfahrensgruppen eingeteilt werden. Abbildung 17 zeigt die Gruppen geordnet nach der Dimensionalität der Wertungskennzahlen. Die Gruppen bestehen aus jeweils differenzierten methodischen Verfahren zur Bestimmung der technischen Effizienz. Für die Angebotswertung kommen bei multidimensionalen Zuschlagskriterien die Ansätze der Effizienzanalyse auf der Grundlage von Durchschnitts- oder Randfunktionen in Frage. Bei diesen Ansätzen bildet die jeweilige Funktion die Vergleichsgröße, die häufig auch

als Benchmark bezeichnet wird. Durch die Abstandsmessung im multidimensionalen Raum lässt sich die technische Effizienz ermitteln.

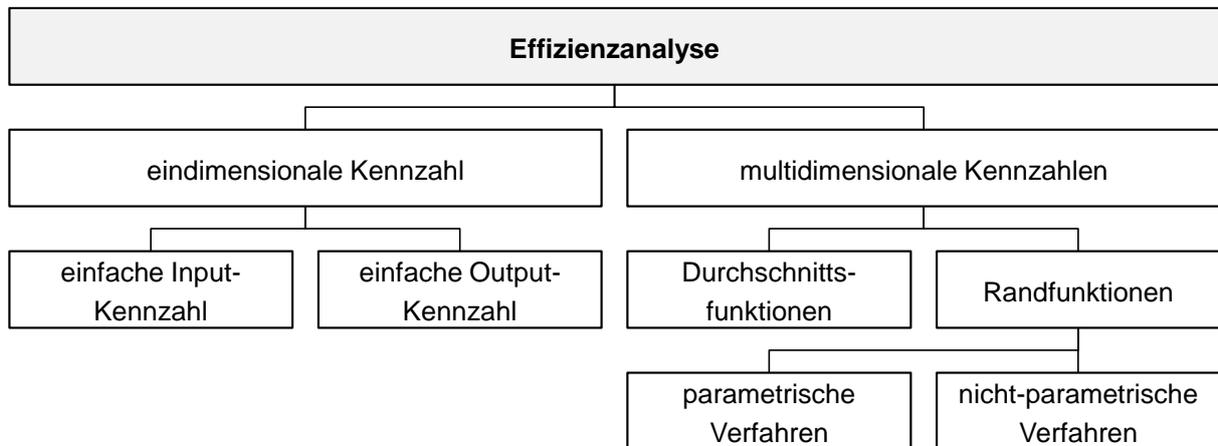


Abbildung 17: Verfahren der Effizienzanalyse, nach BOLES ET AL. (1995), erweitert von HAMMERSCHMIDT (2006)

4.5.2 Verfahren mit Durchschnittsfunktion

Abbildung 18 zeigt beispielhaft eine lineare Durchschnittsfunktion (auch Regressionsgerade bzw. Regressionshyperebene bei mehr als zwei Kennzahlen genannt) für einen Input x_1 und einen Output y_1 . Dabei wird die Funktion so durch die Punktwolke der Aktivitäten A bis H konstruiert, dass die Summe der quadrierten Abstände aller Aktivitäten zur Geraden minimal ist. Die Methodik wird als Ordinary Least Squares bzw. einfache kleinste Quadrateschätzung bezeichnet. Die einfache kleinste Quadrateschätzung ist limitiert, sodass nur ein Output y_1 bei mehreren Inputs x_i mit $i=1, \dots, m$ bzw. ein Input x_1 bei mehreren Outputs y_r mit $r=1, \dots, s$ in die Analyse einfließen können (HAMMERSCHMIDT 2006; KOMLOS UND SÜSSMUTH 2010). Somit erfolgt die Abstandsmessung entweder nur in die Input- oder Outputrichtung; exemplarisch sind die Abstandsmessungen ε_D und ε_F für die Outputrichtung in Abbildung 18 eingetragen.

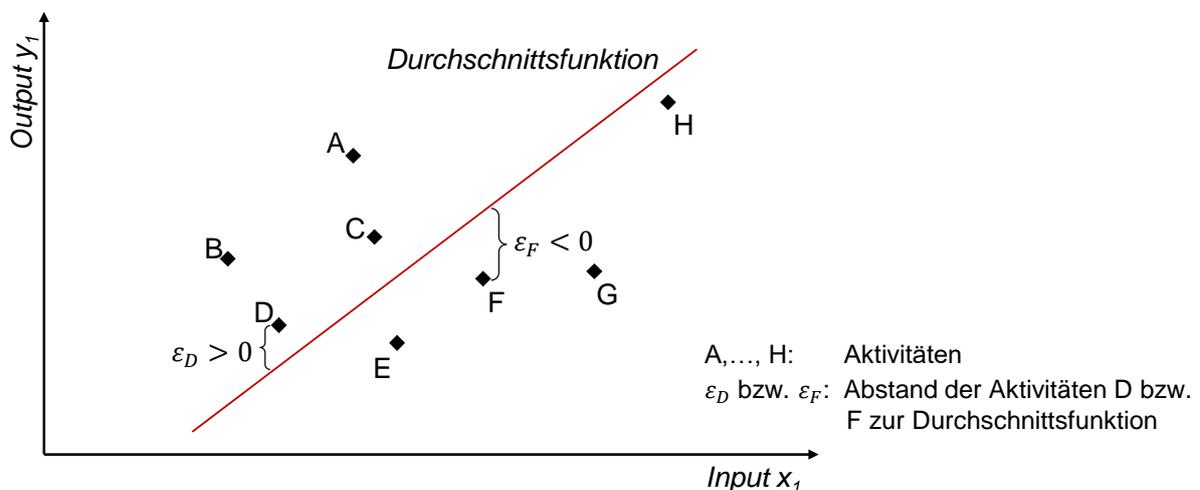


Abbildung 18: Durchschnittsfunktion mit einfacher kleinster Quadrateschätzung

Erfolgt der Vergleich anhand einer Durchschnittsfunktion, kann eine Abweichung der Aktivitäten sowohl positiv als auch negativ sein. Der Vergleichsmaßstab bildet also nicht die Bestmarke ab. Die Nutzung von Durchschnittsfunktionen ist für die Angebotswertung, bei der das wirtschaftlichste Angebot zu ermitteln ist, daher ungeeignet. In den weiteren Unterkapiteln werden Ansätze zur Effizienzmessung anhand von Randfunktionen untersucht. Sie unterteilen sich, wie in Abbildung 17 dargestellt, in die zwei Verfahrensarten der parametrischen und der nicht-parametrischen Analyse.

4.5.3 Verfahren der parametrischen Effizienzanalyse

Die Verfahren der parametrischen Effizienzanalyse nutzen zur Ermittlung der technischen Effizienz eine theoretische Randfunktion. Ähnlich wie bei Durchschnittsfunktionen wird die Funktion nach der Identifikation der Input- und Outputmengen so modelliert, dass sie sich bestmöglich an die Aktivitäten anlegt. Hierzu ist a priori die Vorgabe eines Funktionsverlaufs (bspw. Cobb-Douglas, Translog, Constant Elasticity of Substitution etc.) anzugeben (POREMBSKI 2000). Im Wesentlichen wird zwischen zwei Verfahrensarten unterschieden:

- Stochastic Frontier Analysis (SFA)
- Deterministic Frontier Analysis (DFA)

Die Entwicklung und Publikation der SFA erfolgt in den Arbeiten von AIGNER ET AL. (1977), BATTESE UND CORRA (1977) und MEEUSEN UND VAN DEN BROECK (1977). Die Methodik unterscheidet sich gegenüber der DFA darin, dass ein Fehlerterm für Ereignisse berücksichtigt wird, die für den Entscheider unbeeinflussbar sind. Als solches können z.B. das Wetter oder anderen positive oder negative Zufälle berücksichtigt werden. Derartige Zufälle werden im Rahmen der Angebotswertung nicht einbezogen, weshalb nur die DFA für die Verfahrensauswahl weiterführend untersucht wird.

Die DFA wurde von AIGNER UND CHU (1968) entwickelt. Gleichsam wie bei Durchschnittsfunktionen erfolgt die Modellierung der Randfunktion nach der Datensammlung. Die Auswahl des Funktionsverlaufs fällt bei der Analyse von Aktivitäten häufig zugunsten einer Funktion vom Typ Cobb-Douglas aus, da sie die Skalenelastizität der Inputs und Outputs und somit das Steigungsverhalten der Funktion oft bestmöglich abbildet. In (4.6) wird eine parametrische Funktion beispielhaft mit einem Output y_1 und zwei Inputs x_1 und x_2 angegeben. Die beiden unbekannt Parameter α und β drücken die Skalenelastizität aus. Sie werden anhand der Mengenvektoren der Aktivitäten deterministisch ermittelt. Die Variable ε_j beschreibt die Abweichung zwischen einer Aktivität und der Randfunktion und stellt somit den Ineffizienzanteil einer Aktivität j dar. Ein Wert von $\varepsilon_j=0$ bedeutet, dass eine Aktivität auf der Randfunktion liegt und somit technisch effizient ist. Aus einer Abweichung lässt sich folglich der Anteil an technischer Ineffizienz ablesen.

$$y_{1,j} = x_{1,j}^\alpha \cdot x_{2,j}^\beta + \varepsilon_j, \quad j=1, \dots, n \quad (4.6)$$

$$u.d.N. \varepsilon_j \leq 0$$

Der wesentliche Unterschied zu Durchschnittsfunktionen liegt in der Einführung der Nebenbedingung $\varepsilon_j \leq 0$. Hier wird festgelegt, dass keine positiven Abweichungen zulässig sind (AIGNER UND CHU 1968). Um die parametrische Randfunktion und den technischen Effizienzwert grafisch deutlicher darzustellen, wird das Beispiel auf eine zweidimensionale Darstellung reduziert. Abbildung 19 zeigt beispielhaft eine parametrische Funktion vom Typ Cobb-Douglas mit einem Input x_1 und einem Output y_1 . Für die Aktivitäten D und F ist beispielhaft der Abstand zur Randfunktion in Output-Richtung und somit die technische Ineffizienz der beiden Aktivitäten eingetragen. GREENE (2012) erläutert, dass mit dem Verfahren das maximale Outputniveau unter der Prämisse optimaler Bedingungen, also ohne negative Zufälle, angezeigt wird. Der Parameter α des Inputs x_1 ist so zu schätzen, dass sich die Funktion möglichst nah an die Aktivitäten anlegt. Hierzu kann bspw. auf die Minimierung der quadrierten Abweichungen zurückgegriffen werden, äquivalent wie bei Durchschnittsfunktionen (AIGNER UND CHU 1968). Nach der Schätzung der Randfunktion wird sie nach oben verschoben, bis die äußerste Aktivität erreicht wird (RATCHFORD ET AL. 1996). In Abbildung 19 ist dies Aktivität A , für die sich der Wert $\varepsilon_A = 0$ und somit technische Effizienz ergibt. Die Abstände der anderen Aktivitäten zur Randfunktion resultieren infolgedessen aus dem Vergleich zu dieser Randfunktion (DE BORGER UND KERSTENS 1996).

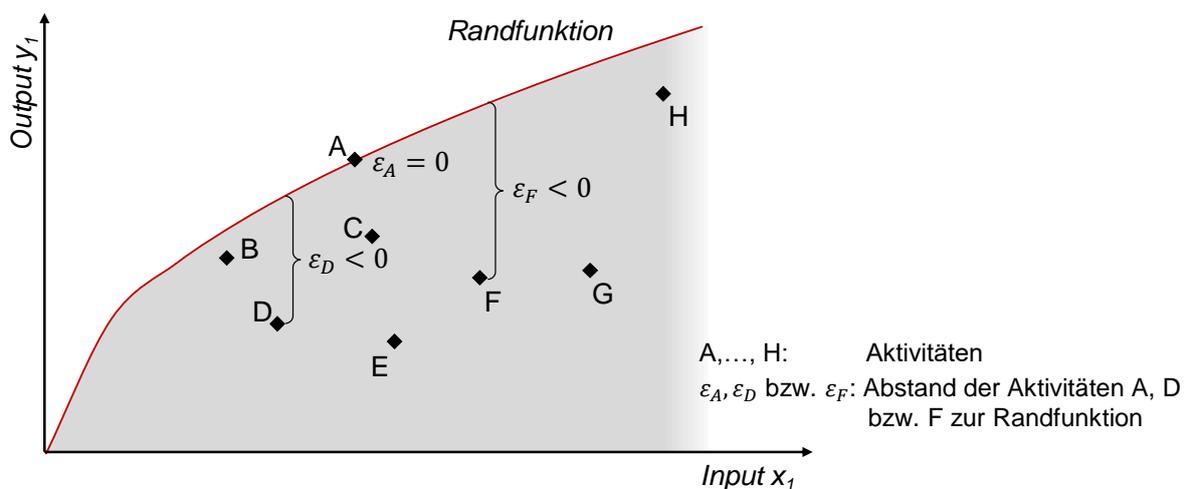


Abbildung 19: Effizienzanalyse mit parametrischem Ansatz

Eine Einschränkung bei parametrischen Verfahren ist, gleichermaßen wie bei den Durchschnittsfunktionen, dass die Effizienzanalyse nur für den Fall von einem Input x_1 bei mehreren Outputs y_r bzw. einem Output y_1 bei mehreren Inputs x_i durchgeführt werden kann (BRYCE ET AL. 2000; KAPARAKIS ET AL. 1994). SANFT (2015) gibt ein Anwendungsbeispiel mit einem Input und neun Outputs an. Bei der deterministischen Schätzung der Funktionsparameter fließen alle Aktivitäten (hier: A bis H) in die Analyse ein. Auch Aktivitäten, die im Vergleich zur gesamten Aktivitätenmenge eine hohe technische Ineffizienz aufweisen (bspw. E), beeinflussen den Verlauf der Randfunktion (SCHMIDT 1976). Dieses Verfahrenscharakteristikum trifft auf nicht-parametrische Ansätze nicht zu.

4.5.4 Verfahren der nicht-parametrischen Effizienzanalyse

Der erste theoretische Entwicklungsansatz zur nicht-parametrischen Effizienzmessung geht auf FARRELL (1957) zurück. CHARNES ET AL. (1978), BANKER ET AL. (1984), DEPRINS ET AL. (1984) und weitere entwickelten auf dieser Grundlage verschiedene nicht-parametrische Modelle zur Effizienzmessung. Im Unterschied zu den parametrischen Effizienzanalysen werden zur Effizienzwertbestimmung beim nicht-parametrischen Ansatz a priori keine Informationen über die Produktionsfunktion und die Funktionsparameter benötigt. Anstelle der Verwendung einer stetigen Funktion wird die Randfunktion bei nicht-parametrischen Verfahren durch abschnittsweise lineare Verknüpfungen der tatsächlich beobachteten Aktivitäten approximiert (VARIAN 1984). Mathematisch erfolgt dies durch das Lösen einer linearen Optimierungsaufgabe. Methodische Unterschiede zwischen verschiedenen nicht-parametrischen Verfahren ergeben sich aus der Modellierung der Randfunktion durch die Struktureigenschaften und der Distanzfunktion zur Abstandsmessung zwischen einer Aktivität und der Randfunktion. Durch die Struktureigenschaften gibt der Entscheider Vorgaben über den Verlauf der Randfunktion an. Häufig werden Verfahrensarten zwischen konvexen und nicht-konvexen Funktionen unterteilt. Somit stehen zwei Ansätze zur Verfügung:

- Data Envelopment Analysis (DEA)
- Free Disposal Hull (FDH)

An dieser Stelle wird nur die ursprünglich entwickelte und weit verbreitete DEA, mit dem Ziel des Vergleichs zum parametrischen Ansatz, erläutert. Die Randfunktion, methodisch auch als Einhüllende (engl. envelopment) bezeichnet, setzt sich aus den Aktivitäten zusammen, die in Abhängigkeit von den Struktureigenschaften die anderen Aktivitäten dominieren. In Abbildung 20 ergibt sich die konvexe Randfunktion aus den technisch effizienten Aktivitäten A , B und H . In der Abbildung sind verschiedene Möglichkeiten zur Abstandsmessung für die technisch ineffiziente Aktivität C eingetragen. Dies zeigt, dass verschiedene Modelle eine Abstandsmessung in unterschiedliche Richtungen ermöglichen. Neben den Struktureigenschaften muss vom Entscheider somit eine geeignete Distanzfunktion vorgegeben werden. Bei dem nicht-parametrischen Ansatz wird kein Anspruch daran gestellt, die theoretische Randfunktion zu finden. Ziel ist vielmehr die Modellierung der Funktion anhand des „*observed best practice*“ aus den Werten der Input- und/oder Output-Mengenvektoren (CANTNER ET AL. 2007). Die DEA benötigt zur Effizienzanalyse a priori nur wenige Vorgaben, die in Form mathematischer Optimierungsaufgaben angegeben werden können, um a posteriori aus den Mengenvektoren der $i=1, \dots, m$ Inputs x_i und den $r=1, \dots, s$ Outputs y_r der technisch effizienten Aktivitäten die $s+m$ -dimensionale Randfunktion zu generieren.

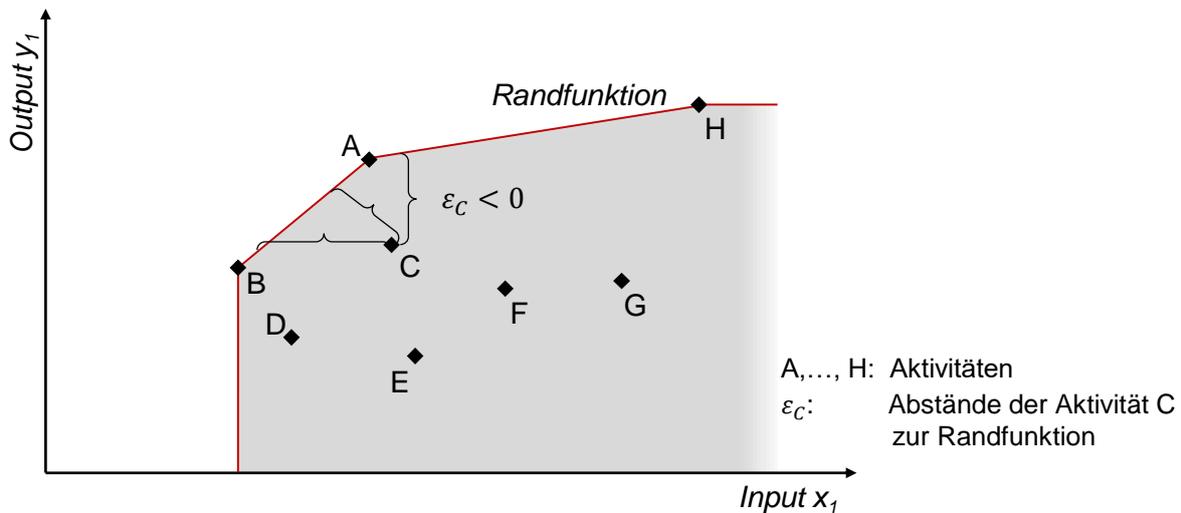


Abbildung 20: Effizienzanalyse mit nicht-parametrischem Ansatz

Nachfolgend werden die wesentlichen Aspekte der Effizienz als Kennzahl für die Angebotsbewertung zusammengefasst, um daran anschließend einen Verfahrensansatz für das zu entwickelnde Wertungsmodell auszuwählen.

4.6 Eignung der Effizienz als Wertungskennzahl und Verfahrensauswahl

Die Pareto-Koopmans Effizienz ist ein Vergleichsmaßstab für verschiedene Entscheidungsalternativen, die im Kontext der Effizienzanalyse als Aktivitäten bezeichnet werden. Als Ergebnis kann ein Entscheider feststellen, ob eine Aktivität dominiert wird oder selber andere Aktivitäten dominiert. So kann evaluiert werden, ob technische oder organisatorische Möglichkeiten existieren, um die eigene Effizienz zu steigern. Um den Vergleich durchzuführen, sind nur wenige subjektive Vorgaben erforderlich. Zudem basiert das Konzept auf dem ökonomisch fundierten Minimal- bzw. Maximalprinzip. Die ausschließliche Differenzierung zwischen effizienten und ineffizienten Aktivitäten lässt jedoch keine weiterführenden Wertungen in Form einer Rangfolge oder einer quantitativen Angabe von Verbesserungspotenzialen zu. Das relative Konzept der technischen Effizienz nach FARRELL (1957) ermöglicht eine derartige Quantifizierung der Effizienz. Als Ergebnis kann mithilfe eines auszuwählenden Verfahrensansatzes eine skalare Ergebniskennzahl, der technische Effizienzwert, aus den multidimensionalen Mengenvektoren berechnet werden. Dieser relative Vergleich der Aktivitäten und das gezielte Aufzeigen von Leistungsunterschieden kann ein Bieter nutzen, um mögliche Schwachstellen hinsichtlich strategischer und operativer Ziele zu erkennen und langfristig zu optimieren. Die langfristige und nachhaltige Förderung strategischer Aspekte als wesentliches Ziel des strategischen Entscheiders wird so unterstützt. Weiterführend wird aus diesen Gründen das Konzept der technischen Effizienz zur Angebotsbewertung verfolgt.

Als geeignetes Instrument wird ein Ansatz aus der Verfahrensart der nicht-parametrischen Effizienzanalysen gewählt. Hierbei können bereits mit der Ausschreibung alle Informationen zur Berechnung des technischen Effizienzwerts angegeben werden. Bei parametrischen Ansätzen kann der Funktionsverlauf erst bestimmt werden, wenn alle Kriterienwerte bekannt

sind. Dies ist ein entscheidender Aspekt für die Auswahl der Verfahrensart, da bei der Vorbereitung der Vergabe noch keine Quantifizierung der Zuschlagskriterien erfolgt ist. Zudem wird auf die Schätzung des Funktionsverlaufs der Randfunktion infolge der Festlegung einer Funktionsart verzichtet. Dies ist ein weiterer entscheidender Vorteil, da die Beeinflussung der Angebotsrangfolge durch die Ausgestaltung des Wertungsverfahrens in einigen Rechtsprechungen (bspw. VK München, B. v. 30.08.2016 - Z3-3/3194/1/28/07/16; EuGH, U. v. 14.07.2016 - Rs. C-6/15; OLG Düsseldorf, B. v. 21.10.2015 - VII-Verg 28/14; VK Westfalen, B. v. 21.01.2015 - 18/14) als Begründung für die vergaberechtliche Nonkonformität des untersuchten Wertungsverfahrens angeführt wird. Für die weitere Ausarbeitung des Wertungsmodells für wirtschaftliche Angebote wird somit im nachfolgenden Kapitel das Konzept der nicht-parametrischen Effizienzermittlung aufgezeigt.

5 Nicht-parametrische Effizienzanalyse

Für die Berechnung der technischen Effizienz mit nicht-parametrischen Verfahren müssen Angaben über das Effizienzintervall, die Struktureigenschaften der Aktivitätenmenge und die Distanzfunktion festgelegt werden. Für den spezifischen Anwendungsfall werden die verschiedenen Möglichkeiten zur Ausgestaltung einer Effizienzanalyse vorgestellt und die Eignung für die Angebotswertung überprüft. Dieses Vorgehen folgt dem Schema in Abbildung 21.

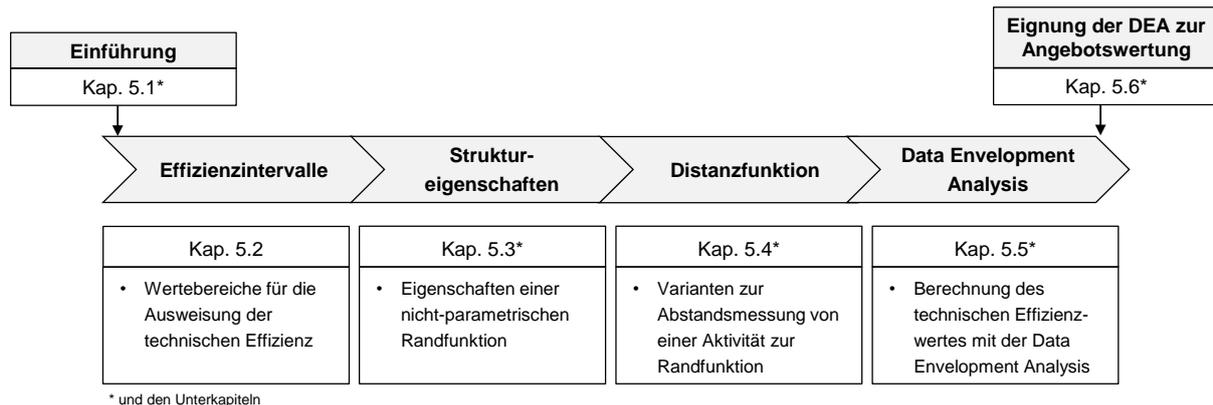


Abbildung 21: Kapitelaufbau als Einführung in die nicht-parametrische Effizienzanalyse

5.1 Einführung in die nicht-parametrische Effizienzanalyse

5.1.1 Ergebnis der Literaturrecherche

Die Leistungsauswertung von Produktionsprozessen oder ganzer Unternehmen erfolgt i.d.R. auf Grundlage von monetären Kennzahlen, wie z.B. dem jährlichen Umsatz oder dem Gewinn. Einige Indikatoren sind jedoch nur schwer oder gar nicht anhand von monetären Werten messbar. Anwendungsfälle sind neben den in Kap. 4.4.2 benannten Beispielen Umweltschutzmaßnahmen (ALLEN 2002) oder Marketingkampagnen (HAMMERSCHMIDT 2006). In diesen Aufgabenbereichen zeigt sich anhand der Vielzahl von Veröffentlichungen die Anwendungsmöglichkeit nicht-parametrischer Effizienzanalysen. MUßHOFF ET AL. (2009) ergänzen, dass der Einsatz nicht-parametrischer Effizienzanalysen auch dann sinnvoll ist, wenn den vorhandenen Preisen für eine Leistung nicht zuzutrauen ist, dass sie die „ökonomische Knappheit adäquat widerspiegeln“.

Im Hinblick auf die Angebotswertung beschreiben FALAGARIO ET AL. (2012), dass Effizienzanalysen vergleichsweise selten im Zusammenhang mit Vergabemodellen für öffentliche Bauleistungen Anwendung finden, sondern der Fokus vielmehr auf der Anbietersauswahl privater Auftraggeber liegt. Entsprechende Beispiele zur „Supplier Selection“, finden sich u.a. in WEBER UND DESAI (1996), BRAGLIA UND PETRONI (2000), TALLURI UND NARASIMHAN (2005), GARFAMY (2006), SEVKLI ET AL. (2007), RAMANATHAN (2007), WU ET AL. (2007) und SAEN (2008; 2009). Bei privatwirtschaftlichen Vergaben ist die Ableitung einer eindeutigen Rangfolge der Bieter

keine notwendige Bedingung. Der Effizienzwert kann bspw. dabei behilflich sein, eine Vorauswahl zu treffen, indem ineffiziente Bieter ausgeschlossen werden. Für den Sektor der öffentlichen Vergaben findet sich eine geringere Anzahl an Publikationen, die nicht-parametrische Effizienzanalysen beschreiben. LORENTZIADIS (2010), FALAGARIO ET AL. (2012), YANG ET AL. (2016) oder NIEWERTH ET AL. (2017a; 2017b; 2017c) nutzen Methoden aus dieser Verfahrensgruppe für diesen spezifischen Anwendungsfall. Da die Effizienzanalyse in ihrer ursprünglichen Ausprägung nicht für die Ableitung einer Rangfolge entwickelt wurde, sind für die Angebotswertung weiterführende Lösungsansätze erforderlich. Ein Beispiel wird von FALAGARIO ET AL. (2012) vorgeschlagen, die die Anwendung der Kreuzeffizienzmethode nach SEXTON ET AL. (1986) nutzen. Da bei diesem Ansatz die Implementierung einer Kriteriengewichtung durch den Auftraggeber jedoch nicht möglich ist, wird im Rahmen dieser Arbeit Abstand von dem Ansatz genommen. In der Bauwirtschaft bzw. dem Bauprojektmanagement hat die Effizienzanalyse bis heute ebenfalls geringe Beachtung gefunden. MCCABE ET AL. (2005) nutzen die nicht-parametrische Effizienzanalyse für die Präqualifizierung von Bietern bei Bauprojekten. WILLIAMS UND ANDERSON (2003) sowie YAT ET AL. (2013) vergleichen mit der DEA die Effizienz von Bauunternehmen. SERESHT ET AL. (2014) nutzen die Methodik zur Erfolgsanalyse hinsichtlich Zeit-, Kosten- und Qualitätsmerkmalen sowie der Kundenzufriedenheit bei vergleichbaren Bauprojekten. SANFT (2015) und SANFT UND THEWES (2016) beschreiben, dass für Anbieter auf dem regulierten deutschen Gasmarkt die Kosteneffizienz mittels Data Envelopment Analysis und Stochastic Frontier Analysis berechnet wird. Um für die weiterführende Modellentwicklung das Konzept der nicht-parametrischen Effizienzanalyse vorzustellen, muss zunächst eine einheitliche mathematische Notation festgelegt werden, auf die in den nachfolgenden Kapiteln zurückgegriffen werden kann.

5.1.2 Mathematische Notation

Die am häufigsten angewendete Methodik innerhalb der nicht-parametrischen Effizienzanalysen ist die Data Envelopment Analysis. Aktivitäten werden nach CHARNES ET AL. (1978) im Rahmen der DEA als „*decision making units*“ (DMU) bezeichnet. SCHEEL (2000) spricht im selben Kontext abgekürzt von „*Units*“. Auch semantisch wird so die Anwendbarkeit der Methodik vom Produktionsprozess losgelöst und auf einen breiteren Kontext bezogen. Die Menge aller Aktivitäten wird als DMU_j bezeichnet, wobei $j=1, \dots, n$ die Gesamtheit aller n Aktivitäten umfasst. Die jeweils zu bewertende Aktivität bzw. DMU wird als Ziel-Aktivität bzw. Ziel-DMU, Target-DMU oder als DMU_0 bezeichnet. Jede DMU besteht aus dem Input-Mengenvektor und dem Output-Mengenvektor. WILKEN (2007) beschreibt, dass die für die Analyse heranzuziehenden Inputs x_i und Outputs y_i als Ziele einer Aktivität zu interpretieren sind. Die jeweiligen Mengen zeigen den Zielerreichungsgrad an. Zuschlagskriterien, denen eine Minimierungsaufgabe zugrunde liegt, bilden den Input ab. Zuschlagskriterien, denen eine Maximierungsaufgabe zugrunde liegt, werden als Output angesehen. Zur Effizienzanalyse werden somit im Weiteren $j=1, \dots, n$ verschiedene DMU_j mit $i=1, \dots, m$ verschiedenen Inputs x_i und $r=1, \dots, s$ verschiedenen Outputs y_r betrachtet. Die Mengen der Inputs, die die DMU_j einsetzen, werden in dem Input-Mengenvektor $x_{j,i}$ erfasst. Die Mengen der Outputs aller DMU_j werden äquivalent in dem Output-Mengenvektor $y_{j,r}$ zusammengefasst. Für eine Anzahl von $n=3$ DMUs, $m=2$ Inputs

und $s=3$ Outputs ergeben sich demnach beispielhaft die Mengenvektoren gem. Tabelle 4.

Tabelle 4: Darstellung der Input- und Output-Mengenvektoren

| DMU _j : | | j | | |
|---------------------------------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Input-Mengenvektor: (i = 1, 2) | $x_{j,i} \cdot \begin{pmatrix} x_{j,1} \\ x_{j,2} \end{pmatrix} \rightarrow$ | $\begin{pmatrix} x_{1,1} \\ x_{1,2} \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} x_{2,1} \\ x_{2,2} \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} x_{3,1} \\ x_{3,2} \end{pmatrix}$ |
| Output-Mengenvektor: (r = 1, 2, 3) | $y_{j,r} \cdot \begin{pmatrix} y_{j,1} \\ y_{j,2} \\ y_{j,3} \end{pmatrix} \rightarrow$ | $\begin{pmatrix} y_{1,1} \\ y_{1,2} \\ y_{1,3} \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} y_{2,1} \\ y_{2,2} \\ y_{2,3} \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} y_{3,1} \\ y_{3,2} \\ y_{3,3} \end{pmatrix}$ |

Bei der Untersuchung einer konkreten DMU₀ ist vom Input-Mengenvektor $x_{0,i}$ bzw. Output-Mengenvektor $y_{0,r}$ die Rede. Die nicht-parametrische Randfunktion wird aufgrund der Multidimensionalität, die aus der Anzahl der unterschiedlichen Inputs und Outputs resultiert, auch als Hyperebene bezeichnet. Alle Variablen, die bis hierher im Text nicht benannt, unten aber aufgeführt sind, werden an den entsprechenden Stellen in den nachfolgenden Kapiteln vorgestellt. Weiterführend wird somit die nachfolgende einheitliche Notation festgelegt:

DMU_j: Aktivitätenmenge aller n DMUs, $j = 1, 2, \dots, n$

DMU₀: Zu untersuchende Aktivität (auch: Ziel-DMU)

TE₀: Technische Effizienz der DMU₀

Θ₀: Abstandsmaß der DMU₀ zur Randfunktion

x_i = Bezeichnung eines Inputs für eine Anzahl von m Inputs, $i = 1, 2, \dots, m$

y_r = Bezeichnung eines Outputs für eine Anzahl von s Outputs, $r = 1, 2, \dots, s$

$x_{j,i} = (x_{j,1}, x_{j,2}, \dots, x_{j,m})$: i-ter Input-Mengenvektor der DMU_j für m Inputs, $i = 1, 2, \dots, m$

$x_{0,i} = (x_{0,1}, x_{0,2}, \dots, x_{0,m})$: i-ter Input-Mengenvektor der DMU₀

$y_{j,r} = (y_{j,1}, y_{j,2}, \dots, y_{j,s})$: r-ter Output-Mengenvektor der DMU_j für s Outputs, $r = 1, 2, \dots, s$

$y_{0,r} = (y_{0,1}, y_{0,2}, \dots, y_{0,s})$: r-ter Output-Mengenvektor der DMU₀

$v_{j,i} = (v_{j,1}, v_{j,2}, \dots, v_{j,m})$: Vektor der Inputmultiplier¹² für m Inputs, $i = 1, 2, \dots, m$

$v_{0,i} = (v_{0,1}, v_{0,2}, \dots, v_{0,m})$: Vektor der Inputmultiplier der DMU₀

$u_{j,r} = (u_{j,1}, u_{j,2}, \dots, u_{j,s})$: Vektor der Outputmultiplier für s Outputs, $r = 1, 2, \dots, s$

$u_{0,r} = (u_{0,1}, u_{0,2}, \dots, u_{0,s})$: Vektor der Outputmultiplier der DMU₀

u_0 : Skalensvariable¹³

λ_j : Referenzvektor¹⁴ der DMU_j für n DMUs, $j = 1, 2, \dots, n$

¹² Als Multiplier werden die Hilfsvariablen zur Lösung der Multiplier-Form bezeichnet (vgl. Kap. 5.5.2)

¹³ Die Skalensvariable entscheidet über die Art des Skalenertrags (vgl. Kap. 5.3.3)

¹⁴ Der Referenzvektor enthält die Hilfsvariablen zur Lösung der Envelopment-Form (vgl. Kap. 5.5.3)

5.1.3 Elemente der nicht-parametrischen Effizienzanalyse

In den Unterkapiteln von Kap. 5.2, 5.3 und 5.4 werden die weiteren modellspezifischen Bestandteile einer nicht-parametrischen Effizienzanalyse zur Berechnung des technischen Effizienzwerts TE_0 eingeführt. Dies sind das Effizienzintervall, die Struktureigenschaften und die Distanzfunktion.

- Effizienzintervall: Wertebereich, in dem sich der Effizienzwert befindet.
- Struktureigenschaften der Randfunktion: bestimmen die geometrische Form der Aktivitätenmenge.
- Distanzfunktion: gibt die Richtung von einer DMU_0 zur Randfunktion mit dem Ziel der Abstandsmessung an.

Durch die Festlegung von Struktureigenschaften und einer Distanzfunktion ergibt sich neben dem technischen Effizienzwert für jede DMU_j eine Projektion, wie in Abbildung 22 gezeigt. Für eine spezifische DMU_0 wird die Projektion als DMU_{0^*} bezeichnet. Sie befindet sich auf der Randfunktion der Aktivitätenmenge. Diese Projektion weist die Input- bzw. Outputmengen auf, die erforderlich sind, damit die DMU_0 technische Effizienz erlangt. In Anlehnung an die bereits eingeführte Notation sollen die Kriterienwerte der Projektion einer DMU_0 auf der Randfunktion für zu minimierende Kriterien mit $x_{0^*,j}$ und für zu maximierende Kriterien mit $y_{0^*,r}$ bezeichnet werden.

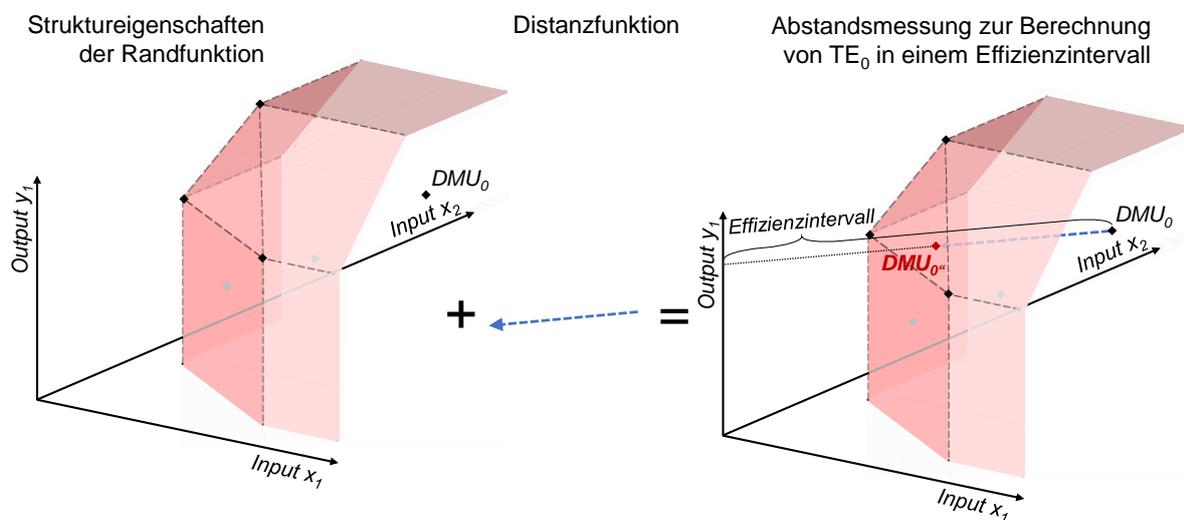


Abbildung 22: Schema der Distanzmessung mit einer DEA

5.2 Effizienzintervalle

Als Effizienzintervall (EI) wird der Wertebereich bezeichnet, in dem sich der technische Effizienzwert einer DMU_0 (TE_0) befindet. Innerhalb des Effizienzintervalls bildet der Effizienzwert die skalare Kennzahl, die den quantitativen Wertevergleich einer DMU_0 mit anderen DMUs ermöglicht. Bei allen Effizienzintervallen ist es wichtig, dass der technische Effizienzwert unmittelbar anzeigt, ob sich eine DMU_0 auf der Randfunktion oder darunterliegend in der Aktivitätenmenge befindet (SCHEEL 2000). Liegt die DMU_0 unterhalb der Randfunktion, besitzt sie

einen Abstand zur ebenjener und weist somit technische Ineffizienz auf. Drei Effizienzintervalle werden eingeführt.

- **$EI=(0\%, 100\%]$** : Dieses Intervall, das auf FARRELL (1957) zurückgeht, wird bei den DEA-Basismodellen (vgl. Kap. 5.3.2) verwendet. Der Effizienzwert wird hier als prozentualer Wert angegeben. In dem Effizienzintervall erzielt eine technisch effiziente Aktivität einen technischen Effizienzwert von $TE_0=1$ bzw. 100% . Die Werte aller ineffizienten Aktivitäten liegen im beidseitig offenen Intervall $TE_0=(0\%, 100\%)$. Ein Wert von $TE_0=0\%$ ist nicht realisierbar, da die DMU_0 in diesem Fall nicht existent wäre. Somit kann der Effizienzwert zwar gegen Null streben, den Wert aber nie erreichen, was durch die runde Klammer angezeigt wird. Um einen prozentualen Wert zu berechnen, muss eine Bezugsgröße herangezogen werden. Hierzu dienen bei den orientierten Basismodellen (zur Orientierung vgl. die Unterkapitel zu Kap. 5.4) die Input- bzw. Outputmengen der technisch effizienten DMUs.
- **$EI=[100\%, \infty)$** : Dieses Effizienzintervall bietet sich insbesondere bei outputorientierten Effizienzanalysen (vgl. Kap. 5.4.2) an. Dabei weist ein Wert von $TE_0=100\%$ wiederum technische Effizienz aus. Ein höherer Wert als 100% kann als Verbesserungspotenzial der Outputs verstanden werden (SCHEEL 2000). So zeigt ein Effizienzwert von $TE_0=110\%$ bspw. an, dass die Outputmengen $y_{0,r}$ der DMU_0 um 10% gesteigert werden müssen, damit sich technische Effizienz einstellt.
- **$EI=[0, \infty)$** : Eine alternative Möglichkeit für die Effizienzquantifizierung ist die Angabe des Abstands zur Randfunktion. Der Effizienzwert ist kein prozentuales Ergebnis, da die Input- bzw. Outputmenge nicht als Bezugsgröße verwendet wird. Ein Abstand von $TE_0=0$ weist hier technische Effizienz auf, da die DMU_0 keinen Abstand zur Randfunktion besitzt. Infolgedessen weist eine DMU_0 mit einem Wert von $TE_0>0$ technische Ineffizienz auf. Um Größenunterschiede zwischen verschiedenen Inputs und Outputs zu normieren, müssen alternative Lösungsvariablen definiert werden. Insbesondere Berechnungskonzepte ab den 1990 Jahren (LUENBERGER 1992b; 1995; CHAMBERS ET AL. 1996; 1998) nutzen dieses allgemeinere Effizienzintervall.

Zur Einführung in die nicht-parametrische Effizienzanalyse werden in den nachfolgenden Unterkapiteln der Kap. 5.3, 5.4 und 5.5 insbesondere die DEA-Basismodelle mit dem Effizienzintervall $(0\%, 100\%]$ nach FARRELL (1957) vorgestellt. Für die weitere Entwicklung einer Angebotswertungsmethode wird in den Unterkapiteln zu Kap. 7.3 auch die Berechnung des Effizienzwertes im Intervall $[0, \infty)$ untersucht.

5.3 Struktureigenschaften von Technologiemenngen

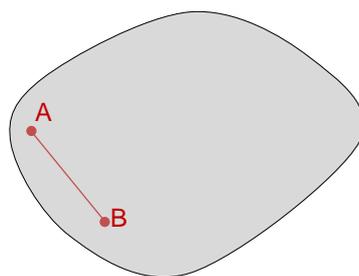
Mithilfe der Struktureigenschaften wird die geometrische Form der Aktivitätenmenge und somit der Verlauf der Randfunktion beschrieben. Vier wesentliche Struktureigenschaften sind für die Ausgestaltung der Aktivitätenmenge erforderlich (SCHEEL 2000): empirische Vollständigkeit, Konvexität, Skalenerträge und Verschwendbarkeit. Diese Eigenschaften werden in den nachfolgenden Unterkapiteln vorgestellt und teilweise anhand eines Beispiels mit einem Input x_1 und einem Output y_1 ($\in \mathbb{R}^2$) grafisch erläutert.

5.3.1 Empirische Vollständigkeit

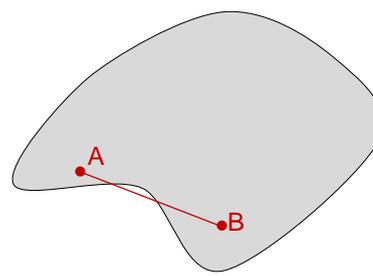
Eine Aktivitätenmenge gilt als empirisch vollständig, wenn alle Aktivitäten in ihr enthalten sind und keine Aktivität ausgeschlossen wird. Aktivitäten, die auf dem Rand liegen, gehören zur Aktivitätenmenge (SCHEEL 2000). Für den Anwendungsfall der Angebotswertung bedeutet dies, dass alle Angebote, die aufgrund der formalen Prüfung, der Prüfung des Preises und der Eignungsprüfung nicht ausgeschlossen werden (vgl. Kap. 3.4), in der Aktivitätenmenge enthalten sein müssen.

5.3.2 Konvexität

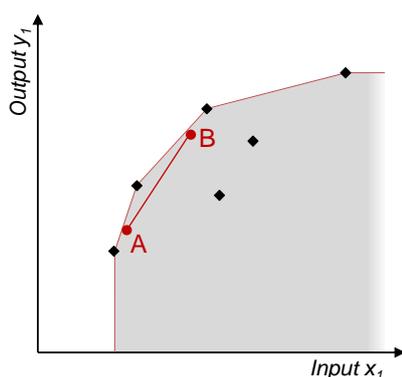
Eine Menge wird in der Mathematik als konvex bezeichnet, wenn ein euklidischer Raum, wie in Abbildung 23 (a1) beispielhaft skizziert, keine Einbuchtungen oder Kerben besitzt. Eine Aktivitätenmenge wird äquivalent als konvex bezeichnet, wenn alle Punkte, die zu der Menge gehören, so miteinander verbunden werden können, dass kein Punkt auf einer Linie zwischen zwei frei gewählten Punkten, die innerhalb der umschlossenen Menge liegen, den Rand überschreiten (BREYER 2015), wie in Abbildung 23 (b1). Bei allen DEA-Modellen wird Konvexität als Struktureigenschaft vorausgesetzt.



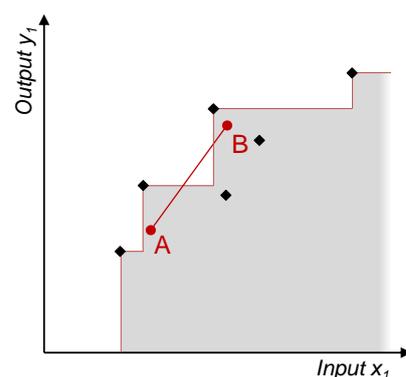
(a1) konvexe euklidische Menge



(a2) nicht-konvexe euklidische Menge



(b1) konvexe Aktivitätenmenge



(b2) nicht-konvexe Aktivitätenmenge

Abbildung 23: Konvexe und nicht-konvexe Mengen bzw. Aktivitätenmengen

Für die Aktivitätenmenge bedeutet die Voraussetzung von Konvexität, dass Inputs und Outputs reellwertig teilbar sein müssen (vgl. Kap. 4.4.2), damit jede Input/Output-Kombination zwischen zwei technisch effizienten DMUs realisierbar ist. Diese Annahme wird bei bestimmten Inputs und Outputs als kritisch gewertet. In Kap. 4.4.2 wird dies für den Input Mitarbeiter er-

läutert. Die Menge der Mitarbeiter kann in der Realität ausschließlich als natürliche Zahl vorliegen. DEPRINS ET AL. (1984) formulieren für Effizienzanalysen mit diesen diskreten Inputs und Outputs das Free Disposal Hull (FDH) Modell. Es stellt ein Verfahren mit einer nicht-konvexen Randfunktion dar. Die nicht-konvexe Struktur der Aktivitätenmenge ist in Abbildung 23 (b2) zu sehen. Hierbei wird die Vorgabe der beliebigen Teilbarkeit verworfen und nur tatsächlich realisierte bzw. realisierbare Input/Output-Kombinationen sind Teil der Aktivitätenmenge. HOFFMANN (2006) betont, dass bei der DEA, als auch in der Mikroökonomie, stets von konvexen Randfunktionen ausgegangen wird, weshalb die FDH als eigenständiges Verfahren klassifiziert wird.

5.3.3 Skalenerträge

Anhand der Skalenerträge lassen sich Aussagen über das Steigerungsverhalten der Outputs infolge einer Erhöhung der Inputs angeben. Die Angaben zum Skalenertrag bestimmen daher den Verlauf der Randfunktion. Der Skalenertrag wird bei nicht-parametrischen Verfahren für eine DMU_0 im Vergleich zu den anderen Aktivitäten beschrieben. Eine DMU_0 kann konstante, zunehmende oder abnehmende Skalenerträge aufweisen. Der Skalenertrag einer DMU_0 gilt als zunehmend (abnehmend), wenn er in Relation zu einem konstanten Skalenertrag ein überproportionales (unterproportionales) Steigungsverhalten aufweist.

- Die Annahme konstanter Skalenerträge setzt eine proportionale Steigerung der Outputmengen bei steigenden Inputmengen voraus. Aus der Erhöhung einer Inputmenge $x_{0,i}$ um einen Faktor μ resultiert eine proportionale Erhöhung der Outputmenge von $y_{0,r} = \mu \cdot x_{0,i}$, wobei μ eine Konstante ist (HOITSCH 1993).
- Bei zunehmenden Skalenerträgen erhöht sich die Outputmenge im Verhältnis zur Inputmenge überproportional. Die Erhöhung der Inputmenge $x_{0,i}$ um einen Faktor μ führt zu einer überproportionalen Erhöhung der Outputmenge von $y_{0,r} = \mu^+ \cdot x_{0,i}$, wobei $\mu^+ > \mu$ ist.
- Bei abnehmenden Skalenerträgen findet eine unterproportionale Steigerung der Outputmenge im Verhältnis zur Inputmenge statt. Die Erhöhung der Inputmenge $x_{0,i}$ um einen Faktor μ führt zu einer unterproportionalen Erhöhung der Outputmenge von $y_{0,r} = \mu^- \cdot x_{0,i}$, wobei $\mu^- < \mu$ ist.

Die Zuweisung einer Skalenertragsart für eine DMU_0 erfolgt über die SkalenvARIABLE u_0 (CANTNER ET AL. 2007). Ob eine technisch effiziente DMU konstante, abnehmende oder zunehmende Skalenerträge aufweist, lässt sich im zweidimensionalen Fall anhand des Werts von u_0 auf der Output-Achse ablesen, wie in Abbildung 24 veranschaulicht. Der Wert von u_0 kann entweder größer, gleich oder kleiner als Null sein. Ein Wert $u_0=0$ zeigt an, dass ausgehend von einer technisch effizienten DMU_0 eine Gerade durch den Nullpunkt existiert, die oberhalb aller anderen Aktivitäten verläuft. In Relation zu dem konstanten Skalenertrags-Niveau wird für alle anderen DMUs ermittelt, ob sie zunehmende oder abnehmende Skalenerträge aufweisen. Für Aktivitäten oberhalb des konstanten Niveaus, das in der Abbildung 24 bei der Outputmenge von DMU B liegt, gilt $u_0 > 0$. Sie agieren im Bereich abnehmender Skalenerträge. Für alle Aktivitäten unterhalb des konstanten Niveaus ist der Wert der SkalenvARIABLE $u_0 < 0$. Sie

weisen daher zunehmende Skalenerträge auf. DELLNITZ (2016) stellt fest, dass „der Skalenertrag [...] ein Indikator für die ökonomische Position der jeweiligen DMU in der Technologie [Anm. d. Autors: synonym Aktivitätenmenge]“ ist. Aus aktivitätsanalytischer Sicht zeigt der Wert von u_0 an, dass die optimale Aktivitätsgröße in der Abbildung 24 beim Outputniveau der DMU B liegt. Für alle DMUs, die eine geringe Outputmenge aufweisen (hier: DMU A und C), gilt $u_0 < 0$. Ihre ökonomische Position wird daher als zu niedrig interpretiert. Der Vergleich mit den anderen (konkurrierenden) DMUs zeigt, dass es einer technisch effizienten DMU möglich ist, durch weitere Inputmengen den Output im Vergleich zum Steigungsverhalten von DMU B überproportional zu steigern. Alle DMU, die oberhalb des Outputniveaus der DMU B liegen, besitzen einen Wert von $u_0 > 0$ und werden als zu groß interpretiert. Eine Reduzierung um eine Inputmenge führt, im Vergleich zur DMU B , zu einer unterproportionalen Reduzierung der Outputmenge. Für ineffiziente DMUs bestimmt sich die Skalenertragsart ebenfalls anhand der Skalensvariable. Hierzu ist nicht die Position der DMU selber, sondern ihre inputorientierte Projektion auf den effizienten Rand ausschlaggebend. So liegt beispielsweise die Projektion D'' der ineffizienten DMU D auf dem Randbereich abnehmender Skalenerträge.

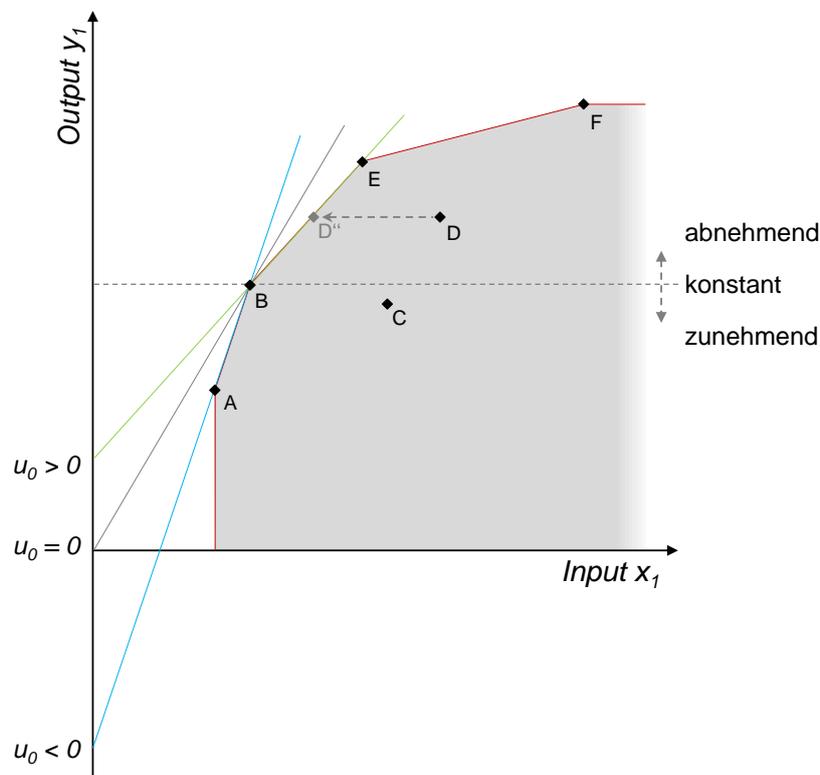


Abbildung 24: Konstante, zunehmende oder abnehmende Skalenerträge von Aktivitäten

Durch das gezielte Ausschließen von bestimmten Skalenertragsarten wird die Randfunktion der Aktivitätenmenge definiert. So kann sie bspw. nur DMUs mit konstanten Skalenerträgen oder DMUs mit allen drei Skalenertragsarten beinhalten. Auch Varianten, die beispielweise zunehmende und konstante Skalenerträge zulassen, abnehmende aber ausschließen, sind realisierbar. Abbildung 25 zeigt verschiedene Aktivitätenmengen für die unterschiedlichen Skalenertragsarten. Da für die DEA die Eigenschaften empirische Vollständigkeit und Konvexität vorausgesetzt werden, kann die Randfunktion nicht aus DMUs mit ausschließlich zu-

nehmenden oder ausschließlich abnehmenden Skalenerträgen gebildet werden. Diese Skalenertragsarten werden daher in der Abbildung als „nicht DEA-konform“ bezeichnet, zum besseren Verständnis dennoch abgebildet. Bei abnehmenden Skalenerträgen ist die Eigenschaft der empirischen Vollständigkeit verletzt, da ggf. nicht alle DMUs Teil der Aktivitätenmenge sind, wie in Abbildung 25 (e) gezeigt wird. Bei zunehmenden Skalenerträgen kann die Eigenschaft der Konvexität verletzt sein, wie Abbildung 25 (f) zeigt. Gängige Bezeichnungen für verschiedene DEA Skalenertragsarten sind nachfolgend und mit Bezug zu Abbildung 25 benannt. Für nicht DEA-konforme Skalenertragsarten existieren folglich keine entsprechenden Bezeichnungen und Abkürzungen. Im Weiteren werden an entsprechenden Stellen im Rahmen dieser Arbeit die folgenden unter (a) bis (d) genannten Abkürzungen verwendet.

- (a) konstante Skalenerträge: constant return to scale (CRS)
- (b) variable Skalenerträge, also zunehmende, konstante und abnehmende Skalenertragsarten: variable return to scale (VRS)
- (c) nicht abnehmende Skalenerträge, also zunehmende und konstante Skalenertragsarten: non-decreasing return to scale (NDRS)
- (d) nicht zunehmende Skalenerträge, also konstante und abnehmende Skalenertragsarten: non-increasing return to scale (NIRS)
- (e) abnehmende Skalenerträge (--)
- (f) zunehmende Skalenerträge (--)

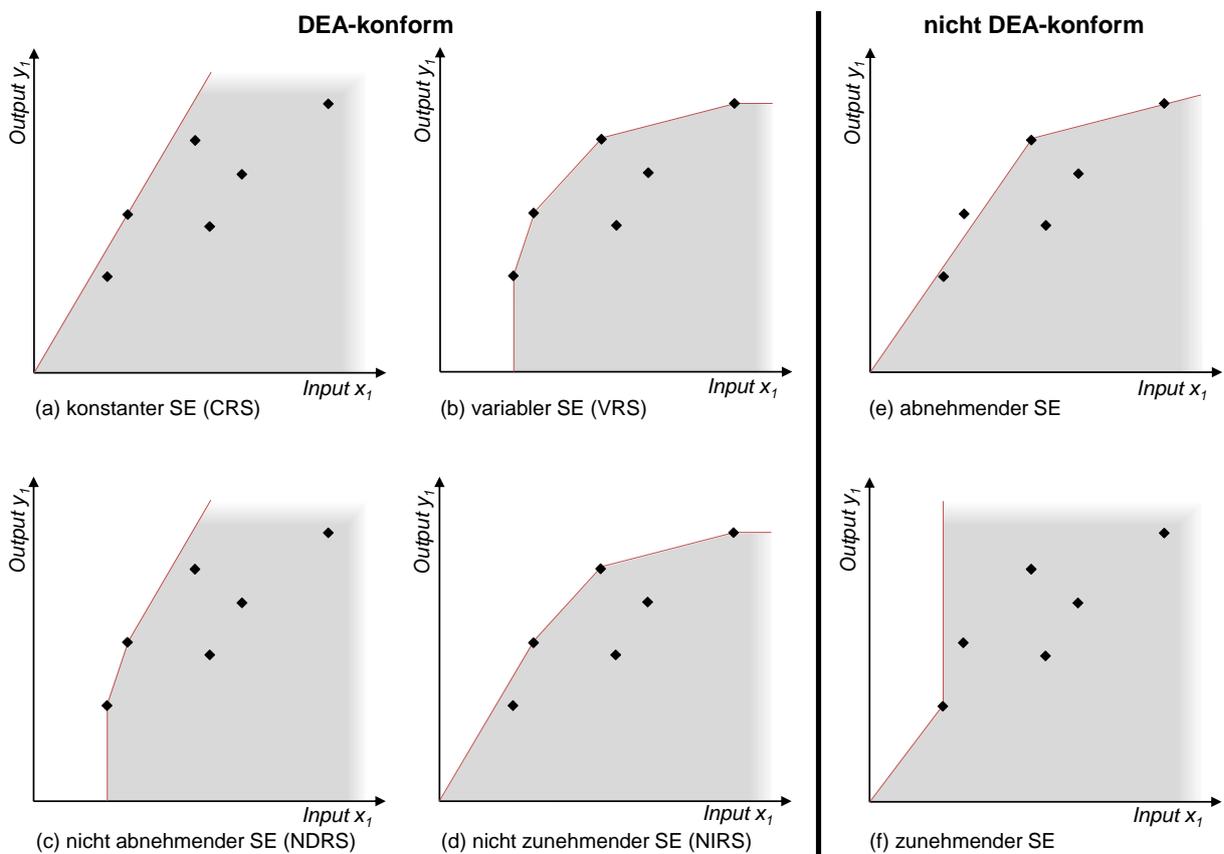


Abbildung 25: Aktivitätenmengen unter Variation der Struktureigenschaft des Skalenertrags

Für verschiedene Skalenertragsarten wurden verschiedene DEA-Modelle entwickelt. Für spezifische Anwendungsfälle können, unter Einhaltung der Struktureigenschaften, zudem eigene

Modelle gebildet bzw. die gängigen Modelle angepasst werden. Die am häufigsten verwendeten Modelle sind die DEA-Basismodelle, die verschiedene Skalenertragsarten abbilden. Das CCR-Modell, benannt nach den Entwicklern Charnes, Cooper und Rhodes (CHARNES ET AL. 1978), legt eine Randfunktion zugrunde, die ausschließlich aus DMUs mit konstanten Skalenerträgen gebildet wird (vgl. Abbildung 25 (a)). BANKER ET AL. (1984) entwickelten das BCC-Modell (Banker, Charnes und Cooper) für variable Skalenerträge (Abbildung 25 (b)). Andere Mischformen gehen auf SEIFORD UND THRALL (1990) zurück. Sie formulieren einen Ansatz für die Randfunktion einer Aktivitätenmenge mit nicht abnehmendem, mit anderen Worten also zunehmenden und konstanten Skalenerträgen (Abbildung 25 (c)). Zudem beschreiben sie einen Ansatz für nicht zunehmende, also konstante und abnehmende Skalenerträge (Abbildung 25 (d)). Aus Abbildung 25 wird auch ersichtlich, dass sich die Aktivitätenmenge von konstanten zu variablen Skalenerträgen enger an das Feld der DMUs anlegt. Somit liegen bei variablen Skalenerträgen mehr Aktivitäten auf der Randfunktion und werden als technisch effizient gewertet.

5.3.4 Verschwendbarkeit

Mit der Eigenschaft der Verschwendbarkeit wird bei der DEA eine Vorgabe über den Verlauf der Randfunktion an den äußeren Randbereichen der Aktivitätenmenge, also oberhalb der größten vorhandenen Outputmenge und unterhalb der kleinsten vorhandenen Inputmenge, festgelegt. Wird freie Verschwendbarkeit (engl. free disposability) zugelassen, darf bei der Erhöhung der Inputs der Output zwar nicht abnehmen, aber auf einem konstanten Niveau verbleiben. Für die Randfunktion ergibt sich somit ein horizontaler Funktionsverlauf, erkennbar im oberen, äußeren Randbereich der Abbildung 23 (b1) und Abbildung 25 (b). Ebenso darf bei einem konstanten Input-Niveau der Output nicht abnehmen, jedoch konstant bleiben (CANTNER ET AL. 2007). Dies zeigt sich in Abbildung 23 (b1) und Abbildung 25 (b) im linken, äußeren Randbereich als vertikaler Verlauf der Randfunktion. Die Eigenschaft der freien Verschwendbarkeit wird somit bei der Struktureigenschaft variabler Skalenerträge zugelassen. Diese horizontalen und vertikalen Verläufe der Randfunktion werden auch als schwach effizienter Rand bezeichnet. Im Gegensatz dazu werden die Linearkombinationen zwischen den technisch effizienten DMUs als stark effizienter Rand bezeichnet (SCHEEL 2000). Grafisch ist diese Eigenschaft, die im Sinne der Produktionswirtschaft auch als Mittelverschwendung bezeichnet wird, zudem in Abbildung 23 (b2) bei der nicht-konvexen Aktivitätenmenge erkennbar. Die ganzzahligen Linearkombinationen zwischen den technisch effizienten DMUs weisen die Eigenschaft auf und bilden den Rand der Aktivitätenmenge.

Für die Modellentwicklung existieren verschiedene Auswahlmöglichkeiten hinsichtlich der Struktureigenschaften. Ob bspw. freie Verschwendbarkeit zugelassen und welche Skalenertragsart für ein zu entwickelndes Wertungsmodell für öffentliche Angebote ausgewählt wird, soll im Rahmen der Modellentwicklung in Kap. 7.3.1 festgelegt werden. Weiterführend folgt eine Darstellung verschiedener Distanzfunktionen zur Messung des Abstands zwischen einer DMU_0 und der Randfunktion.

5.4 Distanzfunktionen

5.4.1 Einleitung

Bildlich beschrieben gibt die Distanzfunktion den Weg von einer DMU_0 zum technisch effizienten Rand an. Somit ermöglicht sie zusammen mit den Struktureigenschaften die Quantifizierung des technischen Effizienzwerts TE_0 . Die Definition von Effizienz als Abstandsmaß geht auf SHEPHARD (1953) zurück. WILKEN (2007) beschreibt, dass mit der Abstandsmessung im Vektorraum aus m Inputs (\mathbb{R}^m) und s Outputs (\mathbb{R}^s) der Effizienzwert als eindimensionaler, reellwertiger Abstand (\mathbb{R}^1), anhand einer Distanzfunktion ψ wie in (5.1), bestimmt wird.

$$\psi: \mathbb{R}^{m+s} \rightarrow \mathbb{R}^1 \quad (5.1)$$

In Anlehnung an WILKEN (2007) kann die Effizienzmessung orientiert oder unorientiert und zugleich radial (synonym äquiproportional (SCHEEL 2000)) oder nicht-radial erfolgen. Somit lassen sich für die Distanzmessung unterschiedliche Kombinationen festlegen. Die möglichen Fälle enthält Tabelle 5.

Tabelle 5: Klassifizierung von Distanzfunktionen

| | | Orientierung | |
|------------|--------------|--------------|--------------|
| | | orientiert | unorientiert |
| Radialität | radial | Fall 1 | Fall 3 |
| | nicht-radial | Fall 2 | Fall 4 |

Fall 5

- **Orientierung:** Eine Distanzfunktion wird als orientiert bezeichnet, wenn der Effizienzwert nur als Maß für die Reduzierung der Inputs bei gleichbleibenden Outputs oder nur als Maß für die Steigerung der Outputs bei gleichbleibenden Inputs erfolgt. Entsprechend erfolgt die Effizienzwertberechnung bei unorientierten Distanzfunktionen unter simultaner Verbesserung der Inputs und Outputs.
- **Radialität:** Eine Distanzfunktion wird als radial bezeichnet, wenn alle Inputs und/oder Outputs im selben Verhältnis in den Effizienzwert eingehen. Der Effizienzwert ist somit der Faktor, um den alle Inputs und/oder Outputs verbessert werden müssen, damit eine ineffiziente DMU technische Effizienz erlangt. Bei einer nicht-radialen Distanzfunktion tragen verschiedene Inputs und/oder Outputs nicht im selben Verhältnis zum Effizienzwert bei.

Die unterschiedlichen Kombinationen aus Orientierung und Radialität werden in Abbildung 26 für ein Beispiel mit zwei Inputs x_1, x_2 und einem Output y_1 (also $\in \mathbb{R}^3$) gezeigt. Um die Orientierung zu verdeutlichen, zeigt Abbildung 26 (a) die x_1 - y_1 -Ebene der Aktivitätenmenge. Es zeigt

sich, dass sich der technische Effizienzwert bei einer orientierten Distanzfunktion ausschließlich aus der Abstandsmessung auf einem konstanten Input- oder Outputniveau ergibt. Eine unorientierte Distanzfunktion verläuft hingegen diagonal durch den Vektorraum. Zur Erzielung technischer Effizienz muss eine ineffiziente DMU_0 sowohl den Input reduzieren als auch den Output steigern.

Abbildung 26 (b) zeigt einen Schnitt durch die Aktivitätenmenge. Der Leser betrachtet den Schnitt in der x_1 - x_2 -Ebene, also wie eine Draufsicht. Die Aktivitätenmenge wird auf einem Outputniveau in Höhe der DMU_0 geschnitten. Die Abbildung zeigt daher die Randfunktion als Inputisoquante auf einem Outputniveau der DMU_0 vom Wert $y_{0,1}$. In dieser Ansicht zeigt sich, dass bei einer radialen Distanzfunktion alle Inputmengen und/oder Outputmengen (hier ersichtlich für die Inputs x_1 und x_2) einer DMU_0 im gleichen Verhältnis in den Effizienzwert TE_0 einfließen. Erkennbar ist dies an der Richtung der Distanzfunktion, die hier direkt zur y_1 -Achse führt. Bei der nicht-radialen Distanzmessung fließt nur die Fehlmenge der DMU_0 aus der Inputmenge von x_1 in den Effizienzwert ein. Der Input x_2 muss von der DMU_0 nicht reduziert werden, damit sie technische Effizienz erlangt und auf der Randfunktion liegt.

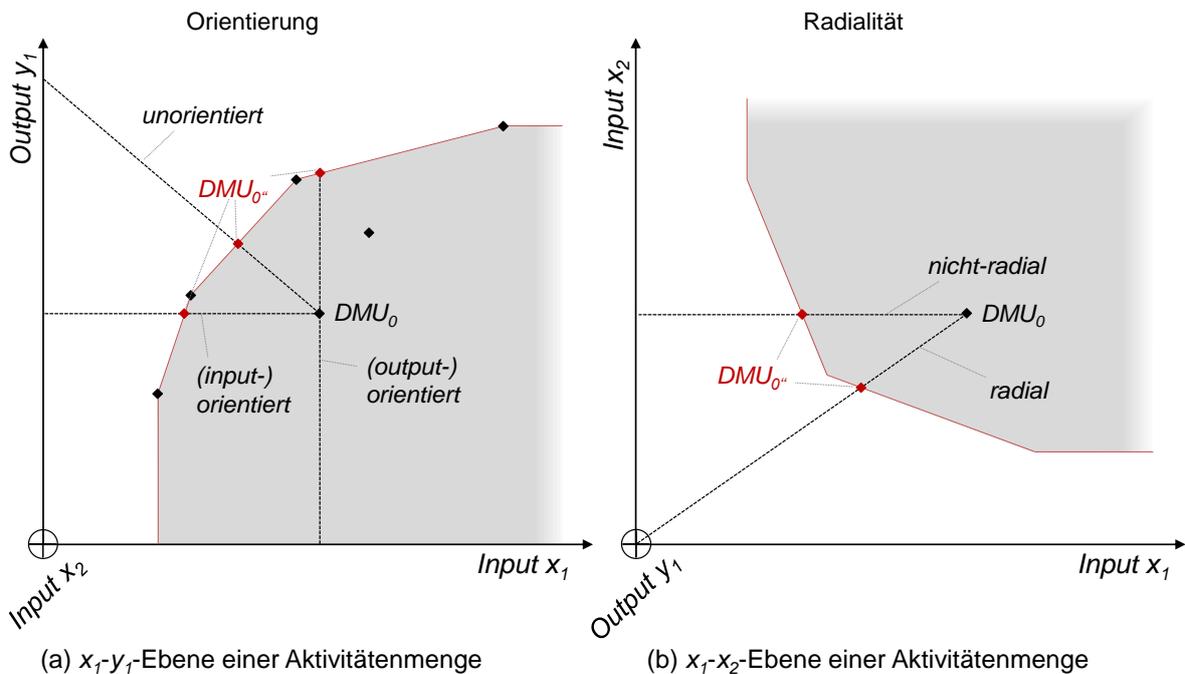


Abbildung 26: Orientierung und Radialität von Distanzfunktionen

In den nachfolgenden Kapiteln 5.4.2 und 5.4.3 werden für die Fälle 1 bis 4 aus Tabelle 5 entsprechende Distanzfunktionen vorgestellt. In Kap. 5.4.4 wird Fall 5 als alternativer Ansatz vorgestellt, der die strikte Unterscheidung orientierter und unorientierter Distanzfunktionen überwindet und daher keinem der vier Eigenschaften allein zugeordnet werden kann.

5.4.2 Orientierte Distanzfunktionen

Aus ökonomischer Sicht setzen radiale Distanzfunktionen die Annahme der vollständigen Teilbarkeit von Inputs und Outputs voraus. Diese Bedingung erfüllen Zuschlagskriterien gemäß der Bewertung in Kap. 4.4.2. Die Fälle 1 und 2 aus Tabelle 5 werden daher näher erläutert.

Fall 1 - Orientiert und radial: Orientierte, radiale Distanzfunktionen sind entweder input- oder outputorientiert. Sie folgen der Tschebyscheff-Norm bzw. \mathcal{L}_∞ -Metrik (BRIEC 1997) und gehen für die Inputorientierung auf DEBREU (1951) und FARRELL (1957) zurück. Bei der Inputorientierung (Outputorientierung) werden alle Outputs (Inputs) auf einem konstanten Niveau gehalten. In Abbildung 26 (a) wird diese Eigenschaft für die DMU_0 demonstriert. Zur Abstandsmessung wird das Output- (Input-)Niveau der DMU_0 auf den Wert $y_{0,1}$ ($x_{0,i}$ mit $i=1,2$) fixiert. Anschließend wird berechnet, um welchen Anteil die Inputs (Outputs) reduziert (gesteigert) werden müssen, damit die DMU_0 den effizienten Rand erreicht. Der Abstand kann in Relation zur Inputmenge (Outputmenge) gesetzt werden, um den prozentualen Faktor im Intervall $(0, 100\%]$ zu ermitteln. Das Ergebnis beschreibt dann den Wert, um den jeder Input $x_{0,i}$ (jeder Output $y_{0,r}$) verbessert werden muss. In Abbildung 27 wird die Berechnung der technischen Effizienz für den inputorientierten, radialen Fall verdeutlicht. Es zeigt sich, dass alle Inputs im prozentual gleichen Verhältnis zur technischen Effizienz beitragen, wie es aus der Gleichung in (5.2) hervorgeht (THANASSOULIS 2001).

$$\text{techn. Effizienzwert der } DMU_0: \quad TE_0 = \frac{\text{Effizienzanteil } x_{0,1}}{\text{Inputmenge } x_{0,1}} = \frac{\text{Effizienzanteil } x_{0,2}}{\text{Inputmenge } x_{0,2}} \quad (5.2)$$

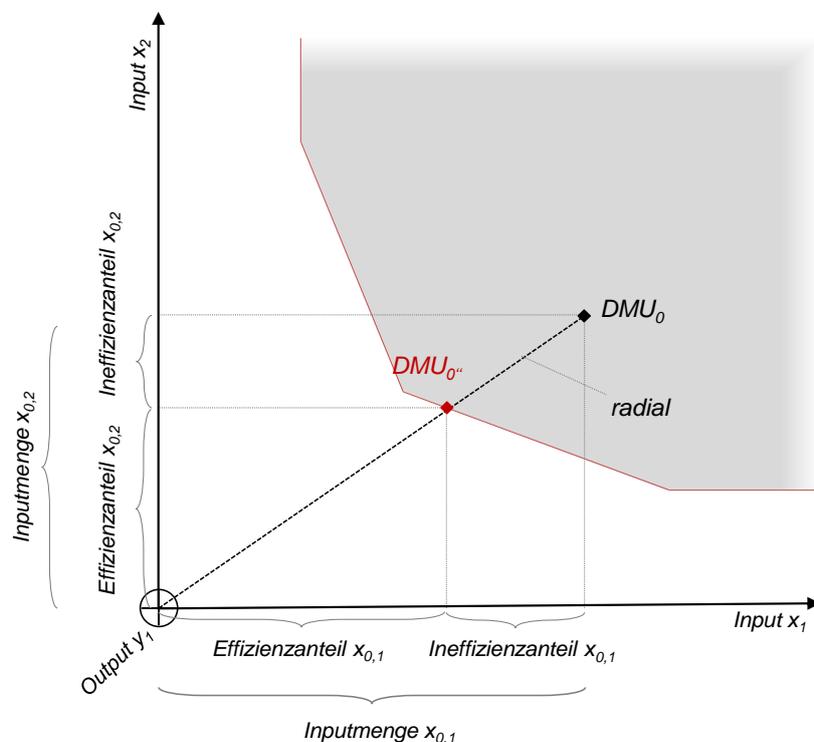


Abbildung 27: Orientiertes, radiales Effizienzmaß

Mathematisch lassen sich radiale, orientierte Distanzfunktionen in Form der Definitionen (5.3) und (5.4) formulieren (SCHEEL 2000). Bei einer radialen, orientierten Distanzfunktion wird der bestmögliche (max) Effizienzwert erreicht, der aus den Inputmengen bzw. Outputmengen einer DMU_0 ermittelbar ist. Da es sich bei dem technischen Effizienzwert um eine relative Kennzahl handelt, wird das Abstandsmaß Θ_0 unter Berücksichtigung der Input- bzw. Outputmengen aller DMU_j berechnet. Der Abstand kann nur so groß bzw. klein sein, dass die Projektion DMU_0 der DMU_0 noch ein Element der Aktivitätenmenge A ist, den effizienten Rand also nicht überschreitet. Aus der Maximierungsaufgabe resultiert für technisch effiziente DMUs ein Abstandsmaß von $\Theta_0=0$. SCHEEL (2000) beschreibt, dass der Effizienzwert TE_0 dann „meistens als Komplement“ ($1-TE_0$) verwendet wird. Das so definierte Abstandsmaß wird dann als Debreu-Farell-Maß bezeichnet (SCHEEL 2000). Bei der Inputorientierung in Definition (5.3) (Outputorientierung in Definition (5.4)) zeigen positive Werte für das Abstandsmaß Θ_0 an, um welchen Faktor eine ineffiziente DMU_0 ihre Inputs (Outputs) reduzieren (steigern) muss.

$$\text{Inputorientierung: } TE_0 := \max\{\theta_0 \mid [(1-\theta_0)x_{0,i}, y_{0,r}] \in A(x_{j,i}, y_{j,r})\} \quad (5.3)$$

$$\text{Outputorientierung: } TE_0 := \max\{\theta_0 \mid [x_{0,i}, (1+\theta_0)y_{0,r}] \in A(x_{j,i}, y_{j,r})\} \quad (5.4)$$

Fall 2 - Orientiert und nicht-radial: Bei einer orientierten, nicht-radialen Distanzfunktion ergibt sich der Effizienzwert ausschließlich aufgrund einer Reduzierung der Inputs bei einem konstanten Niveau der Outputs oder einer Erhöhung der Outputs bei einem konstanten Niveau der Inputs. Der Effizienzwert resultiert hier jedoch nicht aus demselben Verhältnis der Effizienzanteile der Inputs bzw. Outputs in Relation zur Input- bzw. Outputmenge. Abbildung 28 zeigt die erforderliche Reduzierung der Inputmengen $x_{0,1}$ und $x_{0,2}$ der DMU_0 zur Erlangung technischer Effizienz. In dem Beispiel wird es der DMU_0 ermöglicht, die Inputmenge $x_{0,2}$ nicht zu reduzieren, sondern nur die Inputmenge $x_{0,1}$. Infolgedessen gibt der berechnete Effizienzwert TE_0 nicht den Faktor an, um den alle Inputs (Outputs) gleichmäßig reduziert (gesteigert) werden müssen. Es gibt also auch keinen einheitlichen Faktor Θ_0 und infolgedessen keinen einheitlichen Effizienzwert TE_0 , wie für die DMU_0 in (5.5) ersichtlich wird. Um dennoch einen aggregierten Effizienzwert TE_0 anzugeben, können für eine DMU_0 z.B. die Mittelwerte aus allen Abstandsmaßen $\Theta_{0,i}$ der $i=1, \dots, m$ Inputs ($\Theta_{0,r}$ der $r=1, \dots, s$ Outputs) gebildet werden (ZHU 2014).

$$\text{nicht-radiale techn. Effizienzwerte der } DMU_0: \quad \frac{\text{Effizienzanteil } x_{0,1}}{\text{Inputmenge } x_{0,1}} \neq \frac{\text{Effizienzanteil } x_{0,2}}{\text{Inputmenge } x_{0,2}} \quad (5.5)$$

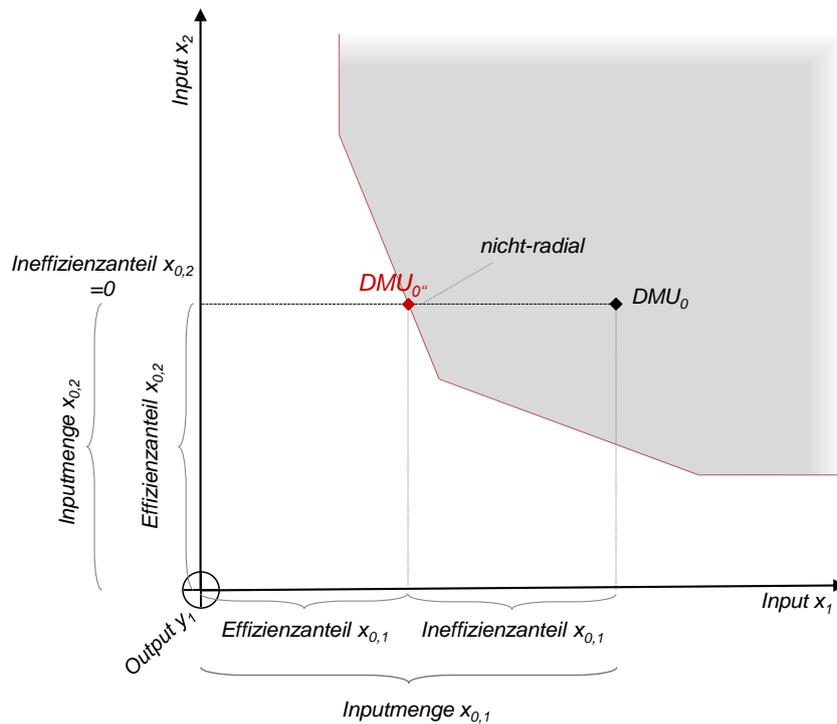


Abbildung 28: Orientiertes, nicht-radiales Effizienzmaß

5.4.3 Unorientierte Distanzfunktionen

Unorientierte Distanzfunktionen ermöglichen eine Abstandsmessung, in die Inputs und Outputs simultan einbezogen werden.

Fall 3 - Unorientiert und radial: Eine unorientierte, radiale Distanzfunktion geht auf BRIEC (1997) zurück und wird als Farrell proportional distance bezeichnet. In Anlehnung an die orientierte, radiale Abstandsmessung gibt das Abstandsmaß Θ_0 beim unorientierten, radialen Ansatz an, um welchen Faktor alle Inputs reduziert und alle Outputs gesteigert werden müssen, damit sich für eine DMU_0 technische Effizienz einstellt. SCHEEL (2000) formuliert in Anlehnung an BRIEC (1997) die Distanzfunktion für ein unorientiertes, radiales Abstandsmaß, wie in Definition (5.6) angegeben. SCHEEL (2000) führt auch die Bezeichnung äquiproportionales Effizienzmaß (vgl. Kap. 5.4) ein.

$$\text{Unorientiert: } TE_0 := \max\{\theta_0 \mid [(1-\theta_0)x_{0,i}, (1+\theta_0)y_{0,r}] \in A(x_{j,i}, y_{j,r})\} \quad (5.6)$$

Aus Abbildung 29 geht das unorientierte, radiale Effizienzmaß nach BRIEC (1997) für einen Input x_1 und einen Output y_1 hervor. Beispielhaft bedeutet ein Effizienzwert von $TE_0=0,6$ für die DMU_0 , dass simultan der Input x_1 um 40% reduziert und der Output y_1 um 40% erhöht werden muss, damit die ineffiziente DMU_0 Teil der Randfunktion und somit technisch effizient wird.

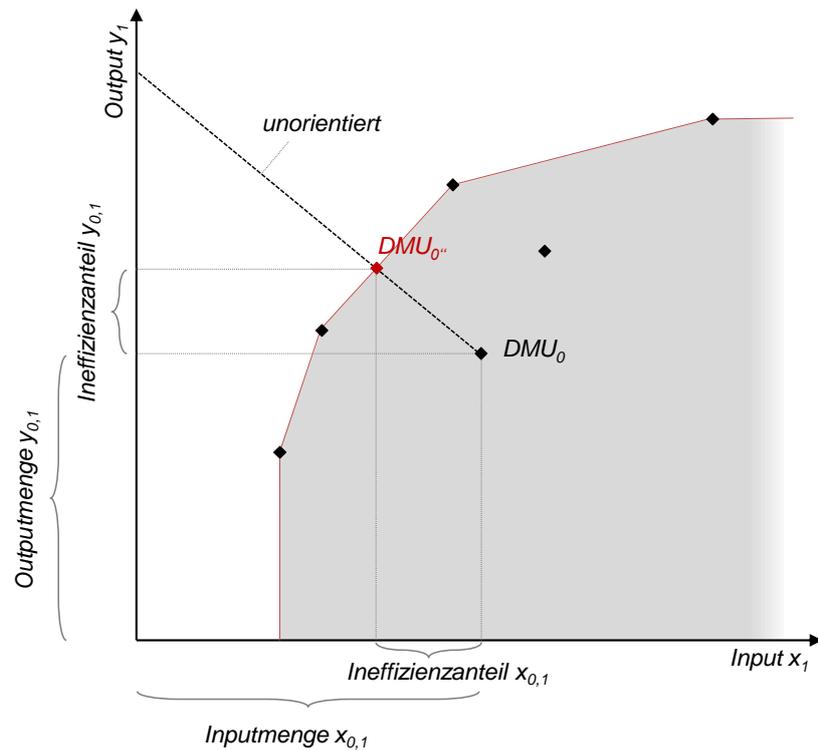


Abbildung 29: Unorientiertes, radiales Effizienzmaß

Fall 4 - Unorientiert und nicht-radial: Im 4. Fall werden die aufgezeigten Eigenschaften der Unorientierung sowie der Nicht-Radialität miteinander kombiniert. Für diese Distanzfunktionen beschreibt SCHEEL (2000) beispielhaft das Dmin- und Dmax-Maß. Bei dem Dmin-Maß wird für alle m Inputs und s Outputs der kürzeste Abstand zum effizienten Rand gesucht. Aus den $m+s$ verschiedenen Abstandsmaßen $\Theta_{0,i} + \Theta_{0,r}$ einer DMU_0 wird dann gleichermaßen wie beim orientierten, nicht-radialen Ansatz der Mittelwert gebildet. SCHEEL (2000) bezeichnet die Distanzfunktion daher auch als „Durchschnitts-Effizienzmaß“. Der Effizienzwert des Dmin-Maßes drückt also das Mindestmaß an notwendiger Verbesserung aus, damit eine DMU_0 technische Effizienz erlangt. Äquivalent beschreibt das Dmax-Maß den durchschnittlichen Anteil, den eine DMU_0 maximal verbessern kann. Somit drückt es den, in Relation zu den DMUs auf der Randfunktion, höchstens möglichen Anteil zur Leistungssteigerung aus. Das Dmin-Maß wird in Abbildung 30 für ein Beispiel mit einem Output y_1 und einem Input x_1 aufgezeigt. Die Ineffizienzanteile sind in Bezug auf die jeweilige Output- bzw. Inputmenge $y_{0,1}$ und $x_{0,1}$ der DMU_0 im unorientierten und nicht-radialen Maß äquivalent zur Gleichung (5.5) jeweils unterschiedlich. Um einen aggregierten technischen Effizienzwert zu generieren, müssen die Werte nach der Berechnung gemittelt werden.

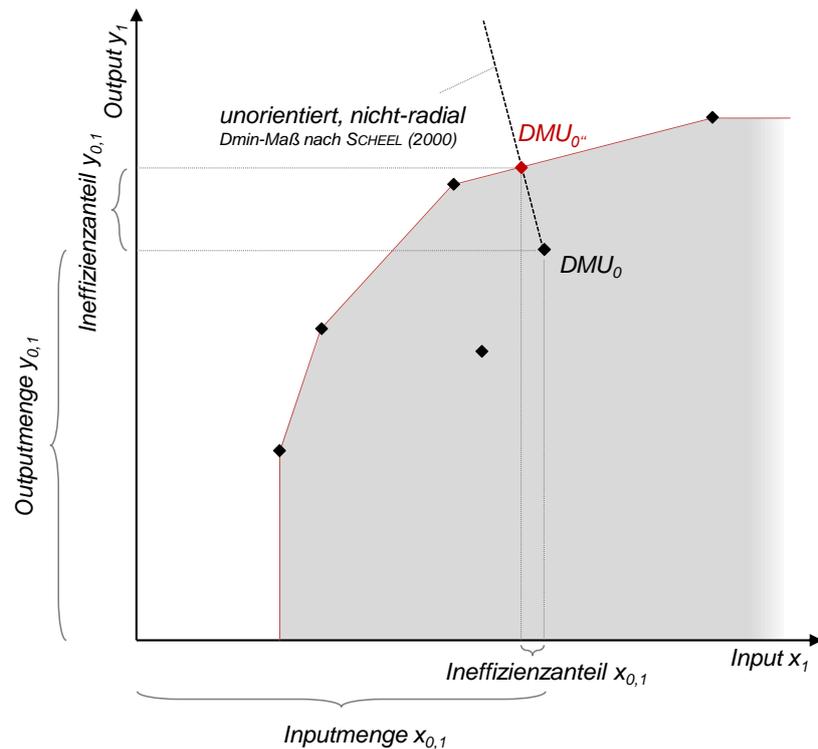


Abbildung 30: Unorientiertes, nicht-radiales Effizienzmaß, nach SCHEEL (2000)

SCHEEL (2000) betont, dass in der Literatur diverse weitere Vorschläge zur nicht-radialen Distanzmessung beschrieben werden. Für einen Überblick wird auf KLEINE (2002) verwiesen. PASTOR ET AL. (2016) betonen, dass nach der Einführung von Distanzfunktionen zur Messung der technischen Effizienz durch SHEPHARD (1953) und der Entwicklung des nicht-parametrischen Konzepts nach FARRELL (1957) diverse spezifische Distanzfunktionen für verschiedene konkrete Anwendungsfälle entwickelt wurden.

5.4.4 Vollständig generalisierte Distanzfunktion

Ein Konzept, das das Prinzip der strikten Orientierung bzw. Unorientierung überwindet, ist die „*directional distance function*“ (DDF) nach CHAMBERS ET AL. (1996; 1998), in Anlehnung an LUENBERGER (1992a; 1992b). Bei diesem vergleichsweise neuen Ansatz handelt es sich, in der ursprünglichen Form, ebenfalls um eine radiale Distanzfunktion. ZHANG ET AL. (2013) und CHEN ET AL. (2014) zeigen jedoch, dass auch eine nicht-radiale Effizienzmessung mit einer DDF möglich ist. Die DDF wird als vollständig generalisiert bezeichnet, da mithilfe von Richtungsvektoren, d_x für Inputs und d_y für Outputs, alle Varianten der Abstandsmessung, also inputorientiert, unorientiert oder outputorientiert, einstellbar sind. Zur Ermittlung der Projektion auf dem effizienten Rand, und somit dem technischen Effizienzwert, ergibt sich TE_0 nach CHAMBERS ET AL. (1998) als Definition gem. (5.7).

$$TE_0 := \max\{\theta_0 \geq 0 : (x_{0,i} - \theta_0 d_x, y_{0,r} + \theta_0 d_y) \in A\} \quad (5.7)$$

Durch die Einführung der Richtungsvektoren in die Distanzfunktion $d(d_y, d_x)$ erfolgt die Rich-

tungseinstellung zur Effizienzmessung. Wird beispielsweise $d_x=0$ ($d_y=0$) und $d_y=1$ ($d_x=1$) festgelegt, resultiert eine outputorientierte (inputorientierte) Abstandsmessung, wie in Kap. 5.4.2 eingeführt. Werden beide Werte bspw. zu $d_x=1$, $d_y=1$ gesetzt, folgt eine unorientiert, äquiproportionale Distanzmessung, wie in Kap. 5.4.3 eingeführt und in Abbildung 31 dargestellt. Aus einer Ungleichgewichtung, bspw. $d_x=2$ und $d_y=1$, folgt eine antiproportionale Distanzmessung durch den Vektorraum.

Aus der Effizienzwertberechnung mit einer DDF folgt, dass die Indikation im Intervall $(0, 100\%]$ ungeeignet ist. Die Normierung auf Input- bzw. Outputmengen nach FARRELL (1957) ist nicht zielführend, da die simultane Berücksichtigung aller Inputs und Outputs dazu führt, dass die Distanzfunktion nicht orthogonal auf den Input- bzw. Output-Achsen steht. Infolgedessen kann keine einheitliche Normierung auf die Mengenvektoren erfolgen. Bei dieser Distanzfunktion wird technische Effizienz daher ausschließlich als Abstand zur Randfunktion interpretiert (CHAMBERS ET AL. 1998). Der Effizienzwert liegt im Intervall $[0, \infty)$, wobei ein Abstand von $\theta_0=0$ technische Effizienz ausweist. Technisch ineffiziente DMUs weisen infolgedessen einen Wert von $\theta_0>0$ auf. Damit Größenunterschiede in den Inputs bzw. Outputs die Berechnung des Effizienzwerts nicht beeinträchtigen, wird θ_0 bei der Effizienzwertberechnung nach CHAMBERS ET AL. (1996) auf die Länge der Distanzfunktion $|d|$ normiert. Sie resultiert ebenfalls aus den Richtungsvektoren. Wird beispielhaft $d_x=100$ und $d_y=100$ festgelegt, ist die Richtung der Distanzmessung die gleiche wie bei $d_x=1$ und $d_y=1$. Der Größenunterschied wird durch θ_0 normiert. Das Abstandsmaß θ_0 ist bei dieser Distanzmessung also ein Faktor, der anzeigt, bei welchem Anteil der Gesamtlänge der Distanzfunktion $|d|$ die Randfunktion geschnitten wird. Durch die Richtung und das Abstandsmaß ergibt sich letztlich die Position der Projektion $DMU_{0''}$ auf dem effizienten Rand, wie in Abbildung 31, sowie die Input- und Outputmengen der Projektion.

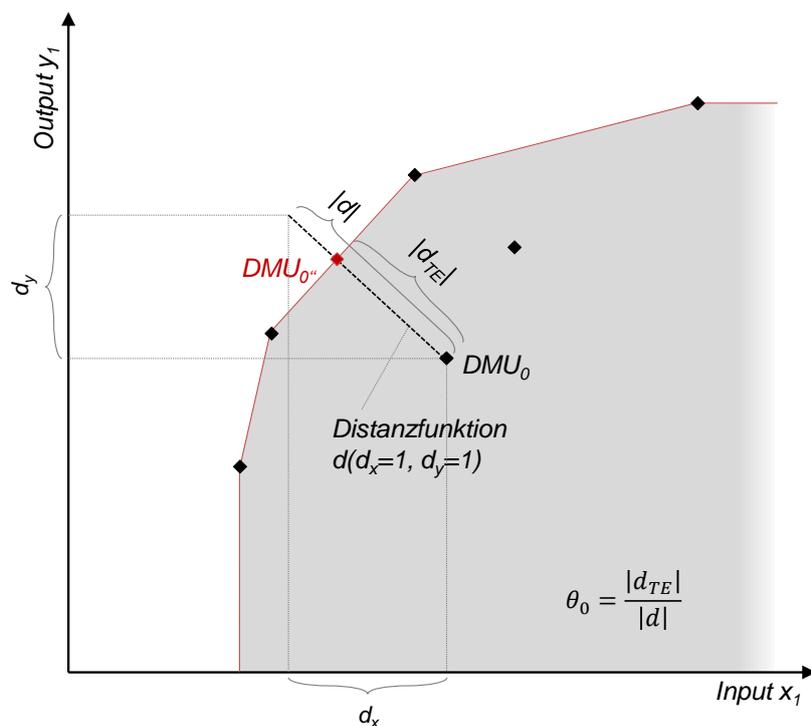


Abbildung 31: Vollständig generalisierte Directional Distance Function, nach CHAMBERS ET AL. (1996)

5.5 Effizienzanalyse mit der Data Envelopment Analysis

Über die grafische Darstellbarkeit in maximal drei Dimensionen hinausführend, ist die DEA eine analytische Methode aus dem Feld der linearen Optimierungsaufgaben. Die Berechnung von TE_0 wird in den Unterkapiteln zu diesem Kap. 5.5 hergeleitet und angewendet. Die Ausgangsform für alle DEA-Modelle stellt das nichtlineare Quotientenprogramm dar. Es wird beispielhaft für das DEA-Modell nach BANKER ET AL. (1984) mithilfe der Fractional Programming Theory nach CHARNES UND COOPER (1962) in ein lineares Modell überführt. Neben dem technischen Effizienzwert TE_0 werden beim Lösen der linearen Optimierung die Inputmultiplier $v_{j,i}$ und die Outputmultiplier $u_{j,r}$ bzw. der Referenzvektor λ_j als weitere Variablen erzeugt. Die Interpretation dieser Werte erlaubt eine umfangreiche Datenanalyse. Das Ziel des Kapitels ist es, dem Leser eine Einführung in die Effizienzwertberechnung mit der Data Envelopment Analysis zu geben und die relevanten Variablen vorzustellen.

5.5.1 Quotientenprogramm und Lagrange-Dualität

In den Unterkapiteln zu Kapitel 5.4 wurde der technische Effizienzwert als Resultat der Abstandsmessung zu einer Randfunktion definiert. Dieser Ansatz basiert auf der mathematischen Grundlage, technische Effizienz als gewichtetes bzw. bepreistes¹⁵ Verhältnis der Outputs und Inputs zu definieren, wie in Gleichung (5.8). Zur Effizienzwertberechnung werden die Inputs $x_{0,i}$ und Outputs $y_{0,r}$ einer DMU₀ bei der DEA mit den Multipliern faktorisiert und mittels Summenbildung zum virtuellen Output bzw. Input zusammengefasst. Gemäß der mathematischen Notation werden die Inputmultiplier einer DMU₀ mit $v_{0,i}$ und die Outputmultiplier mit $u_{0,r}$ bezeichnet.

$$TE_0 = \frac{\text{virtueller Output}}{\text{virtueller Input}} = \frac{u_{0,1}y_{0,1} + \dots + u_{0,s}y_{0,s}}{v_{0,1}x_{0,1} + \dots + v_{0,m}x_{0,m}} \quad (5.8)$$

Bei der nicht-parametrischen Effizienzanalyse werden die Multiplier $v_{0,i}$ und $u_{0,r}$ nicht von einem subjektiven Entscheider exogen vorgegeben, sondern durch eine Optimierungsaufgabe ermittelt. Diese endogene Form der Wertermittlung führt dazu, dass jede DMU_j mit den bestmöglichen Multipliern zu einem maximal möglichen Effizienzwert gelangt. AHN ET AL. (2007) erläutern, dass durch dieses Vorgehen jede DMU „ins beste Licht gerückt“ wird. Durch die Multiplier werden Größenunterschiede multidimensionaler Maßeinheiten (bspw. Geldeinheiten, Zeiteinheiten oder Bewertungspunkte) der Inputs und Outputs normiert. Dieser Schritt ermöglicht die Addition der Inputs sowie Outputs zu einem aggregierten virtuellen Input sowie einem aggregierten virtuellen Output überhaupt erst. Für die Effizienzwertberechnung wird das schematische Konzept aus Gleichung (5.8) als mathematische Optimierungsaufgabe formuliert. Aus der Division ergibt sich ein nichtlineares Maximierungsproblem. Diese Grundform wird in der

¹⁵ In der Literatur finden sich für die Variablen $u_{j,r}$ und $v_{j,i}$ der DMU_j die Begriffe „Aggregationsgewicht“ (CANTNER ET AL. 2007), „Schattenpreis“ (DELLNITZ 2016) oder -aus dem Englischen- „Multiplier“ (COOPER ET AL. 2007). Alle Bezeichnungen können synonym genutzt werden. Im Weiteren soll der Begriff Multiplier verwendet werden, um eine eindeutige Abgrenzung zu der von § 127 Abs. 5 GWB geforderten „Gewichtung“ durch den Auftraggeber sicherzustellen.

DEA-Literatur auch als „*Quotientenprogramm*“ bezeichnet (CANTNER ET AL. 2007). Für eine DEA mit der Struktureigenschaft variabler Skalenerträge wird das Quotientenprogramm in Tabelle 6 angegeben.

In der Zielfunktion des Quotientenprogramms, die in (5.9-1) angegeben ist, wird für eine DMU₀ das maximale Verhältnis aus dem summierten, gewichteten Output und dem summierten, gewichteten Input gebildet. Durch die n Nebenbedingungen in (5.9-2) wird festgelegt, dass der Effizienzwert aller $j=1, \dots, n$ DMU_j maximal 1 bzw. 100% betragen kann. In den Nebenbedingungen (5.9-3) und (5.9-4) wird die Nichtnegativität der Multiplier $u_{j,r}$ und $v_{j,i}$ für alle DMU_j vorgegeben. In (5.9-5) wird für das DEA-Modell die Struktureigenschaft variabler Skalenerträge gemäß Kap. 5.3.2 formuliert. Da die SkalenvARIABLE u_0 zur Lösung des Programms nicht auf einen bestimmten Wertebereich (bspw. $u_0 \geq 0$) beschränkt ist, sondern sowohl größer, gleich oder kleiner als Null sein kann, wird sie als uneingeschränkt bezeichnet. Als Resultat dieser Freiheit sind sowohl DMUs mit der Skalenertragsart zunehmender, konstanter und abnehmender Skalenerträge Teil der Randfunktion.

Tabelle 6: Quotientenprogramm für ein DEA-Modell mit variablen Skalenerträgen (BANKER ET AL. 1984)

| Zielfunktion | Nebenbedingungen | |
|---|------------------|--|
| $\max TE_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_{0,r} \cdot y_{0,r} + u_0}{\sum_{i=1}^m v_{0,i} \cdot x_{0,i}}$ | (5.9-1) | $\frac{\sum_{r=1}^s u_{j,r} \cdot y_{j,r} + u_0}{\sum_{i=1}^m v_{j,i} \cdot x_{j,i}} \leq 1 \quad \forall j=1, \dots, n$ (5.9-2) |
| | | $u_{j,r} \geq 0 \quad \forall r=1, \dots, s$ (5.9-3) |
| | | $v_{j,i} \geq 0 \quad \forall i=1, \dots, m$ (5.9-4) |
| | | u_0 (uneingeschränkter Wertebereich) (5.9-5) |

Die Ermittlung des technischen Effizienzwertes TE_0 mit einer nichtlinearen Zielfunktion ist kein triviales Problem, da entweder der Zähler maximiert oder der Nenner minimiert oder eine simultane Optimierung verfolgt werden kann. Um die verschiedenen Berechnungsoptionen zu standardisieren, überführen BANKER ET AL. (1984) das Quotientenprogramm in eine lineare Optimierungsaufgabe, indem sie den Zähler oder den Nenner mit einem konstanten Wert gleichsetzen. Auch die Nebenbedingung (5.9-2) kann so angepasst werden, dass eine lineare Berechnung möglich ist. Aus dieser Fixierung des Inputs oder des Outputs folgt die Berechnung des technischen Effizienzwertes als orientiertes und radiales Effizienzmaß. In den ursprünglich entwickelten DEA-Modellen nach CHARNES ET AL. (1978) und BANKER ET AL. (1984) gibt der Entscheider also vor, ob die Effizienzmessung input- oder outputorientiert erfolgen soll. Bei der Inputorientierung (Outputorientierung) wird die Summe der faktorisierten Inputs (Outputs) gleich Eins gesetzt. Aus dieser Vorgabe der Distanzfunktion und der Festlegung der Skalenertragsart variabler Skalenerträge (VRS) leiten BANKER ET AL. (1984) das lineare Programm, des im Weiteren beispielhaft vorgestellten BCC-Modells ab. Durch die Linearisierung des Quotientenprogramms ergeben sich zwei Optimierungsaufgaben für ein DEA-Modell, die aufgrund der Lagrange-Dualität unmittelbar miteinander verknüpft sind und infolgedessen zum

selben technischen Effizienzwert führen, wie in Abbildung 32 schematisch dargestellt. Beim Lösen der Optimierungsaufgabe werden jedoch unterschiedliche Variablen erzeugt, die eine differenzierte Analyse der Aktivitäten mit dem Ziel der Ableitung von Handlungsoptionen erlauben. Im Kontext der nicht-parametrischen Effizienzanalyse wird zwischen der Multiplier- und der Envelopment-Form unterschieden.

- Multiplier-Form, auch Preisstruktur-Form (math. Primalform): Der Effizienzwert berechnet sich aus den summierten, faktorisierten Outputs bzw. den summierten, faktorisierten Inputs. Die Multiplier werden durch mathematische Optimierung so berechnet, dass der Effizienzwert maximiert wird.
- Envelopment-Form, auch Produktionsstruktur-Form (math. Dualform): Der Effizienzwert wird aus der Abstandsmessung zwischen einer Aktivität und der (virtuellen) Projektion auf dem effizienten Rand berechnet.

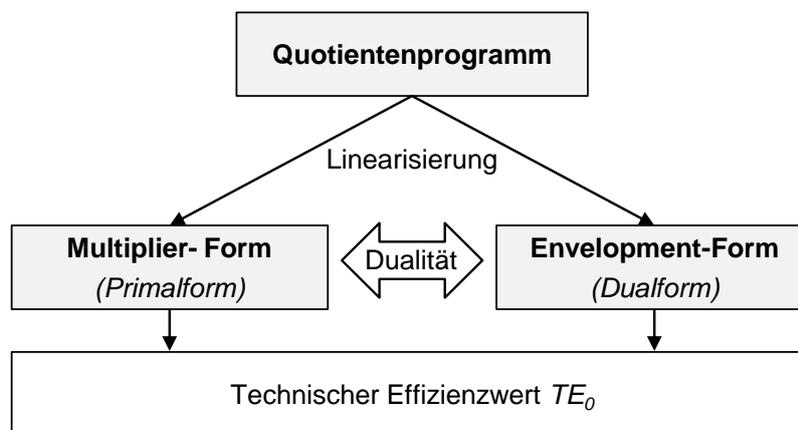


Abbildung 32: Linearisierung des Quotientenprogramms zur Multiplier- und Envelopment-Form

CANTNER ET AL. (2007) erläutern, dass beim Lösen der Multiplier-Form die Envelopment-Form als Dualsystem gleichzeitig mitgelöst wird. Aus der zu maximierenden Primalform kann die Lösung der zu minimierenden Dualform abgelesen werden. Für das BCC-Modell wird die Effizienzwertermittlung aus der Preis- bzw. Produktionsstruktur in den Kap. 5.5.2 und 5.5.3 aufgezeigt. Im Vorfeld werden die allgemeinen Umformungsregeln für die Dualisierung linearer Optimierungsaufgaben angegeben:

- Eine zu maximierende Primalform entspricht einer zu minimierenden Dualform.
- Eine \leq -Nebenbedingung in der Primalform entspricht einer Nichtnegativitätsbedingung in der Dualform.
- Eine Nichtnegativitätsbedingung in der Primalform entspricht einer \geq -Nebenbedingung in der Dualform.

COOPER ET AL. (2007) wenden die Umformungsregeln auf die Beispielaufgabe in Tabelle 7 an, um die Dualisierung linearer Optimierungsaufgaben vorzustellen. Die zu maximierende Zielfunktion der Primalform (5.10-1) wird zu der zu minimierenden Zielfunktion der Dualform (5.11-1). Zudem führt die \leq -Nebenbedingung (5.10-2) in der Primalform dazu, dass die Koeffizientenmatrix K transponiert in die Nebenbedingung (5.11-2) der Dualform eingeht. Die nichtnegativen Primalvariablen c^T in der Zielfunktion (5.10-1) der Primalform werden zu Dualvariablen der \geq -Nebenbedingung (5.11-2) der Dualform. Gleiches gilt für die Primalvariable b , die in

(5.11-1) zur Variablen der Zielfunktion der Dualform wird. Für die Strukturvariablen x und y gilt zudem die Nichtnegativität gem. (5.10-3) und (5.11-3). Diese variable Erläuterung wird anhand eines konkreten Zahlenbeispiels im Anhang A-1 verdeutlicht. Weiterführend erfolgt die Anwendung dieser Regeln für die Dualisierung der Multiplier-Form in die Envelopment-Form. Für eine umfangreiche Erläuterung zur Linearisierung des Quotientenprogramms wird auch auf CHARNES UND COOPER (1962) verwiesen.

Tabelle 7: Lösungsansatz zur Dualisierung linearer Optimierungsaufgaben

| Primalform | | | |
|-------------------|----------|------------------|----------|
| Zielfunktion | | Nebenbedingungen | |
| $\max c^T x$ | (5.10-1) | $Kx \leq b$ | (5.10-2) |
| | | $x \geq 0$ | (5.10-3) |
| Dualform | | | |
| Zielfunktion | | Nebenbedingungen | |
| $\min b^T y$ | (5.11-1) | $K^T y \geq c$ | (5.11-2) |
| | | $y \geq 0$ | (5.11-3) |

5.5.2 Berechnung technischer Effizienz mit der Multiplier-Form

BANKER ET AL. (1984) überführen das Quotientenprogramm aus Tabelle 6 in eine primale Maximierungsaufgabe und beschreiben so die Multiplier-Form für das orientierte, radiale BCC-Modell. Es weist die Struktureigenschaften empirische Vollständigkeit, variable Skalenerträge, Konvexität und freie Verschwendbarkeit auf. Die Multiplier-Form wird als radiale Inputorientierung in Tabelle 8 aufgezeigt. Aus der Linearisierung des Quotientenprogramms ergibt sich für die Inputorientierung, dass der mit den Multipliern faktorisierte Output in der Zielfunktion maximiert werden muss. Ebenfalls aus der Linearisierung resultiert in Gleichung (5.12-2), dass die Summe des faktorisierten Inputs im Ergebnis den konstanten Wert Eins annimmt. Dieses Ergebnis folgt aus der Linearisierung der Zielfunktion mit der Fractional Programming Theory. Aus den n Nebenbedingungen in (5.12-3) ergibt sich, dass der technische Effizienzwert im Intervall (0%, 100%] liegt. Durch die Gleichung ist sichergestellt, dass weder DMU_0 noch eine andere DMU mit den Multipliern der DMU_0 zu einem Wert gelangt, der größer als Eins ist. Die Werte, die ein Multiplier $v_{0,i}$ bzw. $u_{0,r}$ maximal annehmen kann, werden durch die Multiplikation mit den Input- und Outputmengen aller anderen n DMUs beschränkt. Im Optimalfall stellt sich für eine DMU_0 in der Zielfunktion also der Effizienzwert von $TE_0=100\%$ ein. Gelangt eine andere DMU mit den Multipliern der DMU_0 zu einem besseren Effizienzwert als DMU_0 selber, stellt sich ein Effizienzwert $TE_0=(0\%, 100\%)$ ein. Die Nebenbedingungen 5.12-4 und 5.12-5

sorgen für die Nichtnegativität der Multiplier und Nebenbedingung 5.12-6 ermöglicht die Effizienzmessung an einer Randfunktion mit variablen Skalenerträgen, wie in Kap. 5.5.1 beschrieben.

Tabelle 8: Multiplier-Form des inputorientierten BCC-Modells (BANKER ET AL. 1984)

| Zielfunktion | Nebenbedingungen | |
|--|------------------|---|
| $\max TE_0 = \sum_{r=1}^s u_{0,r} \cdot y_{0,r} - u_0$ | (5.12-1) | $\sum_{i=1}^m v_{0,i} \cdot x_{0,i} = 1$ (5.12-2) |
| | | $\sum_{r=1}^s u_{0,r} \cdot y_{j,r} - \sum_{i=1}^m v_{0,i} \cdot x_{j,i} - u_0 \leq 0 \quad \forall j=1, \dots, n$ (5.12-3) |
| | | $u_{j,r} \geq 0 \quad \forall r=1, \dots, s$ (5.12-4) |
| | | $v_{j,i} \geq 0 \quad \forall i=1, \dots, m$ (5.12-5) |
| | | u_0 (uneingeschränkter Wertebereich) (5.12-6) |

Im Weiteren wird die Bedeutung der Multiplier für eine inputorientierte DEA und deren Berechnung aufgezeigt. Hierzu werden in Tabelle 9 die Input- und Outputmengen für $n=5$ DMUs (A bis E) angegeben. In Abbildung 33 wird das Zahlenbeispiel grafisch dargestellt. Um es möglichst übersichtlich zu gestalten und in zwei Dimensionen anzuzeigen, werden die Inputmengen $x_{j,1}$ und $x_{j,2}$ in der Abbildung auf die für alle DMU_j einheitlich angegebene Outputmenge von $y_{j,1}=1$ normiert. Diese Vereinfachung, die auch CANTNER ET AL. (2007) und HAMMERSCHMIDT (2006) beschreiben, ermöglicht eine anschaulichere grafische Darstellung. Die Berechnung ändert sich nicht. Abbildung 33 zeigt somit die Inputisoquante der Randfunktion.

Tabelle 9: Eingabedaten zur Berechnung der inputorientierten DEA

| DMU _j | A | B | C | D | E |
|------------------|----|----|----|---|----|
| $x_{j,1}$ | 3 | 4 | 7 | 9 | 12 |
| $x_{j,2}$ | 20 | 10 | 13 | 6 | 6 |
| $y_{j,1}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

In Abbildung 33 wird die Eigenschaft der DEA hervorgehoben, Multiplier endogen, also mithilfe der linearen Optimierung zu bestimmen. Die Multiplier $v_{j,1}$ und $v_{j,2}$ der Inputs $x_{j,1}$ und $x_{j,2}$ der DMU_j werden durch die gestrichelten Linien angezeigt. Die Werte der Multiplier führen zu dem abschnittsweise linearen Verlauf der Randfunktion, indem ihr Verhältnis zueinander zur jeweiligen Steigung der Randfunktion führt, wie für DMU D beispielhaft gezeigt wird. Durch die Freiheit, dass jede DMU ihre eigenen optimalen Gewichte ermitteln kann, ist nicht nur eine DMU technisch effizient, sondern vier der fünf DMUs (A, B, D und E) bilden die Randfunktion und erzielen einen Effizienzwert von $TE_0=100\%$. Würden für alle DMU_j dieselben Multiplier vorgegeben, so würde mit großer Wahrscheinlichkeit nur eine DMU (oder in diesem Beispiel maximal zwei DMUs) als technisch effizient gewertet. Es wird deutlich, dass bspw. DMU A mit den Multipliern der DMU D nicht effizient sein kann. DMU B und DMU D hingegen gelangen mit denselben Multipliern zu technischer Effizienz. Neben dem Effizienzwert TE_0 gibt die Lösung der Multiplier-Form Aufschluss über die Ursache der möglichen Ineffizienz einer DMU₀. Wie

HAMMERSCHMIDT (2006) beschreibt, beinhalten die Multiplier Informationen über das Verbesserungspotenzial in einzelnen Inputs bzw. Outputs.

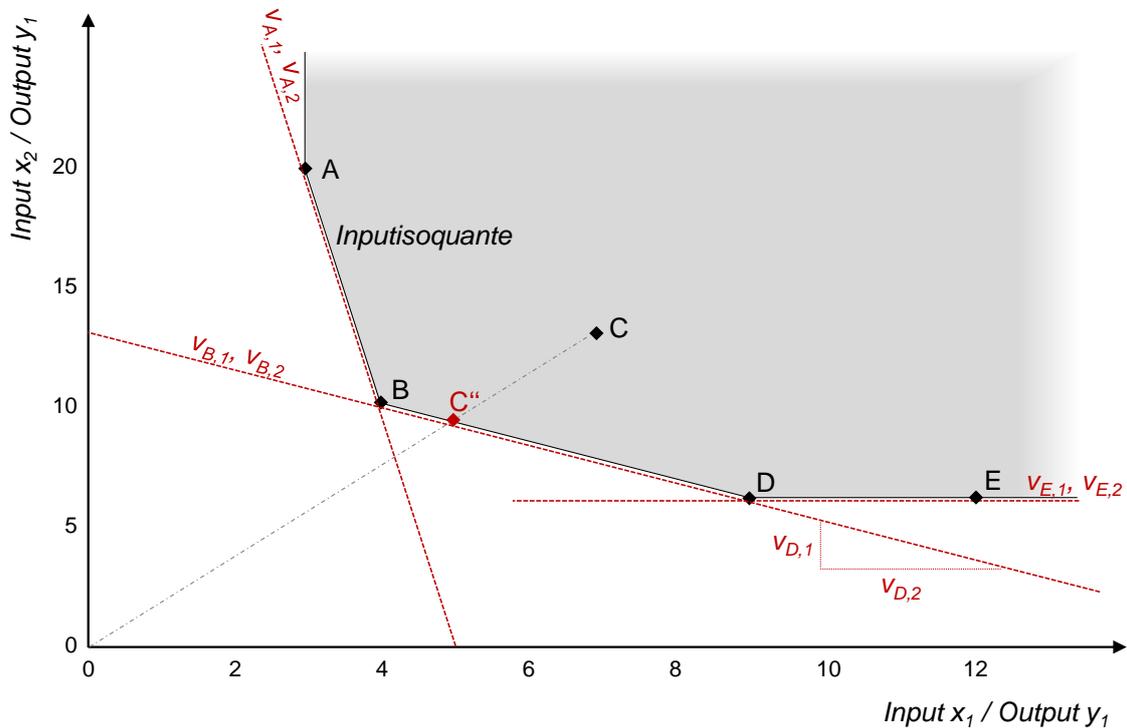


Abbildung 33: Veranschaulichung der Multiplier

Exemplarisch wird die Berechnung der Multiplier $v_{D,1}$, $v_{D,2}$, $u_{D,1}$ und u_D sowie des Effizienzwertes TE_D der DMU D durchgeführt. Hierzu wird die Outputmenge $y_{D,1}=1$ in die Zielfunktion der Multiplier-Form eingesetzt (5.12-1 eingesetzt für DMU D führt zu 5.13-1). Die Nebenbedingung (5.12-2) enthält die Inputmengen der Ziel-DMU D (führt zu 5.13-2). Aus der Nebenbedingung (5.12-3) resultieren für die fünf DMUs eine Anzahl von fünf Nebenbedingungen. Hier werden die Input- und Outputmengen aller DMU_j mit den Multipliern der Ziel-DMU D faktorisiert (führt zu 5.13-3 bis 5.13-7). Für die Skalenart variabler Skalenerträge wird die Skalenvariable u_0 in den Nebenbedingungen als u_D berücksichtigt. Sie ist im Wertebereich unbeschränkt (5.12-6 eingesetzt für DMU D führt zu 5.13-9). Für alle anderen Variablen gilt die Nichtnegativität (5.12-4 und 5.12-5 führen zu 5.13-8). Das Lösungssystem besteht somit aus der Zielfunktion und den insgesamt acht Nebenbedingungen (bei Zusammenfassung der Nichtnegativitätsbedingung aller Multiplier). Diese Ausgangsform des Lösungssystems mit den \leq -Bedingungen wird als kanonische Form bezeichnet. Es wird deutlich, dass die Anzahl der Nebenbedingungen in der Multiplier-Form abhängig von der Anzahl n der DMUs ist.

$$\max TE_D = y_{D,1} u_{D,1} - u_D \rightarrow 1u_{D,1} - 1u_D \quad (5.13-1)$$

unter den Nebenbedingungen (u.d.N.)

$$v_{D,1} \cdot x_{D,1} + v_{D,2} \cdot x_{D,2} = 1 \rightarrow 9v_{D,1} + 6v_{D,2} = 1 \quad (5.13-2)$$

$$u_{D,1} \cdot y_{A,1} - (v_{D,1} \cdot x_{A,1} + v_{D,2} \cdot x_{A,2}) - u_D \leq 0 \rightarrow 1u_{D,1} - 3v_{D,1} - 20v_{D,2} - 1u_D \leq 0 \quad (5.13-3)$$

$$u_{D,1} \cdot y_{B,1} - (v_{D,1} \cdot x_{B,1} + v_{D,2} \cdot x_{B,2}) - u_D \leq 0 \rightarrow 1u_{D,1} - 4v_{D,1} - 10v_{D,2} - 1u_D \leq 0 \quad (5.13-4)$$

$$u_{D,1} \cdot y_{C,1} - (v_{D,1} \cdot x_{C,1} + v_{D,2} \cdot x_{C,2}) - u_D \leq 0 \rightarrow 1u_{D,1} - 7v_{D,1} - 13v_{D,2} - 1u_D \leq 0 \quad (5.13-5)$$

$$u_{D,1} \cdot y_{D,1} - (v_{D,1} \cdot x_{D,1} + v_{D,2} \cdot x_{D,2}) - u_D \leq 0 \rightarrow 1u_{D,1} - 9v_{D,1} - 6v_{D,2} - 1u_D \leq 0 \quad (5.13-6)$$

$$u_{D,1} \cdot y_{E,1} - (v_{D,1} \cdot x_{E,1} + v_{D,2} \cdot x_{E,2}) - u_D \leq 0 \rightarrow 1u_{D,1} - 12v_{D,1} - 6v_{D,2} - 1u_D \leq 0 \quad (5.13-7)$$

$$u_{D,1}, v_{D,1}, v_{D,2} \geq 0 \quad (5.13-8)$$

$$u_D \text{ (uneingeschränkter Wertebereich)} \quad (5.13-9)$$

Zur Lösung der Maximierungsaufgabe kann z.B. der Simplex-Algorithmus genutzt werden (CORSTEN UND GÖSSINGER 2016). Hierbei wird die kanonische Form zunächst linearisiert, indem allen Ungleichbedingungen die Schlupfvariablen s_j angefügt werden. Das neu hergeleitete lineare Gleichungssystem wird als Standardform des Simplex-Algorithmus bezeichnet. Die Schlupfvariablen beinhalten die Differenz zwischen dem erzielten Output $y_{0,r}$ einer DMU₀ und dem möglichen Output auf der Inputisoquante der Randfunktion $y_{0^*,r}$ und gewährleisten die Ermittlung einer eindeutig optimalen (hier: maximalen) Lösung. Für das Beispiel ergeben sich die Schlupfvariablen s_A bis s_E . Die zu maximierende Zielfunktion $TE_D = 1u_{D,1} - 1u_D$ muss zudem in die Form $TE_D - 1u_{D,1} + 1u_D = 0$ umgeformt werden. Sie wird dem Gleichungssystem in (5.13-7) angefügt. Es ergibt sich die lineare Maximierungsaufgabe in (5.14-1) bis (5.14-7) zur Ermittlung der Multiplier und des Effizienzwertes der DMU D. Die Aufgabe wird iterativ gelöst, um die optimale Lösung zu finden. Die Lösung des Simplex-Algorithmus für alle DMUs liegt dieser Arbeit auf Datenträger bei.

$$0u_{D,1} + 9v_{D,1} + 6v_{D,2} - 0u_D + 0s_A + 0s_B + 0s_C + 0s_D + 0s_E + 0TE_D = 1 \quad (5.14-1)$$

$$1u_{D,1} - 3v_{D,1} - 20v_{D,2} - 1u_D + 1s_A + 0s_B + 0s_C + 0s_D + 0s_E + 0TE_D = 0 \quad (5.14-2)$$

$$1u_{D,1} - 4v_{D,1} - 10v_{D,2} - 1u_D + 0s_A + 1s_B + 0s_C + 0s_D + 0s_E + 0TE_D = 0 \quad (5.14-3)$$

$$1u_{D,1} - 7v_{D,1} - 13v_{D,2} - 1u_D + 0s_A + 0s_B + 1s_C + 0s_D + 0s_E + 0TE_D = 0 \quad (5.14-4)$$

$$1u_{D,1} - 9v_{D,1} - 6v_{D,2} - 1u_D + 0s_A + 0s_B + 0s_C + 1s_D + 0s_E + 0TE_D = 0 \quad (5.14-5)$$

$$1u_{D,1} - 12v_{D,1} - 6v_{D,2} - 1u_D + 0s_A + 0s_B + 0s_C + 0s_D + 1s_E + 0TE_D = 0 \quad (5.14-6)$$

$$-1u_{D,1} + 0v_{D,1} + 0v_{D,2} + 1u_D + 0s_A + 0s_B + 0s_C + 0s_D + 0s_E + 1TE_D = 0 \quad (5.14-7)$$

Der Lösungsweg für die DMU D ist in Anhang A-2 aufgeführt. In diesem Kapitel beschränkt sich die Darstellung der Berechnung weiterführend auf das Endtableau des Simplex-Algorithmus in Tabelle 10. Mit dem Simplex-Algorithmus werden in den Spalten der Multiplier sukzessive Einheitsvektoren gebildet, bis die optimale Lösung berechnet ist. Dies ist dann der Fall, wenn in der Zielfunktion keine negativen Werte mehr vorhanden sind (CANTNER ET AL. 2007). Die Werte der Multiplier können abschließend auf der rechten Seite der Gleichung, die in der Tabelle als *RS* bezeichnet ist, spaltenweise abgelesen werden. Die Lösungsergebnisse für

$u_{D,1}$, $v_{D,1}$, $v_{D,2}$ und TE_0 sind in der Tabelle 10 farblich hervorgehoben. Für $u_{D,1}$ ergibt sich in der Zeile, in der sich die 1 befindet (fünfte Zeile von oben) in der Spalte RS eine Eins. Das Ergebnis lautet daher $u_{D,1}=1$. Für die Input-Multiplier ergibt sich $v_{D,1}=0,061$ und $v_{D,2}=0,076$. Durch Einsetzen von $u_{D,1}$ in die fünfte Spalte ergibt sich $u_D=0$. Die DMU befindet sich also im Bereich konstanter Skalenerträge. Der Effizienzwert TE_D wird auf die gleiche Weise abgelesen wie die Multiplier und ergibt sich zu $TE_D=1$. Die DMU befindet sich somit auf der Randfunktion. Der vollständige Berechnungsweg ist in der Anlage A-2 aufgeführt.

Tabelle 10: Ergebnis der Multiplier-Form des inputorientierten BCC-Modells für das Zahlenbeispiel

| $u_{D,1}$ | $v_{D,1}$ | $v_{D,2}$ | u_D | s_A | s_B | s_C | s_D | s_E | TE_D | RS |
|-----------|-----------|-----------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | -2,455 | 0 | 1,455 | 0 | 0 | 0,697 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | -0,136 | 0 | 0,136 | 0 | 0 | 0,076 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1,136 | 1 | 0,136 | 0 | 0 | 0,409 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,091 | 0 | -0,091 | 0 | 0 | 0,061 |
| 1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,273 | 0 | -1,273 | 1 | 0 | 0,182 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |

An dieser Stelle wird auch das Prinzip der Dualität zwischen der Multiplier- und der Envelopment-Form nach Tabelle 7 deutlich. In Kap. 5.5.1 wurden CANTNER ET AL. (2007) zitiert, die feststellen, dass die Lösung der Envelopment-Form aus der Multiplier-Form abgelesen werden kann. Der Referenzvektor λ_D , der im nachfolgenden Kap. 5.5.3 vorgestellt wird, kann aus der Zielfunktionszeile (unterste Zeile der Tabelle 10) in den Zellen der Schlupfvariablen s_A bis s_E zu $\lambda_D^T=(0,0,0,1,0)$ abgelesen werden. Die Interpretation folgt im Rahmen der Vorstellung der Envelopment-Form.

Die Lösung für alle Multiplier und Effizienzwerte der fünf DMUs wird in Tabelle 11 angegeben. An den Multipliern zeigt sich, in welchem Verhältnis die DMUs ihre Inputs einsetzen. DMU A benötigt bspw. eine im Verhältnis größere Menge von x_2 als von x_1 zur Erzeugung des Outputs y_1 . Somit ist der Wert $v_{A,1}$ deutlich höher als der Wert $v_{A,2}$. Im Vergleich mit den Werten der anderen DMUs zeigt sich das unterschiedliche Mengenverhältnis zur Erzeugung des Outputs $y_{A,1}$. Die Berechnung der Multiplier der DMU B führt zu dem Ergebnis, dass diese DMU mit denselben Multipliern wie die DMU D technische Effizienz erlangen kann. Hierbei handelt es sich um eines von mehreren möglichen Ergebnissen für $v_{B,1}$ und $v_{B,2}$. Grundsätzlich können unterschiedliche Multiplier für die technisch effizienten DMUs zu einem Wert von $TE_0=1$ führen. Die DMU B kann z.B. auch mit den Multipliern der DMU A als technisch effizient gewertet werden. Dies zeigt sich auch in der Abbildung 33, da sich die DMU B auf dem Streckenabschnitt befindet, der durch die Multiplier der DMU A erzeugt wird.

Bei den berechneten Multipliern der DMUs B, C, D und E führt eine hohe Gewichtung von x_2 und eine geringe Gewichtung von x_1 zur Maximierung des Effizienzwertes TE_0 . Im Fall der DMU E liegt die Gewichtung von $v_{E,1}$ sogar bei 100% im Verhältnis zu $v_{E,2}$. Aufgrund der Struktureigenschaft freier Verschwendbarkeit wird die DMU E aber ebenfalls als technisch effizient ausgewiesen. Bei den Multipliern ineffizienter DMUs, wie hier DMU C, ergibt sich für die Out-

put-Multiplier ein Wert $u_{j,r} < 1$. Er korrespondiert mit dem Effizienzwert, da sich die Output-Multiplier im inputorientierten Modell zusammen mit dem Effizienzwert einer DMU₀ in der Zielfunktion befinden. Bei dem Beispiel mit einem Output y_1 ermittelt sich der Input-Multiplier anhand der Projektion der DMU C auf die Isoquante. Somit weisen sie dasselbe Größenverhältnis auf, wie die DMUs, von der sie dominiert werden. Dies ist in diesem Fall die DMU B. Die Multiplikation der Multiplier der DMU B mit dem Effizienzwert von DMU C führt zu den Multipliern von C ($0,061 \cdot 0,710 = 0,043$ und $0,076 \cdot 0,710 = 0,054$).

Tabelle 11: Gesamtergebnis der Multiplier-Form für das Zahlenbeispiel

| DMU _j | A | B | C | D | E |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $v_{j,1}$ | 0,200 | 0,061 | 0,043 | 0,061 | 0,000 |
| $v_{j,2}$ | 0,020 | 0,076 | 0,054 | 0,076 | 0,167 |
| $u_{j,1}$ | 1,000 | 1,000 | 0,710 | 1,000 | 1,000 |
| u_j | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| TE_j | 1,000 | 1,000 | 0,710 | 1,000 | 1,000 |

Die Dualisierung der Multiplier-Form führt zur Envelopment-Form des BCC-Modells, die weiterführend vorgestellt wird.

5.5.3 Berechnung technischer Effizienz mit der Envelopment-Form

Das lineare Programm der Envelopment-Form ist in Tabelle 12 angegeben. Hier gibt das Abstandsmaß Θ_0 als Skalar den Anteil an, um den alle Inputs (Outputs) bei der radialen Inputorientierung (Outputorientierung) reduziert (erhöht) werden müssen, damit eine DMU technische Effizienz erlangt. Die Radialität und die Inputorientierung werden durch (5.15-2) und (5.15-3) realisiert. Neben dem Abstandsmaß als Komplement der technischen Effizienz wird beim Lösen der Envelopment-Form der Referenzvektor λ_j generiert. Er enthält Informationen darüber, welche (virtuellen¹⁶) DMUs die DMU₀ dominieren. Er ist ein Spaltenvektor, der für die Anzahl von n DMUs eine Größe von $\mathbb{R}^{n \times 1}$ aufweist. Durch (5.15-3) wird der Abstand der DMU₀ zum effizienten Rand soweit reduziert, wie es die restringierenden Inputmengen der anderen DMUs zulassen. Dies erfolgt, indem die Vektorwerte im Referenzvektor λ_j für eine DMU₀ bestmöglich bestimmt werden. Die Nebenbedingung (5.15-4) sorgt für die Struktureigenschaft variabler Skalenerträge der Randfunktion. Da die SkalenvARIABLE u_0 in (5.12-6) im Wertebereich unbeschränkt ist, ergibt sich nach der Dualisierung ein Wert von Eins bei der Summierung aller Werte des Referenzvektors. In (5.15-5) wird die Nichtnegativität der Referenzwerte festgelegt.

¹⁶ Als virtuelle DMU wird in der Literatur (vgl. z.B. CANTNER ET AL. (2007)) jeder einzelne Punkt der Randfunktion bezeichnet. Unter dieser Annahme besteht die Randfunktion aus unendlich vielen virtuellen DMUs.

Tabelle 12: Envelopment-Form des inputorientierten BCC-Modells (BANKER ET AL. 1984)

| Zielfunktion | Nebenbedingungen | |
|-----------------|------------------|---|
| $\min \theta_0$ | (5.15-1) | $\sum_{i=1}^m \lambda_j \cdot y_{j,r} \geq y_{0,r}$ (5.15-2) |
| | | $\theta_0 \cdot x_{0,i} - \sum_{i=1}^m \lambda_j \cdot x_{j,i} \geq 0 \quad \forall j=1, \dots, n$ (5.15-3) |
| | | $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ (5.15-4) |
| | | $\lambda_j \geq 0 \quad \forall j=1, \dots, n$ (5.15-5) |

Für effiziente DMUs weist der Referenzvektor λ_j Null-Zeilen aus und eine Eins in der Zeile, die die DMU₀ selber abbildet. Die Projektion der DMU auf der Randfunktion ist daher ein Abbild ihrer selbst. Sie wird also von keiner anderen DMU dominiert und ist somit technisch effizient. In dem Zahlenbeispiel aus Kap. 5.5.2 wird dies für die DMU D ersichtlich. Aus der Lösung der Multiplier-Form kann der transponierte Referenzvektor der DMU D abgelesen werden. Er ergibt sich zu $\lambda_D^T = (0, 0, 0, 1, 0)$ und zeigt an, dass die Projektion auf der Randfunktion ein Abbild der DMU ist ($D''=D$). Bei ineffizienten DMUs finden sich Zahlenwerte in den Zeilen, die die anderen DMUs abbilden. Auf diese Weise resultiert aus der Verwendung einer inputorientierten Distanzfunktion, dass eine DMU₀ nur mit (virtuellen) DMUs verglichen wird, die dieselbe Outputmenge besitzen, wie die DMU₀ selber. An dem bekannten Zahlenbeispiel aus Kap. 5.5.2 wird auch die Berechnung der Variablen θ_0 und λ_j der Envelopment-Form dargestellt. Für die technisch ineffiziente DMU C wird die kanonische Form angegeben. Sie ist ebenfalls mit dem Simplex-Algorithmus lösbar, weshalb auf die Darstellung in Standardform verzichtet wird. Zur Aufstellung des Lösungssystems werden die Zahlenwerte aus der Tabelle 9 in die Zielfunktion und die Nebenbedingungen aus der Tabelle 12 zu (5.16-1 bis 5.16-5) eingesetzt.

$$\min \theta_C \quad (5.16-1)$$

u.d.N.

$$\lambda_A \cdot y_{A,1} + \lambda_B \cdot y_{B,1} + \lambda_C \cdot y_{C,1} + \lambda_D \cdot y_{D,1} + \lambda_E \cdot y_{E,1} \geq y_{C,1} \rightarrow 1\lambda_A + 1\lambda_B + 1\lambda_C + 1\lambda_D + 1\lambda_E \geq 1 \quad (5.16-2)$$

$$\theta_C \cdot x_{C,1} - \lambda_A \cdot x_{A,1} - \lambda_B \cdot x_{B,1} - \lambda_C \cdot x_{C,1} - \lambda_D \cdot x_{D,1} - \lambda_E \cdot x_{E,1} \geq 0 \rightarrow 7\theta_C - 3\lambda_A - 4\lambda_B - 7\lambda_C - 9\lambda_D - 12\lambda_E \geq 0 \quad (5.16-3)$$

$$\theta_C \cdot x_{C,2} - \lambda_A \cdot x_{A,2} - \lambda_B \cdot x_{B,2} - \lambda_C \cdot x_{C,2} - \lambda_D \cdot x_{D,2} - \lambda_E \cdot x_{E,2} \geq 0 \rightarrow 13\theta_C - 20\lambda_A - 10\lambda_B - 13\lambda_C - 6\lambda_D - 6\lambda_E \geq 0 \quad (5.16-4)$$

$$\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_D + \lambda_E = 1 \quad (5.16-5)$$

Die Lösung der technisch ineffizienten DMU C ergibt, dass die Projektion auf der Randfunktion eine Linearkombination aus den beiden technisch effizienten DMUs B und C ist (vgl. Tabelle 13). Ihre Projektion ist daher virtuell, gemäß der Definition aus Fußnote 16. Im Referenzvektor sind also die Informationen darüber enthalten, an welchen DMUs sich eine DMU₀ orientieren muss, um selber technische Effizienz zu erlangen. In der Lösung wird auch die Nebenbedingung (5.15-4) verdeutlicht, die restringierend angibt, dass die Summe aller Referenzwerte im

Ergebnis Eins ergeben muss. Auf diese Weise stellt sich eine Randfunktion mit der Struktureigenschaft variabler Skalenerträge (VRS) ein. Würde die Nebenbedingung $\sum \lambda_j = 1$ in die größer-gleich-Bedingung $\sum \lambda_j \geq 1$ oder in die kleiner-gleich-Bedingung $\sum \lambda_j \leq 1$ geändert, würde eine Veränderung der Skalenertragsart zu nicht-abnehmenden bzw. nicht-zunehmenden Skalenerträgen resultieren (vgl. Kap. 5.3.3).

Tabelle 13: Gesamtergebnis der Envelopment-Form für das Zahlenbeispiel

| | λ_A | λ_B | λ_C | λ_D | λ_E | Θ_0 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| A | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B | 0 | 1 | 0,806 | 0 | 0 | 0 |
| C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,290 |
| D | 0 | 0 | 0,194 | 1 | 0 | 0 |
| E | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Aus den Werten des Referenzvektors können die Input- und Outputmengen der Projektionen einer DMU₀ auf der Randfunktion ermittelt werden. In diesem Zahlenbeispiel ergeben sich die Inputmengen $x_{C'',1}$ und $x_{C'',2}$ sowie die Outputmenge $y_{C'',1}$ für die Projektion C'' der DMU C durch die Multiplikation der Werte aus dem Referenzvektor λ_C mit den Input- bzw. Outputmengen der technisch effizienten DMUs B und D zu:

$$x_{C'',1} = \lambda_{C,B} \cdot x_{B,1} + \lambda_{C,D} \cdot x_{D,1} = 0,806 \cdot x_{B,1} + 0,194 \cdot x_{D,1} = 4,97$$

$$x_{C'',2} = \lambda_{C,B} \cdot x_{B,2} + \lambda_{C,D} \cdot x_{D,2} = 0,806 \cdot x_{B,2} + 0,194 \cdot x_{D,2} = 9,22$$

$$y_{C'',1} = \lambda_{C,B} \cdot y_{B,1} + \lambda_{C,D} \cdot y_{D,1} = 0,806 \cdot y_{B,1} + 0,194 \cdot y_{D,1} = 1,00$$

Diese Mengen muss die DMU C aufweisen, um technische Effizienz zu erlangen. Der Rückblick auf Abbildung 33 zeigt dies ebenfalls grafisch an. Das Abstandsmaß der Envelopment-Form ist das mathematische Komplement der technischen Effizienz, wie in Kap. 5.4.2 erläutert. Es gibt in dem inputorientierten Modell an, um welchen Anteil die Input-Mengen einer DMU₀ zu groß sind. Für die DMU C ergibt die Multiplikation der Input-Mengen mit dem Komplement dieselben Werte: $(1-0,290) \cdot x_{C,1} = 4,97$ und $(1-0,290) \cdot x_{C,2} = 9,22$.

Das Zahlenbeispiel verdeutlicht nun auch die Bezeichnungen Multiplier bzw. Envelopment-Form. Die Randfunktion ist eine Linearkombination aus den DMUs, die aufgrund der vorgegebenen Struktureigenschaften als technisch effizient gewertet werden. Der berechnete Referenzvektor enthält die Informationen darüber, welche (virtuelle) DMU die DMU₀ dominiert. Somit berechnet sich der Effizienzwert in der Envelopment-Form anhand des Abstands einer DMU₀ zur Randfunktion. In der Multiplier-Form berechnet sich der Effizienzwert hingegen aus der endogenen Faktorisierung der Input- und Outputmengen einer DMU₀ mit den Multipliern. Die Anzahl der Nebenbedingungen ist in der Envelopment-Form abhängig von der Anzahl an Inputs und Outputs und in der Multiplier-Form abhängig von der Anzahl der DMUs. HOFFMANN (2006) weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass es sinnvoll ist, diejenige Optimierungsaufgabe zu lösen, die weniger Nebenbedingungen enthält.

5.6 Eignung der DEA für die Angebotswertung

5.6.1 DEA als Methodik zur Wertung wirtschaftlicher Angebote

Im Folgenden wird die Eignung der DEA für die Angebotswertung überprüft. Hierzu werden entscheidungstheoretische Eigenschaften untersucht, die bei den in Kap. 3.4 und 3.5 genannten gängigen Wertungsverfahren wie der Interpolationsmethode, zu Rügen und Nachprüfungsverfahren führen. Hier ist insbesondere die „Unabhängigkeit irrelevanter Alternativen“ („*Independence of irrelevant Alternatives*“) nach PARAMESH (1973), die zum so bezeichneten Flipping Effekt (vgl. Kap. 3.4 und 3.5) führt, zu nennen.

Damit die Angebotswertung vergaberechtskonform ist, muss das Wertungsmodell stabile Rangfolgen generieren und es darf keine Möglichkeiten zur äußeren Einflussnahme in Form einer Ergebnismanipulation aufweisen. Die Eignung verschiedener DEA-Modelle als Basis für eine Wertungsmethodik soll daher anhand der Eigenschaften der Monotonie, Stetigkeit und Invarianz in diesem Kapitel bewertet werden. Für den Bedarfsträger einer Bauleistung sind diese Vorgaben von hoher Relevanz, um die Gefahr vor Nachprüfungsverfahren einzugrenzen. Es wird darauf hingewiesen, dass die Auswirkungen dieser Eigenschaften durch eine Veränderung der Kriterienwerte hervorgerufen werden, so wie es bspw. auch bei einer Sensitivitätsanalyse erfolgt. Diese methodische Herangehensweise wird auch hier zugrunde gelegt, obwohl sich Zuschlagskriterien nach Ablauf der Angebotsfrist nicht mehr verändern.

- **Monotonie:** Die Eigenschaft der Monotonie kann unterteilt werden in strikte und schwache Monotonie. Strikte Monotonie bezeichnet die Eigenschaft einer Entscheidungsmethodik auf Verbesserungen (Verschlechterungen) der Input- bzw. Outputmengen unmittelbar mit einer Verbesserung (Verschlechterung) des Ergebniswerts zu reagieren. Schwache Monotonie fordert hingegen, dass aus der Verbesserung von Kriterien keine Verschlechterung des Ergebnisses resultiert. Für die Angebotswertung bedeutet dies, dass ein verbesserter Wert eines Zuschlagskriteriums zu einem verbesserten Ergebnis eines Bieters führen muss. Für technisch ineffiziente DMUs erfüllt die DEA diese Eigenschaft. Die Verbesserung eines Zuschlagskriteriums verringert den Abstand zwischen einer DMU_0 und dem effizienten Rand und verbessert somit den technischen Effizienzwert TE_0 . Für technisch effiziente DMUs führt die Verbesserung eines Kriteriums nicht direkt zu einer Steigerung des Effizienzwerts (TE_0 bleibt z.B. bei 100%), aber der Abstand gegenüber Wettbewerbern erhöht sich. Die Eigenschaft ist daher für den Anwendungsfall und die Modellentwicklung auf der Basis einer DEA als erfüllt anzusehen.
- **Stetigkeit:** Ein DEA-Modell gilt nach RUSSELL (1990) als stetig, wenn kleine Veränderungen der Kriterienwerte einer DMU_0 ebenfalls zu kleinen Veränderungen des Effizienzwerts der DMU_0 selber (gilt für technisch ineffiziente DMUs) oder der Effizienzwerte dominierter DMUs (gilt für technisch effiziente DMUs) führen. Hinsichtlich der Angebotswertung ist diese Eigenschaft von besonderer Relevanz, da ein amtlicher Leitsatz besagt, dass „jeder [...] gesparte oder mehr aufgewandte Euro [...] sich gleichermaßen auswirken [muss]“ (VK München, B. v. 30.08.2016 - Z3-3/3194/1/28/07/16).

Nach SCHEEL (2000) ist diese Eigenschaft für DEA-Modelle mit den Struktureigenschaften konstante und variable Skalenerträge bei radialen sowie durchschnittlichen Effizienzmaßen (vgl. Kap. 5.4.2 und 5.4.3) „erfüllt“ bzw. „generisch erfüllt“.

- **Invarianz:** Invarianz beschreibt die Unabhängigkeit des Analyseergebnisses von den Maßeinheiten der Kriterien. RUSSELL (1988) verwendet im selben Zusammenhang den Begriff der Kommensurabilität. SCHEEL (2000) betont, dass der Effizienzwert beispielsweise nicht davon abhängen darf, ob ein Kriterium in Metern oder Zentimetern gemessen wird. Verschiedene Arten der Invarianz können definiert werden:
 - Lineare Invarianz: Werden die Mengen aller DMUs mit derselben Konstante ξ multipliziert, ändern sich die Effizienzwerte nicht.
 - Translationsinvarianz: Wird zu den Mengen aller DMUs dieselbe Konstante ξ addiert, ändern sich die Effizienzwerte nicht.
 - Vollständige Skaleninvarianz: Jegliche Art der Mengentransformation ändert die Effizienzwerte nicht.

Abbildung 34 verdeutlicht die Eigenschaft der Translationsinvarianz. Die Addition einer Konstante ξ zu der Inputmenge $x_{j,1}$ der DMU_j führt unter Berücksichtigung konstanter Skalenerträge zu einer Änderung aller Effizienzwerte. Für variable Skalenerträge ändert sich der technische Effizienzwert bei der Inputorientierung. Eine Outputorientierung ist hier hingegen translationsinvariant. Gleichermäßen gilt Translationsinvarianz auch für die Erhöhung der Outputmengen $y_{j,r}$ um eine Konstante ξ , die in der Abbildung nicht dargestellt ist.

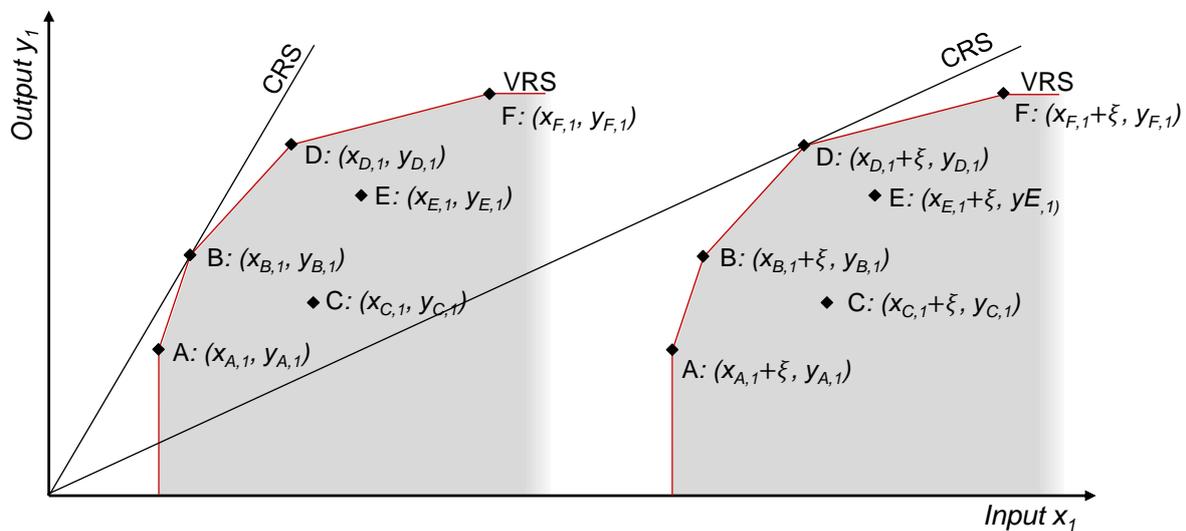


Abbildung 34: Translation bei unterschiedlichen Struktureigenschaften

Grundsätzlich weist kein radiales Modell Translationsinvarianz auf. SCHEEL (2000) stellt hierzu jedoch fest, dass „für die meisten praktischen Anwendungen“ die Erfüllung linearer Invarianz hinreichend ist. Dies gilt auch für die Angebotswertung. Die Multiplikation aller DMU_j mit einer Variablen (bspw. Zuschlagskriterium Preis fließt mit der Einheit [€] oder [Mio. €] in die Wertung ein) darf das Ergebnis nicht beeinflussen. Ein Zuschlagskriterium, bei dem allen Angeboten ex post die gleiche Konstante auf das er-

zielte Ergebnis aufaddiert wird, existiert i.d.R. nicht. Anderenfalls müsste dieses Vorhaben den Bietern mit Veröffentlichung der Ausschreibung bekannt gegeben werden. Für die Modellentwicklung ist die Einhaltung der linearen Invarianz somit hinreichend.

Als Fazit für die weitere Modellentwicklung wird festgestellt, dass Effizienzintervall, Struktureigenschaften und Distanzfunktionen der Data Envelopment Analysis für den Anwendungsfall so ausgewählt werden können, dass sich die Methodik für die Angebotswertung grundsätzlich eignet. Wie alle relativen Entscheidungsverfahren weist zwar auch die DEA eine Abhängigkeit der Ergebniswerte einer DMU_0 zu den Ergebnissen anderer DMUs auf, der Unterschied bspw. zu gängigen Verfahren, wie der Interpolationsmethode aus Kap. 3.4 ist aber, dass irrelevante Aktivitäten keine Beeinflussung des Ergebnisses ermöglichen. Der Effizienzwert aller DMU_j ist nur von den technisch effizienten, also von den zuschlagsrelevanten DMUs abhängig. Die Ermittlung der technischen Effizienz als alternative Wertungskennzahl zum Preis-Leistungs-Verhältnis steht somit in Einklang mit den amtlichen Leitsätzen für die Angebotswertung. Zudem kommt die Berechnung des technischen Effizienzwerts TE_0 ohne die umstrittene Umrechnung von Maßeinheiten, wie bspw. von Geldeinheiten zu Punkten, aus. Im Weiteren folgt in Kap. 5.6.2 eine Überprüfung der Leistungsfähigkeit der DEA als Instrument zur Förderung strategischer Ziele. Neben dem Primärziel der Ableitung stabiler Rangfolgen ist insbesondere die Leistungsfähigkeit der Methodik für dieses Sekundärziel zu bewerten.

5.6.2 DEA als Instrument zur Förderung strategischer Ziele

Die Vergabe öffentlicher Bauaufträge besitzt das Potenzial, strategische Ziele, die auf den bundes- und landespolitischen Entscheidungsebenen definiert werden, zu fördern. Hinter dem Primärziel einer vergaberecht konformen Angebotswertung soll das zu entwickelnde Wertungsmodell daher das Sekundärziel der Förderung strategischer Ziele unter Wahrung des Wirtschaftlichkeitsgrundsatzes unterstützen. Die DEA wird in diesem Kapitel auf ihre Fähigkeit untersucht, das Verständnis für strategische Ziele bei den am Vergabeprozess beteiligten Akteuren zu schärfen. Hierzu wird ihre Eignung als Benchmarking-Konzept bewertet.

Durch die Projektion auf den effizienten Rand kann das Potenzial für die Leistungssteigerung einer DMU_0 ermittelt werden. Es ergibt sich als Differenz aus der angebotenen Leistung (in Form der Werte der Zuschlagskriterien) und der Leistung der Wettbewerber im Rahmen des ausgeschriebenen Bauauftrags. Dies symbolisieren auch die Balken im Feld „Förderung strategischer Ziele“ in der Abbildung 35. Da die Projektion DMU_0 jene Kriterienwerte aufweist, die die DMU_0 hätte erzielen müssen, um technische Effizienz zu erlangen, beschreibt die Differenz das Verbesserungspotenzial. HOFFMANN (2006) betont, dass durch den direkten Vergleich mit den Wettbewerbern „ein Anreizsystem zum Lernen von den Benchmarkeinheiten und zur Steigerung der Produktivität bereitsteht“. Eine Angebotswertung, die auf einem derartigen Benchmarking-Konzept basiert, kann die Förderung strategischer Ziele langfristig unterstützen. HAAS (2004) merkt hierzu an, dass die Rückspiegelung von Leistungen eine steuernde Wirkung erzielt. Erkennt ein Bieter Leistungsdefizite hinsichtlich bestimmter strategischer Ziele gegenüber Wettbewerbern, kann er zielgerichtet und kontinuierlich an deren Verbesserung arbeiten. Auch KERPEN (2016) stellt fest, dass „die Interpretation der DEA-Ergebnisse in der Gegenwart

[liegt] und den DMUs als Entscheidungsgrundlage zur Gestaltung ihrer Zukunft dienen [kann], eigene Mängel und Defizite zu erkennen und abzustellen, um sich den besten Konkurrenten [...] anzunähern“. SCHEEL (2000) betont in diesem Zusammenhang, dass sich in der Aktivitätenmenge „das technische und organisatorische Wissen aller Units wider[spiegelt].“ Durch die technische Effizienz ist erkennbar, „wie diese Unit ihr Wissen in die Praxis umgesetzt hat“. Wie in Abbildung 35 skizziert, müssen die Ergebnisse der Effizienzanalyse hierzu an die Bieter zurückgespiegelt werden. Verglichen mit Akteuren aus dem Sektor der stationären Serien- bzw. Fließfertigung, die eine sich ständig wiederholende Produktionsaufgabe durchführen, bietet die Angebotswertung von Bauleistungen einen weniger stark ausgeprägten Lerneffekt für Bieter. Durch die stets variierende Bauaufgabe mit wechselnden Randbedingungen bei unterschiedlichen Auftragsgegenständen ist das identifizierte Verbesserungspotenzial als Ergebnis der DEA von vergleichsweise geringerer Aussagekraft. Dennoch erfolgt auch die Ausführung unterschiedlicher Bauvorhaben durch vergleichbare und sich regelmäßig wiederholende Leistungen (BAUER 2007), weshalb der DEA die Eignung zugesprochen werden kann, langfristig ein zweckdienliches Werkzeug für die Identifikation von Verbesserungspotenzialen zu sein. Ob und in welchem Maße die rückgespiegelten Informationen genutzt werden, entscheidet jeder Bieter eigenständig. Eine unmittelbare Konsequenz hinsichtlich einer Überarbeitung der bestehenden Arbeitsprozesse zugunsten strategischer Aspekte geht aus dem Wertungsergebnis somit grundsätzlich nicht hervor. Es ist vielmehr als Hilfestellung zu verstehen, um die eigene aktuelle Leistungsfähigkeit gegenüber dem Wettbewerb besser einordnen zu können. Mögliche Handlungsoptionen, die einem Bieter zur Verfügung stehen, um die Leistung in einem nicht-monetären Zuschlagskriterium zu steigern, werden ausblickend in Kap. 9.4.1 skizziert.

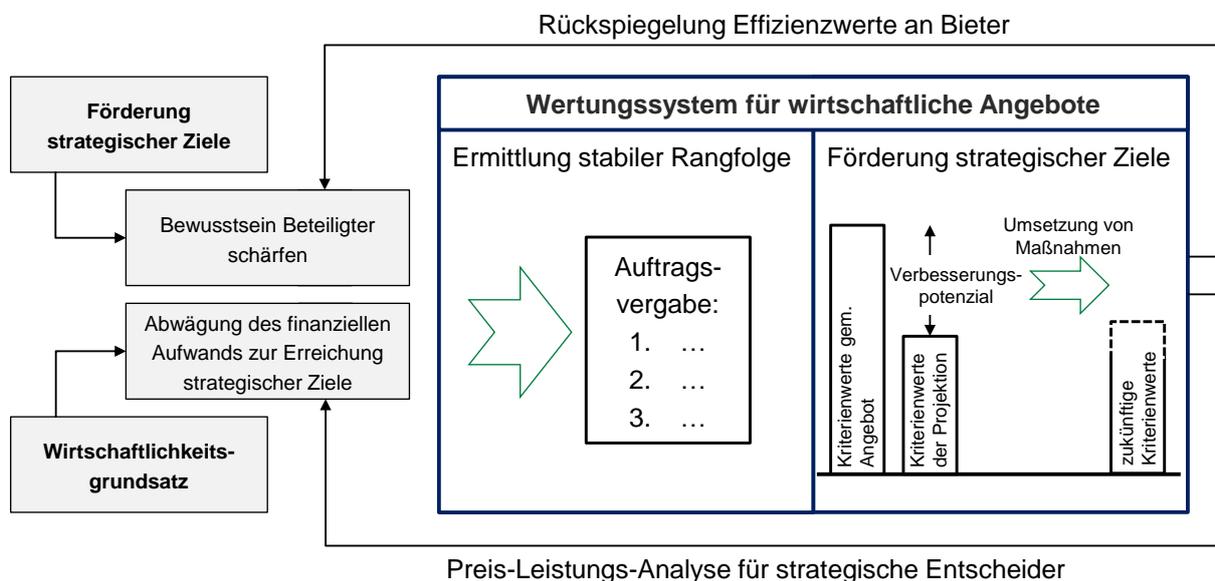


Abbildung 35: Schema über die Rückspiegelung des Verbesserungspotenzials

Auch auftraggeberseitig bietet die Datenanalyse mittels DEA Vorteile im langfristigen Umgang mit strategischen Aspekten. So kann z.B. abgeschätzt werden, ob bzw. in welchem Maß Mehrkosten für die Verfolgung der strategischen Ziele anfallen. Zudem kann die Abfrage, ab wann eine Förderung nicht mehr mit dem Wirtschaftlichkeitsgrundsatz vereinbar ist, definiert werden.

Aus mikroökonomischer Sicht ist die Steigerung der Kosten zugunsten besserer strategischer Kriterienwerte ab dem Punkt, ab dem jede weitere Geldeinheit zu einer unterproportionalen Steigerung des Outputs führt, nicht länger wirtschaftlich, da die optimale Aktivitätsgröße überschritten ist. Zusammenfassend beinhaltet die DEA das Potenzial, das Bewusstsein für strategische Ziele im Rahmen der Angebotswertung bei den Beteiligten zu schärfen, indem Informationen ausgewertet und rückgespiegelt werden.

Als Fazit ist festzuhalten, dass sich die DEA aufgrund der hohen Objektivität als Basis für die Wertung wirtschaftlicher Angebote, mit dem Ziel der Förderung strategischer Ziele, eignet. Auf der Grundlage des technischen Effizienzwertes, als Ergebnis der DEA, kann jedoch noch keine eindeutige Rangfolge abgeleitet werden, da alle technisch effizienten DMUs denselben Effizienzwert erzielen. Ein DEA-Modell kann daher zunächst nur das Fundament des Wertungsmodells sein. Zur Rangfolgenbildung muss eine entscheidungstheoretische Restriktion als Nebenbedingung in die DEA implementiert werden. Hierzu ist ein Ansatz aus dem Feld des Decision Makings erforderlich, wie in Kap. 4.2 erläutert. In den Unterkapiteln des nachfolgenden Kap. 6 wird daher das Konzept der Gewinnfunktion vorgestellt. Das DEA-Modell kann durch die Einbindung einer Gewinnfunktion mit Wertinformationen beaufschlagt werden, um eine Unterscheidung technisch effizienter Aktivitäten zu ermöglichen.

6 Entscheidungstheoretische Restriktion zur Rangfolgenbildung

Die DEA als Basis des zu entwickelnden Modells erfüllt die vergaberechtlich geforderte Transparenz zur Wertung öffentlicher Angebote. Diese Eigenschaft resultiert insbesondere aus der Minimierung subjektiver Vorgaben durch den Entscheider, wie auch FALAGARIO ET AL. (2012) und YANG ET AL. (2016) betonen. Das hohe Maß an Objektivität führt jedoch dazu, dass eine Differenzierung technisch effizienter Angebote nicht möglich ist. Aus diesem Grund werden restringierende Größen eingeführt, um die Vorteilhaftigkeit zwischen den technisch effizienten Aktivitäten hervorzuheben. Sie sollen über die mikroökonomisch fundierte Grundlage der Gewinnfunktion implementiert werden, damit ein wirtschaftliches Angebot auch als solches identifiziert wird. In diesem Kapitel wird daher u.a. das theoretische Konzept der Gewinnfunktion eingeführt und eine Verwendung der Gewichtung als Wertinformationen überprüft, wie in Abbildung 36 dargestellt.

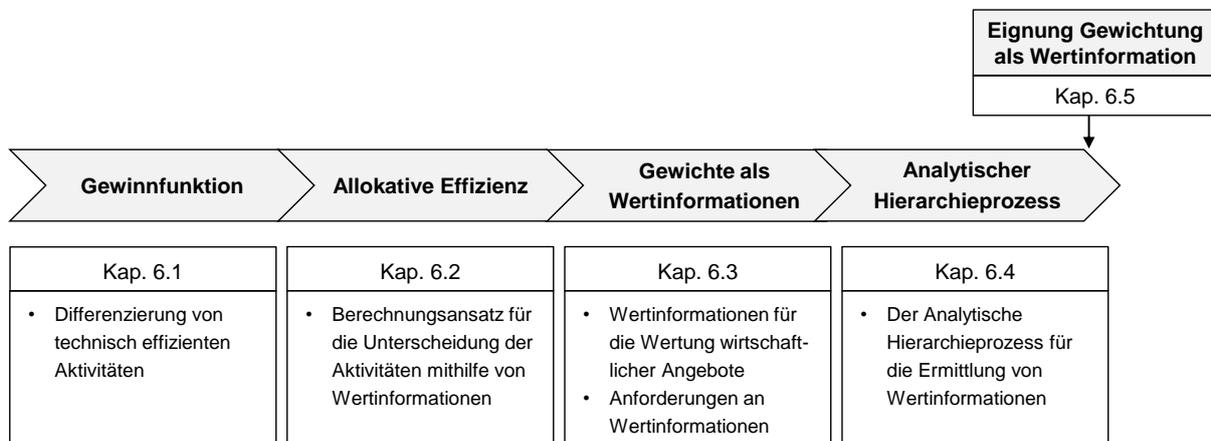


Abbildung 36: Kapitelaufbau zur Einführung zielbedingter Restriktionen

6.1 Konzept der Gewinnfunktion

Zur Differenzierung technisch effizienter Aktivitäten wird die Theorie der Ressourcenallokation eingeführt. Sie wird zunächst für den ursprünglichen Anwendungsgegenstand des Produktionsprozesses aufgezeigt. Hier bewertet ein betriebswirtschaftlicher Entscheider den Produktionsprozess A , bestehend aus Inputs und Outputs, hinsichtlich der entstehenden Kosten $c(A)$ und der erzielbaren Erlöse $r(A)$. Das Ziel liegt in der Ausgestaltung eines gewinnmaximierten Prozesses¹⁷ $p(A)$, wie in (6.1).

$$p(A)=r(A)-c(A) \quad (6.1)$$

¹⁷ Die Gewinnmaximierung wird im Weiteren am vereinfachten Modell des vollkommenen Marktes (vgl. BREYER 2015) bewertet.

Die Gewinnmaximierung resultiert dementsprechend aus einem Ausgleich zwischen einem kostenminimalen Mitteleinsatz bei einer erlösmaximalen Ausbringungsmenge. Bei dieser betriebswirtschaftlichen Betrachtung einer Aktivität liegt den Inputs und Outputs somit ein Preismaßstab als Wertesystem zugrunde. Werden die Input- und Outputmengen mit Kostensätzen als restringierende Wertinformationen multipliziert, kann der betriebswirtschaftliche Entscheider eine Anpassung der Mengen in Relation zueinander verfolgen, um die Aktivität aus einer kostenorientierten Sichtweise weiter zu optimieren. Abbildung 37 stellt das Konzept der Ressourcenallokation zur Evaluation der kostengünstigsten Aktivität grafisch dar. In der Darstellung ist eine theoretische Randfunktion für einen Anwendungsfall mit zwei Inputs x_1 und x_2 sowie einem Output y_1 abgebildet. Den beiden Inputs liegt die Annahme zugrunde, dass eine Aktivität jeden Punkt auf der Randfunktion durch Variation der Inputmengen erreichen kann. Die Isoquanten der Randfunktion zeigen die Inputmengenkombinationen, die eine DMU₀ zur Fertigung der Outputmenge $y_{0,1}$ benötigt. Auf der rechten Seite der Abbildung wird beispielhaft die Inputisoquante in der Höhe von $y_{0,1}$ der Output-Achse gezeigt. Die Abbildung zeigt also den Schnitt durch die Aktivitätenmenge. Die Wahl des kostengünstigsten Inputeinsatzes bei einer definierten Outputmenge $y_{0,1}$ hängt von den Preisen c_1 und c_2 der Inputs x_1 und x_2 ab, die der Entscheider für die Inputs auf einem Markt zahlt. Aufgrund des konstanten Verhältnisses der Kosten ergibt sich eine Gerade, die an die Randfunktion angelegt werden kann, um die kostenminimale Allokation K_0 der Inputs zu ermitteln. Die Gerade weist nach BREYER (2015) die Steigung gemäß Gleichung (6.2) auf.

$$\tan \alpha = \frac{c_1}{c_2} \quad (6.2)$$

Bei konvexen Randfunktionen führt das Anlegen der Linie gleicher Kosten, die BREYER (2015) als „Isokostengerade“ (i.F. auch Kostenfunktion) bezeichnet, an die Randfunktion zu einer eindeutigen Identifikation der technisch und wirtschaftlich optimalen Inputmengen $x_{0,i}$ (hier: $i=1,2$) einer DMU₀.

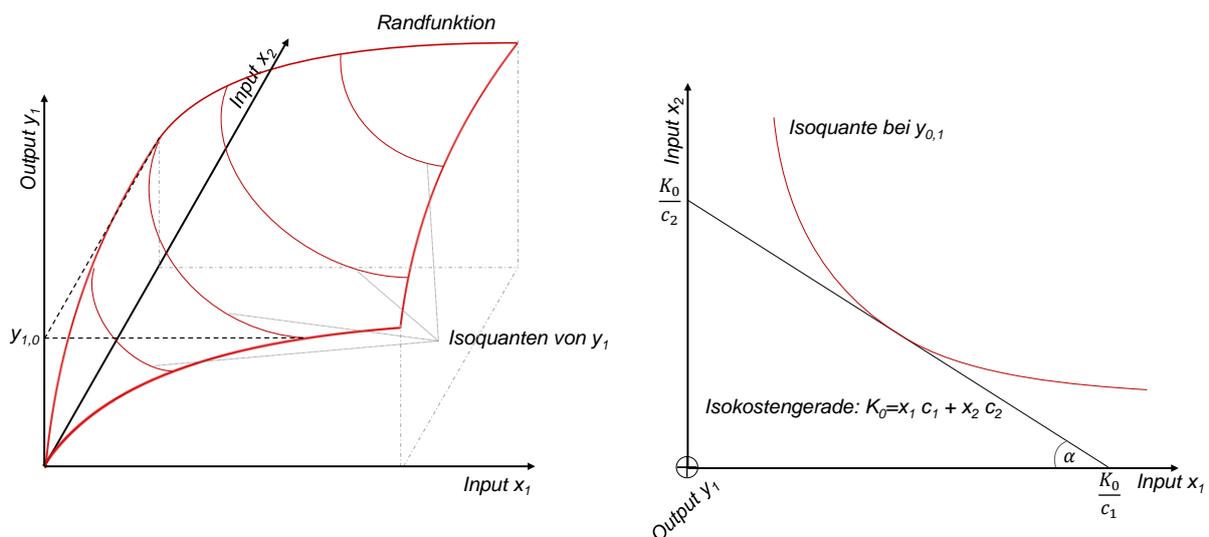


Abbildung 37: Ermittlung kostenminimaler Aktivitäten

Dem Vorgehen der Abbildung 37 liegt das Minimalprinzip zugrunde, da bei einer konstanten Outputmenge von $y_{0,1}$ der Inputeinsatz kostenmäßig minimiert wird. Gleichmaßen kann eine

Isoertragsgerade (i.F. auch Ertragsfunktion) aufgestellt werden, wenn die Optimierung das wirtschaftliche Maximalprinzip abbilden soll. Um den Gewinn zu maximieren, sind sowohl Kosten als auch Erlöse simultan zu berücksichtigen. Hierzu wird die Gewinnfunktion in (6.3), die sich aus den Wertinformationen¹⁸ w_{yr} und w_{xi} ergibt, in die DEA implementiert. Sie gibt den größtmöglichen (math.: supremum) Gewinn der technisch realisierbaren Mengenkombinationen der Inputs und Outputs an.

$$p(w_{yr}, w_{xi}) = \sup\{w_{yr}y_{j,r} - w_{xi}x_{j,i} : (x_{j,i}, y_{j,r}) \in A_j, (x_{j,i}, y_{j,r}) \geq 0\} \quad (6.3)$$

Um für alle Inputs bzw. Outputs unterschiedliche Wertinformationen berücksichtigen zu können, gilt gemäß der bekannten Notation im Weiteren: $w_{xi} = (w_{x1}, w_{x2}, \dots, w_{xm})$ für die Anzahl von m Inputs und $w_{yr} = (w_{y1}, w_{y2}, \dots, w_{ys})$ für die Anzahl von s Outputs.

6.2 Allokative Effizienz in der DEA

Der erste Ansatz für die Implementierung einer Gewinnfunktion in die DEA geht auf BANKER UND MAINDIRATTA (1988) zurück. Als Konzept für die Einbindung von Wertinformationen in die nicht-parametrische Effizienzanalyse wird er an dieser Stelle erläutert. Aufbauend auf VARIAN (1984) entwickelten BANKER UND MAINDIRATTA (1988) ein DEA-Modell, um neben dem technischen den allokativen Effizienzwert, für eine DMU₀, weiterführend zu AE_0 abgekürzt, zu ermitteln. Für die Berechnung von AE_0 werden die Inputmengen $x_{j,i}$ bzw. Outputmengen $y_{j,r}$ aller DMU_j mit den Wertinformationen w_{xi} bzw. w_{yr} multipliziert. Im Ergebnis zeigt sich, welche DMU ihre Input- und/oder Outputmengen nicht nur effizient im technischen Sinne, sondern zeitgleich effektiv, unter Berücksichtigung eines Wertemaßstabs, kombiniert. In der weiterführend genutzten Envelopment-Form der Data Envelopment Analysis wird die allokativen Effizienz, gleichermaßen wie die technische Effizienz, anhand des Abstandsmaßes zu einer definierten Zielmarke, der Gewinnfunktion, bestimmt. Es handelt sich daher bei AE_0 gleichermaßen wie bei dem technischen Effizienzwert TE_0 um eine relative Kennzahl, die für eine DMU₀ vom Effizienzwert anderer DMUs abhängt. Die Abstandsmessung erfolgt bei dem Modell nach BANKER UND MAINDIRATTA (1988) radial und orientiert (kostenminimiert und ertragsmaximiert) oder radial und unorientiert (gewinnmaximiert):

- kostenminimiert: Inputallokation anhand einer Kostenfunktion
- ertragsmaximiert: Outputallokation anhand einer Ertragsfunktion
- gewinnmaximiert: Output- und Inputallokation anhand einer Gewinnfunktion

Das Berechnungskonzept wird einleitend für ein orientiertes Beispiel in Abbildung 38 erläutert. Die Abbildung zeigt auf der linken Seite eine Inputallokation und auf der rechten Seite eine Outputallokation. Weiterführend wird die Berechnung des allokativen Effizienzwertes für die Inputallokation erläutert. Das Vorgehen für die Outputallokation verläuft äquivalent. Das Beispiel zeigt eine Effizienzanalyse mit $n=5$ DMUs (DMU A bis E), deren Effizienzwerte TE_0 und AE_0 im linken Teil der Abbildung aufgrund der zwei Inputs x_1 und x_2 sowie des Outputs y_1

¹⁸ allgemeine Bezeichnung der Größen eines Wertesystems (bspw. Marktpreise)

berechnet werden. In der Abbildung ist der effiziente Rand abermals als Inputisoquante dargestellt. Auf der Isoquante befinden sich die technisch effizienten DMUs A, C und E. Für die Inputs x_1 und x_2 existieren für alle DMU_j einheitliche Wertinformationen w_{x1} und w_{x2} , weshalb sich eine lineare Kostenfunktion einstellt.

Grafisch betrachtet wird die Kostenfunktion zur Berechnung von AE_0 als Tangente an den effizienten Rand der konvexen Aktivitätenmenge angelegt. Durch das Hinzufügen der Wertinformationen wird ersichtlich, welche DMUs ihre Ressourcen im effektivsten Verhältnis zueinander einsetzen. Die DMU, die technisch und allokativ effizient ist, liegt auf dem Koordinatenpunkt, in dem die Kostenfunktion die Randfunktion der Aktivitätenmenge tangiert. Die Implementierung der Kostenfunktion (bzw. allgemein einer Gewinnfunktion) führt dazu, dass jede DMU_j zwei Projektionen besitzt. Eine Projektion der DMU_0 befindet sich auf der Randfunktion ($DMU_{0''}$) und eine weitere auf der Gewinnfunktion ($DMU_{0'}$), wie es in Abbildung 38 beispielhaft für die DMU B abgebildet ist. Für eine technisch effiziente DMU_0 ergibt sich unmittelbar $DMU_0=DMU_{0''}$. Dies gilt in Abbildung 38 z.B. für die DMU A. Für eine technisch und allokativ effiziente DMU_0 ergibt sich folglich $DMU_0=DMU_{0'}=DMU_{0''}$. Dies trifft in Abbildung 38 nur auf die DMU C zu.

Der allokativ Effizienzwert einer DMU_0 berechnet sich in dem Modell nach BANKER UND MAINDIRATTA (1988) als Division des Abstands der Projektion einer DMU_0 auf der Kostenfunktion zum Ursprung (in Gl. (6.4) als 0 angegeben) und dem Abstand der Projektion einer DMU_0 auf der Randfunktion bzw. deren Isoquante bis zum Ursprung, wie in (6.4) abgebildet. Für das Beispiel in Abbildung 38 ist also die Projektion der DMU B auf der Isoquante durch B'' und die Projektion auf die Kostenfunktion durch B' angegeben. Der Effizienzwert für die Inputallokation befindet sich somit im Effizienzintervall $EI=(0\%, 100\%]$, wohingegen der Effizienzwert für die Outputallokation im Intervall $EI=[100\%, \infty)$ liegt.

$$AE_0 = \frac{DMU_{0'}-0}{DMU_{0''}-0} \quad (6.4)$$

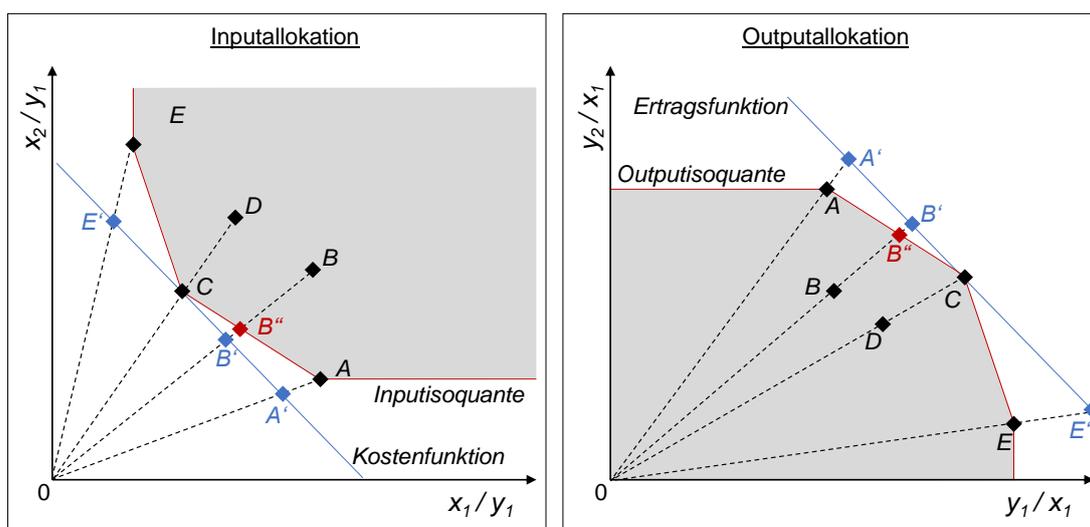


Abbildung 38: Input- bzw. Outputallokation

Die Implementierung der Wertinformationen in die DEA führt dazu, dass sich für die verschiedenen DMUs vier unterschiedliche Effizienzkombinationen ergeben können. Dabei handelt es

sich um die Möglichkeiten technischer Effizienz oder technischer Ineffizienz sowie allokativer Effizienz oder allokativer Ineffizienz. In Tabelle 14 werden die vier möglichen Kombinationen aufgezeigt und den fünf DMUs aus Abbildung 38 zugeordnet.

Tabelle 14: Technische und allokativer Effizienz für die DMUs A bis E aus Abbildung 38

| | | allokativ | |
|-----------|-------------|-----------|-------------|
| | | effizient | ineffizient |
| technisch | effizient | C | A, E |
| | ineffizient | D | B |

Nachfolgend wird die Zuordnung zu den jeweiligen Effizienzarten erläutert:

- **Technisch und allokativ effizient (DMU C):** Die DMU wird von keiner anderen Aktivität dominiert und ist somit technisch effizient ($TE_C=1$). Die Kostenfunktion tangiert die Isoquante genau im Input-Mengenvektor von C. Somit setzt die DMU die Inputs kostenminimal ein. Da sich die Projektion auf der Isoquante und auf der Kostenfunktion im selben Koordinatenpunkt befindet, beträgt der Quotient aus (6.4) für die DMU C Eins. Sie gilt als allokativ effizient ($AE_C=1$).
- **Technisch effizient und allokativ ineffizient (DMUs A und E):** Die DMUs werden von keiner anderen Aktivität dominiert und sind somit Teil der Randfunktion ($TE_A=TE_E=1$). Der Abstand der DMUs zur Kostenfunktion führt jedoch zu allokativer Ineffizienz. Der allokativer Effizienzwert berechnet sich für die DMU A vektoriell aus OA'/OA'' , wobei $A''=A$ entspricht. Der allokativer Effizienzwert beider DMUs liegt im Intervall $AE_A=(0, 1)$ und $AE_E=(0, 1)$.
- **Technisch ineffizient und allokativ effizient (DMU D):** Die DMU D wird von der technisch effizienten DMU C dominiert. Die Projektion von DMU D auf der Randfunktion D'' befindet sich genau im Koordinatenpunkt von DMU C und besitzt somit einen Abstand zum Koordinatenpunkt von DMU D. Der technische Effizienzwert liegt daher im Intervall $TE_D=(0, 1)$. Er berechnet sich aus OD''/OD . Da die DMU genau die gleiche kostenminimale Inputkombination verwendet wie die allokativ effiziente DMU C, gilt sie als allokativ effizient. Der Quotient aus den Abständen OD'' und OD' ergibt $AE_D=1$.
- **Technisch und allokativ ineffizient (DMU B):** Die DMU B weist einen Abstand zur Randfunktion auf. Der technische Effizienzwert der DMU liegt daher im Intervall $TE_B=(0, 1)$. Die allokativer Effizienz ergibt sich aus OB'/OB'' und liegt für die DMU ebenfalls im Intervall $AE_B=(0, 1)$. Um technische und allokativer Effizienz zu erzielen, müsste die DMU die Inputmengen reduzieren, bis die Randfunktion erreicht wird, und das Verhältnis der Inputmengen in Richtung der kostenminimalen Inputkombination variieren.

Ein Angebot für eine öffentliche Bauleistung soll im Weiteren als wirtschaftlich gewertet werden, wenn es sowohl technische als auch allokativer Effizienz aufweist. Zur Berechnung des allokativen Effizienzwertes müssen für alle Inputs x_i bzw. Outputs y_r Wertinformationen w_{xi} bzw.

w_{yr} existieren. Bei kennzahlenbasierten Entscheidungen, wie der Angebotswertung, liegen objektive Wertinformationen wie Marktpreise jedoch nicht vor. Soll die Ableitung einer Rangfolge anhand einer restringierenden Gewinnfunktion erfolgen, muss ein anderer Wertemaßstab zur Verfügung gestellt werden.

6.3 Gewichtung der Zuschlagskriterien als Wertinformationen

In § 127 Abs. 5 GWB wird vom Auftraggeber gefordert, den gewählten Zuschlagskriterien eine Gewichtung zuzuweisen. Diese Prozentwerte müssen den Bietern signalisieren, welche Kriterien von höherer bzw. geringerer Relevanz sind. Die vom Auftraggeber festgelegten Gewichte werden dann zum Gegenstand der Ausschreibungsdokumente. Die vergaberechtlich geforderten Gewichte sollen im Weiteren als Wertinformationen, zur Ermittlung der allokativen Effizienzwerte, in die DEA integriert werden.

In der Vergabepraxis werden die Prozentwerte durch den Auftraggeber i.d.R. direkt bestimmt, d.h. sie werden intuitiv festgelegt (MATEUS ET AL. 2010). Diese subjektive Entscheidung ist aus vergaberechtlicher Sicht zulässig. Auch aus einer entscheidungstheoretischen Sicht ist die direkte Bestimmung der Gewichte vertretbar, wenn die Anzahl der Kriterien gering und der Auftraggeber Auswirkungen der Kriterien und deren Wechselwirkungen abschätzen kann. EßIG ET AL. (2016) betonen hierzu, die Gewichtung müsse „aus dem Auftragsgegenstand beziehungsweise dem Beschaffungsvorhaben sachlich zu rechtfertigen“ sein. Sie darf zudem „vergaberechtlich nicht willkürlich erfolgen.“ Insbesondere für komplexe Fragestellungen, wie Auswirkungen von Umwelteinflüssen, Nutzerbeeinträchtigungen bei Baumaßnahmen im öffentlichen Raum etc., kann eine methodische Unterstützung bei der Quantifizierung sinnvoll sein. Um die subjektive Festlegung der Prozentwerte zu objektivieren, soll im Rahmen der Modellentwicklung eine Entscheidungsmethode aus dem Feld des Decision Makings herangezogen werden. Das Ziel hierbei ist es, eine möglichst hohe Nachvollziehbarkeit und Transparenz der Gewichtung zu realisieren. Grundsätzlich stehen verschiedene Decision Making Verfahren zur Ermittlung einer Gewichtung von Entscheidungskriterien zur Verfügung. Ein Vergleich unterschiedlicher Methoden findet sich beispielsweise bei OBERSCHMIDT (2010) und KAMARIANAKIS (2013). Aufbauend auf den Literaturrecherchen im Rahmen dieser Forschungsarbeit sowie den Ausführungen von KAMARIANAKIS (2013) und THEWES UND KAMARIANAKIS (2012; 2013) besitzt der Analytische Hierarchieprozess (AHP) nach SAATY (1980) eine hohe Nachvollziehbarkeit und Transparenz. Die Methodik wird daher für die Quantifizierung der subjektiven Wertinformationen ausgewählt.

6.4 Analytischer Hierarchieprozess zur Ermittlung der Gewichtung

Für die Generierung der Kriteriengewichte ist nicht der gesamte AHP, sondern nur ein Teil des Verfahrens erforderlich. Die Darstellung der Methodik beschränkt sich daher im Weiteren auf den paarweisen Kriterienvergleich und die Berechnung des Eigenvektors, der die Gewichte der Entscheidungskriterien enthält. Der in Abbildung 39 gezeigte Gesamtprozess reduzieren sich somit auf die nicht in Grau dargestellten Verfahrensschritte. Eine vollständige Darstellung

der Methodik findet sich beispielsweise bei SAATY (2001), KAMARIANAKIS (2013) und OBERMAIER UND SALIGER (2013).

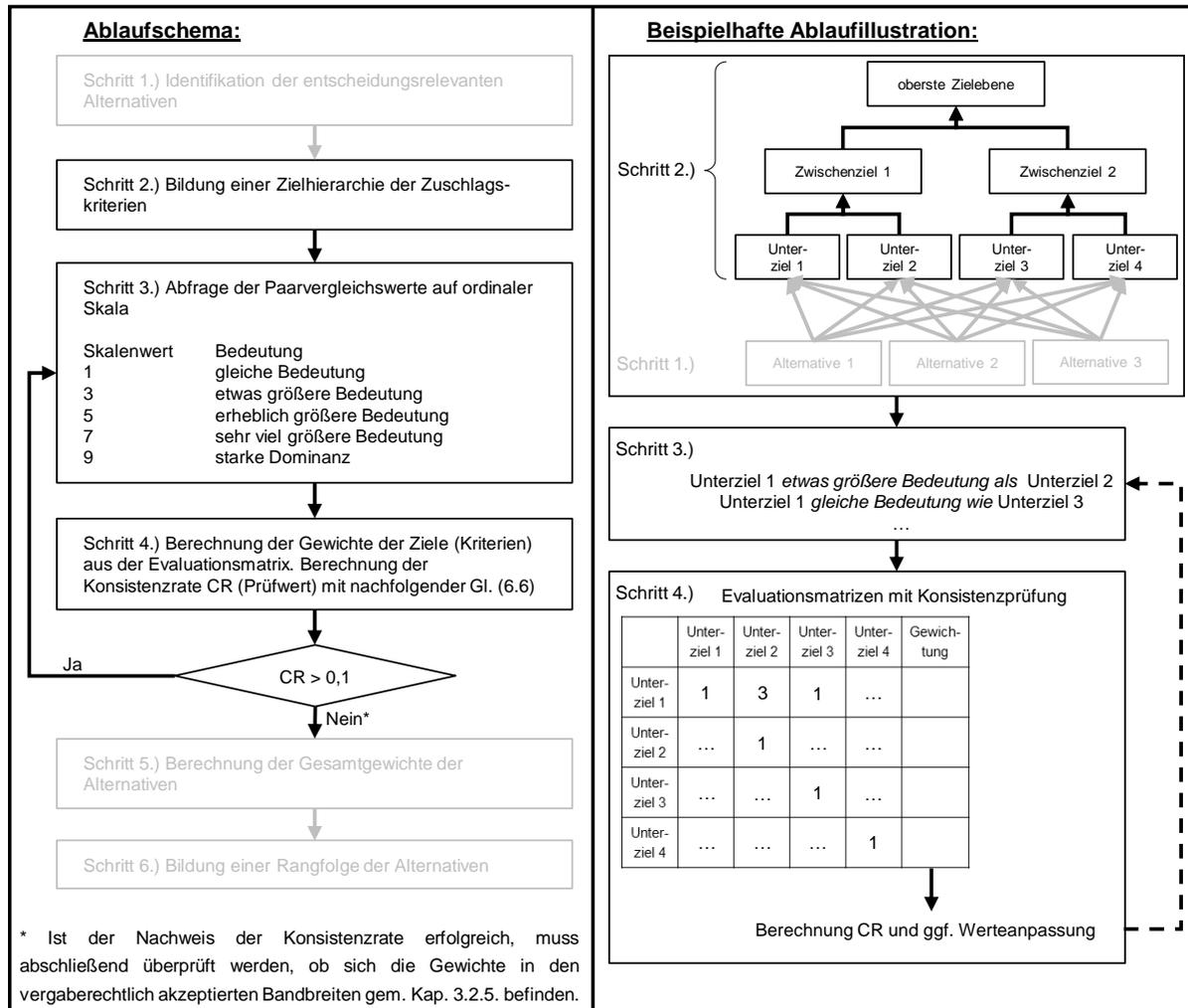


Abbildung 39: Ablaufschema des Analytischen Hierarchieprozesses in Anlehnung an OBERMAIER UND SALIGER (2013)

Der AHP basiert auf der hierarchischen Ordnung von Kriterien, Unterkriterien, Unter-Unterkriterien usw. Bei der Gruppierung thematisch gleichartiger Kriterien erhöht sich der Detaillierungsgrad von der obersten zur untersten Zielebene. Eine solche Ordnung ist auch bei Zuschlagskriterien möglich. Der Auftraggeber hat die Möglichkeit, ein Oberkriterium anhand von Unterkriterien zu konkretisieren (OLG Düsseldorf, B. v. 30.07.2009 - VII-Verg 10/09). So kann beispielsweise ein verhältnismäßig allgemein definiertes Oberkriterium „Umweltschutz“ etwa in die konkreteren Unterkriterien „Einsatz energiereduzierter Baumaschinen“, „Abfallkonzept für die Baustelle“, „Flächenschutzkonzept“ usw. unterteilt werden. Die Kriteriengewichtung auf mehreren Zielebenen ist mit der Baumstruktur des AHPs, wie in Abbildung 39 in der rechten Box gezeigt, realisierbar.

Nach der Zuordnung der Zuschlagskriterien zu den entsprechenden Hierarchieebenen folgt die Ermittlung der Gewichte durch den paarweisen Vergleich aller Kriterien auf derselben Hierarchieebene. I.d.R. erfolgt dieser Prozess, beginnend von der untersten Kriterienebene auf-

wärtsführend, nach dem Bottom-Up-Prinzip. Hierzu wird die Präferenz, die methodisch als Bedeutung bezeichnet wird, anhand eines Vergleichs aller Kriterien mithilfe einer Punkteskala bewertet. Für den paarweisen Vergleich erstellt SAATY (1980) die Paarvergleichsskala, um das Verhältnis zweier Kriterien zueinander zu quantifizieren. Die Punkte in Tabelle 15 weisen die Bedeutung zweier Kriterien anhand von linguistischen Variablen aus. Jede Bedeutung ist zudem mit einem Punktwert verknüpft. Aufgrund der linguistischen Bedeutungen soll der Entscheider die Vor- bzw. Nachteile eines Kriteriums x_1 gegenüber einem Kriterium x_2 einfacher zuordnen können. Die Quantifizierung wird auf diese Weise unterstützt. Wird für ein Kriterium x_1 bspw. festgelegt, dass es von „erheblich größerer Bedeutung“ als Kriterium x_2 ist, erhält es einen Wert von 5. Hieraus resultiert für Kriterium x_2 unmittelbar ein Wert von $1/5$. Für eine Zahl von $m+s$ festgelegten Kriterien ergibt sich für die Gewichtung eine Menge von $(m+s) \cdot (m+s-1)/2$ durchzuführenden Paarvergleichen (OBERMAIER UND SALIGER 2013).

Tabelle 15: Paarvergleichsskala (SAATY 1980)

| Punkte | Bedeutung | Punkte | Bedeutung |
|------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| 1 | gleiche Bedeutung | | |
| 3 | etwas größere Bedeutung | 1/3 | etwas geringere Bedeutung |
| 5 | erheblich größere Bedeutung | 1/5 | erheblich geringere Bedeutung |
| 7 | sehr viel größere Bedeutung | 1/7 | sehr viel geringere Bedeutung |
| 9 | starke Dominanz | 1/9 | stark unterlegen |
| 2, 4, 6, 8 | Zwischenwerte | 1/2, 1/4, 1/6, 1/8 | Zwischenwerte |

Nach dem paarweisen Vergleich aller $m+s$ Zuschlagskriterien sind die Punkte in eine $(m+s) \times (m+s)$ -Evaluationsmatrix zu übertragen. Mithilfe eines Berechnungsverfahrens wird dann der Eigenvektor a der Matrix ermittelt, der die Gewichte a_{xi} für die zu minimierenden Zuschlagskriterien und a_{yr} für die zu maximierenden Zuschlagskriterien beinhaltet. Dies kann entweder mithilfe der Eigenvektormethode oder mit einem Näherungsverfahren erfolgen.

Eigenvektormethode: Bei der Eigenvektormethode wird die Evaluationsmatrix $[A]$, die die Werte des paarweisen Vergleichs beinhaltet, wie in Tabelle 16 gezeigt, quadriert. Im Anschluss werden die Zeilensummen der quadrierten Matrix $[A]^2$ gebildet. Indem die einzelnen Zeilensummen durch die Summe aller Zeilensummen dividiert werden, berechnet sich der Eigenvektor $a(a_{xi}, a_{yr})$. Diese Rechenschritte werden so lange iterativ wiederholt, bis der normierte Eigenvektor des Iterationsschritts g gegenüber dem normierten Eigenvektor des Iterationsschritts $g+1$ keinen signifikanten Unterschied mehr aufweist (OBERMAIER UND SALIGER 2013).

Tabelle 16: Beispiel zur Eigenvektormethode des AHP (OBERMAIER UND SALIGER 2013)

| Evaluationsmatrix [A] | × | Evaluationsmatrix [A] | = | [A] ² | Zeilen- summe | normierter Eigen- vektor a(a _{xi} , a _{yr}) |
|-------------------------|---|-------------------------|---|----------------------------------|------------------|---|
| 1. Iteration | | | | | | |
| 1 1/5 2 | | 1 1/5 2 | | 3,00 0,65 5,60 | 9,25 | 0,1616 |
| 5 1 8 | | 5 1 8 | | 14,00 3,00 26,00 | 43,00 | 0,7514 |
| 1/2 1/8 1 | | 1/2 1/8 1 | | 1,63 0,35 3,00 | 4,98 | 0,0897 |
| | | | | | 57,23 | 1,0000 |
| 2. Iteration | | | | | | |
| 3,00 0,65 5,60 | | 3,00 0,65 5,60 | | 27,20 5,86 50,50 | 83,56 | 0,1618 |
| 14,00 3,00 26,00 | | 14,00 3,00 26,00 | | 126,25 27,20 234,40 | 387,85 | 0,7510 |
| 1,63 0,35 3,00 | | 1,63 0,35 3,00 | | 14,65 3,16 27,20 | 45,01 | 0,0872 |
| | | | | | 516,42 | 1,0000 |
| 3. Iteration | | | | | | |
| 27,20 5,86 50,50 | | 27,20 5,86 50,50 | | 2.219,49 478,17 4.120,78 | 6.818,45 | 0,1618 |
| 126,25 27,20 234,40 | | 126,25 27,20 234,40 | | 10.301,96 2.219,49 19.126,99 | 31.648,44 | 0,7510 |
| 14,65 3,16 27,20 | | 14,65 3,16 27,20 | | 1.195,44 257,55 2.219,49 | 3.672,48 | 0,0872 |
| | | | | | 42.139,36 | 1,0000 |

Näherungsverfahren nach Saaty: Eine zweite Variante zur Ermittlung des Eigenvektors $a(a_{xi}, a_{yr})$ ist das Näherungsverfahren nach SAATY (1980). Dabei werden die Bedeutungen $K_{(m+s)(m+s)}$ des paarweisen Vergleichs zwischen den $m+s$ Zuschlagskriterien, in gleicher Weise wie bei der Eigenvektormethode, zunächst in die Evaluationsmatrix eingetragen und dann zur Spaltensumme C_h aufaddiert. Im nächsten Schritt wird die Matrix normiert, indem die einzelnen Bedeutungen der Paarvergleiche durch die Spaltensummen dividiert werden. Die Zeilensumme der normierten Evaluationsmatrix wird durch die Anzahl der Zuschlagskriterien dividiert, um den normierten Eigenvektor zu berechnen. Tabelle 17 verdeutlicht das Schema.

Tabelle 17: Näherungsverfahren zur Berechnung des Eigenvektors (OSSADNIK UND MAUS 1993)

| Kriterium | K_1 | K_2 | ... | $K_{(m+s)}$ | normierte Evaluationsmatrix | | | | Zeilensumme | normierter Eigenvektor |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|-----|---|--------------------------------|----------------------|-----|------------------------------------|---|---------------------------------------|
| | | | | | K_1 | K_2 | ... | $K_{(m+s)}$ | | |
| K_1 | 1 | K_{12} | ... | $K_{1(m+s)}$ | $\frac{K_{11}}{C_1}$ | $\frac{K_{12}}{C_2}$ | ... | $\frac{K_{1(m+s)}}{C_{(m+s)}}$ | $z_1 = \sum_{i=1}^n \frac{K_{1i}}{C_h}$ | $a_1 = \frac{z_1}{(m+s)}$ |
| K_2 | $\frac{1}{K_{21}}$ | 1 | ... | $K_{2(m+s)}$ | $\frac{K_{21}}{C_1}$ | $\frac{K_{22}}{C_2}$ | ... | $\frac{K_{2(m+s)}}{C_{(m+s)}}$ | $z_2 = \sum_{i=1}^n \frac{K_{2i}}{C_h}$ | $a_2 = \frac{z_2}{(m+s)}$ |
| ... | ... | ... | 1 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| $K_{(m+s)}$ | $\frac{1}{K_{(m+s)1}}$ | $\frac{1}{K_{(m+s)2}}$ | ... | 1 | $\frac{K_{n1}}{C_1}$ | $\frac{K_{n2}}{C_2}$ | ... | $\frac{K_{(m+s)(m+s)}}{C_{(m+s)}}$ | $z_n = \sum_{i=1}^n \frac{K_{(m+s)i}}{C_h}$ | $a_{(m+s)} = \frac{z_{(m+s)}}{(m+s)}$ |
| Spalten- summe C_h | $C_1 = \sum_{i=1}^{(m+s)} K_{h1}$ | $C_2 = \sum_{i=1}^{(m+s)} K_{h2}$ | ... | $C_{(m+s)} = \sum_{i=1}^{(m+s)} K_{h(m+s)}$ | 1 | 1 | 1 | 1 | $(m+s)$ | 1 |

Für beide Berechnungsansätze muss nach der Herleitung des normierten Eigenvektors die Konsistenz von $a(a_{xi}, a_{yr})$ überprüft werden. Die intuitiven Paarvergleiche können zu einer Inkonsistenz der Gewichtung führen. Diese Eigenschaft kann für ein einfaches Beispiel mit drei Kriterien und einer binären Bedeutungsskala (Vergleich anhand der zwei Bedeutungen „besser“ und „schlechter“) verdeutlicht werden. Ein Ergebnis ist inkonsistent, wenn Kriterium A besser als B, B besser als C und C besser als A sein soll, wie in Abbildung 40 veranschaulicht.

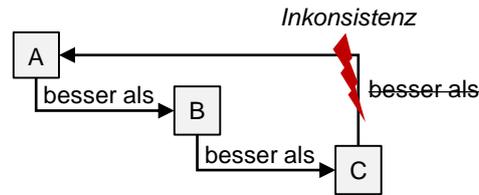


Abbildung 40: Inkonsistenz eines Paarvergleichs

Gleichermaßen kann sich auch bei der Nutzung der Paarvergleichsskala nach SAATY (1980) Inkonsistenz einstellen. Im Unterschied zu dem binären Beispiel folgt aus der Neun-Punkte-Skala eine reellwertige Kennzahl für die Inkonsistenz. Mithilfe einer Prüfrechnung wird ermittelt, in welchem Maß das Ergebnis inkonsistent ist (bspw. stark inkonsistent, schwach inkonsistent). Zur Überprüfung der Konsistenz führt SAATY (1980) den Konsistenzindex CI ein, der sich wie in (6.5) angegeben, aus dem größten Eigenwert λ_{max} ¹⁹ der Evaluationsmatrix sowie der Anzahl ($m+s$) der zu minimierenden und zu maximierenden Kriterien berechnet.

$$CI = (\lambda_{max} - (m+s)) / ((m+s) - 1) \quad (6.5)$$

Der Konsistenzindex CI ist weiterführend durch einen ebenfalls von SAATY (1980) eingeführten Zufallskonsistenzindex RI , den „random index“, zu dividieren. RI ist ein Tabellenwert, den Saaty aus der Matrixgröße ableitet. Je größer die Matrix ist, desto höher darf der Vergleichswert für die Konsistenzprüfung sein. Bei dem Fall mit zwei Kriterien existiert bspw. nur die absolute Konsistenz, da die Zuweisung der Bedeutung von einem Kriterium für A im Vergleich zu B (bspw. „starke Dominanz“ $\rightarrow 9$) für B mit dem Kehrwert („stark unterlegen“ $\rightarrow 1/9$) einhergeht. Der Vergleichswert ist daher mit $RI=0,00$ belegt. Allgemein definiert, bezeichnet RI einen empirisch ermittelten, durchschnittlichen Konsistenzindex. Die RI -Werte für die Bewertung von $m+s$ Kriterien sind Tabelle 18 zu entnehmen.

Tabelle 18: Zufallskonsistenzindex RI (SAATY 1980)

| Anzahl Kriterien | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RI | 0,00 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 |

Aus dem Quotienten des Konsistenzindex CI und dem durchschnittlichen Konsistenzindex RI lässt sich ermitteln, ob der paarweise Vergleich und die daraus resultierenden relativen Wertinformationen konsistent sind. Ist die Konsistenzrate CR in (6.6) kleiner als 0,1, gelten die Evaluationsmatrix und der Eigenvektor als konsistent. Bei größeren Werten empfiehlt SAATY (1980) die erneute Durchführung der Paarvergleiche mit veränderten Bedeutungen.

$$\frac{CI}{RI} = CR < 0,1 \quad (6.6)$$

Der Nutzen für den Auftraggeber, der sich aus der Verwendung des AHPs ergibt, lässt sich mit zwei wesentlichen Faktoren begründen. Zum einen resultieren aus der Berechnung Gewichte, die die Präferenzen adäquater abbilden als direkt festgelegte Größen. Darüber hinaus

¹⁹ Der Eigenwert einer Matrix, der i.d.R. ebenfalls mit dem griechischen Buchstaben Lambda belegt ist, darf nicht mit dem Referenzvektor λ_j der DEA verwechselt werden.

stärkt der Einsatz des AHPs die Nachvollziehbarkeit der Gewichtung, da der gesamte Prozess dokumentiert ist. So kann die Evaluationsmatrix mit den Ergebnissen der Paarvergleiche den Vergabeunterlagen beigelegt werden, um die Bedeutung der Zuschlagskriterien zueinander transparent darzustellen.

6.5 Eignung der Gewichtung als Wertinformation

Um technisch effiziente Aktivitäten zu unterscheiden, müssen restringierend wirkende Größen in die DEA implementiert werden. Im Rahmen der betriebswirtschaftlichen Optimierung werden Inputs und/oder Outputs hierzu mit Wertinformationen beaufschlagt. Diese Größen sind im Rahmen der Produktionswirtschaft die Marktpreise der Produktionsgüter. Für die Effizienzanalyse wirtschaftlicher Angebote existieren derartig objektive und absolute Wertinformationen jedoch nicht. Um alle vergaberechtlichen Anforderungen einzuhalten, muss der Auftraggeber gem. § 127 Abs. 1 GWB eine Gewichtung der Zuschlagskriterien festlegen. Diese Werte zeigen den Bietern Präferenzen hinsichtlich der Kriterien an. Aus diesem Grund werden die Gewichte als Wertinformation in die DEA implementiert.

Zur Ermittlung der Gewichtung wird eine Methodik herangezogen, die die Quantifizierung der projektspezifischen Prozentwerte objektiviert. Hierzu wird auf den Analytischen Hierarchieprozess zurückgegriffen. Das Verfahren aus dem Feld des Decision Makings weist einen hohen Grad an Nachvollziehbarkeit und Transparenz auf (Kap. 6.3). Das Ergebnis der Methodik, der normierte Eigenvektor $a(a_{xi}, a_{yr})$, ist dann mit der DEA, als Methodik aus dem Feld des Decision Supports, wie in Kap. 4.2 erläutert, zu verknüpfen. Hierzu wird das Konzept der Gewinnfunktion genutzt. Die Funktion, die sich aus der Gewichtung ergibt, wird an den effizienten Rand der Aktivitätenmenge angelegt, um das wirtschaftlichste Angebot zu ermitteln. Dieses Angebot weist technisch bestmögliche Kriterienmengen der Zuschlagskriterien auf und setzt diese, aufbauend auf den Präferenzen des Auftraggebers, im bestmöglichen Verhältnis zueinander ein.

Eine Problematik, die im Rahmen der weiteren Modellentwicklung zu lösen ist, besteht in der Relativität der Gewichtung. Bei Marktpreisen handelt es sich um absolute Größen, Gewichte hingegen sind prozentuale Werte, die sich auf Bezugsgrößen beziehen. Das theoretische Konzept der Gewinnfunktion und der in Kap. 6.2 aufgezeigte Berechnungsansatz nach BANKER UND MAINDIRATTA (1988) sieht dies nicht vor. Die Übertragung der bestehenden Ansätze ist daher für den Anwendungsfall der Angebotswertung nicht ohne weiteres möglich. Damit die Gewichtung so in die DEA implementiert werden kann, dass sie die Präferenz des Auftraggebers korrekt widerspiegelt, ist die Festlegung einer geeigneten Bezugsgröße unumgänglich. In der Abbildung 41 wird für einen Input x_1 und einen Output y_1 gezeigt, welche Problematik sich ergibt, wenn keine adäquate Umrechnung durchgeführt wird. Die Gewichte als Prozentwerte werden hierzu, wie in Kap. 6.4 eingeführt, mit a_{xi} und a_{yr} bezeichnet. Die Notation für die absoluten Wertinformationen ist weiterhin w_{xi} bzw. w_{yr} .

Beispielhaft wird eine Gewichtung von $a_{x1}=50\%$ und $a_{y1}=50\%$ ohne eine Umrechnung in absolute Wertinformationen dargestellt. In dem Beispiel wird also angenommen, dass die absoluten Wertinformationen $w_{x1}=0,5$ und $w_{y1}=0,5$ betragen. Im Resultat leitet sich eine Gewinnfunktion mit einer Neigung von $\tan(0,5/0,5)=45^\circ$ ab. Erfolgt keine Umrechnung der Gewichtung vor der

Implementierung in die DEA, wird das Zuschlagskriterium mit der verhältnismäßig größeren Bandbreite (hier: $x_{D,1} - x_{A,1} = 23 - 10 = 13$ Einheiten) überbewertet. Kriterium y_1 beeinflusst das Ergebnis, trotz einer Gewichtung von $a_{y_1} = 50\%$, nicht im gleichen Maße wie Kriterium x_1 . Es ergibt sich, dass jene DMU allokativen Effizienz erzielt, die die geringste und somit die beste Kriterienmenge im Kriterium mit der höheren Bandbreite (hier: x_1) aufweist. In diesem Fall ist dies die DMU A. DMU B kann erst dann allokativen Effizienz erzielen, wenn die Neigung zwischen der Gewinnfunktion und der x_1 -Achse das gleiche Verhältnis aufweist wie die Neigung der Randfunktion im Funktionsabschnitt zwischen DMU A und B zur x_1 -Achse. Mit anderen Worten muss das Verhältnis der Wertinformationen w_{x_1} und w_{y_1} dem Verhältnis der in der Abbildung dargestellten Multiplier der DMU B $v_{B,1}$ und $u_{B,1}$ bei einer unorientierten Effizienzmessung entsprechen.

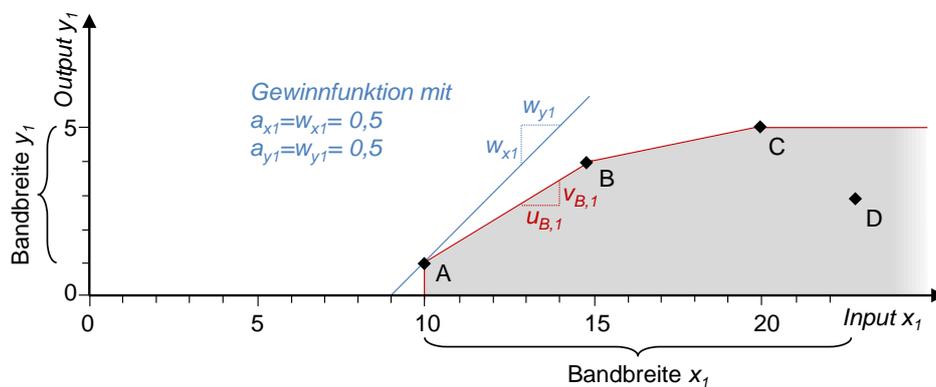


Abbildung 41: Relative Wertinformationen in absolutem Wertesystem

Noch deutlicher wird der Unterschied im Rahmen der Angebotsbewertung mit den zwei Zuschlagskriterien Angebotspreis und technischer Wert. Bei einer Vergabe oberhalb des EU-Schwellenwertes liegen die Kriterienmengen der Angebotspreise im Bereich oberhalb von 5,548 Mio. €. Die Differenz der Preise unterschiedlicher Bieter beträgt regelmäßig mehrere tausend Euro. Wird zudem das qualitative Kriterium technischer Wert im Mengenbereich zwischen 0 und 10 Punkten gewertet, ist der Unterschied der Bandbreiten der Zuschlagskriterien sehr hoch. Eine Berechnung der allokativen Effizienzwerte ohne eine vorherige Umrechnung der relativen Wertinformationen führt dazu, dass AE_0 nahezu ausschließlich auf den Unterschied der Angebotspreise, also das Kriterium mit der größeren Bandbreite, zurückzuführen ist. Die Relevanz des kleineren Kriteriums geht, trotz der Gewichtung von 50% zu 50%, verloren. Wird also auf eine Umrechnung der Gewichte verzichtet, wird die Präferenz des Auftraggebers durch die Gewinnfunktion nicht widerspiegelt. Zur Implementierung in die DEA muss daher ein Umrechnungsverfahren zur Transformation der relativen Wertinformationen in absolute Größen erstellt werden. Dieser Verfahrensschritt wird im Rahmen der Modellentwicklung hergeleitet. Somit wird im Weiteren auf der Basis der DEA ein Entscheidungskonzept aufgebaut, um die Ableitung von Rangfolgen zu ermöglichen und Bietern eine Rückspiegelung der angebotenen Leistung im Vergleich zu den Wettbewerbern aufzuzeigen.

7 Entwicklung eines Modells für die Angebotswertung

Aufbauend auf den methodischen Grundlagen zur Data Envelopment Analysis sowie des Analytischen Hierarchieprozesses wird im Weiteren ein Modell (i.F. Angebotswertungsmodell) entwickelt, das für den spezifischen Anwendungsfall der multidimensionalen Angebotswertung bei wirtschaftlichen Vergabeverfahren öffentlicher Bauaufträge einsetzbar ist. Dabei wird höchster Wert auf die Ableitung einer stabilen Rangfolge bei zeitgleicher Gewährleistung des relativen Vergleichs der Angebote zur Identifikation von Verbesserungspotenzialen gelegt.

7.1 Vorgehen bei der Modellentwicklung

Das in den nachfolgenden Kapiteln vorgestellte Angebotswertungsmodell ermöglicht die Ermittlung des wirtschaftlichsten Angebots aus der Gruppe der technisch effizienten DMUs. Nur die Aktivitäten mit dem höchsten technischen Effizienzwert kommen für das Prädikat wirtschaftlichstes Angebot in Frage. Mithilfe von Wertinformationen, implementiert durch eine Gewinnfunktion, wird die Unterscheidung der technisch effizienten Angebote auf einer ökonomisch fundierten Grundlage für die öffentliche Auftragsvergabe ermöglicht. In Abbildung 42 ist der Ablauf der Modellentwicklung und somit auch der Aufbau des Kapitels 7 gezeigt.

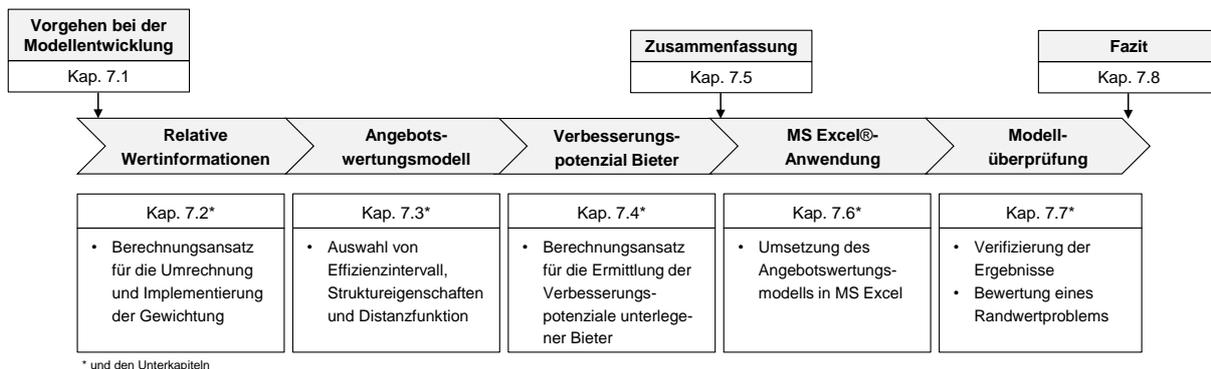


Abbildung 42: Vorgehen zur Modellentwicklung

In den Unterkapiteln zu Kap. 7.2 wird für die in Kap. 6.5 benannte Problemstellung der Relativität der Kriteriengewichtung ein Umrechnungsansatz zur Implementierung der Prozentwerte in DEA-konforme, absolute Größen vorgestellt. In den Unterkapiteln zu Kap. 7.3 wird auf der Grundlage des technischen Effizienzwertes einer DMU_0 und der Gewinnfunktion ein entscheidungsmethodisches Modell entwickelt. Hierzu sind anwendungsspezifisch geeignete Struktureigenschaften, eine Distanzfunktion sowie ein geeignetes Intervall zur Effizienzindikation festzulegen. Die Vorgaben münden in einem DEA-Modell, das die Basis für die Angebotswertung darstellt. Die Berechnung des in Abbildung 35 beschriebenen Verbesserungspotenzials wird, mit dem Ziel der Rückspiegelung von Informationen zur nachhaltigen Förderung strategischer Ziele, methodisch umgesetzt. Dabei müssen die Randbedingungen des Vergaberechts und die kriterienspezifischen Wertebereiche berücksichtigt werden. Dies erfolgt in den Unterkapiteln zu Kap. 7.4. Im Anschluss an eine Zusammenfassung wird das theoretische Modell in dem

Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel® abgebildet, um eine anwenderorientierte Berechnungsumgebung für Vergabeverfahren öffentlicher Bauleistungen zu schaffen. Nach einer Überprüfung des Modells in Kap. 7.7 schließt das Kap.7 mit den Folgerungen, welche aus der Modellentwicklung ableitet werden.

7.2 Implementierung der Gewichtung in die DEA

Für die Implementierung von Wertinformationen in eine DEA müssen, wie in den Kap. 6.1 bis 6.3 hervorgehoben, möglichst objektive und absolute Größen vorliegen. Dies trifft auf die projektspezifische Gewichtung von Zuschlagskriterien nicht zu. Aus methodischer Sicht ist die Relativität der Werte eine Problemstellung, für die ein Lösungsansatz erarbeitet werden muss. Erst durch die Umrechnung der Gewichte a_{xi} bzw. a_{yr} in die absoluten Wertinformationen w_{xi} bzw. w_{yr} kann der AHP mit der DEA verknüpft werden, wie schematisch in Abbildung 43 gezeigt.

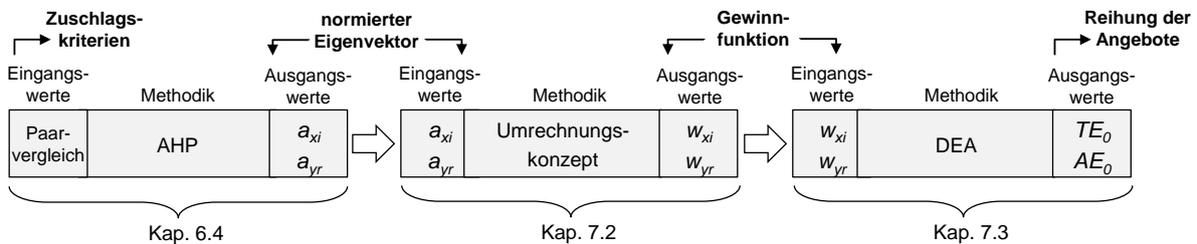
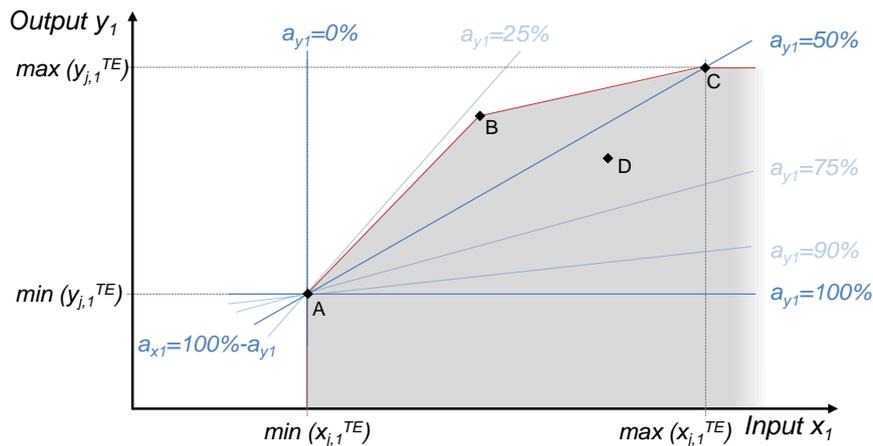


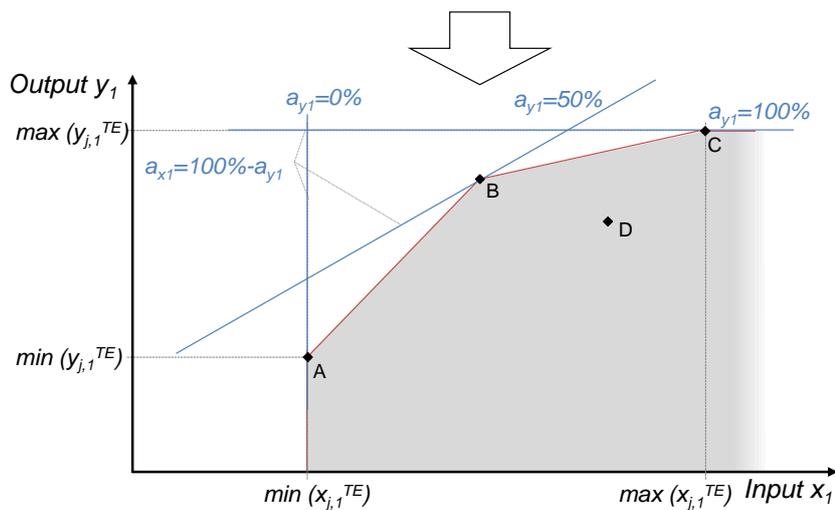
Abbildung 43: Fließschema zur Generierung und Umrechnung der Wertinformationen

7.2.1 Entwicklung eines Umrechnungskonzeptes

In Abbildung 44 wird das Konzept für die Umrechnung der Wertinformationen aufgezeigt. Das Ziel ist eine Normierung der Gewichte über die Bandbreite der technisch effizienten Aktivitäten. Anhand des grafischen Beispiels wird der Umrechnungsansatz für unterschiedliche relative Gewichte mit einem Input x_1 und einem Output y_1 dargestellt. In der Abbildung sind die beiden theoretischen (und vergaberechtlich nonkonformen) Randwerte für eine Gewichtung der Kriterien von 100% und 0% sowie einige dazwischenliegende Kombinationen der Gewichtung abgebildet. Eine Gewichtung des Outputs y_1 von $a_{y1}=100\%$ und infolgedessen $a_{x1}=0\%$ muss zu einer Gewinnfunktion mit einer konstanten Geradensteigung von $w_{x1}/w_{y1}=0$ führen. Die Parallelverschiebung dieser Gewinnfunktion an die Randfunktion, wie im Teil (b) der Abbildung erfolgt, führt dazu, dass die Vergabe ausschließlich zugunsten der maximalen Outputmenge entschieden wird. Das Kriterium x_1 ist somit irrelevant. Das Angebot mit der besten, also der höchsten Kriterienmenge von y_1 erhält den Zuschlag. In dem Beispiel ist dies DMU C.



(a) Richtungen der Gewinnfunktion unter Variation der Gewichtung



(b) Parallelverschobene Gewinnfunktion zum Supremum der Randfunktion

Abbildung 44: Umrechnung der Gewichtung über die Bandbreite der technisch effizienten DMUs

Im anderen Randbereich führt die gleichermaßen fiktive Gewichtung von $a_{x_1}=100\%$ und infolgedessen $a_{y_1}=0\%$ dazu, dass die Steigung der Gewinnfunktion w_{x_1}/w_{y_1} aufgrund der Division durch Null mathematisch nicht abbildbar ist. Strebt der Wert von w_{y_1} jedoch gegen Null, nimmt die Steigung einen unendlich hohen Wert an. Die Gewinnfunktion verläuft vertikal ansteigend. Das Angebot mit der besten, also der niedrigsten Kriterienmenge im Input x_1 erhält den Zuschlag. In dem Beispiel ist dies die DMU A. Die Gleichgewichtung von $a_{x_1}=50\%$ und $a_{y_1}=50\%$ soll bei zwei Zuschlagskriterien dazu führen, dass sich die Neigung der Gewinnfunktion exakt als Steigung zwischen dem technisch effizienten Angebot mit den geringsten Kriterienmengen (hier: A) und dem technisch effizienten Angebot mit den höchsten Kriterienmengen (hier: C) einstellt. Die Gleichgewichtung bedeutet, bspw. in Anlehnung an SAATY (1980) gem. Tabelle 15, dass keinem der beiden Kriterien x_1 oder y_1 eine höhere Bedeutung zugesprochen wird als dem anderen. Sind bei einer Vergabe genau zwei Angebote technisch effizient (vgl. Abbildung 46 (b)), resultiert daraus bei einer Gleichgewichtung der Zuschlagskriterien, dass beide Angebote auch allokativ effizient sein müssen. Dieser Umrechnungsansatz ist mathematisch und methodisch richtig, da vom Auftraggeber keine Vorteilhaftigkeit eines Kriteriums festgelegt wurde und beide Angebote aus objektiver Sicht für die Vergabe in Frage kommen. Existieren

weitere technisch effiziente Angebote, wie z.B. Angebot B in Abbildung 44, verschiebt sich die Gewinnfunktion an den höchstmöglichen Punkt, also an das Supremum der Aktivitätenmenge (hier: B). Auch bei einer Ungleichgewichtung bspw. von $a_{y1}=75\%$ und infolgedessen $a_{x1}=25\%$ verschiebt sich die Gewinnfunktion an das Supremum der Aktivitätenmenge. Im Ergebnis weist genau ein Angebot allokativen Effizienz auf und gewinnt den Auftrag (hier: B).

Die Ermittlung der Bandbreite ausschließlich anhand der Werte der technisch effizienten DMUs und nicht anhand aller DMU_j der Aktivitätenmenge begründet sich durch den Anwendungsfall. Grundsätzlich kommen nur die technisch effizienten Angebote für die Zuschlagsentscheidung in Frage, weshalb technisch ineffiziente Angebote irrelevant sind. Sie würden das Ergebnis der Umrechnung verfälschen, wie es bspw. bei der Mittelwertmethode, bei der der Mittelwert aller Angebote als Bezugsgröße definiert wird, der Fall ist. Die Verwendung der DEA zur Ermittlung einer Bezugsgröße ist ein großer Vorteil gegenüber gängigen Wertungsformeln. Die u.a. von BARTSCH ET AL. (2012) formulierte Kritik der Abhängigkeit der Wertung von taktischen Angeboten wird ausgeschlossen, da irrelevante Angebote systematisch unberücksichtigt bleiben. So bleibt z.B. ein teures und zugleich leistungsschwaches Angebot, das ausschließlich eingereicht wird, um den Leistungsmittelwert künstlich herabzusetzen, um ein seriöses Angebot des Bieters aufzuwerten, bei der Umrechnung unberücksichtigt. Das taktische Angebot übt also keinen Einfluss auf die Entscheidung aus.

7.2.2 Mathematische Formulierung des Umrechnungskonzeptes

Im Weiteren wird der aufgezeigte Normierungsansatz für die Umrechnung der Wertinformationen mathematisch standardisiert. Als Bezugsgröße zur Umrechnung der relativen Wertinformationen a_{xi} bzw. a_{yr} wird die maximale Bandbreite zwischen den n^{TE} technisch effizienten DMUs in allen Zuschlagskriterien x_i bzw. y_r genutzt. In (7.1) und (7.2) werden die Kriterienmengen der technisch effizienten DMUs mit $x_{j,i}^{TE}$ bzw. $y_{j,r}^{TE}$ bezeichnet. Die relative Gewichtung a_{xi} bzw. a_{yr} des Auftraggebers wird in die absoluten Größen w_{xi} bzw. w_{yr} umgerechnet, indem sie für jedes Zuschlagskriterium durch die maximale Bandbreite aus den technisch effizienten DMUs dividiert wird.

$$\text{Zuschlagskriterien mit Minimierungsziel: } w_{xi} = \frac{a_{xi}}{\max(x_{j,i}^{TE}) - \min(x_{j,i}^{TE})} \quad (7.1)$$

$$\text{Zuschlagskriterien mit Maximierungsziel: } w_{yr} = \frac{a_{yr}}{\max(y_{j,r}^{TE}) - \min(y_{j,r}^{TE})} \quad (7.2)$$

Mithilfe von Abbildung 45 wird das Konzept zur Umrechnung in relative Wertinformationen erläutert. Es wird eine Gewichtung von $a_{x1}=50\%$ und $a_{y1}=50\%$ für die zwei Kriterien x_1 und y_1 festgelegt. Die Bandbreite ergibt sich aus der Kriterienmenge der technisch effizienten Angebote A und C, wobei sich der Minimalwert für das Kriterium x_1 aus der Kriterienmenge der DMU A zu $\min(x_{j,1}^{TE})=x_{A,1}=6$ und der Maximalwert aus der Kriterienmenge der DMU C zu $\max(x_{j,1}^{TE})=x_{C,1}=20$ ergibt. Für das Kriterium y_1 ergibt sich der Minimalwert aus der DMU A zu $\min(y_{j,1}^{TE})=y_{A,1}=1$ und der Maximalwert aus der DMU C zu $\max(y_{j,1}^{TE})=y_{C,1}=5$. Die Normierung von a_{x1} und a_{y1} in die absoluten Wertinformationen w_{x1} und w_{y1} führt in dem Beispiel zu

$w_{x_1}=0,5/(20-6)=0,036$ und $w_{y_1}=0,5/(5-1)=0,125$. Diese absoluten Wertinformationen können nun als Gewinnfunktion $p(w_{y_1}, w_{x_1})$ in die DEA integriert werden.

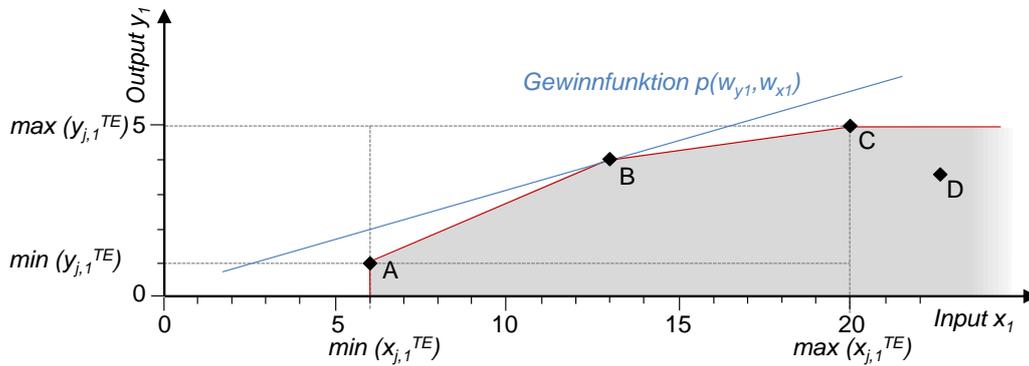


Abbildung 45: Bezugsgröße zur Umrechnung relativer Wertinformationen

Dieses Lösungskonzept unterliegt jedoch zwei Einschränkungen, die dem Anwender bekannt sein müssen. Sie sind in Abbildung 46 grafisch gezeigt. Die erste Einschränkung betrifft die Gleichgewichtung aller Zuschlagskriterien. Legt ein Auftraggeber bspw. fest, dass für die Vergabe 2 ($3, \dots, m+s$) Zuschlagskriterien abgefragt und zu jeweils 50% ($33,33\%, \dots, 1/(m+s)\%$) gewichtet werden, kann der Fall eintreten, dass keine eindeutige Rangfolge ermittelt werden kann. Sollten bei der Konstellation $n^{TE}=2$ ($n^{TE}=3, \dots, n^{TE}=(m+s)$) technisch effiziente Angebote eingereicht werden, erzielen diese beiden technisch effizienten (alle technisch effizienten) Angebote allokativen Effizienz, wie Abbildung 46 (a) zeigt. Eine Unterscheidung in Form eines unterschiedlichen Rangfolgenplatzes ist nicht möglich. Beispielhaft können nach Ablauf der Angebotsfrist genau zwei technisch effiziente Angebote vorliegen, bei denen ein Angebot A eine niedrigere Kriterienmenge im Input x_1 (bspw. günstigerer Angebotspreis) als ein Angebot B und zugleich eine niedrigere Kriterienmenge im Output y_1 (bspw. geringerer technischer Wert) aufweist. Bei der Gleichgewichtung von jeweils 50% ist unklar, ob Angebot A oder B vorteilhaft ist. Erst eine Aussage darüber, welches Kriterium vom Auftraggeber präferiert wird, führt zur Ableitung eines aussagekräftigen Ergebnisses. Aus dieser Erkenntnis resultiert die Empfehlung, keine Gleichgewichtung auszuschreiben.

Eine zweite Einschränkung des Umrechnungskonzeptes ist, dass mindestens zwei technisch effiziente Angebote vorliegen müssen, damit eine Bandbreite berechnet werden kann. Grundsätzlich ist es aber denkbar, dass nur eine technisch effiziente DMU existiert, wie in Abbildung 46 (b) gezeigt. Um die Umrechnung der Gewichte zu gewährleisten, muss daher für diesen Sonderfall eine alternative Bezugsgröße definiert werden. Für die Rangfolge ergibt sich bei nur einer technisch effizienten DMU automatisch, dass diese den Auftrag erhält und auf Rangfolgenplatz 1 liegt. Um die vollständige Ableitung einer Rangfolge für unterlegene Angebote, also alle Angebote ab dem zweiten Rangfolgenplatz, zu ermöglichen, ist eine Festlegung für diesen Sonderfall dennoch wichtig. Zur Modellentwicklung wird vorgeschlagen, eine fiktive Bandbreite um die Kriterienmengen der einen technisch effizienten DMU $x_{0,i}^{TE}$ und $y_{0,r}^{TE}$ zu spannen. Die Untergrenze der Bandbreite wird zu $0,75 \cdot x_{0,i}^{TE}$ bzw. $0,75 \cdot y_{0,r}^{TE}$ und die Obergrenze zu $1,25 \cdot x_{0,i}^{TE}$ bzw. $1,25 \cdot y_{0,r}^{TE}$ festgelegt. Somit ergibt sich folgende Fallunterscheidung für die Umrechnung der Wertinformationen:

- „Regelfall“: Anzahl techn. effizienter DMU $n^{TE} > 1$:
Bandbreite gem. (7.1) bzw. (7.2)
- „Sonderfall“: Anzahl techn. effizienter DMU $n^{TE} = 1$ (DMU_0^{TE}):
Bandbreite gem. (7.1) mit $\min(x_{j,i}^{TE}) = 0,75 \cdot x_{0,i}^{TE}$ und $\max(x_{j,i}^{TE}) = 1,25 \cdot x_{0,i}^{TE}$ bzw.
(7.2) mit $\min(y_{j,r}^{TE}) = 0,75 \cdot y_{0,r}^{TE}$ und $\max(y_{j,r}^{TE}) = 1,25 \cdot y_{0,r}^{TE}$

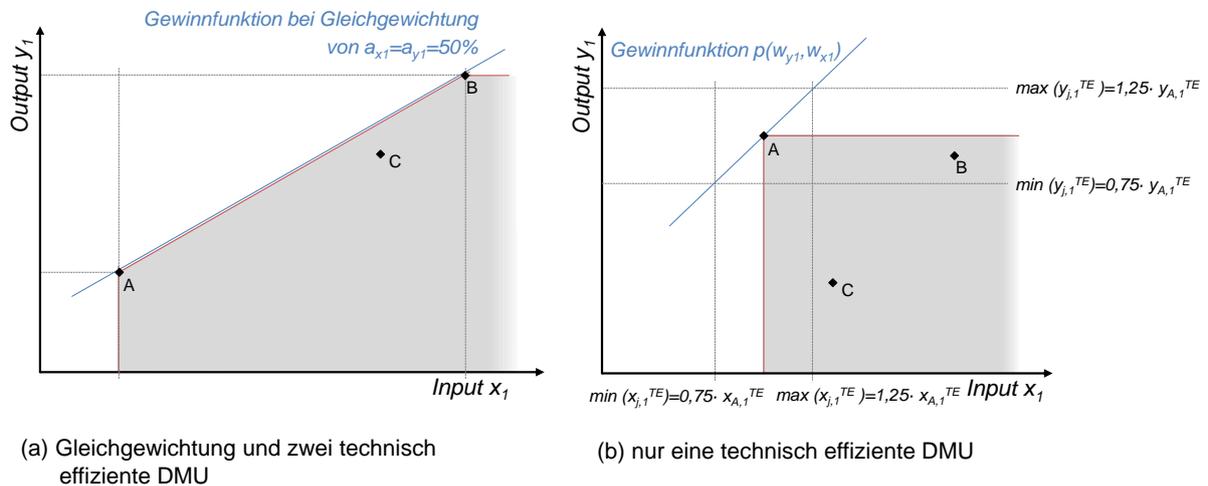


Abbildung 46: Einschränkungen des Umrechnungskonzepts für Wertinformationen

Die Ausblendung irrelevanter Angebote durch die Nutzung der technisch effizienten DMUs wird weiter gestärkt, indem die Struktureigenschaft der Skalenerträge so gewählt wird, dass sie die Präferenzen bestmöglich abbildet. Die Festlegung geeigneter Skalenerträge in Abhängigkeit von der Gewichtung wird daher im nachfolgenden Kap. 7.3.1 verfolgt.

7.3 Zusammenführung technischer und allokativer Effizienz

Um die Ableitung einer eindeutigen Rangfolge für die Auftragsvergabe zu ermöglichen, müssen die beiden Effizienzwerte TE_0 und AE_0 einheitlich bestimmt und dann zu einer Wertungskennzahl verknüpft werden. Im nachfolgenden Kap. 7.3.1 werden hierzu geeignete Struktureigenschaften für den spezifischen Anwendungsfall benannt. Zudem werden die Distanzfunktion in Kap. 7.3.2 und ein geeignetes Effizienzmaß in Kap. 7.3.3 ausgewählt.

7.3.1 Struktureigenschaften für das Angebotswertungsmodell

Um den Vergabegrundsatz der Transparenz einzuhalten, sind vom Auftraggeber mit der Ausschreibung eindeutige Vorgaben über die Struktureigenschaften und die Distanzfunktion zu veröffentlichen. Allgemein anerkannte Regeln zur Auswahl von Struktureigenschaften für Zuschlagskriterien existieren nicht (vgl. Kap. 4.4.2). Die Wahl geeigneter Struktureigenschaften muss bei kennzahlenbasierten Kriterien auf den konkreten Anwendungsfall, die verfolgte Zielstellung und auf die Art der Kriterien abgestimmt werden. Im zu entwickelnden Angebotswertungsmodell dient die Randfunktion neben der Berechnung von TE_0 auch zur Identifikation

einer auftraggeberspezifischen Bezugsgröße für die Umrechnung der Gewichtung. Das wesentliche Ziel bei der Festlegung der Struktureigenschaften ist es daher, die Präferenz des Auftraggebers bestmöglich in das Modell zu integrieren. Die Zuschlagskriterien unterliegen dabei der Teilbarkeit und der Nicht-Additivität, wie in Kap. 4.4.2 erläutert. Aus diesen Sachverhalten werden für die Modellentwicklung die nachfolgenden Struktureigenschaften festgelegt.

Empirische Vollständigkeit: Angebote, die nach der Prüfung auf formale Fehler, der Prüfung des Preises sowie der Prüfung der Eignung für die Auftragsvergabe in Frage kommen (vgl. Kap. 3.4), sind Teil der Aktivitätenmenge. Der darüber hinausführende Ausschluss von Angeboten ist sowohl vergaberechtlich, als auch methodisch unzulässig.

Skalenerträge: Die Umrechnung der prozentualen Gewichtung mithilfe einer Bezugsgröße ist bei relativen Modellen von äußeren Einflüssen, nämlich den Angeboten der Bieter abhängig. Auch bei dem entwickelten Umrechnungskonzept ist die Präferenz abhängig von den Kriterienmengen einzelner Angebote. Die technisch effizienten Angebote mit den höchsten und den geringsten Mengen spannen die Bandbreite für die Umrechnung der relativen Wertinformationen auf. Bei dem Konzept besteht daher grundsätzlich die Möglichkeit der Einflussnahme durch einzelne Bieter. So können unter der Skalenertragsart variabler Skalenerträge (VRS) die absoluten Wertinformationen w_{xi} bzw. w_{yr} ggf. von einem sehr kostengünstigen und zugleich leistungsschwachen Angebot abhängen, wenn es technisch effizient ist. Zeigt die Gewichtung des Auftraggebers jedoch an, dass seine Präferenz zugunsten leistungsstarker Angebote ausgelegt ist (bspw. x_i : Preis zu $a_{xi}=30\%$ und y_i : techn. Wert zu $a_{yi}=70\%$), soll ein leistungsschwaches Angebot bei der Umrechnung nicht berücksichtigt werden. Mit der DEA als Grundlage der Angebotswertung besitzt das zu entwickelnde Modell diesbezüglich einen wesentlichen Vorteil gegenüber allen gängigen Wertungsformeln. Über eine Fallunterscheidung auf der Grundlage der Gewichtung kann die Auswahl der Skalenerträge zu einer verbesserten Einbettung der Präferenz genutzt werden. In Abbildung 47 wird dies grafisch verdeutlicht. Für das Angebotswertungsmodell soll die Auswahl der Skalenertragsart an die Präferenz des Auftraggebers gekoppelt werden. Die Skalenertragsart wird mit der Gewichtung der Kriterien verknüpft. Für die Auswahl der Skalenerträge soll jedoch nicht zwischen zu minimierenden (Input) und zu maximierenden (Output) Kriterien unterschieden werden, sondern zwischen Kosten- und Leistungskriterien. Als Kostenkriterien gelten i.F. alle monetären Zuschlagskriterien, also der Preis oder die Lebenszykluskosten gem. § 16d EU Abs. 2 Nr. 5 VOB/A, und als Leistungskriterien alle nicht-monetären Zuschlagskriterien. Anderenfalls könnte bspw. das zu minimierende Leistungskriterium Bauzeit nicht adäquat von den Kostenkriterien getrennt werden. Fallen die Präferenzen des Auftraggebers also zugunsten der Kostenkriterien a_K gegenüber den Leistungskriterien a_L ²⁰ aus, so wird die Struktureigenschaft nicht abnehmender Skalenerträge (SE) gewählt. Bei einer prozentual ausgeglichenen Verteilung der Gewichtung der

²⁰ Zugunsten der Übersichtlichkeit wird auf die Unterscheidung in den Indizes von zu minimierenden Leistungskriterien (genaugenommen a_{Li}) und zu maximierenden Leistungskriterien (genaugenommen a_{Lr}) verzichtet. Der Index L ist daher als Aggregat aller Leistungskriterien zu verstehen.

Kostenkriterien a_K und den Leistungskriterien a_L werden variable Skalenerträge herangezogen und bei einer Präferenzverteilung zugunsten der Leistungskriterien a_L werden nicht zunehmende Skalenerträge ausgewählt. Auf diese Weise werden potenzielle taktische Angebote, die die Präferenz nicht korrekt abbilden, methodisch ausgeschlossen.

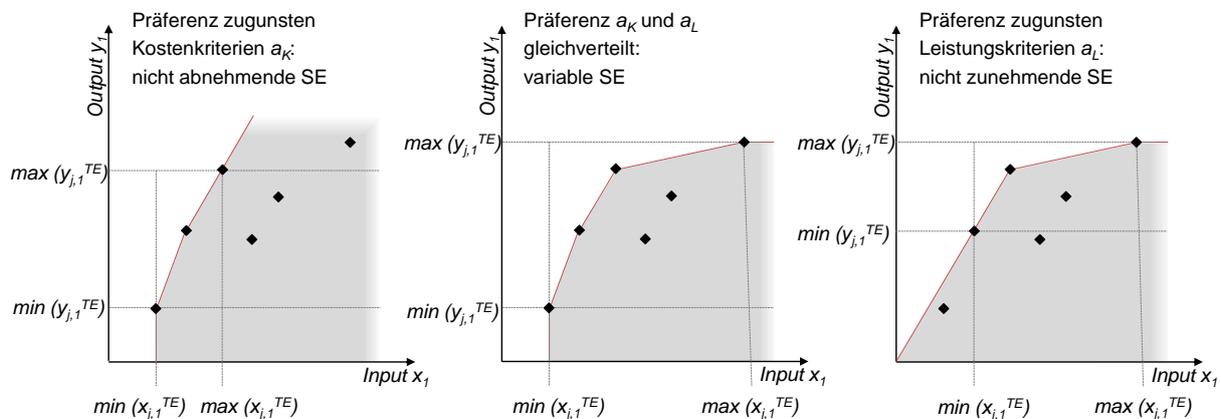


Abbildung 47: Fallunterscheidung zur Auswahl der Skalenerträge auf der Grundlage der Gewichtung

Die qualitativ benannten Relationen von Kosten- und Leistungskriterien müssen an quantitative Werte gekoppelt werden. Hierzu wird die Rechtsprechung herangezogen, die in Kap. 3.2.5 angeführt wurde. Da das Preisgewicht nach Ansicht des OLGs Düsseldorf und des BGHs (OLG Düsseldorf, B. v. 02.11.2011 – VII-Verg 22/11; BGH, U. v. 07.01.2014 – XZB 15/13) nicht mehr als 90% betragen darf, wird eine Gewichtung mit mehr als 75% als Präferenz zugunsten der Kostenkriterien ausgelegt. Ein Wert von weniger als 45% zugunsten des Preises lehnt sich an die Gewichtung gemäß dem Beschluss des OLG Dresden (OLG Dresden, B. v. 05.01.2001 - Verg 11 u. 12/00) an, der eine Gewichtung von mindestens 30% für den Preis fordert. Zusammenfassend werden somit die folgenden Grenzwerte für die Fallunterscheidung festgelegt und in das Modell implementiert:

- Präferenzen zugunsten Kostenkriterien: $a_K > 75\%$
→ nicht abnehmende Skalenerträge
- Präferenzen gleichverteilt: $45\% \leq a_K \leq 75\%$
→ variable Skalenerträge
- Präferenzen zugunsten Leistungskriterien: $a_K < 45\%$
→ nicht zunehmende Skalenerträge

Ebenfalls mit Verweis auf Kap. 3.2.5 wird darauf hingewiesen, dass eine Gewichtung der Kostenkriterien von weniger als 45% rechtlich unsicher ist. Nach der Einschätzung von SOLBACH UND BODE (2015) liegt eine Untergrenze für die Gewichtung der Kostenkriterien von 40% „auf der sicheren Seite“. Für die Modellentwicklung werden diese Gewichtung und damit die Skalenertragsart nicht zunehmender Skalenerträge dennoch berücksichtigt, da Beispiele aus anderen EU-Mitgliedstaaten zeigen, dass die Untergrenze für Kostenkriterien nicht pauschal, sondern auf Grundlage des Vergabegegenstands und der Vergabeart festgelegt werden sollte. Weitere Forschungserkenntnisse oder neue richterliche Entscheidungen können ggf. zu einer Überarbeitung der Grenzwerte für a_K und a_L führen.

Konvexität: Gemäß den Ausführungen in Kap. 4.4.2 kann die Vorgabe von Konvexität für eine Aktivitätenmenge herangezogen werden. Die Teilbarkeit von Zuschlagskriterien wird aus vergaberechtlicher Sicht nicht beanstandet. Der Erhalt bspw. einer ordinalen Wertestruktur ist nicht erforderlich. Somit wird die Randfunktion des Angebotswertungsmodells als konvexe Linearkombination (vgl. Abbildung 23 (b1)) zwischen mehreren DMUs modelliert und nicht als nicht-konvexe FDH-Struktur (vgl. Abbildung 23 (b2)).

Verschwendbarkeit: Für das Angebotswertungsmodell wird die Struktureigenschaft der Verschwendbarkeit in seiner Ausprägung als freie Verschwendbarkeit zugelassen. Aus dieser Festlegung resultiert, dass die Randfunktion eine geschlossene Einhüllende, bestehend aus dem stark und schwach effizienten Rand (vgl. Kap. 5.3.4), ist. Sie umschließt alle technisch ineffizienten Angebote. Somit darf eine DMU₀, um technische Effizienz zu erzielen, bei dem gleichen Output wie eine DMU_j einen höheren Input einsetzen bzw. bei gleichbleibendem Input einen geringeren Output erzielen als eine DMU_j. Auf diese Weise wird eine flexible Distanzmessung gewährleistet.

Resultierende Strukturformeln: Aus der benannten Auswahl formuliert sich die Aktivitätenmenge A auf der Grundlage der Struktureigenschaften empirisch vollständig, Konvexität und freie Verschwendbarkeit sowie der Fallunterscheidung für Skalenerträge in (7.3-1) bis (7.3-3). Der Unterschied für die Einstellung des Skalenertrags liegt in der Beschränkung der Summe der Vektorwerte des Referenzvektors $\sum_{j=1}^n \lambda_j$, wie bereits in Kap. 5.5.3 ausgeführt.

Präferenz zugunsten Kostenkriterien a_K :

$$A = \{(x_{j,i}, y_{j,r}) \in \mathbb{R}^{m+s} \mid \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{j,r} \geq y_{0,r}, \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{j,i} \leq x_{0,i}, \sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 1, \lambda_j \geq 0\} \quad (7.3-1)$$

Präferenz von Kosten- und Leistungskriterien gleichverteilt:

$$A = \{(x_{j,i}, y_{j,r}) \in \mathbb{R}^{m+s} \mid \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{j,r} \geq y_{0,r}, \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{j,i} \leq x_{0,i}, \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0\} \quad (7.3-2)$$

Präferenz zugunsten Leistungskriterien a_L :

$$A = \{(x_{j,i}, y_{j,r}) \in \mathbb{R}^{m+s} \mid \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{j,r} \geq y_{0,r}, \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{j,i} \leq x_{0,i}, \sum_{j=1}^n \lambda_j \leq 1, \lambda_j \geq 0\} \quad (7.3-3)$$

7.3.2 Distanzfunktion für das Angebotswertungsmodell

In den Unterkapiteln zu Kap. 5.4 werden die Radialität und die Orientierung als wesentliche Eigenschaften einer Distanzfunktion eingeführt. Für das Angebotswertungsmodell ist an dieser Stelle eine Distanzfunktion auszuwählen, die für den spezifischen Anwendungsfall die beste Eignung aufweist. Aus vergaberechtlicher Sicht ist hierzu zunächst die Frage zu beantworten, ob das Sparsamkeitsprinzip bei der Verausgabung öffentlicher Haushaltsmittel dazu verpflichtet, eine inputorientierte Distanzfunktion auszuwählen, da die Inputorientierung das ökonomische Minimalprinzip (vgl. Kap. 4.4.1 und 6.1) abbildet.

Die Auslegung von Wirtschaftlichkeit in ihrer strikten Form als Sparsamkeitsprinzip könnte eine Inputorientierung erfordern. Grundsätzlich kann ein Bieter bei wirtschaftlichen Vergaben aber alle Zuschlagskriterien, also sowohl Kosten- als auch alle Leistungskriterien beeinflussen. Aus diesem Grund scheint gleichermaßen die Wahl einer unorientierten Distanzfunktion gerechtfertigt. Es besteht somit Diskussionspotenzial darüber, ob ein wirtschaftliches Angebot, bei dem die Wertung über den Preis hinausführt, dem Minimalprinzip in seiner strikten Form als Inputorientierung folgen muss. Rechtsnormen oder richterliche Entscheidungen, die diesen Sachverhalt aufklären können, existieren nicht. Aus der Vergabepaxis heraus konnte diese Fragestellung bislang auch nicht aufgeworfen werden, da keine Wertungsformel eine derart ökonomisch fundierte Unterscheidung ermöglichte. Die simultane und daher unorientierte Einbeziehung aller Zuschlagskriterien in die Effizienzwertberechnung erscheint folgerichtig, da die Sinnhaftigkeit der Abfrage der Leistungskriterien ansonsten nur schwer zu rechtfertigen ist. Mit anderen Worten sollte der Effizienzwert bei der Wertung wirtschaftlicher Angebote nicht ausschließlich das Einsparpotenzial der Inputkriterien widerspiegeln. Im Angebotswertungsmodell sollen alle Input- und Outputmengen daher simultan berücksichtigt und die Effizienzwerte unorientiert ermittelt werden. ALLEN (2002) betont in diesem Zusammenhang, dass unorientierte Distanzfunktionen im „ökologischen Kontext von besonderem Interesse“ sind, wenn das Ziel die Schwachstellenanalyse ökologischer und ökonomischer Kennzahlen ist. Wie in Kap. 2.1 einleitend dargestellt, ist die Stärkung ökologischer Werte ein wesentliches strategisches Ziel öffentlicher Auftraggeber. Für das Angebotswertungsmodell soll im Weiteren eine unorientierte Distanzfunktion herangezogen werden. Nur so erlangen zu maximierende Zuschlagskriterien, wie bspw. Konzepte über Baustellenprozesse mit dem Ziel des Umwelt- oder Anwohnerschutzes, gleichermaßen Berücksichtigung bei der Wertung wie die zu minimierenden Zuschlagskriterien des Preises oder der Lebenszykluskosten.

Hinsichtlich der Radialität ist abzuwägen, ob die Verwendung unterschiedlicher Abstandsmaße Θ_i für $i=1, \dots, s$ Inputs bzw. Θ_r für $r=1, \dots, m$ Outputs vorteilhaft ist. Bei der Wahl einer radialen Distanzfunktion zeigt der Effizienzwert unmittelbar das Leistungsdefizit aller Kriterien an. Mit nicht-radialen Distanzmessungen wird hingegen eine mögliche Überbewertung der technischen Ineffizienz in einzelnen Kriterien überwunden (FUKUYAMA UND WEBER 2009). Dies zeigt sich z.B. in dem Ineffizienzanteil $x_{0,2}$ in der Abbildung 28. Bei der Auswahl für das Angebotswertungsmodell überwiegen die Vorteile einer radialen Distanzfunktion. Sie resultieren insbesondere aus der Möglichkeit, aus dem Effizienzwert unmittelbar Rückschlüsse auf das Verbesserungspotenzial abzuleiten.

Aus dem spezifischen Anwendungsfall der Angebotswertung resultiert eine weitere Besonderheit für die Distanzfunktion. In Kap. 6.2 ist festgelegt, dass ein Angebot als wirtschaftlich gewertet wird, wenn es sowohl technische als auch alloкатive Effizienz aufweist. Jedes Angebot muss daher anstreben, beide Effizienzanteile bestmöglich zu erfüllen. Jede ineffiziente DMU muss die eigenen Kriterienwerte $x_{0,i}$ bzw. $y_{0,r}$ so verbessern und/oder variieren, dass sie ein Teil der Gewinnfunktion $p(w_{yr}, w_{xi})$ ist. Aus dem ursprünglichen Anwendungsgegenstand der Produktionswirtschaft ergibt sich, dass eine DMU₀ die Gewinnfunktion nur an dem Tangentialpunkt mit der Randfunktion erreichen kann. Dies resultiert aus der Tatsache, dass die Randfunktion bereits alle technisch realisierbaren Kriterienkombinationen enthält und die Überschreitung des effizienten Rands nicht möglich ist (vgl. Abbildung 14). In der Folge müssen die Projektionen auf der Gewinnfunktion von allen n DMUs die Kriterienwerte jener DMU enthalten, die im Tangentialpunkt von der Rand- und der Gewinnfunktion liegt. Für die Angebotswertung wird diese Einschränkung verworfen und die Verbesserung der Kriterienmengen über den effizienten Rand hinaus als zulässig erachtet, da es sich beim Anwendungsfall um Entscheidungskriterien und nicht um Produktionsgüter handelt. Die Abstandsmessung von einer DMU₀ zur Gewinnfunktion soll daher unter Einhaltung der Radialität auf dem direkten Weg, wie in Abbildung 48 skizziert, erfolgen. Dies erfordert eine flexible Distanzfunktion, weshalb auf die vollständig generalisierte Directional Distance Function aus Kap. 5.4.4 zurückgegriffen wird. Sie wird für das Angebotswertungsmodell jedoch dahingehend erweitert, dass nicht nur zwischen einem Richtungsvektor für alle Inputs d_x und einem Richtungsvektor für alle Outputs d_y unterschieden wird, wie es in der Literatur (vgl. CHAMBER ET AL. 1998, FÄRE UND GROSSKOPF 2000, GROSSKOPF 2003, FÄRE ET AL. 2005) häufig vorgegeben wird, sondern für $m+s$ Richtungsvektoren in jedem Input x_i und in jedem Output y_r . Für die Richtungsvektoren wird folglich die Schreibweise d_{xi} bzw. d_{yr} eingeführt.

Um die direkte Abstandsmessung zur Gewinnfunktion zu ermöglichen, werden die absoluten Wertinformationen w_{xi} , w_{yr} des Auftraggebers im Angebotswertungsmodell so umgerechnet, dass die Distanzfunktion orthogonal auf der Gewinnfunktion steht, wie es (7.4) zeigt.

$$p(w_{yr}, w_{xi}) \perp d(d_{yr}, d_{xi}) \quad (7.4)$$

In der Literatur finden sich vergleichbare Konzepte. So nutzen LUENBERGER (1992b) und FÄRE ET AL. (2008) Distanzfunktionen, mit denen allerdings nicht der kürzeste Weg zur Gewinnfunktion, sondern zum effizienten Rand der Aktivitätenmenge zur Effizienzwertberechnung erfolgt.

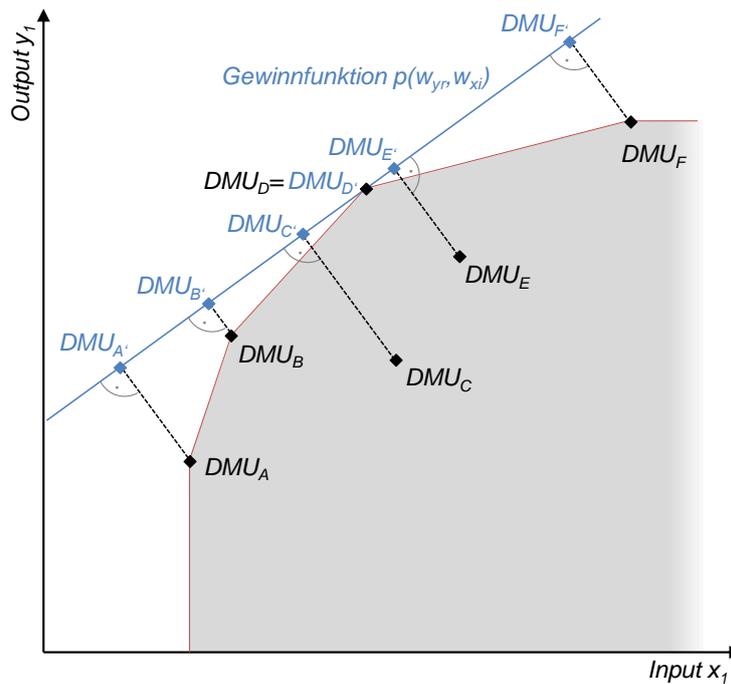


Abbildung 48: Schema der Distanzmessung für das Angebotswertungsmodell

Bei der Gewinnfunktion handelt es sich wie bei der Randfunktion um eine Hyperebene von der Dimension \mathbb{R}^{m+s} , wobei $m+s$ die Anzahl der Zuschlagskriterien ausdrückt. Vektoriell betrachtet ist die Distanzfunktion hingegen eine Gerade, bestehend aus der DMU_0 als Startpunkt und dem Richtungsvektor durch den Vektorraum. Um die Orthogonalität zwischen der Gewinnfunktion und der Distanzfunktion zu gewährleisten, muss $d(d_{yr}, d_{xi})$ ein Normalenvektor von $p(w_{yr}, w_{xi})$ sein. Zur Standardisierung der Richtungsabhängigkeit zwischen der Gewinn- und der Distanzfunktion wird der Kehrwert der absoluten Wertinformationen w_{xi} bzw. w_{yr} , gemäß dem Konzept reziproker Funktionen, berechnet. Für die Distanzfunktion wird somit die Berechnung gem. (7.5) festgelegt.

$$d = \begin{pmatrix} d_{yr} \\ d_{xi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/w_{yr} \\ 1/w_{xi} \end{pmatrix} \quad (7.5)$$

Die Richtung der Distanzfunktion in Abhängigkeit zur Gewinnfunktion wird in Abbildung 49 gezeigt. Für die Ermittlung der Rangfolge ist sodann nicht der Abstand zur Rand-, sondern der Abstand zur Gewinnfunktion maßgebend. Hierzu wird im nachfolgenden Kap. 7.3.3 auf das Konzept der Nerlove'schen Effizienz zurückgegriffen.

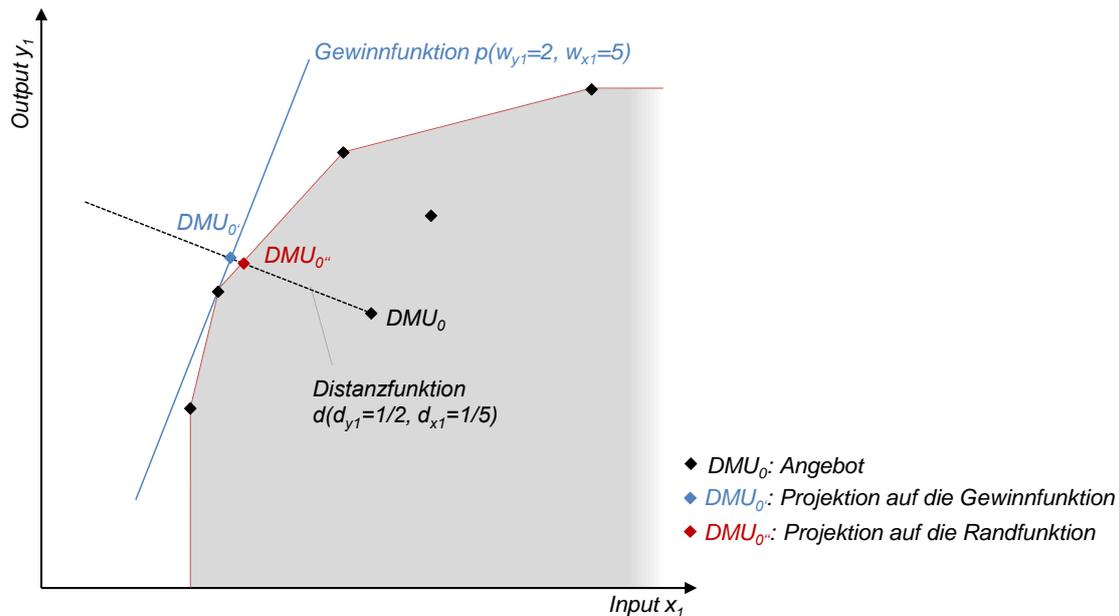


Abbildung 49: Distanzfunktion in Abhängigkeit zur Gewinnfunktion

7.3.3 Nerlove'sche Effizienz als Wertungskennzahl für Angebote

Die Nerlove'sche Effizienz (im engl. Original: „*Nerlovian efficiency*“) geht auf CHAMBERS ET AL. (1998) zurück und führt die technischen und allokativen Effizienzwerte zusammen. In Anlehnung an NERLOVE (1965) wird der Nerlove'sche Effizienzwert als additive Verknüpfung von TE_0 und AE_0 , wie in (7.6) angegeben, gebildet. Gleichmaßen wie die technischen und allokativen Effizienzwerte wird der Nerlove'sche Effizienzwert für eine DMU_0 mit NE_0 abgekürzt.

$$NE_0 = TE_0 + AE_0 \quad (7.6)$$

CHAMBERS ET AL. (1998) betonen, dass durch diese Verknüpfung der Effizienzanteile das „*maximum maximorum of profit*“ ermittelt wird. Bei der Wertung mit dem Angebotswertungsmodell ist dies zum Gewinn des Vergabeverfahrens erforderlich. Das Höchstmaß (*maximum maximorum*) an Gewinn weist daher jene DMU auf, die technisch effizient ist und die Gewichtung des Auftraggebers am besten abbildet. Ein Ergebniswert von $NE_0=0$ bedeutet also, dass eine DMU_0 im Vergleich zu den anderen $DMUs$ das Maximum an Effizienz erreicht hat. Es ist das einzige Angebot, das auf der Gewinnfunktion liegt und somit keinen Abstand zu ebenjener aufweist. Ein Angebot, das diesen Wert erzielt, kann unter Berücksichtigung der Gewichtung des Auftraggebers als das wirtschaftlichste Angebot interpretiert werden. Alle anderen Angebote liegen im beidseitig offenen Intervall $NE_0=(0, \infty)$. Für das Angebotswertungsmodell wird somit nicht auf das Effizienzintervall $EI=(0\%, 100\%]$, das von den DEA-Basismodellen verwendet wird, zurückgegriffen, sondern auf das allgemeinere Intervall $EI=[0, \infty)$, das die Verwendung einer DDF ermöglicht.

Bei dem Konzept der Nerlove'schen Effizienz wird genau die Distanz zwischen der aktuellen wirtschaftlichen Position einer Aktivität und der maximal möglichen wirtschaftlichen Position ausgewiesen, wie in Abbildung 50 gezeigt. Die Kennzahl NE_0 wird im Weiteren als Alternative

zum Preis-Leistungs-Verhältnis gem. § 127 Abs. 1 GWB verstanden und als Wertungskennzahl zur Ableitung der Rangfolge herangezogen.

Da sich die Nerlove'sche Effizienz unmittelbar auf den Abstand zu der Gewinnfunktion bezieht, anstatt auf den Abstand zu der nicht-parametrischen Randfunktion, kann der Wert für NE_0 anhand einer Berechnungsformel ermittelt werden. Ein lineares Optimierungsmodell, das die nicht-parametrische Struktur inkludiert, ist zur Berechnung von NE_0 nicht erforderlich. Aufgrund der Besonderheit der Umrechnung relativer Wertinformationen a_{xi} zu w_{xi} bzw. a_{yr} zu w_{yr} benötigt das Angebotswertungsmodell aber weiterhin die DEA mit den ausgewählten Eigenschaften. Die Formel nach CHAMBERS ET AL. (1998) wird in Gleichung (7.7) dahingehend erweitert, dass die Richtungsvektoren und Wertinformationen in allen i Inputs und r Outputs unterschieden werden.

$$NE_0 = [p(w_{yr}, w_{xi}) - (w_{yr}y_{0,r} - w_{xi}x_{0,i})] / (w_{yr}d_{yr} + w_{xi}d_{xi}) \quad (7.7)$$

Es ist zu beachten, dass es sich sowohl bei den Wertinformationen w_{xi} und w_{yr} , als auch bei den Werten der Distanzfunktion d_{xi} und d_{yr} um nicht-negative Größen handelt. Eine technisch ineffiziente DMU kann unter dieser Voraussetzung somit nicht Nerlove-effizient sein. Bei dem Konzept berechnet sich NE_0 im Zähler aus der Differenz des maximal möglichen Gewinns, also dem Gewinn der Projektion auf der Gewinnfunktion und dem aktuellen Gewinn der DMU_0 , wie Abbildung 50 zeigt. Der Gewinn der Projektion entspricht genau dem Gewinn des wirtschaftlichsten Angebots, da es sich bei der Gewinnfunktion um eine Iso-Ebene handelt. Der maximale Wert des Gewinns $p(w_{yr}, w_{xi})$ wird auch als Gewinnfunktionswert bezeichnet. Alle Projektionen DMU_j weisen diesen Wert auf, da sie ein Abbild der jeweiligen DMU auf der Gewinnfunktion darstellen. Das wirtschaftlichste Angebot bildet somit das Referenzmaß für die anderen DMUs. Im Nenner der Gleichung (7.7) erfolgt die Normierung des Effizienzmaßes über die Wertinformationen und die Richtungsvektoren, wie in Kap. 5.4.4 erläutert.

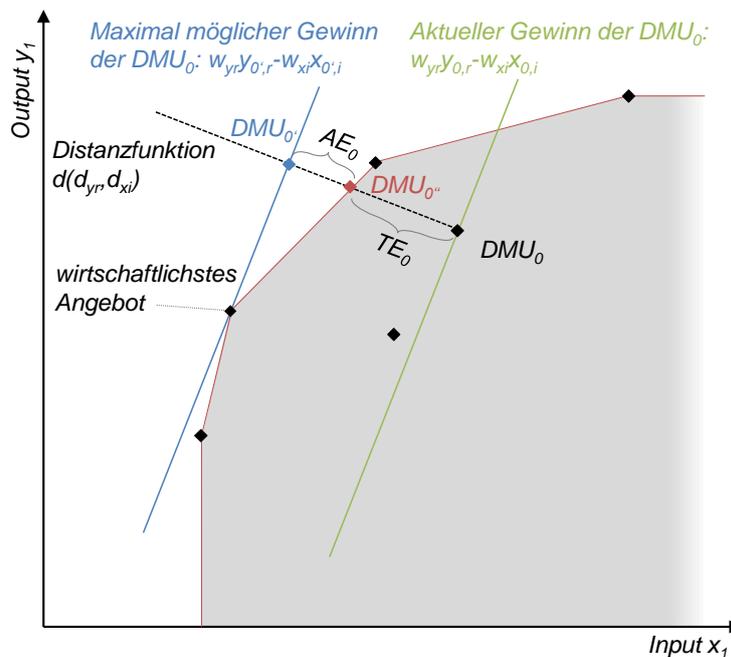


Abbildung 50: Prinzip zur Berechnung des Nerlove'schen Effizienzwerts

Für das Angebotswertungsmodell kann Gleichung (7.7) aufgrund der Orthogonalität zwischen der Gewinn- und der Distanzfunktion vereinfacht werden. Da für das Angebotswertungsmodell vorgegeben wird, dass die Richtungsvektoren der Distanzfunktion Reziproke der Gewinnfunktion sind ($d_{yr}=1/w_{yr}, d_{xi}=1/w_{xi}$), folgt im Nenner für jedes Zuschlagskriterium ein Wert von 1 (für alle $w_{xi}d_{xi}=1$ und alle $w_{yr}d_{yr}=1$). Somit erfolgt die Berechnung von NE_0 im Rahmen des Angebotswertungsmodells durch (7.8), wobei m weiterhin die Anzahl der zu minimierenden Zuschlagskriterien (bzw. Inputs) und s die Anzahl der zu maximierenden Kriterien (bzw. Outputs) ist.

$$NE_0 = \frac{1}{m+s} [p(w_{yr}, w_{xi}) - (w_{yr}y_{0,r} - w_{xi}x_{0,i})] \tag{7.8}$$

Durch Einsetzen von (6.3) sowie dem bereits eingeführten Umrechnungskonzept für relative Wertinformationen aus (7.1) und (7.2) kann die Formel zur Berechnung der neuen Wertungskennzahl für öffentliche Angebote ausgeschrieben werden zu (7.9). Die jeweiligen Bandbreiten, die aus $\max(y_{j,r}^{TE}), \min(y_{j,r}^{TE}), \max(x_{j,i}^{TE})$ und $\min(x_{j,i}^{TE})$ abgeleitet werden, müssen zur Umrechnung der relativen Wertinformationen mit einem DEA-Modell ermittelt werden.

$$NE_0 = \frac{1}{m+s} \left[\underbrace{\sup}_{\text{Normierung}} \left(\underbrace{\frac{a_{yr}y_{j,r}}{\max(y_{j,r}^{TE}) - \min(y_{j,r}^{TE})} - \frac{a_{xi}x_{j,i}}{\max(x_{j,i}^{TE}) - \min(x_{j,i}^{TE})}}_{\text{Maximaler Gewinn (Gewinnfunktionswert)}} \right) - \underbrace{\left(\frac{a_{yr}y_{0,r}}{\max(y_{j,r}^{TE}) - \min(y_{j,r}^{TE})} - \frac{a_{xi}x_{0,i}}{\max(x_{j,i}^{TE}) - \min(x_{j,i}^{TE})} \right)}_{\text{aktueller Gewinn}} \right] \tag{7.9}$$

Nachdem die Berechnung der Wertungskennzahl NE_0 für alle Angebote abgeschlossen ist, wird aus dem Ergebnis die Rangfolge abgeleitet. Der Bieter mit einem Wert von $NE_0=0$ ist auf Rangfolgenplatz 1 gelistet. In aufsteigender Reihenfolge der Werte von NE_0 werden die anderen Angebote platziert, wie in Tabelle 19 schematisch dargestellt.

Tabelle 19: Rangfolgenbildung anhand der Wertungskennzahl NE_0

| Rangfolge | Angebot | Nerlove'scher Effizienzwert NE_0 |
|-----------|---------|------------------------------------|
| 1 | Name1 | 0,000 |
| 2 | ... | ↓ aufsteigender Wert |
| 3 | ... | |
| ... | ... | |

7.3.4 DEA-Modell für das Angebotswertungsmodell

Um die Ermittlung der technisch effizienten Angebote zur Umrechnung der Wertinformationen zu identifizieren, ist ein DEA-Modell erforderlich, das die ausgewählten Struktureigenschaften und die spezifische Distanzfunktion abbildet. Die Optimierungsaufgabe in Tabelle 20 beschreibt die Envelopment-Form dieses DEA-Modells. Im Zuge der nachfolgenden Umsetzung des Angebotswertungsmodells als Microsoft Excel® Anwendung wird ebenfalls die Envelopment-Form des DEA-Modells verwendet, da die Anzahl an Nebenbedingungen bei der Wertung von Angeboten i.d.R. geringer ist als bei der Multiplier-Form.

Aus den Erläuterungen zu Tabelle 12 in Kap. 5.5.3 sind bereits die wesentlichen Variablen und

Bedingungen bekannt. Zur Vereinheitlichung der Schreibweisen wird die Notation des Abstandsmaßes Θ_0 aus Tabelle 12 als Effizienzwert TE_0 bezeichnet. Dies folgt auch der in Kap. 5.4.4 angeführten Interpretation des Abstandsmaßes Θ_0 als Effizienzwert, nach CHAMBERS ET AL. (1998). Der wesentliche Unterschied zum BCC-Modell aus Tabelle 12 liegt in der Einbindung der Directional Distance Function durch die Richtungsvektoren d_{xi} und d_{yr} . In Tabelle 20 wird ersichtlich, dass z.B. eine Festlegung von $d_{xi}=1$ und $d_{yr}=0$ zu einer reinen Inputorientierung führt. Bei Richtungsvektoren $d_{xi}>0$ und $d_{yr}>0$ werden die entsprechenden Inputs x_i und Outputs y_r simultan gewertet. Die vollständige Generalisierung der Distanzfunktion wird hier nochmals verdeutlicht. Aufgrund der Orthogonalität von Distanz- und Gewinnfunktion gehen die rezipierten, absoluten Wertinformationen des Auftraggebers über die Richtungsvektoren in das DEA-Modell ein. Neben der spezifischen Distanzfunktion wird die Präferenzeinbettung des Auftraggebers über die Fallunterscheidung der Skalenertragsart unterstützt. In Abhängigkeit zur Gewichtung der Kosten- und Leistungskriterien werden entweder nicht abnehmende (7.10-5-1), variable (7.10-5-2) oder nicht zunehmende (7.10-5-3) Skalenerträge ausgewählt. Im Ergebnis ergibt sich der Effizienzwert TE_0 gleichermaßen wie der Nerlove'sche Effizienzwert im Intervall $[0, \infty)$.

Tabelle 20: DEA Modell zur Ermittlung der technischen Effizienz der DMUs

| Zielfunktion | Nebenbedingungen | |
|--------------|------------------|--|
| $\max TE_0$ | (7.10-1) | $\sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot y_{j,r} \geq y_{0,r} + TE_0 d_{yr}$ (7.10-2) |
| | | $\sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot x_{j,i} \leq x_{0,i} - TE_0 d_{xi}$ (7.10-3) |
| | | $\lambda_j \geq 0 \quad \forall j=1, \dots, n$ (7.10-4) |
| | | Fallunterscheidung: |
| | | $\sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 1 \quad \forall j=1, \dots, n$ (7.10-5-1) |
| | | $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad \forall j=1, \dots, n$ (7.10-5-2) |
| | | $\sum_{j=1}^n \lambda_j \leq 1 \quad \forall j=1, \dots, n$ (7.10-5-3) |

Zur Berechnung der technischen Effizienzwerte für die Ermittlung der Projektionen auf der Randfunktion muss das DEA-Modell zweimal nacheinander für alle Angebote berechnet werden. In der ersten Routine werden mithilfe von vorläufigen, arbiträren Richtungsvektoren d_{yr} , d_{xi} die technisch effizienten DMUs ermittelt. Bei dieser vorläufigen Distanzmessung werden an die Richtungsvektoren keine besonderen Anforderungen gestellt. Sie müssen ausschließlich positive Werte größer als Null beinhalten, also $d_{vorl}(d_{yr}>0, d_{xi}>0)$. Nach dem ersten Durchlauf ergibt sich die Bandbreite aus den technisch effizienten Angeboten. Aus den Kriterienmengen dieser Angebote leiten sich gem. (7.1) bzw. (7.2) die absoluten Wertinformationen und infolgedessen die endgültigen Richtungsvektoren der Distanzfunktion ab. In einem zweiten Durchlauf der DEA-Routine werden dann mit den endgültigen Richtungsvektoren die finalen Effizienzwerte bestimmt. Nachdem TE_0 durch das DEA-Modell in Tabelle 20 und NE_0 durch (7.8) ermittelt wurden, kann (7.6) so umgestellt werden, dass die alloкатive Effizienz zu $AE_0=NE_0-$

TE_0 kalkuliert wird. Auf diese Weise sind alle Effizienzanteile aufgeschlüsselt. Ein Bieter kann aus diesen Werten erkennen, zu welchem Anteil die Ineffizienz aus dem Vergleich mit dem Wettbewerb (technische Effizienz) und zu welchem Anteil die Ineffizienz aus der Gewichtung des Auftraggebers resultiert (allokative Effizienz). Insbesondere Bieter mit einem hohen Anteil an technischer Ineffizienz sollten langfristig eine Leistungssteigerung in den abgefragten Zuschlagskriterien anstreben.

7.4 Verbesserungspotenzial unterlegener Bieter

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die Kriterienmengen quantifiziert, die ein unterlegener Bieter hätte erzielen müssen, um technische bzw. Nerlove'sche Effizienz zu erlangen. Hierzu werden die Projektionen einer DMU_0 auf der Gewinn- und der Randfunktion berechnet. Das Verbesserungspotenzial, das i.F. synonym auch als Kriterienfehlbetrag bezeichnet wird, wird gem. Abbildung 35 als Differenz zwischen den angebotenen Kriterienmengen und den Kriterienmengen der Projektionen definiert.

7.4.1 Projektionen einer DMU_0

Aus der Berechnung der erforderlichen Kriterienmengen $x_{0',i}$ und $y_{0',r}$ zur Erzielung technischer Effizienz sowie $x_{0,i}$ und $y_{0,r}$ zum Auftragsgewinn resultiert das Verbesserungspotenzial, das gemäß Abbildung 35 an die Bieter zurückgespiegelt werden soll. Die Berechnung erfolgt in Form der Differenz zwischen den Projektionen und den angebotenen Kriterienmengen für alle DMUs. Da die Daten im Rahmen der Angebotswertung und somit nach Abgabe der Angebotsfrist ermittelt werden, verändert sich das Ergebnis der Vergabe nicht mehr, die Rückspiegelung der Fehlmengen sind vielmehr für die Unterstützung des Sekundärziels, der zielorientierten Verbesserung der strategischen und operativen Zielstellungen, nützlich.

Mit dem Effizienzwert TE_0 können die Kriterienmengen der Projektion auf der Randfunktion berechnet werden. So wird den unterlegenen Bietern quantitativ angezeigt, um welche Kriterienmengen ihr Angebot in den verschiedenen Zuschlagskriterien objektiv betrachtet schlechter ist als die Angebote der besten Wettbewerber. Im Gegensatz zu Vergaben, die ausschließlich über den Preis abgewickelt werden, ist bei wirtschaftlichen Vergaben nicht nur die Preisdifferenz zwischen den Bietern von Interesse, sondern der Abstand aller Kriterien zur Rand- bzw. Gewinnfunktion. Die Übermittlung dieser Kriterienfehlbeträge ist nach der Abfrage und Wertung aller Kriterien nur konsequent. Die Fehlbeträge erhöhen die Transparenz des Wertungsergebnisses und können von den Bietern für eine kontinuierliche Verbesserung der Leistung hinsichtlich strategischer und operativer Ziele genutzt werden.

Der Abstand zwischen den Kriterienmengen eines Angebots und der Projektion auf der Gewinnfunktion ist für Bieter vermeintlich von höherem Interesse als der Abstand zur Randfunktion, da dies der Fehlbetrag zum Auftragsgewinn ist. Hierbei sollte jedoch berücksichtigt werden, dass sich die Gewinnfunktion aus der auftraggeberspezifischen Gewichtung ableitet und daher von subjektiven Wertinformationen abhängt. Die allokativen Effizienzwerte können infolgedessen bei verschiedenen Auftraggebern stark variieren. Der Abstand zur Randfunktion und

somit unmittelbar zum Wettbewerb muss gleichermaßen beurteilt werden.

Für die Ermittlung der Projektion auf der Randfunktion wird das Produkt von TE_0 und dem Richtungsvektor d_{xi} der Distanzfunktion von den Kriterienmengen aller zu minimierenden Zuschlagskriterien $x_{0,i}$ einer DMU_0 subtrahiert, wie in (7.11). Wie bereits in Kap. 5.4.4 erläutert, ist TE_0 (in Kap. 5.4.4 synonym als Θ_0 bezeichnet) bei der DDF ein Abstandsmaß, das über die Länge der Distanzfunktion normiert wird. Durch die Multiplikation von TE_0 mit den jeweiligen Richtungsvektoren d_{xi} kann die Normierung zur Ermittlung der Kriterienmengen der Projektionen rückgerechnet werden. Für Zuschlagskriterien mit einem Maximierungsziel wird der Ineffizienzanteil der Distanzfunktion auf die Kriterienmenge $y_{0,r}$ einer DMU_0 addiert, wie in (7.12).

Kriterienmengen der Projektionen auf der Randfunktion:

$$\text{Zuschlagskriterien mit Minimierungsziel: } x_{0',i} = x_{0,i} - TE_0 \cdot d_{xi} \quad (7.11)$$

$$\text{Zuschlagskriterien mit Maximierungsziel: } y_{0',r} = y_{0,r} + TE_0 \cdot d_{yr} \quad (7.12)$$

Um die Projektion auf der Gewinnfunktion zu ermitteln, können anhand des Nerlove'schen Effizienzwertes NE_0 für eine DMU_0 äquivalent die Kriterienmengen der Projektion auf der Gewinnfunktion $x_{0,i}$ bzw. $y_{0,r}$ nach (7.13) bzw. (7.14) ermittelt werden.

Kriterienmengen der Projektionen auf der Gewinnfunktion:

$$\text{Zuschlagskriterien mit Minimierungsziel: } x_{0',i} = x_{0,i} - NE_0 \cdot d_{xi} \quad (7.13)$$

$$\text{Zuschlagskriterien mit Maximierungsziel: } y_{0',r} = y_{0,r} + NE_0 \cdot d_{yr} \quad (7.14)$$

Die Radialität der Effizienzmessung wird hier nochmals deutlich, da für alle Zuschlagskriterien x_i bzw. y_r derselbe Effizienzwert TE_0 bzw. NE_0 verwendet wird.

NIEWERTH ET AL. (2017a) berechnen ein Anwendungsbeispiel mit den sieben Angeboten A1 bis A7. Die Kriterienwerte²¹ aus dem Beispiel sind zusammen mit den nach Gleichung (7.11) bis (7.14) berechneten Projektionen grafisch in Abbildung 51²² dargestellt, um auf eine vergaberechtliche Besonderheit hinzuweisen.

²¹ In Anhang A-3 sind die in NIEWERTH ET AL. (2017a) veröffentlichten Kriterienwerte angegeben, die in Abbildung 51 grafisch dargestellt sind.

²² Es wird darauf hingewiesen, dass die drei Achsen des Koordinatensystems gestaucht wurden, weshalb die Orthogonalität zwischen Gewinn- und Distanzfunktion verzerrt wirkt.

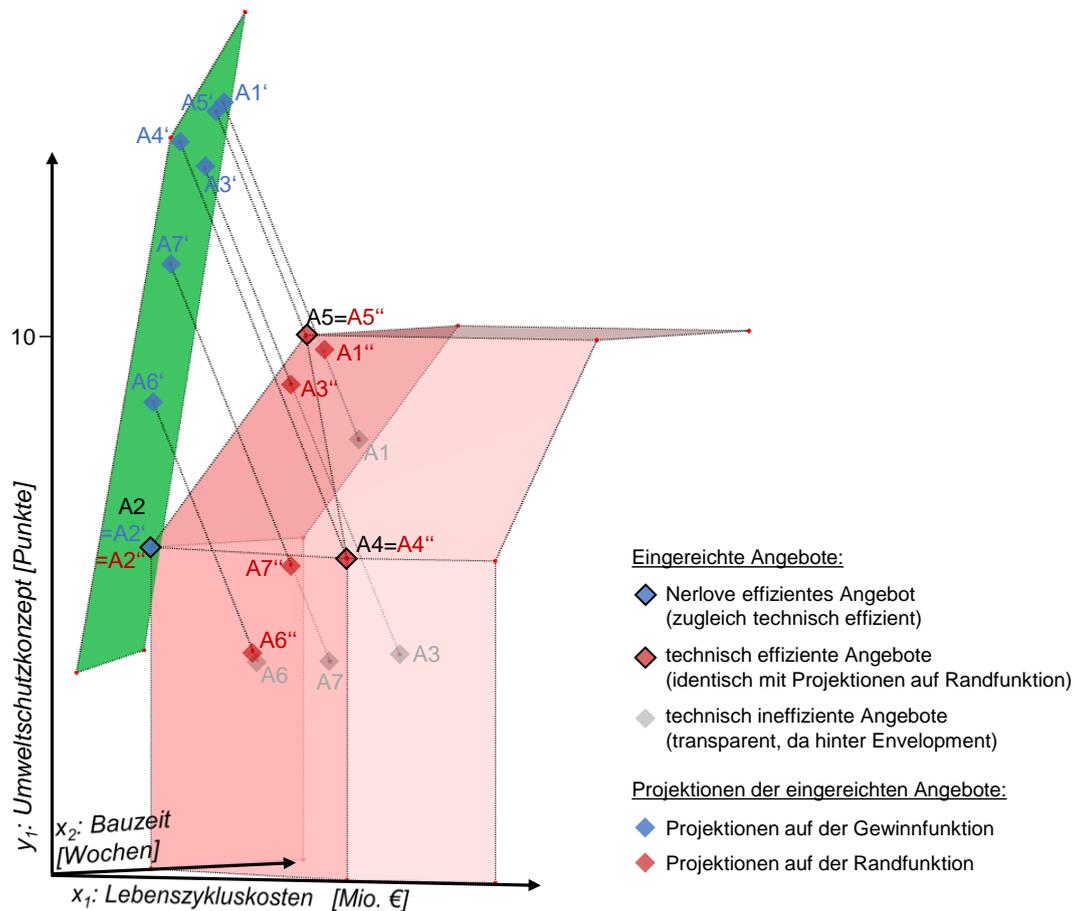


Abbildung 51: Grafische Darstellung der Projektionen auf einer Gewinn- und Randfunktion

Häufig werden bei wirtschaftlichen Auftragsvergaben Zuschlagskriterien definiert, deren Wertebereich auf einer Bewertungsskala begrenzt ist (hier bspw. y_1 : Umweltschutzkonzept zwischen 0 und 10 Punkten). Besitzt bspw. das Angebot A5 in Abbildung 51 für das Kriterium y_1 eine Menge von $y_{A5,1}=10$ Punkten, so liegt die Projektion auf der Gewinnfunktion oberhalb der Skalenbegrenzung. Wie aus der Abbildung 51 ersichtlich wird, gilt dies in gleicher Weise für die Projektionen A1', A3', A4', A5' und A7'. Erhält ein Bieter die Information rückgespiegelt, dass er den Zuschlag mit bspw. 12 Punkten im Kriterium y_1 gewonnen hätte, ist diese Rückmeldung nicht zielführend, da es unmöglich ist, ein derartiges Ergebnis zu erlangen. Die Ermittlung der Projektionen muss daher für den spezifischen Anwendungsfall der Angebotswertung für begrenzte Zuschlagskriterien erweitert werden. Im nachfolgenden Kapitel wird ein Konzept zur Ableitung realisierbarer Projektionen auf der Gewinnfunktion beschrieben. Die Projektionen auf der Randfunktion sind von dieser Besonderheit nicht betroffen. Nicht realisierbare Kriterienmengen können hier nicht auftreten, da die Randfunktion ein Abbild der bereits realisierten Kriterienmengen der technisch effizienten Angebote ist. Den Beleg, dass es möglich ist, die Kriterienmengen in den jeweiligen Kombinationen anzubieten, erbringen diese besten Wettbewerber.

7.4.2 Projektionen bei der Existenz begrenzter Zuschlagskriterien

Bei Verwendung der entwickelten Distanzfunktion wird für die Effizienzwertberechnung nicht berücksichtigt, dass ein Zuschlagskriterium auf einen bestimmten Wertebereich begrenzt ist. Oft liegen die Kriterienmengen z.B. von qualitativen Kriterien jedoch innerhalb einer begrenzten Werteskala. Auch für kardinale Kriterien existiert i.d.R. zumindest eine Untergrenze von einem fiktiven Wert von Null Mengeneinheiten, bspw. für den Preis oder die Bauzeit. Bieter können die Menge dieser Zuschlagskriterien aus rechnerischer und ebenso aus baubetrieblicher Sicht nicht unbegrenzt steigern oder reduzieren. Anders ausgedrückt kann das Angebot auch nach einer Verbesserung der Kriterien durch den Bieter nie zur Projektion auf der Gewinnfunktion aufschließen, wenn die ermittelten Kriterienmengen $x_{0,i}$ bzw. $y_{0,r}$ der Projektion außerhalb des zulässigen Wertebereichs liegen. In Abbildung 52 wird die Problemstellung und ein Lösungskonzept für ein zweidimensionales Beispiel gezeigt.

Die durch Gleichung (7.13) bzw. (7.14) berechneten Kriterienmengen sind bei begrenzten Zuschlagskriterien ggf. nicht realisierbar. In dem Beispiel zeigt sich, dass zur Ermittlung einer realisierbaren Projektion eine nicht-proportionale Veränderung der Kriterienmengen von x_1 und y_1 erfolgen muss. Zur Berechnung einer realisierbaren Projektion wird das Angebotswertungsmodell daher um ein neues, nicht-radiales Konzept der Effizienzmessung erweitert. Es wird speziell für den Zweck der Neuberechnung von $x_{0,i}$ und $y_{0,r}$ entwickelt.

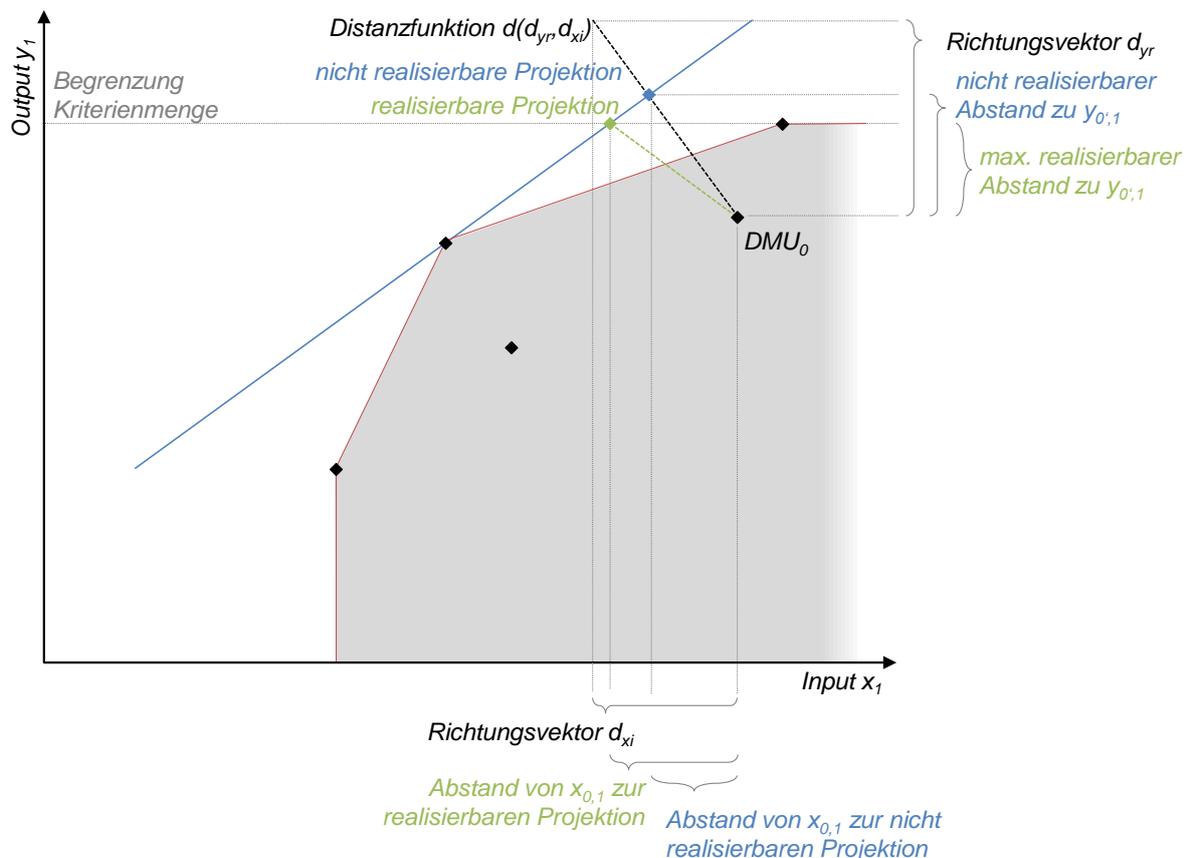


Abbildung 52: Nicht-radiales Effizienzmaß bei nicht realisierbaren Projektionen

Im Unterschied zu den radial berechneten Kriterienmengen $x_{0,i}$ bzw. $y_{0,r}$ der nicht realisierbaren Projektion ermittelt sich bei nicht-radialen Effizienzmaßen für den Input x_1 ein anderer Effizienzwert als für den Output y_1 . Die Effizienzwerte unterscheiden sich, da die Abstände in den einzelnen Kriterien x_i bzw. y_r zur Projektion zueinander nicht proportional sind, was durch Gleichung (7.15) verdeutlicht wird. Um realisierbare Projektionen bei der Existenz skalenbegrenzter Zuschlagskriterien zu ermitteln, wird daher ein nicht-radiales Effizienzmaß verwendet. Für die Nerlove'sche Effizienz einer DMU₀ werden die Neuberechneten, nicht-radialen Effizienzwerte mit NE_{0,x_i} bzw. NE_{0,y_r} bezeichnet. Aus der Schreibweise wird ersichtlich, dass für verschiedene Zuschlagskriterien unterschiedliche Effizienzwerte zur Berechnung der Mengen der realisierbaren Projektion erforderlich sind. Wie bekannt, erfolgt die Normierung der Effizienzwerte über die Längen d_{x_i} bzw. d_{y_r} (hier beispielhaft d_{x_1} bzw. d_{y_1}) der Richtungsvektoren der Distanzfunktion.

$$NE_{0,x_1} = \frac{\text{Abstand } x_{0,1} \text{ zur realisierbaren Projektion}}{d_{x_1}} \neq NE_{0,y_1} = \frac{\text{max. realisierbarer Abstand zu } y_{0,1}}{d_{y_1}} \quad (7.15)$$

Für eine DMU₀ kann daher bei einer Anzahl von $m+s$ Zuschlagskriterien eine Anzahl von $m+s$ verschiedenen Nerlove'schen Effizienzwerten erforderlich werden. Auf diesen Überlegungen wird das Angebotswertungsmodell für begrenzte Zuschlagskriterien weiterentwickelt. Wie in den Kap. 5.4.2 und 5.4.3 für nicht-radiale Distanzfunktionen erläutert, kann aus den verschiedenen Effizienzwerten der Mittelwert gebildet werden. Dieser Mittelwert muss nach der Umrechnung der Kriterienmengen identisch mit dem zuvor berechneten Effizienzwert NE_0 sein, da auf diesen Werten die Rangfolge basiert.

Für Zuschlagskriterien kann sowohl ein oberer als auch ein unterer Grenzwert existieren. Bei Kriterien mit einem Minimierungsziel ist dennoch nur die Untergrenze von Bedeutung und für Zuschlagskriterien mit einem Maximierungsziel nur die Obergrenze. Dies resultiert aus der Optimierungsrichtung der Kriterien. Demnach weist jede Distanzfunktion zur Effizienzwertberechnung in die Richtung, die eine Verbesserung oder zumindest keine Verschlechterung für ein Kriterium hervorruft. So kann das Ergebnis der Distanzmessung für zu minimierende Kriterien niemals $x_{0,i} > x_{0,i}$ und für zu maximierende Kriterien niemals $y_{0,r} < y_{0,r}$ sein. Zur Verdeutlichung sei angenommen, dass sich die nicht realisierbare Projektion einer DMU₀ unterhalb der Untergrenze eines zu maximierenden Kriteriums y_1 befindet. In diesem Fall läge auch die DMU₀ selber unterhalb dieser Untergrenze und wäre nicht realisierbar, ergo nicht existent. Dieser Fall wird z.B. von qualitativen Kriterien, die auf einer Ordinalskala zwischen 0 und 10 Punkten bewertet werden, beschrieben. Die Untergrenze können die DMU_j nicht unterschreiten. Daher kann sich auch ihre Projektion unmöglich unterhalb dieser Untergrenze befinden. Die Obergrenze kann von der Projektion hingegen überschritten werden. So kann eine DMU₀ bspw. 9 Punkte besitzen und ihre Projektion z.B. 11 Punkte, wie es in der Abbildung 51 dargestellt ist. Das gleiche Prinzip gilt für Zuschlagskriterien mit einem Minimierungsziel und einer Obergrenze. Ein Auftraggeber kann für das zu minimierende Kriterium Bauzeit eine Obergrenze von bspw. 35 Wochen als Mindestanforderung vorgeben. Eine Überschreitung dieser Dauer führt zum Ausschluss des Angebots und es ist im Ergebnis nicht existent. Eine Projektion oberhalb der Obergrenze existiert folglich nicht. Die Fallunterscheidung ist in Abbildung 53 zusammengefasst und grafisch veranschaulicht.

Das Konzept für die Anpassung der Projektionen bei begrenzten Zuschlagskriterien folgt einem mehrstufigen Berechnungsverfahren. Hierzu werden die Kriterienmengen der Grenzwerte im Folgenden für die Untergrenze von zu minimierenden Zuschlagskriterien mit $x_{Ugrenz,i}$ und für die Obergrenze von zu maximierenden Zuschlagskriterien mit $y_{Ogrenz,r}$ bezeichnet. Eine Projektion gilt somit als nicht realisierbar, wenn die Menge $x_{0,i}$ kleiner als $x_{Ugrenz,i}$ oder $y_{0,r}$ größer als $y_{Ogrenz,r}$ ist. Aus der Fallunterscheidung ergeben sich die neuen Effizienzwerte $NE_{0,xi}$ bzw. $NE_{0,yr}$, mit denen die realisierbaren Projektionen ermittelt werden.

1. Berechnungsstufe

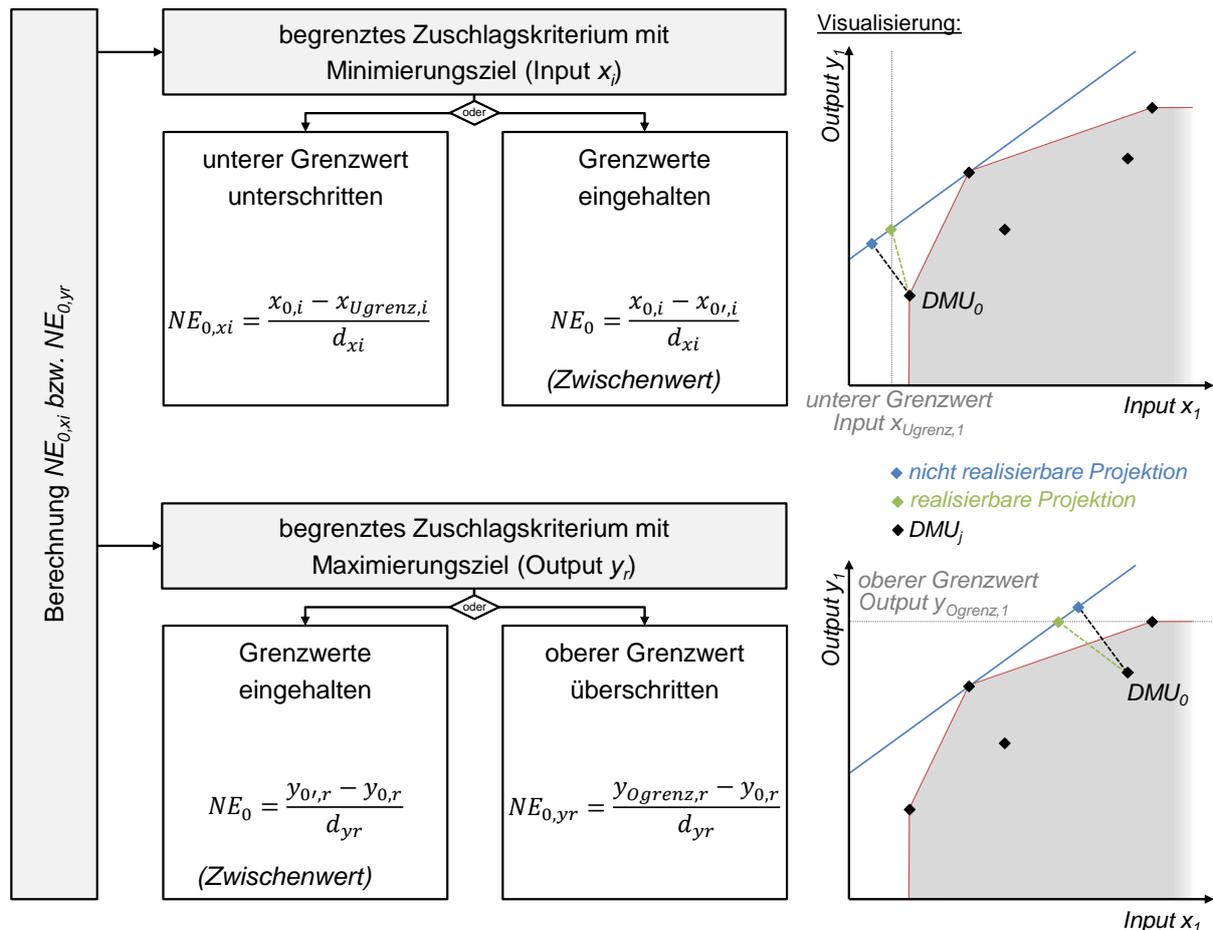


Abbildung 53: Fallunterscheidung zur Berechnung von $NE_{0,xi}$ bzw. $NE_{0,yr}$

In den Kriterien mit Grenzwertüber- bzw. -unterschreitung ergibt sich nach dem Austausch des ursprünglich berechneten Wertes $x_{0,i}$ gegen $x_{Ugrenz,i}$ bzw. $y_{0,r}$ gegen $y_{Ogrenz,r}$ ein geringerer Effizienzwert als zuvor. Dies resultiert aus der Tatsache, dass $x_{Ugrenz,i} > x_{0,i}$ und $y_{Ogrenz,r} < y_{0,r}$ ist. Die Abstände zwischen der DMU_0 und der realisierbaren Projektion ist bei einer Begrenzung der Zuschlagskriterien geringer als ohne die Berücksichtigung des Grenzwerts, wie es in der Visualisierung in der Abbildung 53 ersichtlich ist. Die neu ermittelten nicht-radialen Effizienzwerte in den begrenzten Zuschlagskriterien sind also besser als die radial ermittelten Werte. Sie gelten jedoch nur für das jeweilige begrenzte Kriterium. Für die Zuschlagskriterien, in denen die Grenzwerte eingehalten werden, ergeben sich in der ersten Berechnungsstufe dieselben Effizienzwerte wie in der radialen Berechnung, also die Effizienzwerte NE_0 . Diese Werte

sind als Zwischenwerte zu verstehen, die in einer zweiten Berechnungsstufe angepasst werden müssen.

2. Berechnungsstufe

Da der Mittelwert aller Effizienzwerte $NE_{0,i}$ und $NE_{0,r}$ einer DMU_0 stets den identischen Wert wie der Effizienzwert NE_0 aus der radialen Distanzfunktion besitzen muss, ergeben sich für die unbegrenzten Kriterien höhere, also schlechtere Effizienzwerte zur Ausglei- chung des Effizienz-Fehlbetrags $NE_{0,Fehlb}$. Zur besseren Verdeutlichung ist Abbildung 52 erneut heranzuzie- hen. Wird für die DMU_0 in dem Beispiel mit einer Obergrenze für das Kriterium y_1 nur die Menge $y_{0;1}$ reduziert, die Menge $x_{0;1}$ jedoch nicht angepasst, befindet sich die Projektion nicht mehr auf der Gewinnfunktion. In der zweiten Berechnungsstufe wird der Effizienz-Fehlbetrag aller begrenzten Kriterien aus Gleichung (7.16) daher auf die unbegrenzten Kriterien umgelegt, da- mit die Projektion weiterhin ein Teil der Gewinnfunktion ist. Somit muss die Verbesserung der begrenzten Kriterien zu einer Verschlechterung der verbleibenden, unbegrenzten Kriterien füh- ren, um eine realisierbare Projektion zu ermitteln, die im Mittel denselben Effizienzwert wie die nicht-realisierbare Projektion besitzt.

$$NE_{0,Fehlb} = \sum_{i=1}^m (NE_0 - NE_{0,i}(x_{Ugrenz,i})) + \sum_{r=1}^s (NE_0 - NE_{0,r}(y_{Ogrenz,r}))$$

für alle $x_{0;i} < x_{Ugrenz,i}$ und alle $y_{0;r} > y_{Ogrenz,r}$ (7.16)

Hierzu wird eine gleichmäßige Umverteilung der Summe der Fehlbeträge $NE_{0,Fehlb}$ auf die Zu- schlagskriterien, deren Grenzbereiche noch nicht ausgeschöpft sind, angewendet. Die Effizi- enz-Zwischenwerte der ersten Berechnungsstufe werden daher um den gleichverteilten Anteil des Fehlbetrags erhöht. Dieses Prinzip soll anhand des Schemas in Abbildung 54 veranschau- licht werden. Beträgt der Effizienz-Fehlbetrag einer DMU_0 bspw. $NE_{0,Fehlb}=0,5$ und existieren zwei Kriterien, dessen Kriterienmengen die Grenzwerte einhalten, so werden die Effizienz- werte $NE_{0,xi}$ bzw. $NE_{0,yr}$ dieser Kriterien um den Wert $0,5/2=0,25$ erhöht und somit verschlech- tert. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass die Projektion weiterhin auf der Gewinnfunktion liegt und im Mittel denselben Effizienzwert aufweist wie mit dem radialen Berechnungsansatz. Mit den Neuberechneten Effizienzwerten $NE_{0,xi}$ bzw. $NE_{0,yr}$ sind abschließend die Kriterien- werte der realisierbaren Projektionen zu ermitteln, indem diese Effizienzwerte anstelle von NE_0 in (7.13) bzw. (7.14) eingesetzt werden.

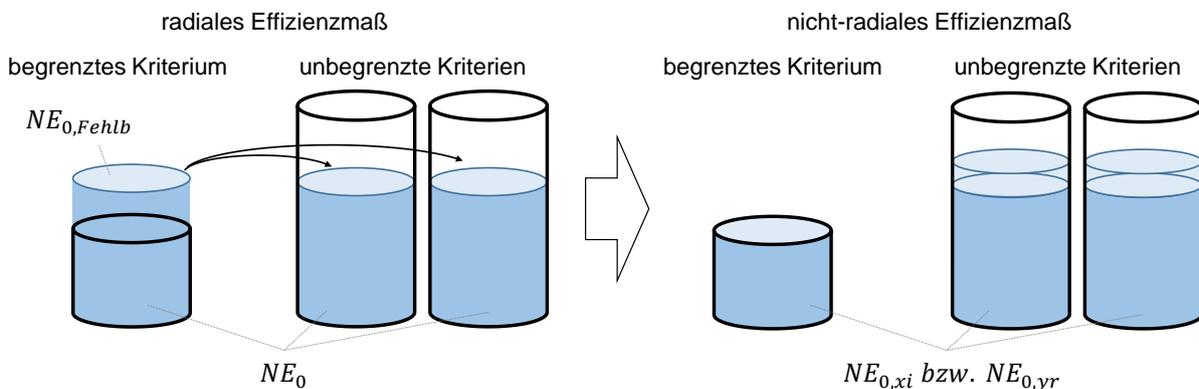


Abbildung 54: Schema zur gleichmäßigen Umverteilung des Effizienzfehlbetrags

3. Berechnungsstufe (Prüfstufe)

Die gleichmäßige Umverteilung kann dazu führen, dass Grenzwerte weiterhin nicht eingehalten werden, wenn andere begrenzte Kriterien existieren. So ist beispielsweise denkbar, dass die Erhöhung des radialen Effizienzwertes NE_0 um den Anteil der Summe der Fehlbeträge $NE_{0,Fehl}$ dazu führt, dass nach der 2. Berechnungsstufe ein zuvor eingehaltener Grenzwert in einem begrenzten Kriterium x_i bzw. y_r nicht mehr eingehalten wird. Diese Möglichkeit wird in Abbildung 55 grafisch verdeutlicht.

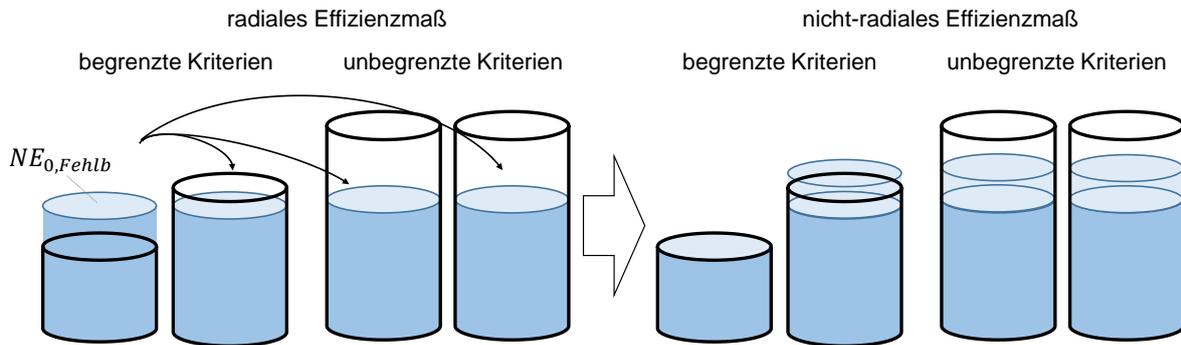


Abbildung 55: Prüfstufe zur Einhaltung der Grenzwerte nach der Umverteilung von $NE_{0,Fehl}$

Für diesen Fall wird wiederum geprüft, ob alle Bedingungen $x_{0,i}(NE_{0,i}) < x_{Ugrenz}$ bzw. $y_{0,r}(NE_{0,r}) > y_{Ogrenz}$ erfüllt sind. Ergibt die Prüfung neue, nicht realisierbare Kriterienwerte, ist eine weitere Umverteilung durchzuführen. Der neue Fehlbetrag ist gleichermaßen wie in der 2. Berechnungsstufe auf die nicht ausgeschöpften Kriterien umzulegen. Diese Iteration wird solange durchgeführt, bis alle Kriterien eingehalten sind. Sollte eine Einhaltung aller Grenzwerte unmöglich sein, kann keine realisierbare Projektion ermittelt werden. In diesem Fall ist die Rückspiegelung des Verbesserungspotenzials des betroffenen Bieters nicht durchführbar. Dieser Fall kann eintreten, wenn die Anzahl an begrenzten Kriterien deutlich höher ist als die Anzahl unbegrenzter Kriterien und die angebotenen Kriterienmengen des Bieters die Präferenzen des Auftraggebers, ausgedrückt durch die Gewichtung, nur sehr unzureichend abbilden.

7.4.3 Berechnung des Verbesserungspotenzials

Die Differenz der Kriterienmengen der Projektion und der angebotenen Kriterienmengen ergibt das Verbesserungspotenzial eines Bieters für alle Zuschlagskriterien. Diese Werte können als absolute Differenz, wie in Gleichungen (7.17) bis (7.20), oder in Relation zur Kriterienmenge als relative Differenz, wie in Gleichungen (7.21) bis (7.24), berechnet werden. Für eine langfristige Auswertung von Leistungsdefiziten eignen sich das relative Verbesserungspotenzial ggf. besser als die absoluten Werte. Dies liegt daran, dass Muster in den Leistungsdefiziten besser identifiziert werden können. Ist z.B. auffällig, dass ein Bieter für das Kriterium Bauzeit regelmäßig 10% schlechtere Werte anbietet als Wettbewerber, ist dieses Leistungsmuster eindeutiger als die absoluten Werte ohne Bezug auf die jeweilige Bauzeit des konkreten Vergabegenstands.

Absolutes Verbesserungspotenzial zur Randfunktion:

$$\text{Zuschlagskriterien mit Minimierungsziel:} \quad X_{0'' ,i} - X_{0,i} \quad (7.17)$$

$$\text{Zuschlagskriterien mit Maximierungsziel:} \quad Y_{0'' ,r} - Y_{0,r} \quad (7.18)$$

Absolutes Verbesserungspotenzial zur Gewinnfunktion:

$$\text{Zuschlagskriterien mit Minimierungsziel:} \quad X_{0' ,i} - X_{0,i} \quad (7.19)$$

$$\text{Zuschlagskriterien mit Maximierungsziel:} \quad Y_{0' ,r} - Y_{0,r} \quad (7.20)$$

Relatives Verbesserungspotenzial zur Randfunktion:

$$\text{Zuschlagskriterien mit Minimierungsziel:} \quad \frac{X_{0'' ,i} - X_{0,i}}{X_{0,i}} \quad (7.21)$$

$$\text{Zuschlagskriterien mit Maximierungsziel:} \quad \frac{Y_{0'' ,r} - Y_{0,r}}{Y_{0,r}} \quad (7.22)$$

Relatives Verbesserungspotenzial zur Gewinnfunktion:

$$\text{Zuschlagskriterien mit Minimierungsziel:} \quad \frac{X_{0' ,i} - X_{0,i}}{X_{0,i}} \quad (7.23)$$

$$\text{Zuschlagskriterien mit Maximierungsziel:} \quad \frac{Y_{0' ,r} - Y_{0,r}}{Y_{0,r}} \quad (7.24)$$

7.5 Zusammenfassung der Angebotswertung mit dem entwickelten Modell

Bevor das entwickelte Modell als Excel® Anwendung umgesetzt wird, soll der Ablauf der Angebotswertung schematisch zusammengefasst werden. Abbildung 56 zeigt das Ablaufschema einer wirtschaftlichen Auftragsvergabe für einen öffentlichen Bauauftrag in allen Teilschritten. Die Schritte von der Entscheidung zur Durchführung einer wirtschaftlichen Vergabe, bei der neben dem Preis weitere Zuschlagskriterien abgefragt werden, bis zur Prüfung der Angebote stehen im Einklang mit dem gültigen Vergaberecht. So sind vor der Veröffentlichung der Ausschreibungsdokumente die projektspezifischen Zuschlagskriterien mit der vergaberechtlich und methodisch erforderlichen Kriteriengewichtung durch den Auftraggeber festzulegen. Die Gewichte, die im Modell als relative Wertinformationen a_{xi} bzw. a_{yr} bezeichnet werden, können bspw. mithilfe des AHPs transparent und nachvollziehbar ermittelt werden. Für alle Angebote, die nach der Prüfung formaler und preislicher Kriterien sowie im Hinblick auf die Eignung für die Auftragsvergabe in Frage kommen, wird mit dem entwickelten Modell die alternative Wertungskennzahl der Nerlove'schen Effizienz NE_0 berechnet. Hierzu sind zunächst die technisch effizienten Angebote mit der DEA zu bestimmen. Die Distanzfunktion besteht zu diesem Zeitpunkt noch aus arbiträren Richtungsvektoren (vgl. Kap. 7.3.4), da die technisch effizienten Angebote als Bezugsgrößen für die Wertinformationen erst nach dem Abschluss der ersten DEA-Routine vorliegen. Im nachfolgenden Schritt sind alle technisch effizienten Angebote ermittelt und die Richtungsvektoren der Gewinn- und der Distanzfunktion korrekt eingestellt, um in einer zweiten DEA-Routine die finalen Effizienzwerte NE_0 und TE_0 zu ermitteln. Aus diesen

Effizienzwerten ergeben sich die Rangfolge und weiterführend die Projektionen, die bei beschränkten Kriterien ggf. korrigiert und dann als Verbesserungspotenzial an die Bieter zurückgespiegelt werden. So erhalten die Akteure eine Rückmeldung über die angebotene Leistung im Verhältnis zum Bieterfeld. Aus diesen Informationen lassen sich wiederum Rückschlüsse über mögliche Handlungsoptionen ableiten. Ist beispielsweise auffällig, dass ein Bieter wiederholt aufgrund eines bestimmten Kriteriums nicht zum Auftragsgewinn gelangt, sollte in diesem Bereich eine Leistungssteigerung angestrebt werden. Mögliche Ansätze für die langfristige Erzielung einer Verbesserungen werden ausblickend in Kap. 9.4.1 benannt. Damit die Leistungsanalyse bestmöglich gewährleistet ist, sollte nicht nur die Nerlove'sche Effizienz rückgespiegelt werden, sondern insbesondere auch die beiden einzelnen Bestandteile der technischen und allokativen Effizienz.

Auch die Akteure auf der Seite des öffentlichen Beschaffers können die gewonnen Erkenntnisse für zukünftige Auftragsvergaben nutzen. Die politisch strategischen Entscheider können Statistiken anfertigen, um bspw. Handlungsoptionen in Handbüchern für die Bedarfsstellen als Auftraggeber zusammenzutragen. Als operativer Beschaffer kann der Auftraggeber das Modell seinerseits nutzen, um eine Erfolgsquantifizierung zu dokumentieren. Eine Möglichkeit, um die Anwendbarkeit des neuen Konzepts zu gewährleisten, ist die Integration in das VHB-Bund. Die hierzu erforderlichen Textbausteine sind in den Kapiteln 9.2 und 9.3 enthalten.

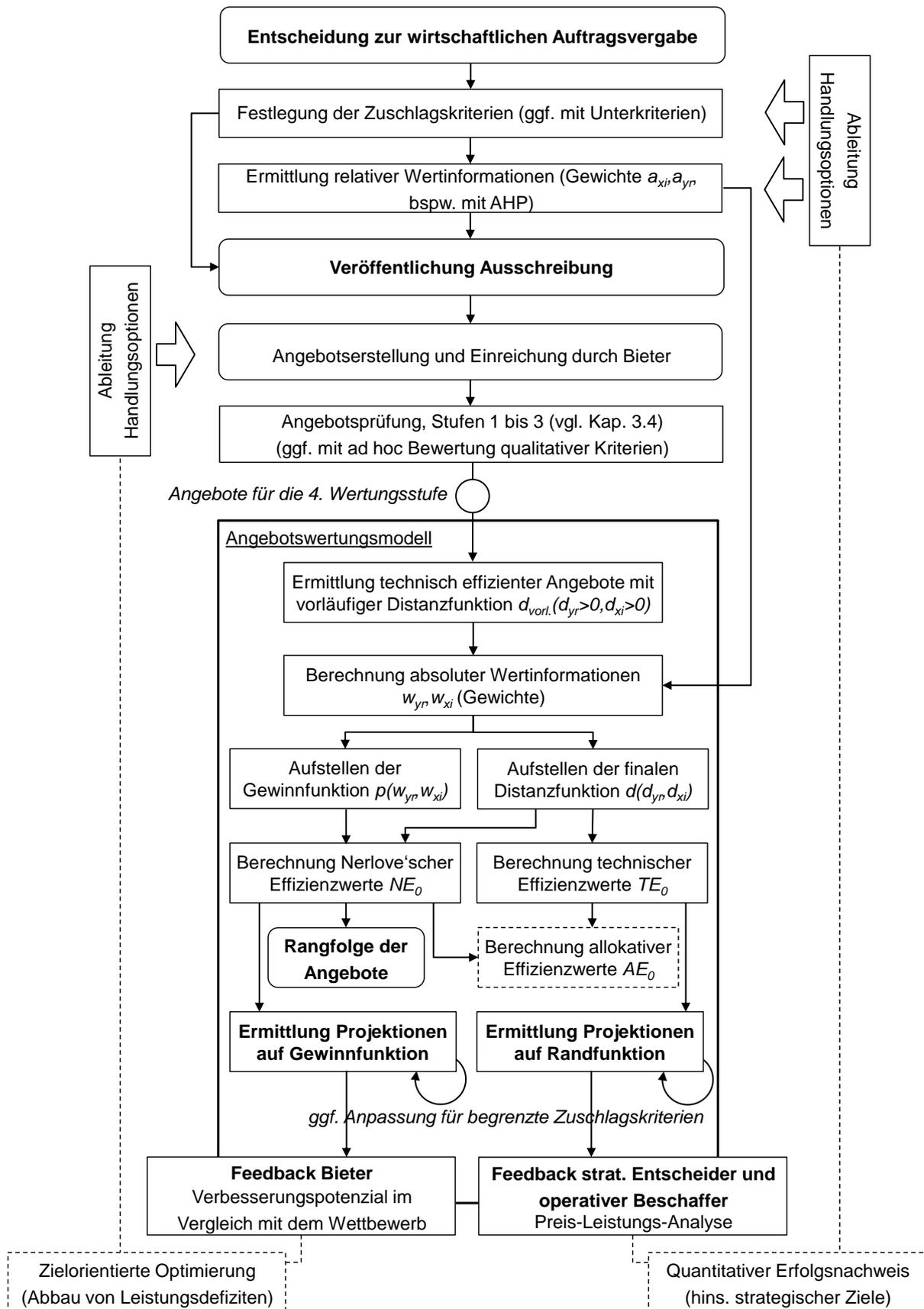


Abbildung 56: Ablaufschema zum Angebotswertungsmodell

7.6 Modell als Microsoft Excel® Anwendung

Aus der zuvor erläuterten Modellentwicklung werden nun alle hergeleiteten Ansätze im Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel® (i.F. Excel) abgebildet. Mit dem Berechnungstool „Tender Evaluation using Efficiency Analysis“ -kurz TEEA- können bis zu zehn Zuschlagskriterien und 50 Angebote gewertet werden. Diese Anzahlen werden für den Anwendungsfall als ausreichend erachtet. Eine Erweiterung der Anwendung ist jedoch möglich.

7.6.1 Zuschlagskriterien, Gewichtung und Mengeneingabe

Dieser Arbeit liegen zwei Excel-Dateien auf einem Datenträger bei. In der „Entwicklerversion“ sind alle Mappen eingeblendet, in der „Anwenderversion“ sind nur die für einen Nutzer erforderlichen Ein- und Ausgabemappen sichtbar. Im Rahmen dieses Kapitels wird die Entwicklerversion vorgestellt. Diese Datei besteht aus den sechs Arbeitsmappen *Eingabe*, *Effizienzwerte*, *Projektionen*, *DEA_Rechner*, *AHP_Rechner* und *Projektionen o. Kriteriengrenze*. Für den Anwender sind die *Eingabe*-Mappe und die Mappen *Effizienzwerte* und *Projektionen* von Relevanz. In den anderen Mappen erfolgen die erforderlichen Hintergrundberechnungen. Sie müssen vom Benutzer nicht angepasst werden und sind daher in der Anwenderversion ausgeblendet. In die Eingabetabelle müssen vom Nutzer die Namen der Zuschlagskriterien in die Zellen C2 bis L2²³ eingetragen werden, wie in Abbildung 57 gezeigt. Da die Anwendung so angelegt ist, dass gefüllte Zellen erkannt werden, ist es zwingend erforderlich, die für die Vergabe heranzuziehenden Kriterien in den Zellen C2 bis L2 namentlich einzutragen. In den drei Zellen, die sich darunter befinden (C3 bis C5, ..., L3 bis L5) werden Angaben über die Art und die Gewichtung des jeweiligen Zuschlagskriteriums eingetragen. In den Zellen C3 bis L3 muss der Anwender die Vorgabe treffen, ob es sich bei dem Kriterium um ein *Kosten-* oder ein *Leistungskriterium* handelt. Gemäß der Definition aus Kap. 7.3.1 umfassen Kostenkriterien alle monetären Zuschlagskriterien, die z.B. in § 16d EU Abs. 2 VOB/A benannt sind (vgl. auch Kap. 3.2.4). Zudem muss in den Zellen C4 bis L4 über eine Dropdown-Auswahl angegeben werden, ob es sich um ein zu minimierendes (*Min*) oder ein zu maximierendes (*Max*) Zuschlagskriterium handelt. Im Unterschied zu existierenden DEA Berechnungstools (vgl. bspw. „EMS“ nach SCHEEL (2000), „DEAP“ nach COELLI ET AL. (2005) oder „DEA-Solver Software“ nach COOPER ET AL. (2007)) müssen bei dieser Excel-Anwendung nicht notwendigerweise sowohl zu minimierende als auch zu maximierende Zuschlagskriterien festgelegt werden. Es ist bspw. möglich, eine Effizienzanalyse mit zwei zu minimierenden Zuschlagskriterien und keinem zu maximierenden Zuschlagskriterien durchzuführen. Diese Möglichkeit muss für den hier beschriebenen Anwendungsfall gewährleistet sein. In den weiteren Abbildungen sind beispielhaft die

²³ Die angegebenen Zellbereiche beziehen sich immer auf eine Anzahl von zehn Zuschlagskriterien und 50 Bietern, also die maximal mit der Anwendung zu verarbeitenden Mengen. Bei einer geringeren Anzahl wird der angegebene Bereich nicht vollständig genutzt und Zellen bleiben leer. Wichtig ist die Nutzung der Zellen „von links nach rechts“ (bspw. C2, D2, E2,...) bzw. von „oben nach unten“ (bspw. B6, B7, B8,...).

Ein- und Ausgabemappen mit den Kriterienmengen nach NIEWERTH ET AL. (2017a) (siehe Anhang A-3) gefüllt.

| TEEA: Tender Evaluation using Efficiency Analysis | | | | | | | | | | |
|---|----------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|--|------------------------|--|--|--|--|
| | | Gewichtung mit AHP | | Grenzwerte für Zuschlagskriterien | | Effizienzwerte mit DEA | | | | |
| | | Preis | Bauzeit | Umweltschutzkonzept | | | | | | |
| | | Kostenkriterium | Leistungskriterium | Leistungskriterium | | | | | | |
| | | Min | Min | Max | | | | | | |
| | | 72% | 19% | 9% | | | | | | |
| Nr. | Angebote | | | | | | | | | |
| 1 | A1 | 35.985.005,00 | 30 | | | | | | | |
| 2 | A2 | 34.346.200,00 | 29 | | | | | | | |
| 3 | A3 | 36.413.140,00 | 30 | | | | | | | |
| 4 | A4 | 37.452.580,00 | 27 | | | | | | | |
| 5 | A5 | 35.962.407,00 | 29 | | | | | | | |
| 6 | A6 | 35.980.150,00 | 28 | | | | | | | |
| 7 | A7 | 36.745.020,00 | 28 | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | |

Abbildung 57: Excel-Anwendung – Mappe „Eingabe“

Nachdem alle Zuschlagskriterien definiert sind, kann die Gewichtung a_{xi} bzw. a_{yr} direkt in die Zellen C5 bis L5 eingegeben oder mithilfe des AHPs berechnet werden. Dieser Schritt muss, wie im Ablaufschema (Abbildung 56) beschrieben, bereits vor der Ausschreibung erfolgen. Über die Schaltfläche *Gewichtung mit AHP* (Abbildung 57) gelangt der Nutzer zur Eingabemaske für den paarweisen Vergleich der Zuschlagskriterien. Mithilfe des Eingabefelds in Abbildung 58 erfolgt der Paarvergleich durch die Festlegung der jeweiligen Bedeutungen der Kriterien zueinander. Alle Kriterien sind nacheinander, anhand der Paarvergleichsskala aus Tabelle 15, nach der in Kap. 6.4 erläuterten Systematik miteinander zu vergleichen. Die Ermittlung der Gewichtung in der Excel-Anwendung ist so angelegt, dass alle Paarvergleiche nacheinander durch das Betätigen der Schaltfläche *weiter* durchgeführt werden können. Über den *zurück*-Schalter können Änderungen in vormals angegebenen Paarvergleichen ggf. korrigiert werden.

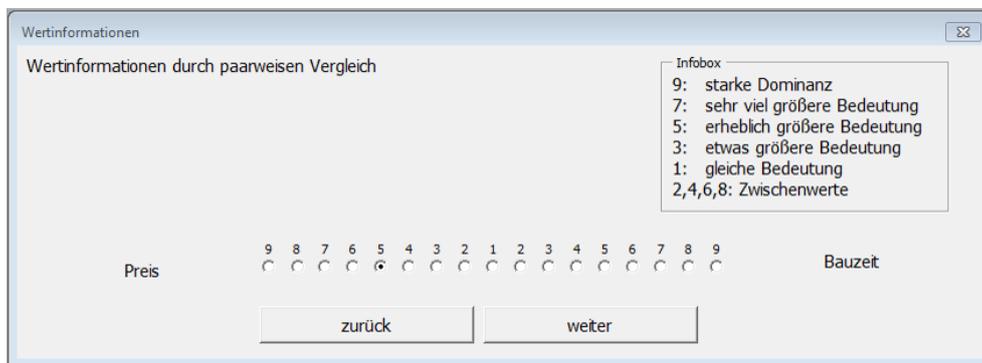


Abbildung 58: Excel Anwendung – Eingabemaske für den Befehl „Gewichtung mit AHP“

Sind alle Paarvergleiche abgeschlossen, kann die Evaluationsmatrix zur Dokumentation gespeichert werden. Hierzu erscheint das in Abbildung 59 gezeigte Hinweisfeld. Es verfügt über eine Schaltfläche zum Zurückkehren zum Paarvergleich (*zurück*), eine Taste *Evaluationsmatrix in Zwischenablage kopieren* sowie eine Schaltfläche zur Berechnung der Gewichtung (*Wertinformationen berechnen*). Wird die Taste *Evaluationsmatrix in Zwischenablage kopieren*

vom Nutzer betätigt, befindet sich die Matrix mit allen eingegebenen Bedeutungen im Zwischenspeicher und kann bspw. in ein Word-Dokument eingefügt und abgespeichert werden. Diese Funktion ist für die nachvollziehbare Dokumentation von hoher Relevanz. Über die Taste *Wertinformationen berechnen* werden die Gewichte und somit die relativen Wertinformationen a_{xi} bzw. a_{yr} für jedes Zuschlagskriterium mithilfe des Näherungsverfahrens nach SAATY (1980) (vgl. Kap. 6.4) berechnet. Bei den auf diese Weise ermittelten Gewichten handelt es sich standardmäßig um Werte mit mehreren Nachkommastellen. Dies ist als Angabe in Ausschreibungsdokumenten jedoch unüblich. Eine ggf. erforderliche Auf- bzw. Abrundung der Werte zu einer Gesamtsumme aller relativen Wertinformationen von $\sum_{i=1}^m a_{xi} + \sum_{r=1}^s a_{yr} = 100\%$ kann durch den Nutzer selbstständig in den Feldern C5 bis L5 vorgenommen werden. Es wird darauf hingewiesen, dass die derzeitige Version der Excel-Anwendung nicht über eine Konsistenzprüfung verfügt. Diese Programmoption kann im Rahmen einer Programmerweiterung umgesetzt werden.

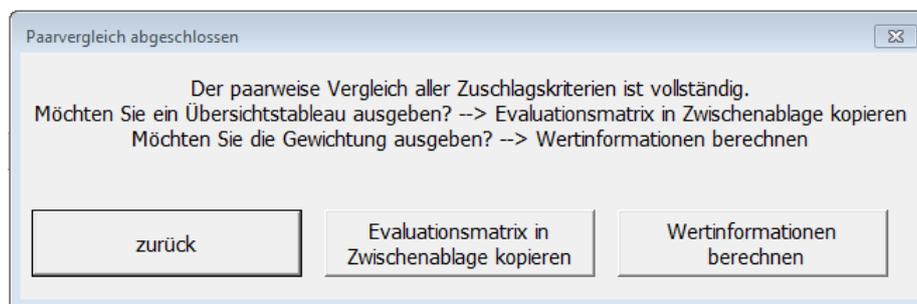


Abbildung 59: Excel-Anwendung – Hinweisfeld „Paarvergleich abgeschlossen“

Existieren bei der Angebotswertung begrenzte Zuschlagskriterien, können sie über die Schaltfläche *Grenzwerte für Zuschlagskriterien* (Abbildung 57) eingegeben werden. Durch das Betätigen der Schaltfläche öffnet sich das in Abbildung 60 dargestellte Eingabefeld. Hier können für alle Zuschlagskriterien entsprechende Ober- und/oder Untergrenzen eingetragen werden. Aufgrund der Nichtnegativität, die für die Kriterienwerte einer DEA gilt, sind die fiktiven Untergrenzen von Null Einheiten bereits voreingestellt. Der Wert kann vom Nutzer überschrieben werden, wenn spezifische Untergrenzen einzuhalten sind. So kann die Untergrenze für den Preis z.B. auf Grundlage der Unzulässigkeit unangemessen niedriger Preise festgelegt werden. Gemäß der in Kap. 3.4 genannten Rechtsprechung des OLGs Düsseldorf (OLG Düsseldorf, B. v. 25.04.2012 - VII-Verg 61/11) gilt ein Angebot als unangemessen niedrig, wenn die Differenz zum nächsthöheren Preis mehr als 20% beträgt. Der Auftraggeber kann somit ex post den geringsten Angebotspreis identifizieren und die Untergrenze auf den um 20% reduzierten Wert dieses niedrigsten Preises einstellen, wie es beispielhaft in Abbildung 60 erfolgt ist. Liegen für ein Kriterium keine Grenzwerte vor, so muss das entsprechende Eingabefeld leer bleiben.

Abbildung 60: Excel-Anwendung – Eingabefeld für die Grenzwerte der Zuschlagskriterien

Nach dem Ablauf der Angebotsfrist und der anschließenden Prüfung der Angebote mit der ggf. erforderlichen Ad hoc-Bewertung qualitativer Kriterien durch den Auftraggeber liegen die Kriterienmengen aller Bieter vor. In den Zellen B6 bis B55 (Abbildung 57) müssen die Namen der zur Wertung zugelassenen Bieter eingegeben werden, wie aus Abbildung 57 ersichtlich. Die vollständige Eingabe der Bieter ist ebenso wichtig wie die vollständige Eingabe der Kriterien, da die Anwendung gefüllte Zellen erkennt und nur diese weiterverarbeitet. Fehlt ein Bietername, wird die gesamte Zeile nicht berücksichtigt. Die Zellen C6 bis L55 sind reserviert für die jeweiligen Kriterienmengen $x_{j,i}$ bzw. $y_{j,r}$ aller $j=1, \dots, n$ Bieter und sind aus den Angeboten zu übertragen.

7.6.2 Berechnungsalgorithmus

Die Berechnung der Effizienzwerte und der Projektionen wird über den Button *Effizienzberechnung mit DEA*, der in Abbildung 57 abgebildet ist, gestartet. Alle der Berechnung zugrundeliegenden Bedingungen sind bereits im Solver²⁴ voreingestellt. Vom Nutzer sind keine weiteren Einstellungen erforderlich. Mithilfe des Solvers erfolgt die Durchführung des Simplex-Algorithmus zur Lösung der linearen Optimierungsaufgabe der Envelopment-Form des DEA-Modells gem. Tabelle 20.

Der Zellenbereich B63 bis I73 in der Mappe *Eingabe*, ersichtlich in Abbildung 61, ist für die Berechnung der technischen Effizienzwerte reserviert. In den Zellen C64 bis E73 sind die Ungleichungen (7.10-2) und (7.10-3) der DEA voreingestellt. In Abhängigkeit von der Optimierungsart eines Zuschlagkriteriums (min oder max) werden sie in die Zellen G64 bis G73 und I64 bis I73 übertragen. Der Nutzer muss keine Veränderungen durchführen. Die Fallunterscheidung für die Skalenertragsart in Anlehnung an die Gewichtung der Kostenkriterien erfolgt ebenfalls automatisiert im Solver. Die Ergebnisse TE_0 und λ_j werden nach dem Betätigen der

²⁴ Ob der Solver in Excel aktiviert ist, kann im Excel-Reiter „Daten“ eingesehen werden. Die Schaltfläche „Solver“ muss im Feld „Analyse“ sichtbar sein. Sollte Solver nicht aktiviert sein, ist zunächst über „Start“ → „Optionen“ → „Add-Ins“ → „Excel Add-Ins“ → „Los“ das Häkchen bei „Solver“ zu setzen und die Eingabe zu bestätigen.

Schaltfläche *Effizienzwerte mit DEA* automatisch in den Zellbereich B77 bis AZ126 geschrieben. Ein technischer Effizienzwert von $TE_0=0$, wie er in der Abbildung 61 für die Angebote A2, A4 und A5 resultiert, zeigt die technische Effizienz der DMUs an.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|----|------------------|-------------------------------------|----------------|------------------|------------------|---------------------|----------------|--------------------|----------------|
| 60 | | | | | | | | | |
| 61 | | | TE_0 | 0,040923287 | | | | | |
| 62 | | | | | | | | | |
| 63 | | Zuschlagskriterium | Reference Set | ZKmin Target Set | ZKmax Target Set | $\sum \lambda$ | 1 | Fallunterscheidung | 1 |
| 64 | | Preis | 36568459,89 | 36568459,89 | 36921580,11 | Preis | 36568459,89 | <= | 36568459,89 |
| 65 | | Bauzeit | 27,56922856 | 27,56922856 | 28,43077144 | Bauzeit | 27,56922856 | <= | 27,56922856 |
| 66 | | Umweltschutzkonzept | 8 | 6,09059363 | 7,90940637 | Umweltschutzkonzept | 7,90940637 | <= | 8 |
| 67 | | | 0 | 0 | 0 | | | | |
| 68 | | | 0 | 0 | 0 | | | | |
| 69 | | | 0 | 0 | 0 | | | | |
| 70 | | | 0 | 0 | 0 | | | | |
| 71 | | | 0 | 0 | 0 | | | | |
| 72 | | | 0 | 0 | 0 | | | | |
| 73 | | | 0 | 0 | 0 | | | | |
| 74 | | | DMU_0: | 7 | | | | | |
| 75 | | Ergebnismatrix technische Effizienz | | | | | | | |
| 76 | λ_{DMU0} | TE_0 | λ_{A1} | λ_{A2} | λ_{A3} | λ_{A4} | λ_{A5} | λ_{A6} | λ_{A7} |
| 77 | 0 | 0,037 | 0 | 0,085582622 | 0 | 0 | 0,914417378 | 0 | 0 |
| 78 | 0,2846 | 0,000 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1,11022E-16 | 0 |
| 79 | 0 | 0,115 | 0 | 0,12257881 | 0 | 0 | 0,103456811 | 0,773964379 | 0 |
| 80 | 0,7154 | 0,000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 81 | 0 | 0,000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 82 | 0 | 0,004 | 0 | 0,479430069 | 0 | 0 | 0,520569931 | 0 | 0 |
| 83 | 0 | 0,041 | 0 | 0,284614281 | 0 | 0 | 0,715385719 | 0 | 0 |
| 84 | 0 | | | | | | | | |
| 85 | 0 | | | | | | | | |
| 86 | 0 | | | | | | | | |
| 87 | 0 | | | | | | | | |
| 88 | 0 | | | | | | | | |
| 89 | 0 | | | | | | | | |
| 90 | 0 | | | | | | | | |
| 91 | 0 | | | | | | | | |
| 92 | 0 | | | | | | | | |

Abbildung 61: Excel-Anwendung – Berechnung der technischen Effizienzwerte und Referenzvektoren

Die gesamte DEA-Routine wird in der Anwendung automatisch dreimal hintereinander durchlaufen. Die erste Schleife ist, wie erläutert, erforderlich, um zunächst die technisch effizienten Angebote zu ermitteln und aus den Kriterienmengen dieser Angebote die absoluten Wertinformationen w_{yr}, w_{xi} der Gewinnfunktion und die Richtungsvektoren d_{yr}, d_{xi} der Distanzfunktion einzustellen. Vor dem Start des zweiten Berechnungsdurchgangs sind die technisch effizienten Angebote in der Mappe *DEA_Rechner* in den Zellen B55 bis K55 hinterlegt und die Distanzfunktion ist für die endgültige Berechnung der Effizienzwerte korrekt eingestellt. Nach der Berechnung ergibt sich aus der Multiplikation der Wertinformation mit den Kriterienmengen der technisch effizienten Angebote der maximale Gewinnfunktionswert $p(w_{yr}, w_{xi})$ gem. (6.3); dieser wird in der Mappe *DEA_Rechner* in Zelle V55 ausgegeben. Er geht gem. (7.8) bzw. (7.9) in die Berechnung der Nerlove'schen Effizienzwerte für alle $j=1, \dots, n$ Angebote ein. In der dritten Routine erfolgt die Korrektur der Projektionen auf der Randfunktion für begrenzte Zuschlagskriterien. Die Anpassung der Projektionen auf der Gewinnfunktion mit nicht-radialen Effizienzwerten erfordert auch die Korrektur der Projektionen auf der Randfunktion, weshalb die dritte Berechnung mit individuellen Distanzfunktionen für alle DMU_j durchlaufen wird.

7.6.3 Ergebnisauswertung

Die Ergebnisauswertung erfolgt in den Mappen *Effizienzwerte* und *Projektionen*. In der Mappe *Effizienzwerte* werden die Nerlove'schen Effizienzwerte für alle DMU_j in den Zellen E4 bis E53 berechnet. In den Zellen F4 bis F53 wird die Rangfolge für die Zuschlagsentscheidung ausgegeben. Der technische Effizienzwert wird aus der *Eingabe*-Mappe übertragen und die alloka-tive Effizienz ergibt sich aus der Subtraktion von NE_0 und TE_0 . Auf der Grundlage dieser Effizienzwerte und der radialen bzw. der für begrenzte Kriterien angepassten Distanzfunktionen ergeben sich die Projektionen auf der Rand- und der Gewinnfunktion.

In der Mappe *Projektionen o. Kriteriengrenze*, die in der Anwenderversion ausgeblendet ist, erfolgt die Berechnung anhand der radialen Nerlove'schen Effizienzwerte. Die Projektionen, die in dieser Mappe ausgegeben werden, sind ohne die Berücksichtigung der Grenzwerte für die Zuschlagskriterien ermittelt worden. Sie können daher ggf. zu nicht realisierbaren Kriterienmengen führen. Werte außerhalb der definierten Ober- und Untergrenzen werden in der Mappe farblich hervorgehoben, wenn Grenzwerte für Zuschlagskriterien festgelegt sind. In der Mappe *Projektionen* werden die realisierbaren Projektionen unter Berücksichtigung der Grenzwerte berechnet. Die Zellen C4 bis L53 in der Mappe *Projektionen* (Abbildung 62) sind für die Kriterienmengen der Projektionen auf der Randfunktion $x_{0,i}$ bzw. $y_{0,r}$ und die Zellen M4 bis V53 für die Kriterienmengen von den Projektionen auf die Gewinnfunktion $x_{0,i}$ bzw. $y_{0,r}$ vorgegeben. Aus den Projektionen wird das absolute und das relative Verbesserungspotenzial als Differenzen der Kriterienmengen einer DMU₀ und der Projektion auf der Gewinn- und Randfunktion in den Zellbereichen E57 bis X159 ausgegeben. Das Verbesserungspotenzial geht ebenfalls aus Abbildung 62 hervor. Die Berechnung realisierbarer Projektionen auf der Gewinnfunktion erfolgt, nachdem in der Mappe *DEA_Rechner* überprüft wurde, ob alle Grenzwerte eingehalten sind. Alle an die Grenzwerte angepassten Kriterienmengen werden farblich hervorgehoben. Infolgedessen werden auch das absolute und das relative Verbesserungspotenzial farblich hinterlegt. Für die Korrektur der Projektionen auf der Randfunktion befinden sich im Bereich A165 bis AZ231 in der Mappe *Projektionen* (Abbildung 62) Voreinstellungen für den dritten Durchlauf der DEA-Routine. Die hinterlegten Formeln dienen der Neuberechnung der technischen Effizienzwerte für die individuellen Distanzfunktionen. Der Nutzer muss auch hier keine Anpassungen vornehmen. Die Routine startet automatisch mit der Betätigung des Schalters *Effizienzwerte mit DEA* aus der *Eingabe-Mappe*.

| TEEA: Tender Evaluation using Efficiency Analysis | | | | | | | | | | |
|--|---|---------------|-------------|--------------|---|---------------|---------|--------------|---------|--|
| An Grenzwerte angepasste Projektionen auf der Randfunktion | | | | | | | | | | |
| # | Nr. Angebot | Preis | Bauzeit | Umweltschutz | | Preis | Bauzeit | Umweltschutz | | |
| 4 | 1 A1 | 35.571.341,85 | 28,93 | 3,00 | | 35.454.616,46 | 27,37 | 0,00 | | |
| 5 | 2 A2 | 34.346.200,00 | 29,00 | 8,00 | | 34.346.200,00 | 29,00 | 8,00 | | |
| 6 | 3 A3 | 36.850.819,26 | 28,75 | 8,95 | | 36.368.883,38 | 27,45 | 10,00 | | |
| 7 | 4 A4 | 37.452.550,00 | 27,00 | 0,00 | | 36.503.408,33 | 24,69 | 10,00 | | |
| 8 | 5 A5 | 35.962.407,00 | 29,00 | 10,00 | | 35.948.452,25 | 27,50 | 10,00 | | |
| 9 | 6 A6 | 35.963.288,02 | 27,96 | 7,05 | | 35.507.405,94 | 26,85 | 0,45 | | |
| 10 | 7 A7 | 35.348.235,74 | 27,03 | 4,45 | | 35.344.533,54 | 26,05 | 10,00 | | |
| An Grenzwerte angepasste Projektion auf Gewinnfunktion (NE _{1,r} bzw. NE _{2,r}) | | | | | | | | | | |
| 95 | weitere Möglichkeiten der Datenausgabe: | | | | | | | | | |
| absoluter Abstand vom Angebot bis zur Projektion auf der Randfunktion | | | | | absoluter Abstand vom Angebot bis zur angepassten Projektion auf der Gewinnfunktion | | | | | |
| 96 | # | Nr. Angebot | Preis | Bauzeit | Umweltschutz | Preis | Bauzeit | Umweltschutz | Konzept | |
| 97 | 1 | A1 | -413.663,85 | 0,00 | 0,00 | -533.988,94 | 0,00 | 0,00 | 3,00 | |
| 98 | 2 | A2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| 99 | 3 | A3 | -520.326,76 | -0,27 | 1,95 | -1044.255,04 | -2,55 | 3,00 | 0,00 | |
| 100 | 4 | A4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -943.171,67 | -2,32 | 2,00 | 0,00 | |
| 101 | 5 | A5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -613.954,75 | -1,50 | 0,00 | 0,00 | |
| 102 | 6 | A6 | -16.891,39 | -0,04 | 0,02 | -472.743,05 | -1,15 | 2,43 | 0,00 | |
| 103 | 7 | A7 | -336.769,26 | -0,97 | 1,84 | -600.326,48 | -1,59 | 3,00 | 0,00 | |
| 104 | 8 | | | | | | | | | |
| 105 | 9 | | | | | | | | | |
| 106 | 10 | | | | | | | | | |
| 107 | 11 | | | | | | | | | |
| relativer Abstand [%] vom Angebot bis zur Projektion auf der Randfunktion | | | | | relativer Abstand [%] vom Angebot bis zur angepassten Projektion auf der Gewinnfunktion | | | | | |
| 108 | # | Nr. Angebot | Preis | Bauzeit | Umweltschutz | Preis | Bauzeit | Umweltschutz | Konzept | |
| 109 | 1 | A1 | -1,15% | -3,38% | 5,54% | -2,37% | -8,75% | 11,19% | 0,00% | |
| 110 | 2 | A2 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | |
| 111 | 3 | A3 | -1,43% | -0,93% | 21,39% | -2,87% | -8,69% | 42,89% | 0,00% | |
| 112 | 4 | A4 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | -2,53% | -8,58% | 25,00% | 0,00% | |
| 113 | 5 | A5 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | -1,76% | -5,79% | 0,00% | 0,00% | |
| 114 | 6 | A6 | -0,05% | -0,15% | 1,54% | -1,31% | -4,12% | 34,79% | 0,00% | |
| 115 | 7 | A7 | -1,05% | -3,47% | 21,35% | -2,35% | -8,97% | 42,88% | 0,00% | |
| 116 | 8 | | | | | | | | | |
| 117 | 9 | | | | | | | | | |
| 118 | 10 | | | | | | | | | |
| 119 | 11 | | | | | | | | | |

Abbildung 62: Excel Anwendung: Mappe Projektionen

Wichtig ist die vollständige Dateneingabe vor der Durchführung der Berechnung. Hinsichtlich der Gewichtung mithilfe des AHPs muss der Nutzer mit dem Ablauf des paarweisen Kriterienvergleichs und der Paarvergleichsskala vertraut sein. Auch KAMARIANAKIS (2013) beschreibt

im Rahmen seiner Modellbewertung, dass nicht nur die „intensive Betrachtung der Randbedingungen, sondern auch ein gutes Handling mit den einzelnen AHP-Werten [erforderlich ist]. Bereits die Nutzung eines nächsthöheren AHP-Wertes [Anm. d. Autors: hier als „Bedeutung“ bezeichnet] kann [...] das Ergebnis beeinflussen.“

7.7 Überprüfung des Modells

7.7.1 Verifizierung

Die Fehlerfreiheit der Ergebnisse von den Effizienzwerten und den Projektionen in der Excel-Anwendung wird im Folgenden verifiziert und auf Plausibilität überprüft. Die Projektionen auf der Randfunktion, ermittelt gem. (7.11) bzw. (7.12), und die Projektionen auf der Gewinnfunktion, ermittelt gem. (7.13) bzw. (7.14), resultieren aus den Effizienzwerten TE_0 bzw. NE_0 . Wenn also sichergestellt werden kann, dass die Projektionen korrekt sind, dann müssen auch die Effizienzwerte in der Anwendung richtig berechnet worden sein. Die Projektionen als finales Ergebnis des Berechnungsalgorithmus werden daher zur Verifizierung herangezogen.

Die erfolgreiche Umsetzung der entwickelten Berechnungsschritte kann sowohl rechnerisch als auch grafisch aufgezeigt werden. Zunächst wird überprüft, ob die Projektionen auf der Gewinnfunktion in einer Ebene liegen. Grafisch wird hierzu auf das von NIEWERTH ET AL. (2017a) beschriebene Zahlenbeispiel zurückgegriffen. Dazu werden die Kriterienmengen der sieben Angebote, die auch im Anhang A-3 angegeben sind, in die *Eingabe* der Excel-Anwendung eingegeben und die Berechnung durchgeführt. Um zu verifizieren, dass die Projektionen auf der Gewinnfunktion in einer Vektorebene liegen, werden die ausgegebenen Kriterienmengen der Projektionen auf der Gewinnfunktion $x_{0,i}$ und $y_{0,r}$ in das Programm MATLAB® übertragen. Hier kann mithilfe des „Curve Fitting Tools“ die Darstellung der Punkte auf der Gewinnfunktion in einem dreidimensionalen Koordinatensystem, wie in Abbildung 63, aufgetragen werden. Die korrekte Projektion zeigt sich daran, dass alle Projektionen in einer Ebene liegen, nämlich auf der Gewinnfunktion.

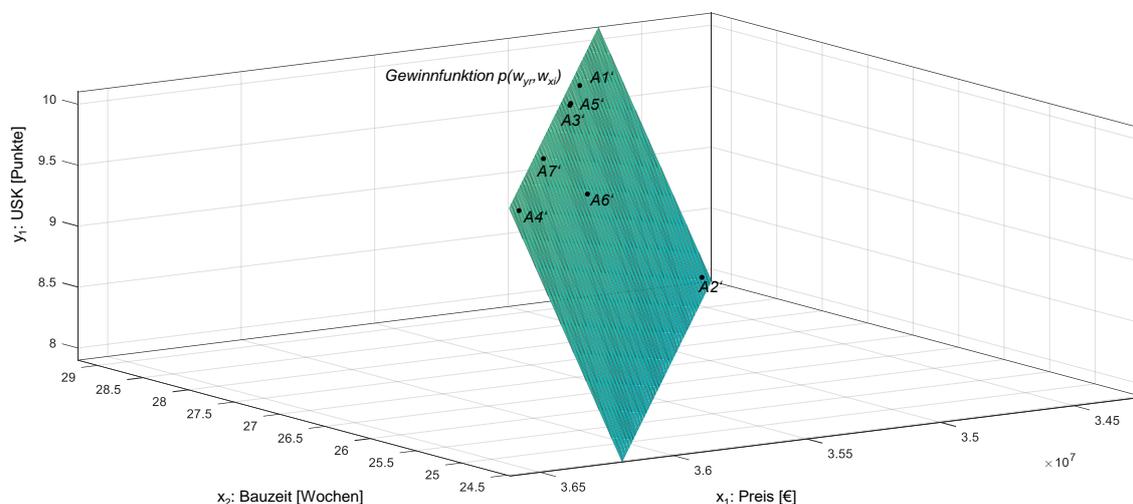


Abbildung 63: Grafische Verifizierung der Gewinnfunktion in MATLAB anhand des Anwendungsbeispiels nach NIEWERTH ET AL. (2017a)

Darüber hinaus können die Ergebnisse rechnerisch nachgewiesen werden, indem die Mengen $x_{0,i}$ bzw. $y_{0,r}$ der Projektionen mit den absoluten Wertinformationen w_{xi} bzw. w_{yr} multipliziert und die gewichteten Inputs von den gewichteten Outputs subtrahiert werden, wie in Gleichung (6.1). Da es sich bei der Gewinnfunktion um eine Iso-Ebene handelt, müssen alle Punkte auf der Ebene denselben Gewinnfunktionswert $p(w_{yr}, w_{xi})$ aufweisen. Es ergibt sich für die Projektionen derselbe Gewinn wie für das wirtschaftlichste Angebot, das Nerlove'sche Effizienz ($NE_0=0$) besitzt. Da die Projektionen von dem Nerlove'schen Effizienzwert abgeleitet werden, müssen die Effizienzwerte NE_0 ebenfalls richtig sein.

Die Überprüfung auf technische Effizienz erfolgt gleichermaßen, jedoch über die an die Grenzwerte angepassten Projektionen auf der Randfunktion. Grafisch kann ebenfalls gezeigt werden, dass die Projektionen Teil des effizienten Rands sind. Zur grafischen Darstellung werden die Kriterienmengen $x_{j,i}$ bzw. $y_{j,r}$ des Zahlenbeispiels nach NIEWERTH ET AL. (2017a) und alle Projektionen $x_{j',i}$ und $y_{j',r}$ in Form von x-, y- und z-Koordinatenpunkten in ein Programm mit einer 3D-Grafikausgabe eingegeben. Die drei Seitenansichten der Randfunktion sind in Abbildung 64 gezeigt. Grafisch kann auch hier nachvollzogen werden, dass die Projektionen auf der Randfunktion korrekt berechnet werden, da sie auf den abschnittswise linearen Vektorebenen, die von den technisch effizienten DMUs aufgespannt werden, liegen. Der Oberflächenplot liegt der Arbeit auch als 3D-PDF auf Datenträger bei.

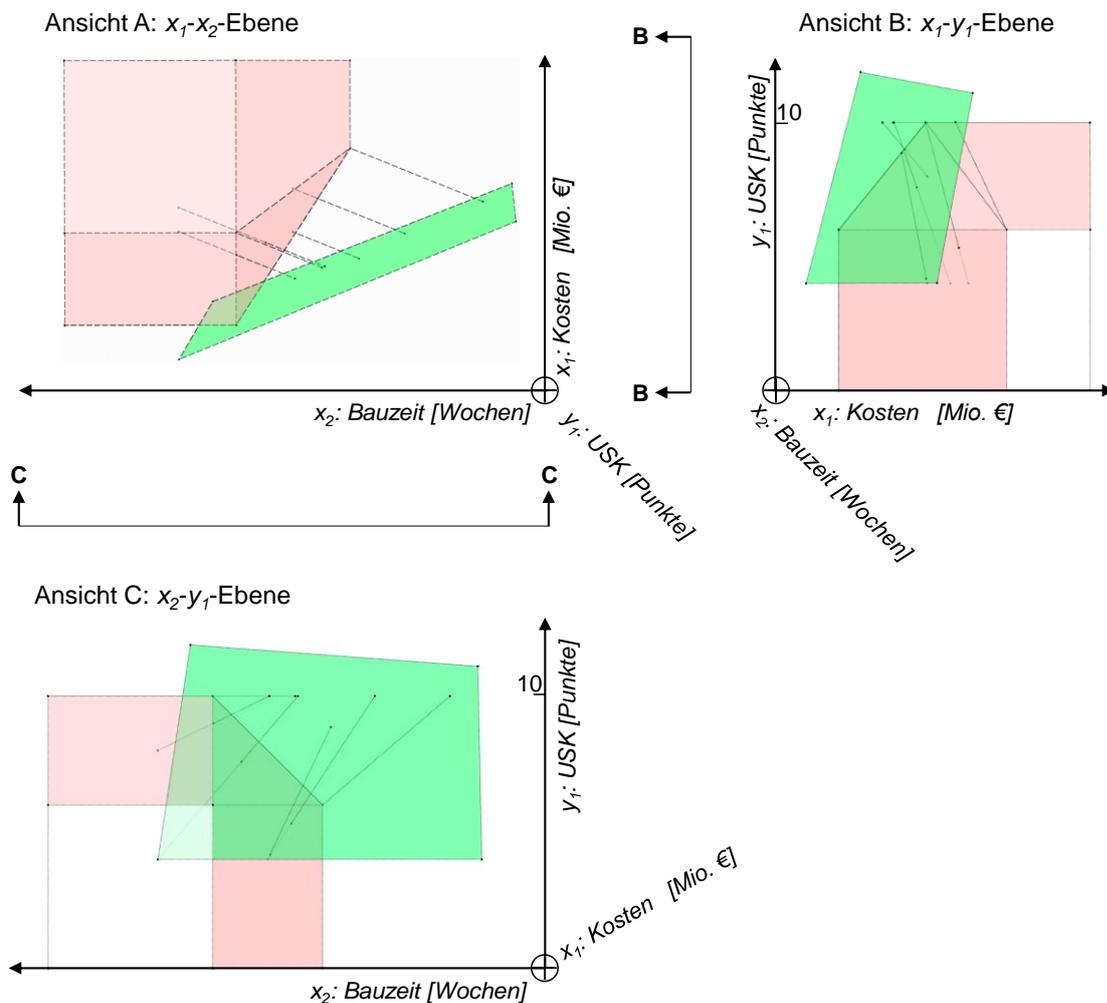


Abbildung 64: Grafische Verifizierung der Projektionen auf der Randfunktion

Die rechnerische Verifizierung der Projektionen auf der Randfunktion erfolgt ebenfalls mithilfe der Excel-Anwendung. Werden die Projektionen auf der Randfunktion aus der Mappe *Projektionen* in die Mappe *Eingabe* übertragen, so müssen alle DMUs nach einer erneuten Effizienzwertberechnung einen technischen Effizienzwert von $TE_0=0$ aufweisen, da alle Projektionen auf dem effizienten Rand liegen. Auch diese Testrechnung führt zu einem erfolgreichen Ergebnis. Auch der AHP wurde mit bis zu zehn fiktiven Zuschlagskriterien überprüft und die ermittelte Gewichtung auf Plausibilität geprüft.

7.7.2 Randwertbetrachtung

Die Randwertbetrachtung verschiedener Testrechnungen mit variierenden Kriteriengewichten zeigt, dass für die relative Gewichtung a_{xi} bzw. a_{yr} ein Wertebereich existiert, der zu extremen Kriterienwerten der Projektionen auf der Gewinnfunktion $x_{0;i}$ bzw. $y_{0;r}$ führt. Diese Ergebnisse stellen sich ein, wenn die Gewichtung eines Kriteriums gegen Null strebt bzw. sehr klein gewählt wird. Der Effekt resultiert aus den Gleichungen (7.1) bzw. (7.2) und der Abhängigkeit der Distanzfunktion von der Gewinnfunktion. Strebt eine relative Gewichtung a_{xi} bzw. a_{yr} gegen Null, resultiert auch für die absoluten Gewichte w_{xi} bzw. w_{yr} ein Wert, der gegen Null strebt. Da die Richtungsvektoren der Distanzfunktion die Kehrwerte der absoluten Wertinformationen sind, streben d_{xi} bzw. d_{yr} gegen einen unendlichen Wert. In Abbildung 65 wird beispielhaft eine sehr kleine Gewichtung für das Kriterium x_1 eingegeben ($a_{x1}=0,001\%$). Dies führt aufgrund der reziproken Berechnung der Distanzfunktion zu einem hohen Richtungsvektor d_{x1} . Infolgedessen ergeben sich sehr niedrige, ggf. sogar negative Kriterienwerte für die Projektionen auf der Gewinnfunktion, wie grafisch in Abbildung 65 veranschaulicht.

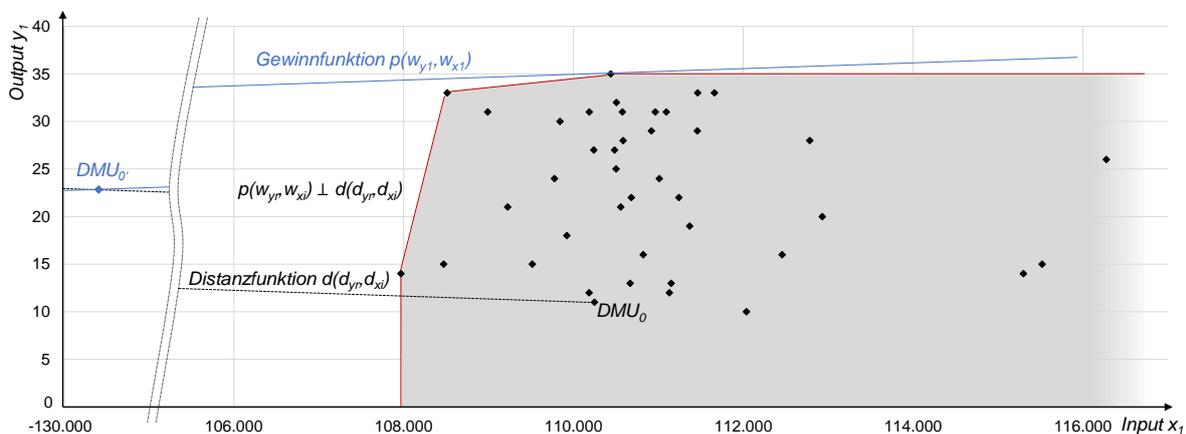


Abbildung 65: Randwertbetrachtung zur Ermittlung der Projektionen auf der Gewinnfunktion

Bei diesen Extremwerten der Projektionen handelt es sich um ein Randwertproblem, das mit Erhöhung der Kriteriengewichtung deutlich abfällt, wie in Abbildung 66 aufgezeigt wird. Eine Gewichtung von bspw. $a_{x1}=10\%$ für ein Kriterium x_1 führt bei der Effizienzanalyse mit dem Angebotswertungsmodell zu Projektionen $x_{0;i}$ bzw. $y_{0;r}$ mit einer für die Bieter verwertbaren Aussagekraft. Aufgrund der in Kap. 3.2.5 benannten Urteile zur „Alibifunktion“ von Kriterien treten bei der Anwendung des Angebotswertungsmodells keine Randwertprobleme auf, da der Auftraggeber gem. der geltenden Rechtsprechung keine Gewichtung der Leistungskriterien

mit weniger als 10% angeben darf (OLG Düsseldorf, B. v. 02.11.2011 – VII-Verg 22/11; BGH, U. v. 07.01.2014 – XZB 15/13). In dem zulässigen Gewichtungsbereich weist das Modell valide Ergebniswerte aus, wie Abbildung 66 zeigt. Um eine Überprüfung dieser Problematik zu ermöglichen, wurden mehrere Testrechnungen durchgeführt und das Verhältnis der angebotenen Kriterienmengen $x_{0,i}$ bzw. $y_{0,r}$ zu den Projektionen auf der Gewinnfunktion $x_{0',i}$ bzw. $y_{0',r}$ in der Abbildung 66 der relativen Gewichtung a_{xi} bzw. a_{yr} gegenübergestellt.

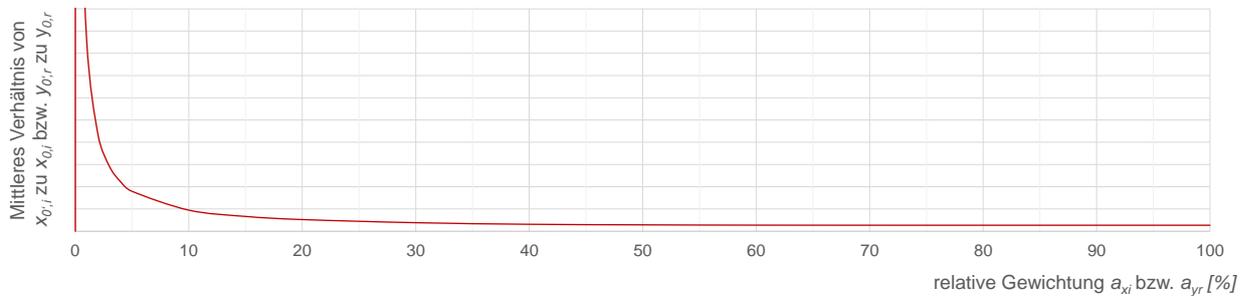


Abbildung 66: Verhältnis der Projektion auf der Gewinnfunktion und der DMU unter Variation der relativen Gewichtung

7.8 Fazit zum Angebotswertungsmodell

Mithilfe des entwickelten Angebotswertungsmodells und dessen Umsetzung in Form der Excel-Anwendung TEEA wurde ein Berechnungsverfahren entwickelt, um Effizienz in seiner Ausprägung als Nerlove'sche Effizienz als alternative Wertungskennzahl zum Preis-Leistungs-Verhältnis gem. § 127 Abs. 1 GWB zu ermitteln. Die Nutzung einer nicht-parametrischen, konvexen Randfunktion führt zu einem Wertungsansatz, der auf mikroökonomischen Grundsätzen basiert und zu einer wissenschaftlich fundierten Angebotswertung führt. Die Implementierung der vergaberechtlich erforderlichen Gewichtung des Auftraggebers durch das aufgezeigte Umrechnungskonzept führt zur Ableitung einer Gewinnfunktion $p(w_{yr}, w_{xi})$ und infolgedessen zu einer eindeutigen Rangfolge. Durch die Einführung einer anwendungsspezifischen Directional Distance Function $d(d_{yr}, d_{xi})$ als Normalenvektor der Gewinnfunktion, beschreibt der Effizienzwert NE_0 aus methodischer Sicht den direkten, radialen Weg zwischen dem aktuellen Gewinn einer DMU_0 und den für den Auftrag erforderlichen Gewinn.

Die in Kap. 3.5 benannten Anforderungen an das Angebotswertungsmodell können daher durch die entwickelte Methodik umgesetzt werden. So wird das benannte Ziel der ganzheitlichen Erfolgsmessung zur Ableitung einer Rangfolge durch die Kennzahl der Nerlove'schen Effizienz konzeptualisiert. Die kardinale Identifizierung von Leistungsdefiziten in einzelnen Zuschlagskriterien erfolgt durch die Aufschlüsselung der Nerlove'schen Effizienz in technische und allokativen Effizienz. Auf dieser Grundlage können die Projektionen auf der Rand- und Gewinnfunktion genutzt werden, um das Verbesserungspotenzial zu ermitteln. Durch dieses Vorgehen wird die Forderung unterstützt, alle Akteure in der Wertschöpfungskette hinsichtlich des Nutzens strategischer Ziele im Spannungsfeld mit ggf. höheren Investitionskosten zu sensibilisieren. Da der Berechnungsalgorithmus auf der wissenschaftlich fundierten Methodik der Data Envelopment Analysis basiert und zudem die Gewichtung mithilfe des Analytischen Hie-

rarchieprozesses erfolgt, wird das Ziel, die Zuschlagsentscheidung transparent und nachvollziehbar zu gestalten, ebenfalls erreicht. Die geforderte frühzeitige Definition strategischer Ziele liegt weniger im Kompetenzfeld einer Angebotswertungsmethodik als vielmehr im Handlungsbereich des Auftraggebers.

Die in Kap. 3.5 genannten Ziele resultierten auch aus den derzeit vorherrschenden methodischen Schwächen der gängigen Wertungsformeln, die bspw. BARTSCH UND VON GEHLEN (2015), KRAUS UND BRONNEN (2017) und NIEWERTH ET AL. (2017c) thematisieren. So wurde die Abhängigkeit zu irrelevanten Alternativen bei der Interpolationsmethode in Kap. 3.4 aufgeführt. Dieses als „*Flipping-Effekt*“ bezeichnete Phänomen des Rangfolgenwechsels von Angeboten aufgrund der Umrechnung von Preisen in Punkte ist das Resultat relativer Wertungsmethoden. Auch bei der DEA beeinflusst der Effizienzwert einer technisch effizienten DMU₀ die Effizienzwerte anderer DMUs. Die Unabhängigkeit der Wertungskennzahl wird somit auch mit diesem Konzept nicht ausgeschlossen. Verglichen mit gängigen Wertungsformeln wird die Rangfolge bei der DEA jedoch weitaus weniger stark von untereinander abhängigen Werten belastet. Die von PARAMESH (1973) im Allgemeinen und von COOK UND KRESS (1990) im Speziellen für Effizienzanalysen benannte Unabhängigkeit zu irrelevanten Alternativen wird ausgeschlossen, da sich der Effizienzwert der zuschlagsrelevanten, technisch effizienten DMUs nicht durch technisch ineffiziente Angebote verändert. So beeinflussen zwar die technisch effizienten Angebote die Effizienzwerte der technisch ineffizienten Angebote, nicht aber umgekehrt. Jene Angebote, die also für den Auftragsgewinn in Frage kommen, bleiben unbeeinflusst.

Über die Gewichtung des Auftraggebers kann im Modell eine Rangfolge und infolgedessen die Zuschlagsentscheidung abgeleitet werden. Hierbei kommen grundsätzlich alle technisch effizienten Angebote für das Prädikat wirtschaftliches Angebot in Frage. Die Bedeutung der Gewichtung bleibt daher bei dem entwickelten Wertungsansatz von gleichermaßen hoher Bedeutung wie bei den gängigen Wertungsformeln. Damit dieser entscheidende Prozessschritt objektiviert wird, wurde der AHP als transparente Methodik aufgezeigt. Ein Auftraggeber kann das Konzept bspw. im Rahmen der TEEA-Anwendung nutzen und seine Entscheidung quantitativ in der Evaluationsmatrix dokumentieren. Die methodische Unterstützung wird insbesondere bei einer erhöhten Anzahl an Zuschlagskriterien empfohlen.

Die Normierung der Gewichtung ist bei den aktuellen Wertungsformeln eine methodische Schwachstelle, da die Bezugsgröße aus allen Angeboten ermittelt wird. Bei dem entwickelten Angebotswertungsmodell wird die Stärke der DEA genutzt, um eine Bezugsgröße ausschließlich aus den für den Auftragsgewinn in Frage kommenden Angeboten zu bilden. Zur Umrechnung der relativen Wertinformationen wird auf die Bandbreite der Kriterienmengen aller technisch effizienten Angebote zurückgegriffen. Diese Entwicklung ist ein wichtiger Vorteil gegenüber gängigen Wertungsformeln. Die Auswahl der Skalenerträge ist dabei ein wesentlicher Schritt zur Abbildung der Präferenzen des Auftraggebers.

Eine weitere Neuentwicklung gegenüber den gängigen Wertungsformeln ist die Ermittlung des Verbesserungspotenzials unterlegener Bieter. Der Wettbewerb um Aufträge ist ein Prozess, bei dem sich Bieter untereinander vergleichen lassen müssen. Bei öffentlichen Auftragsvergaben herrschen für alle Wettbewerber dieselben Voraussetzungen und die Bauaufgabe ist

ebenfalls für alle Prozessteilnehmer identisch. Durch das entwickelte Wertungsmodell kann dieser einheitliche Rahmen genutzt werden, um Informationen zur Leistungsfähigkeit im Vergleich zum Wettbewerb zu gewinnen. Je nach Auswahl der Zuschlagskriterien durch den Auftraggeber findet ein Vergleich hinsichtlich der Leistungsfähigkeit in spezifischen Leistungsfeldern (bspw. Leistungsfeld: „Anwohnerbeeinträchtigung“ durch Bauzeitverkürzung, Leistungsfeld: „Umweltschutz“ durch Baustellenprozesskriterien etc.) statt. Die Quantifizierung von Leistungsdefiziten kann genutzt werden, um die Notwendigkeit zur Leistungssteigerung in einzelnen strategischen oder operativen Zielen festzustellen. Inwiefern die gewonnenen Erkenntnisse tatsächlich zu einem Umdenken bzw. einer Überarbeitung bestehender Bauausführungs- oder Baumanagementkonzepte führen wird, bleibt abzuwarten. Die Ableitung und Durchführung von Handlungsoptionen durch Bieter ist voraussichtlich davon abhängig, wie volatil Effizienzwerte sind. Erst das Erkennen eindeutiger Leistungsmuster in den verschiedenen Kriterien (bspw. immer ineffizient in Kriterien mit Bezug zur Ausführungsdauer) kann ein Anlass sein, um Veränderungen einzuleiten. Darüber hinaus wird die Weiterentwicklung der Baukonzepte voraussichtlich erst dann zunehmen, wenn Gewissheit darüber herrscht, dass die heute relevanten strategischen Ziele auch zukünftig von Bedeutung sind. Eine konsequente Ausrichtung des strategischen Entscheiders ist hierzu erforderlich.

8 Anwendungsbeispiel für die Angebotswertung einer Erneuerungsmaßnahme

In diesem Kapitel erfolgt die Validierung des Angebotswertungsmodells mithilfe eines Anwendungsbeispiels. Die Datengrundlage zum Projekt wurde in den Literaturquellen (COSTANTINO ET AL. 2011) und (FALAGARIO ET AL. 2012) veröffentlicht. Die Autoren beschreiben das Vergabeverfahren für eine Erneuerungsmaßnahme eines Universitätsgebäudes in Italien. Der öffentliche Auftraggeber hatte die Bauleistungen als wirtschaftliche Vergabe ausgeschrieben und neben dem Preis weitere Zuschlagskriterien definiert. Da die Autoren Rangfolgen für die Zuschlagserteilung veröffentlichen, die auf der Grundlage verschiedener Wertungsmethoden basieren, kann das entwickelte Angebotswertungsmodell mit den Ergebnissen verglichen und auf Plausibilität überprüft werden. Der Kapitelaufbau folgt der Darstellung in Abbildung 67.

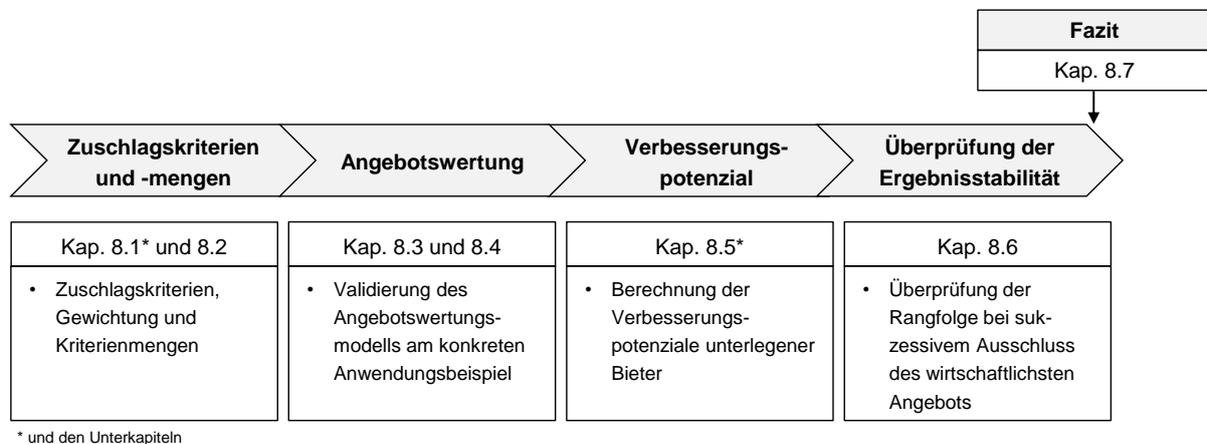


Abbildung 67: Kapitelaufbau zum Anwendungsbeispiel

8.1 Zuschlagskriterien

Für die Angebotswertung liegen einige Angaben über die auszuführenden Leistungen und die Rahmenbedingungen der Erneuerungsmaßnahme vor. Die wichtigsten Informationen für die vierte Stufe der Angebotsprüfung, die Angebotswertung mithilfe der Zuschlagskriterien, stehen zur Verfügung und werden in den nachfolgenden Unterkapiteln vorgestellt. Hierbei handelt es sich um Informationen über die abgefragten Zuschlagskriterien sowie deren Gewichtung.

8.1.1 Benennung der Kriterien und ihrer Maßeinheiten

Der öffentliche Auftraggeber definiert als Grundlage für eine wirtschaftliche Vergabe vier Zuschlagskriterien. Nach FALAGARIO ET AL. (2012) handelt es sich dabei um zwei Zuschlagskriterien mit einem Minimierungsziel (x_1 und x_2) und zwei Zuschlagskriterien mit einem Maximierungsziel (y_1 und y_2). Sie werden zusammen mit der mathematischen Notation, der englischen Bezeichnung nach FALAGARIO ET AL. (2012) und den Maßeinheiten aufgelistet.

- x_1 : Preis („*Price*“) [€]
- x_2 : Bauzeit („*Execution time*“) [Wochen]
- y_1 : Dauer Wartungsfreiheit nach Fertigstellung (i.F. Wartungsfreiheit) („*Post-delivery free maintenance*“) [Monate]
- y_2 : Verbesserung der Planung („*Enhancement plans*“) [Punkte]

Im Unterschied zu diesen Bezeichnungen verwenden COSTANTINO ET AL. (2011) für dasselbe Anwendungsbeispiel eine abweichende Definition für das Zuschlagskriterium Bauzeit. Die Autoren legen das Kriterium als Bauzeitverkürzung („*Reduction in execution time*“) aus. Aus diesem Unterschied resultiert eine Veränderung der Optimierungsaufgabe von Minimierung (Input) zu Maximierung (Output) sowie eine Veränderung der Kriterienwerte, basierend auf dem Berechnungsansatz: Bauzeitverkürzung = 35 Wochen – Bauzeit. Dabei wurden die 35 Wochen als maximale Ausführungsdauer vom Auftraggeber zuvor festgelegt. Für das entwickelte Angebotswertungsmodell erfolgt die Berechnung für beide Auslegungsvarianten des Kriteriums. Es wird untersucht, ob wesentliche Unterschiede aus dieser differenzierten Kriteriendefinition resultieren. Mit dem Leistungskriterium Wartungsfreiheit fragt der Auftraggeber verbindliche Zeitangaben zu einer, über die Gewährleistung hinausführenden, kostenlosen Wartung durch den Auftragnehmer ab. Das Kriterium Verbesserung der Planung wird durch eine Bewertungskommission des Auftraggebers auf einer Werteskala von null bis zehn Punkten ad hoc bewertet. Es handelt sich somit um ein begrenztes Kriterium. Hierzu gibt der Auftraggeber mit der Veröffentlichung der Ausschreibung ein Bewertungsschema, das von der Bewertungskommission als Entscheidungsgrundlage genutzt wird. Zusätzlich zu der Begrenzung im Kriterium Verbesserung der Planung gilt für alle anderen Kriterien ausschließlich die fiktive Untergrenze von null Einheiten und somit die Vorgabe der Nichtnegativität.

8.1.2 Gewichtung

In den Ausschreibungsdokumenten gibt der öffentliche Auftraggeber die folgende Gewichtung für die Zuschlagskriterien an:

- Preis: $a_{x1}=55\%$
- Bauzeit: $a_{x2}=15\%$
- Wartungsfreiheit: $a_{y1}=15\%$
- Verbesserung der Planung: $a_{y2}=15\%$

Die Differenzierung der Gewichtung für Kosten- und Leistungskriterien gemäß Kap. 7.3.1 führt zu einer Aufteilung von $a_K=55\%$ und $a_L=45\%$. Infolgedessen resultiert für die Struktureigenschaft des Angebotswertungsmodells die Skalenertragsart variable-return-to-scale, kurz VRS. Als technisch effizient können somit Angebote mit zunehmendem, konstantem und abnehmendem Skalenertrag gewertet werden.

Die Prozentwerte sind das Ergebnis einer direkten Gewichtung. Um den späteren Vergleich der Ergebnisse des Angebotswertungsmodells mit den Literaturwerten zu ermöglichen, soll die Gewichtung beibehalten werden. Die Durchführung des AHPs ist daher an dieser Stelle

AHPs in der Excel-Anwendung kann anhand des Anwendungsbeispiels nachgewiesen werden, da sich in der *Eingabe*-Mappe in *TEEA* die Gewichtung $a_{x1}=55\%$ und $a_{x2}=a_{y1}=a_{y2}=15\%$, die vom öffentlichen Auftraggeber verwendet wird, einstellt.

Die Interpretation des Paarvergleichs ergibt, dass der Auftraggeber dem Preis einen Zwischenwert zwischen einer „*etwas größeren Bedeutung*“ (3 Punkte) und einer „*erheblich größeren Bedeutung*“ (5 Punkte) nach SAATY (1980) beigemessen hat. Die Tendenz geht in Richtung der „*etwas größeren Bedeutung*“. Den anderen Kriterien wird eine „*gleiche Bedeutung*“ (1 Punkt) zugeteilt. Die Konsistenz der Evaluationsmatrix wird ebenfalls berechnet. Der maximale Eigenwert ergibt sich zu $\lambda_{max}=4$. Aus (6.5) folgt ein Konsistenzindex von $CI=0$ und somit eine Konsistenzrate gem. (6.6) von $CR=0/0,9=0$. Der Nachweis $CR<0,1$ ist für das Anwendungsbeispiel erfüllt.

8.2 Übersicht der eingereichten Angebote

Für die Auftragsvergabe hat sich eine Anzahl von $n=45$ Angeboten qualifiziert. FALAGARIO ET AL. (2012) erläutern, dass die hohe Anzahl an Angeboten bei öffentlichen Bauaufträgen mit einem verhältnismäßig geringen Auftragsvolumen in Italien gewöhnlich ist. Alle Angebote haben gemäß dem in Kap. 3.4 aufgezeigten Prüfungsverfahren die Stufe der Angebotswertung erreicht und sind somit aus vergaberechtlicher und aus methodischer Sicht in die Analyse einzubeziehen. In Tabelle 22 werden die anonymisierten Bieter in nummerierter Form (A_1, \dots, A_{45}) mit den jeweils angebotenen Kriterienmengen $x_{j,1}$ ²⁵, $x_{j,2}$ und $y_{j,1}$ sowie dem ad hoc bewerteten Zuschlagskriterium $y_{j,2}$ nach FALAGARIO ET AL. (2012) angegeben.

²⁵ Es wird darauf hingewiesen, dass die Preise in diesem Anwendungsbeispiel keine europaweite Vergabe erfordern. Für die Validierung des Angebotswertungsmodells können die Daten dennoch verwendet werden.

Tabelle 22: Quantifizierte Angebote des Anwendungsbeispiels

| Angebot | x_1 : Preis [€] | x_2 : Bauzeit [Wochen] | y_1 : Wartungs- freiheit [Monate] | y_2 : Verbesserung der Planung [Punkte] |
|---------|----------------------|-----------------------------|---|---|
| A1 | 110.238,11 | 27 | 48 | 8 |
| A2 | 110.963,63 | 31 | 9 | 9 |
| A3 | 109.514,93 | 15 | 29 | 1 |
| A4 | 110.484,45 | 27 | 15 | 9 |
| A5 | 110.681,87 | 22 | 22 | 6 |
| A6 | 111.092,92 | 31 | 29 | 1 |
| A7 | 112.930,37 | 20 | 50 | 3 |
| A8 | 112.783,38 | 28 | 6 | 5 |
| A9 | 131.714,23 | 19 | 108 | 10 |
| A10 | 109.920,87 | 18 | 113 | 10 |
| A11 | 110.821,52 | 16 | 59 | 2 |
| A12 | 109.775,89 | 24 | 59 | 10 |
| A13 | 108.511,70 | 33 | 41 | 10 |
| A14 | 111.457,61 | 29 | 108 | 5 |
| A15 | 111.127,97 | 12 | 44 | 8 |
| A16 | 108.990,13 | 31 | 13 | 1 |
| A17 | 115.299,67 | 14 | 94 | 4 |
| A18 | 111.242,01 | 22 | 47 | 9 |
| A19 | 112.036,06 | 10 | 29 | 8 |
| A20 | 111.461,96 | 33 | 48 | 10 |
| A21 | 111.009,58 | 24 | 12 | 7 |
| A22 | 110.504,87 | 32 | 16 | 0 |
| A23 | 110.247,06 | 11 | 113 | 8 |
| A24 | 110.438,76 | 35 | 120 | 9 |
| A25 | 112.457,83 | 16 | 69 | 7 |
| A26 | 108.469,71 | 15 | 7 | 8 |
| A27 | 110.667,84 | 13 | 28 | 7 |
| A28 | 111.660,57 | 33 | 42 | 4 |
| A29 | 110.500,76 | 25 | 99 | 7 |
| A30 | 110.918,29 | 29 | 0 | 2 |
| A31 | 115.520,49 | 15 | 5 | 7 |
| A32 | 119.535,68 | 24 | 20 | 0 |
| A33 | 110.183,27 | 12 | 78 | 3 |
| A34 | 109.839,68 | 30 | 88 | 0 |
| A35 | 110.583,74 | 28 | 78 | 1 |
| A36 | 110.186,17 | 31 | 54 | 8 |
| A37 | 125.075,21 | 32 | 66 | 7 |
| A38 | 111.151,44 | 13 | 36 | 3 |
| A39 | 109.224,97 | 21 | 89 | 10 |
| A40 | 110.556,28 | 21 | 23 | 0 |
| A41 | 110.575,67 | 31 | 82 | 4 |
| A42 | 107.967,74 | 14 | 22 | 4 |
| A43 | 111.367,66 | 19 | 44 | 8 |
| A44 | 116.276,03 | 26 | 75 | 8 |
| A45 | 118.868,15 | 22 | 94 | 2 |

8.3 Umrechnung der relativen Wertinformationen

Zur Ermittlung der Distanz- und der Gewinnfunktion werden die relativen Wertinformationen a_{x1} und a_{x2} gem. (7.1) sowie a_{y1} und a_{y2} gem. (7.2) durch die Bandbreite der Kriterienmengen der technisch effizienten Angebote dividiert. Hierzu werden die DMUs mit einem Effizienzwert von $TE_0=0$ in der ersten DEA-Routine mit einer vorläufigen nichtnegativen Distanzfunktion $d_{vorl}(d_{yr}>0, d_{xi}>0)$ ermittelt. Der Berechnung liegt gemäß der in Kap. 7.3.1 angegebenen Fallunterscheidung die Skalenertragsart VRS zugrunde. Es ergibt sich, dass elf der 45 Angebote technische Effizienz aufweisen und somit für das Prädikat wirtschaftliches Angebot in Frage kommen. Die Auflistung ist in Tabelle 23 aufgeführt und zeigt nochmals die Kriterienmengen, die zur Erzielung technischer Effizienz geführt haben. Die farblich hervorgehobenen Kriterienmengen markieren die jeweils besten Werte, die in einem Kriterium erzielt werden. So weist A42 z.B. den geringsten Preis und A19 die kürzeste und daher beste Bauzeit auf. Es wird angemerkt, dass es zur Erlangung technischer Effizienz nicht erforderlich ist, das Optimum in einem Kriterium aufzuweisen. Dies zeigt z.B. das Angebot A23.

Tabelle 23: Technisch effiziente Angebote des Anwendungsbeispiels

| Angebot | x ₁ : Preis [€] | x ₂ : Bauzeit [Wochen] | y ₁ : Wartungs- freiheit [Monate] | y ₂ : Verbesserung der Planung [Punkte] |
|---------|-------------------------------|--------------------------------------|--|--|
| A9 | 131.714,23 | 19 | 108 | 10 |
| A10 | 109.920,87 | 18 | 113 | 10 |
| A12 | 109.775,89 | 24 | 59 | 10 |
| A13 | 108.511,70 | 33 | 41 | 10 |
| A19 | 112.036,06 | 10 | 29 | 8 |
| A20 | 111.461,96 | 33 | 48 | 10 |
| A23 | 110.247,06 | 11 | 113 | 8 |
| A24 | 110.438,76 | 35 | 120 | 9 |
| A26 | 108.469,71 | 15 | 7 | 8 |
| A39 | 109.224,97 | 21 | 89 | 10 |
| A42 | 107.967,74 | 14 | 22 | 4 |

Weist ein Angebot die jeweils beste Menge in mindestens einem Zuschlagskriterien auf, führt dies dazu, dass das Angebot technische Effizienz erlangt. Schlechte Kriterienmengen in den übrigen Kriterien verhindern dies nicht. So besitzt Angebot A9 die höchste Menge und somit den besten Wert im Kriterium Verbesserung der Planung ($y_{A9,2}=10$ Punkte), aber auch den schlechtesten Wert im Zuschlagskriterium Preis ($x_{A9,1}=131.714,23$ €). Gleichermäßen beinhaltet das Angebot A24 den besten Wert im Kriterium Wartungsfreiheit ($y_{A24,1}=120$ Monate) und zugleich den schlechtesten Wert in der Bauzeit ($x_{A24,2}=35$ Wochen). Grundsätzlich muss ein Angebot zur Erzielung technischer Effizienz aber nicht die beste Kriterienmenge in einem Kriterium besitzen. So sind auch die Angebote A23 und A26, obwohl sie in keinem Zuschlagskriterium ein Optimum aufweisen, technisch effizient.

Alle Angebote der Tabelle 23 kommen für die Zuschlagserteilung in Betracht; dies bedeutet jedoch nicht, dass sie unbedingt die vordersten Plätze in der endgültigen Rangfolge belegen müssen. Auch ein technisch ineffizientes Angebot kann bis zum zweiten Rang aufsteigen. Für

die Umrechnung der Wertinformationen werden jedoch nur diese technisch effizienten Angebote herangezogen. Mithilfe der Bandbreite in den einzelnen Zuschlagskriterien $\max(x_{j,i}^{TE})$, $\min(x_{j,i}^{TE})$, $\max(y_{j,r}^{TE})$ und $\min(y_{j,r}^{TE})$ werden die relativen Gewichte a_{xi} bzw. a_{yr} in die absoluten Wertinformationen w_{xi} bzw. w_{yr} umgerechnet. Die minimalen und die maximalen Kriterienmengen der technisch effizienten Angebote für alle Zuschlagskriterien mit der Angabe der Herkunft, sind in Tabelle 24 angegeben.

Tabelle 24: Minimale und maximale Kriterienmengen der technisch effizienten Angebote

| Zuschlagskriterium | Bandbreite | Wert aus Angebot |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| Preis [€] | min: 107.967,74 | A42 |
| | max: 131.714,23 | A9 |
| Bauzeit [Wo] | min: 10 | A19 |
| | max: 35 | A24 |
| Wartungsfreiheit [Mon] | min: 7 | A26 |
| | max: 120 | A24 |
| Verbesserung der Planung [Pkt] | min: 4 | A42 |
| | max: 10 | A9, A10, A12, A13, A20, A39 |

Für die einzelnen Kriterien ergeben sich die Wertinformationen nach (7.1) sowie nach (7.2) zu:

$$\text{Preis: } w_{x1} = \frac{a_{x1}}{\max(x_{A9,1}^{TE}) - \min(x_{A42,1}^{TE})} = \frac{0,55}{131.714,23 - 107.967,74} = 2,316 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{€}}$$

$$\text{Bauzeit: } w_{x2} = \frac{a_{x2}}{\max(x_{A24,2}^{TE}) - \min(x_{A19,2}^{TE})} = \frac{0,15}{35 - 10} = 6 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{Wochen}}$$

$$\text{Wartungsfreiheit: } w_{y1} = \frac{a_{y1}}{\max(y_{A24,1}^{TE}) - \min(y_{A26,1}^{TE})} = \frac{0,15}{120 - 7} = 1,327 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{Monate}}$$

$$\text{Verb. Planung: } w_{y2} = \frac{a_{y2}}{\max(x_{A9,2}^{TE}) - \min(x_{A42,2}^{TE})} = \frac{0,15}{10 - 4} = 2,5 \cdot 10^{-2} \frac{1}{\text{Punkte}}$$

Aus den Werten ergibt sich schließlich die Neigung der Gewinnfunktion. Durch die Multiplikation der Kriterienmengen mit diesen absoluten Wertinformationen resultiert der aktuelle Gewinn jeder DMU_j. Mit Bezug zu Gleichung (6.1) drückt $c(A)$ die zu minimierenden Zuschlagskriterien und $r(A)$ die zu maximierenden Zuschlagskriterien aus. Aufgrund des Optimierungsziels der Zuschlagskriterien erhalten die Inputs somit negative und die Outputs positive Vorzeichen für die Berechnung des Gewinns. Beispielhaft wird der aktuelle Gewinn des Angebots A9 nachfolgend berechnet. Die Angaben zu allen Gewinnen der technisch effizienten DMUs finden sich in Tabelle 25. Den höchsten Gewinn (Supremum) erzielt das Angebot A10. Der Wert ist in Tabelle 25 farblich hervorgehoben. Dieser Wert beschreibt den Gewinnfunktionswert $p(w_{yr}, w_{xi})$ gem. (6.3). Die Negativität der Werte ergibt sich aus der vergleichsweise starken Gewichtung der Inputs (Kosten und Bauzeit) gegenüber den Outputs (Wartungsfreiheit und Verbesserung der Planung). Bei einer gleichmäßigen Verteilung der Inputs und Outputs (z.B. alle vier Kriterien jeweils 25%) würden sich für den Gewinn der Angebote Werte im Bereich um 0,000 ergeben.

$$\begin{aligned}
p(A) &= r(A) - c(A) \\
&= y_{A9,1} w_{y1} + y_{A9,2} w_{y2} - x_{A9,1} w_{x1} - x_{A9,2} w_{x2} \\
&= 108 \text{ Monate} \cdot 1,327 \cdot 10^{-3} \text{ 1/Monate} + 10 \text{ Punkte} \cdot 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ 1/Punkte} \\
&\quad - 131.714,23 \text{ €} \cdot 2,316 \cdot 10^{-5} \text{ 1/€} - 19 \text{ Wochen} \cdot 6 \cdot 10^{-3} \text{ 1/Wochen} \\
&= 0,143 + 0,25 - 3,051 - 0,114 \\
&= -2,771
\end{aligned}$$

Tabelle 25: Gewinn der technisch effizienten Angebote

| Angebot | gewichteter (gew.) Preis | gew. Bauzeit | gew. Wartungs- freiheit | gew. Verbesse- rung d. Planung | aktueller Gewinn |
|---------|-----------------------------|--------------|----------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| A9 | 3,051 | 0,114 | 0,143 | 0,250 | -2,771 |
| A10 | 2,546 | 0,108 | 0,150 | 0,250 | -2,254 |
| A12 | 2,543 | 0,144 | 0,078 | 0,250 | -2,358 |
| A13 | 2,513 | 0,198 | 0,054 | 0,250 | -2,407 |
| A19 | 2,595 | 0,060 | 0,038 | 0,200 | -2,416 |
| A20 | 2,582 | 0,198 | 0,064 | 0,250 | -2,464 |
| A23 | 2,553 | 0,066 | 0,150 | 0,200 | -2,269 |
| A24 | 2,558 | 0,210 | 0,159 | 0,225 | -2,384 |
| A26 | 2,512 | 0,090 | 0,009 | 0,200 | -2,393 |
| A39 | 2,530 | 0,126 | 0,118 | 0,250 | -2,288 |
| A42 | 2,501 | 0,084 | 0,029 | 0,100 | -2,455 |

Die DMU mit dem höchsten Gewinnfunktionswert ist, vektoriell betrachtet, der Stützvektor der Gewinnfunktion. Diese DMU bildet somit den Tangentialpunkt von der Rand- und der Gewinnfunktion. Für das Anwendungsbeispiel ergibt sich, dass Angebot A10 sowohl auf der Gewinnfunktion als auch auf der Randfunktion liegt und somit Nerlove'sche Effizienz aufweist. Mithilfe der vollständigen Angaben über die Gewinnfunktion kann die Nerlove'sche Effizienz und hieraus resultierend die Rangfolge für alle $n=45$ Angebote berechnet werden.

8.4 Berechnung der Effizienzwerte und Ableitung der Rangfolge

Die Nerlove'sche Effizienz im Angebotsbewertungsmodell wird gem. (7.8) bzw. (7.9) berechnet. Für die Vergabe auf der Grundlage der $m=2$ zu minimierenden und $s=2$ zu maximierenden Zuschlagskriterien und der Daten nach Falagario et al. (2012) ergibt sich die Rangfolge in Tabelle 26. In der Tabelle werden, zusätzlich zu den Nerlove'schen Effizienzwerten NE_0 , die Effizienzwerte nach der Aufschlüsselung in die technische und die alloкатive Effizienz angegeben. Die technischen Effizienzwerte resultieren aus dem DEA-Modell in Tabelle 20. Die Fallunterscheidung zur Skalenertragsart führt dazu, dass die Nebenbedingung für variable Skalenerträge (7.10-5-2) für die Lösung der Optimierungsaufgabe berücksichtigt wird. Zudem erfolgt die Berechnung auf Grundlage der Distanzfunktion gemäß (7.5). Die Richtungsvektoren d_{xi} bzw. d_{yr} resultieren aus den absoluten Wertinformationen w_{xi} bzw. w_{yr} . Die alloкатive Effizienz ergibt sich aus der Differenz der beiden Effizienzwerte, $AE_0 = NE_0 - TE_0$.

Kosten: $d_{x1} = \frac{1}{w_{x1}} = \frac{1}{2,316 \cdot 10^{-5}} = 43.177,89 \text{ €}$

Bauzeit: $d_{x2} = \frac{1}{w_{x2}} = \frac{1}{6 \cdot 10^{-3}} = 166,67 \text{ Wochen}$

Wartungsfreiheit: $d_{y1} = \frac{1}{w_{y1}} = \frac{1}{1,327 \cdot 10^{-3}} = 753,58 \text{ Monate}$

Verb. Planung: $d_{y2} = \frac{1}{w_{y2}} = \frac{1}{2,5 \cdot 10^{-2}} = 40,00 \text{ Punkte}$

Tabelle 26: Nerlove'sche Effizienz und Rangfolge des Anwendungsbeispiels

| Rangfolge | Angebot | Nerlove'sche Effizienz (NE ₀) | Technische Effizienz (TE ₀) | Allokative Effizienz (AE ₀) |
|-----------|---------|---|---|---|
| 1 | A10 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 2 | A23 | 0,0039 | 0,0000 | 0,0039 |
| 3 | A39 | 0,0084 | 0,0000 | 0,0084 |
| 4 | A12 | 0,0261 | 0,0000 | 0,0261 |
| 5 | A24 | 0,0324 | 0,0000 | 0,0324 |
| 6 | A15 | 0,0334 | 0,0046 | 0,0288 |
| 7 | A26 | 0,0348 | 0,0000 | 0,0348 |
| 8 | A29 | 0,0373 | 0,0152 | 0,0221 |
| 9 | A13 | 0,0382 | 0,0000 | 0,0382 |
| 10 | A19 | 0,0406 | 0,0000 | 0,0406 |
| 11 | A18 | 0,0418 | 0,0245 | 0,0173 |
| 12 | A27 | 0,0438 | 0,0114 | 0,0324 |
| 13 | A25 | 0,0450 | 0,0285 | 0,0165 |
| 14 | A43 | 0,0453 | 0,0264 | 0,0189 |
| 15 | A33 | 0,0479 | 0,0041 | 0,0438 |
| 16 | A1 | 0,0494 | 0,0302 | 0,0192 |
| 17 | A42 | 0,0504 | 0,0000 | 0,0504 |
| 18 | A20 | 0,0530 | 0,0000 | 0,0530 |
| 19 | A36 | 0,0531 | 0,0280 | 0,0252 |
| 20 | A4 | 0,0555 | 0,0250 | 0,0305 |
| 21 | A14 | 0,0583 | 0,0128 | 0,0455 |
| 22 | A5 | 0,0656 | 0,0405 | 0,0251 |
| 23 | A2 | 0,0663 | 0,0250 | 0,0413 |
| 24 | A21 | 0,0676 | 0,0457 | 0,0219 |
| 25 | A38 | 0,0689 | 0,0131 | 0,0558 |
| 26 | A17 | 0,0690 | 0,0184 | 0,0506 |
| 27 | A11 | 0,0701 | 0,0258 | 0,0444 |
| 28 | A41 | 0,0711 | 0,0239 | 0,0472 |
| 29 | A44 | 0,0739 | 0,0490 | 0,0250 |
| 30 | A3 | 0,0773 | 0,0136 | 0,0637 |
| 31 | A31 | 0,0825 | 0,0232 | 0,0593 |
| 32 | A7 | 0,0851 | 0,0550 | 0,0301 |
| 33 | A35 | 0,0867 | 0,0258 | 0,0609 |
| 34 | A34 | 0,0883 | 0,0099 | 0,0784 |
| 35 | A28 | 0,0936 | 0,0579 | 0,0357 |
| 36 | A8 | 0,0983 | 0,0805 | 0,0178 |
| 37 | A40 | 0,1005 | 0,0421 | 0,0584 |
| 38 | A16 | 0,1035 | 0,0208 | 0,0828 |
| 39 | A30 | 0,1098 | 0,0587 | 0,0511 |
| 40 | A6 | 0,1104 | 0,0522 | 0,0582 |
| 41 | A45 | 0,1141 | 0,0277 | 0,0864 |
| 42 | A22 | 0,1191 | 0,0462 | 0,0728 |
| 43 | A9 | 0,1294 | 0,0000 | 0,1294 |
| 44 | A37 | 0,1431 | 0,0645 | 0,0786 |
| 45 | A32 | 0,1580 | 0,0803 | 0,0777 |

Wie bereits beim Aufstellen der Gewinnfunktion festgestellt, weist A10 Nerlove'sche Effizienz auf und gewinnt die Vergabe. Alle anderen Angebote sind entweder technisch und/oder allokativ ineffizient. In diesem Anwendungsbeispiel werden die ersten fünf Plätze der Rangfolge von technisch effizienten Angeboten belegt, ab Rang sechs folgen auch technisch ineffiziente Angebote. Technische Effizienz allein ist bei dem Angebotswertungsmodell jedoch nicht ausreichend, wie bspw. Angebot A9 zeigt. Das Angebot liegt zwar auf der Randfunktion, belegt im Ergebnis jedoch Rang 43. Diese Platzierung resultiert aus dem vergleichsweise hohen Anteil an allokativer Ineffizienz, der sich aus dem großen Abstand zur Gewinnfunktion ergibt. Der Bieter weist im Vergleich zu den Wettbewerbern zwar in einem Kriterium gute Werte auf, die Präferenzen des Auftraggebers werden jedoch nicht zufriedenstellend erfüllt (schlechtester Wert im wichtigsten Kriterium x_7 : Preis). Durch die Aufschlüsselung der Effizienzwerte kann somit für alle Angebote überprüft werden, ob die Ineffizienz aus vergleichsweise schlechten Mengen in den Zuschlagskriterien resultiert oder aus einer schlechten Abbildung der auftraggeberseitig definierten Präferenz, ausgedrückt durch die Kriteriengewichtung. So ist bspw. der Effizienzwert von Angebot A21, welches den 24. Rang belegt, zu rund doppelt so vielen Anteilen auf schlechte Kriterienmengen im Vergleich zu den Wettbewerbern zurückzuführen ($TE_0=0,046$) als auf die Gewichtung des Auftraggebers ($AE_0=0,022$).

Der Vergleich des Ergebnisses aus dem Angebotswertungsmodell mit den Ergebnissen, die FALAGARIO ET AL. (2012) veröffentlichen, zeigt die Plausibilität der Rangfolge. Die von den Autoren veröffentlichte Ergebnistabelle wird in Tabelle 27 um die eigenen Ergebnisse erweitert. Der Kreuzeffizienzansatz stammt von FALAGARIO ET AL. (2012), der Fuzzy AHP von COSTANTINO ET AL. (2011) und das Referenzwertverfahren spiegelt das ermittelte Vergabeergebnis des öffentlichen Auftraggebers wider.

Tabelle 27: Rangfolgen bei unterschiedlichen Wertungsverfahren für das Anwendungsbeispiel, Erweiterung der Tabelle nach FALAGARIO ET AL. (2012)

| Rangfolge | Angebotswertungsmodell | Kreuzeffizienzverfahren | Fuzzy AHP | Referenzwertverfahren |
|-----------|------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | | FALAGARIO ET AL. (2012) | COSTANTINO ET AL. (2011) | Öffentlicher Auftraggeber |
| 1 | A10 | A10 | A39 | A10 |
| 2 | A23 | A23 | A10 | A23 |
| 3 | A39 | A39 | A29 | A39 |
| 4 | A12 | A24 | A12 | A15 |
| 5 | A24 | A9 | A25 | A12 |
| 6 | A15 | A12 | A14 | A19 |
| 7 | A26 | A29 | A33 | A25 |
| 8 | A29 | A20 | A7 | A24 |
| 9 | A13 | A13 | A36 | A29 |
| 10 | A19 | A18 | A41 | A9 |

Es zeigt sich, dass die ersten drei Plätze der Rangfolge des Angebotswertungsmodells mit den Ergebnissen des Referenzwertverfahrens und des Kreuzeffizienzverfahrens identisch sind. Zudem ist auffällig, dass A26 bei dem entwickelten Angebotswertungsmodell unter den besten zehn Angeboten platziert ist, in den anderen Wertungsverfahren jedoch einen schlech-

teren Rang belegt. Die nähere Betrachtung zeigt, dass das Angebot zu dieser guten Platzierung gelangt, da es technisch effizient ist. Aus der rein objektiven Betrachtung, also ohne die Berücksichtigung subjektiver Präferenzen, ist die Platzierung gerechtfertigt. Gerade für den Einsatz im öffentlichen Vergabewesen ist die Erzielung guter Ergebnisse anhand objektiver Werte eine wesentliche Voraussetzung. Im Unterschied bspw. zu Angebot A9, das ebenfalls technisch effizient ist, aber den 43. Rang belegt, weist das Angebot A26 zudem eine deutlich bessere Abstimmung der Kriterienmengen an die Präferenzen des Auftraggebers auf. Hier zeigt sich somit nochmals, dass sowohl gute Kriterienwerte als auch eine gute Deckung mit der Gewichtung des Auftraggebers für den Auftragsgewinn erforderlich sind. Ein Blick in die Tabelle 23 zeigt zudem, dass das Angebot A26 eins von zwei technisch effizienten Angeboten ist, das auf der Randfunktion liegt, ohne das beste Ergebnis in einem Kriterium aufzuweisen. Dies weist darauf hin, dass bei anderen Verfahren die Optimalmengen der Kriterien und weniger die Kombination der Kriterienmengen zu einem guten Ergebnis führen.

Für die Modellüberprüfung werden in einer weiteren Berechnung die Kriterienmengen nach COSTANTINO ET AL. (2011) in das Angebotsbewertungsmodell eingegeben. Der Unterschied zu den Kriterienmengen nach FALAGARIO ET AL. (2012) liegt in dem Zuschlagskriterium Bauzeit, dass hier als Bauzeitverkürzung interpretiert wird und daher einer Maximierungsaufgabe folgt. Für die Ermittlung der Effizienzwerte erfolgt die Berechnung mit einem zu minimierenden Kriterium (x_1 : Kosten) und drei zu maximierenden Kriterien (y_1 : Bauzeitverkürzung, y_2 : Wartungsfreiheit und y_3 : Verbesserung der Planung). COSTANTINO ET AL. (2011) berechnen die Kriterienmengen $y_{j,1}$ für die Bauzeitverkürzung gemäß der in Kap. 8.1.1 angegebenen Umrechnung über die maximale Bauzeit von 35 Wochen. So ergibt sich für das Angebot A1 beispielhaft eine Bauzeitverkürzung von $y_{A1,1} = 35 \text{ Wochen} - 27 \text{ Wochen} = 8 \text{ Wochen}$. Mit den umgerechneten Werten für die Bauzeit wird die Effizienzwertberechnung erneut durchgeführt. Das Ergebnis weicht in keinem Wert von der Tabelle 26 ab. Somit kann die Unabhängigkeit von differenzierten Interpretationen für ein Zuschlagskriterium nachgewiesen werden.

Zusammenfassend zeigt sich, dass das Angebotsbewertungsmodell gegenüber den Kreuzeffizienzverfahren, dem Fuzzy AHP und dem Referenzwertverfahren einige Vorteile aufweist. So erfüllt das Angebotsbewertungsmodell z.B. die Einbettung der vergaberechtlich erforderlichen Gewichtung des Auftraggebers. Dies ist mit dem Kreuzeffizienzverfahren nach FALAGARIO ET AL. (2012) nicht möglich. Hier besteht für den Auftraggeber keine Möglichkeit, seine Präferenzen über die Zuschlagskriterien anzuzeigen. Eine wichtige vergaberechtliche Regelung kann somit mit dem Kreuzeffizienzverfahren nicht eingehalten werden.

Die Nutzung des Fuzzy AHPs nach COSTANTINO ET AL. (2011) erfordert, wie die Autoren betonen, vom Anwender ein fundiertes Wissen über die Fuzzyifizierung unterschiedlicher Kriterien. Besitzt ein Auftraggeber dieses Wissen, kann das Verfahren bei öffentlichen Vergaben erfolgreich eingesetzt werden. Der Anteil an subjektiven Vorgaben durch den Auftraggeber ist jedoch höher als beim Angebotsbewertungsmodell, da Festlegungen über die Art der Fuzzyifizierung der Zuschlagskriterien getroffen werden müssen. Das Vorgehen wird detailliert in COSTANTINO ET AL. (2011) beschrieben.

Der wesentliche Nachteil des Referenzwertverfahrens gegenüber allen anderen Methoden ist, dass vom Auftraggeber bereits im Rahmen der Ausschreibung Vorgaben über Bezugsgrößen

angegeben werden müssen. So muss z.B. ein Referenzpreis bestimmt werden, der eine Normierung der gewichteten Preise ($a_{x1} \cdot P_{\text{Angebot}} / P_{\text{Referenzpreis}}$) für die Addition mit den anderen normierten Kriterien ermöglicht. Im Gegensatz zum Angebotswertungsmodell greift der Auftraggeber durch die Festlegung bestimmter Referenzwerte in die Rangfolgenbildung ein. Neben der Fragestellung, wie sich Referenzwerte z.B. für den Preis ex ante sinnvoll festlegen lassen, zeigt BARTSCH (2013), dass die Präferenzen des Auftraggebers mit dem Verfahren teilweise nicht sinnvoll abbildbar sind. Legt der Auftraggeber z.B. geringe Referenzwerte für Leistungskriterien fest, erhält ein leistungsstarkes Angebot eher den Zuschlag als ein leistungsschwaches (BARTSCH 2013). Die Vorteile des Angebotswertungsmodells lassen sich durch die Einhaltung aller vergaberechtlichen Regelungen, den geringen Anteil an subjektiven Vorgaben und die gute Einbettung der Präferenzen des Auftraggebers zusammenfassen. Ein vertieftes Wissen über mathematische Zusammenhänge, wie es beim Fuzzy AHP erforderlich ist, wird für die Nutzung der TEEA Anwendung zudem nicht erforderlich. So sind für die Berechnung alle Voreinstellungen in der Excel-Anwendung hinterlegt. Vom Nutzer sind keine Eingriffe in den Berechnungsalgorithmus vorzunehmen.

8.5 Berechnung des Verbesserungspotenzials der unterlegenen Bieter

Ein unterlegener Bieter muss zum Auftragsgewinn in zukünftigen Vergabeverfahren versuchen, mit den angebotenen Kriterienmengen eine Platzierung auf der Gewinnfunktion zu erzielen. Er muss also, unter Berücksichtigung der Präferenzen des Auftraggebers, den maximalen Zielfunktionswert erreichen. Die rückgespiegelten Informationen aus vergangenen Vergabeverfahren können als Anhaltspunkte dienen, ein wettbewerbsfähiges Angebot auszuarbeiten. Hierzu ist die Ermittlung der Projektionen erforderlich.

8.5.1 Projektionen mit radialen Effizienzwerten

Da für die Ermittlung der Effizienzwerte eine radiale Distanzfunktion vorgegeben wird, müssen alle Kriterienmengen im selben Verhältnis zueinander verbessert werden. Um ein Teil der Randfunktion zu werden, müssen sie gem. (7.11) bzw. (7.12) um den Faktor TE_0 und, um ein Teil der Gewinnfunktion zu werden, gem. (7.13) bzw. (7.14) um NE_0 verbessert werden. Für das Anwendungsbeispiel ergeben sich aus den Effizienzwerten und den Richtungsvektoren der Distanzfunktion die Projektionen. Zielführender als die tabellarische Ausgabe der Kriterienmengen $x_{0',i}$ und $y_{0',r}$ für die Gewinnfunktion und $x_{0'',i}$ und $y_{0'',r}$ für die Randfunktion eignet sich die Berechnung des Verbesserungspotenzials, also der Abstände zwischen einer DMU_j und der Projektionen gem. (7.17) bis (7.20). Diese Werte können zum Beispiel in Form des absoluten Verbesserungspotenzials angegeben werden, wie in Tabelle 28.

Tabelle 28: Absolute Fehlbeträge zwischen den Kriterienmengen eines Angebots und den Projektionen im Anwendungsbeispiel

| Angebot | absolutes Verbesserungspotenzial zur Projektion auf der Randfunktion | | | | absolutes Verbesserungspotenzial zur Projektion auf der Gewinnfunktion | | | |
|---------|---|----------|-----------------------|------------------|---|----------|-----------------------|------------------|
| | Preis | Bauzeit | Wartungs- freiheit | Verb. Planung | Preis | Bauzeit | Wartungs- freiheit | Verb. Planung |
| | [Euro] | [Wochen] | [Monate] | [Punkte] | [Euro] | [Wochen] | [Monate] | [Punkte] |
| A1 | -1.304,84 | -5,04 | 22,77 | 1,21 | -2.133,20 | -8,23 | 37,22 | 1,98 |
| A2 | -1.079,39 | -4,17 | 18,83 | 1,00 | -2.862,58 | -11,05 | 49,95 | 2,65 |
| A3 | -586,58 | -2,26 | 10,23 | 0,54 | -3.336,41 | -12,88 | 58,21 | 3,09 |
| A4 | -1.079,39 | -4,17 | 18,83 | 1,00 | -2.397,77 | -9,26 | 41,84 | 2,22 |
| A5 | -1.747,24 | -6,74 | 30,49 | 1,62 | -2.832,55 | -10,93 | 49,42 | 2,62 |
| A6 | -2.255,39 | -8,71 | 39,35 | 2,09 | -4.767,11 | -18,40 | 83,18 | 4,42 |
| A7 | -2.375,98 | -9,17 | 41,46 | 2,20 | -3.673,50 | -14,18 | 64,10 | 3,40 |
| A8 | -3.475,47 | -13,42 | 60,64 | 3,22 | -4.245,60 | -16,39 | 74,08 | 3,93 |
| A9 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -5.584,74 | -21,56 | 97,44 | 5,17 |
| A10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| A11 | -1.111,99 | -4,29 | 19,40 | 1,03 | -3.028,13 | -11,69 | 52,84 | 2,81 |
| A12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1.126,05 | -4,35 | 19,65 | 1,04 |
| A13 | 0,00 | -0,00 | 0,00 | 0,00 | -1.650,78 | -6,37 | 28,80 | 1,53 |
| A14 | -551,84 | -2,13 | 9,63 | 0,51 | -2.517,45 | -9,72 | 43,93 | 2,33 |
| A15 | -196,96 | -0,76 | 3,44 | 0,18 | -1.441,53 | -5,56 | 25,15 | 1,34 |
| A16 | -897,44 | -3,46 | 15,66 | 0,83 | -4.470,67 | -17,26 | 78,01 | 4,14 |
| A17 | -793,08 | -3,06 | 13,84 | 0,73 | -2.976,96 | -11,49 | 51,94 | 2,76 |
| A18 | -1.057,36 | -4,08 | 18,45 | 0,98 | -1.804,84 | -6,97 | 31,49 | 1,67 |
| A19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1.753,95 | -6,77 | 30,60 | 1,62 |
| A20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -2.288,05 | -8,83 | 39,92 | 2,12 |
| A21 | -1.972,69 | -7,62 | 34,42 | 1,83 | -2.917,44 | -11,26 | 50,90 | 2,70 |
| A22 | -1.996,16 | -7,71 | 34,83 | 1,85 | -5.140,98 | -19,85 | 89,70 | 4,76 |
| A23 | -0,00 | -0,00 | 0,00 | 0,00 | -167,90 | -0,65 | 2,93 | 0,16 |
| A24 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1.400,00 | -5,40 | 24,43 | 1,30 |
| A25 | -1.230,86 | -4,75 | 21,48 | 1,14 | -1.944,69 | -7,51 | 33,93 | 1,80 |
| A26 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1.501,40 | -5,80 | 26,20 | 1,39 |
| A27 | -493,36 | -1,90 | 8,61 | 0,46 | -1.890,36 | -7,30 | 32,98 | 1,75 |
| A28 | -2.499,26 | -9,65 | 43,61 | 2,32 | -4.042,75 | -15,61 | 70,54 | 3,75 |
| A29 | -654,64 | -2,53 | 11,42 | 0,61 | -1.608,45 | -6,21 | 28,06 | 1,49 |
| A30 | -2.533,79 | -9,78 | 44,21 | 2,35 | -4.739,60 | -18,30 | 82,70 | 4,39 |
| A31 | -1.001,03 | -3,86 | 17,47 | 0,93 | -3.562,59 | -13,75 | 62,16 | 3,30 |
| A32 | -3.467,89 | -13,39 | 60,51 | 3,21 | -6.823,26 | -26,34 | 119,05 | 6,32 |
| A33 | -176,96 | -0,68 | 3,09 | 0,16 | -2.067,43 | -7,98 | 36,07 | 1,92 |
| A34 | -427,45 | -1,65 | 7,46 | 0,40 | -3.813,53 | -14,72 | 66,54 | 3,53 |
| A35 | -1.114,08 | -4,30 | 19,44 | 1,03 | -3.743,45 | -14,45 | 65,32 | 3,47 |
| A36 | -1.206,84 | -4,66 | 21,06 | 1,12 | -2.293,30 | -8,85 | 40,01 | 2,12 |
| A37 | -2.785,91 | -10,75 | 48,61 | 2,58 | -6.178,23 | -23,85 | 107,80 | 5,72 |
| A38 | -566,96 | -2,19 | 9,89 | 0,53 | -2.976,02 | -11,49 | 51,93 | 2,76 |
| A39 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -364,19 | -1,41 | 6,35 | 0,34 |
| A40 | -1.818,25 | -7,02 | 31,73 | 1,68 | -4.341,14 | -16,76 | 75,75 | 4,02 |
| A41 | -1.031,71 | -3,98 | 18,00 | 0,96 | -3.068,87 | -11,85 | 53,55 | 2,84 |
| A42 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -2.175,60 | -8,40 | 37,96 | 2,02 |
| A43 | -1.138,45 | -4,39 | 19,86 | 1,05 | -1.954,79 | -7,55 | 34,11 | 1,81 |
| A44 | -2.113,72 | -8,16 | 36,88 | 1,96 | -3.191,06 | -12,32 | 55,68 | 2,96 |
| A45 | -1.195,66 | -4,62 | 20,86 | 1,11 | -4.926,88 | -19,02 | 85,97 | 4,56 |

Die Werte zeigen das Verbesserungspotenzial an, das zur Erlangung technischer bzw. Nerlove'scher Effizienz erforderlich ist. Aus diesem Grund weisen alle Projektionen auf der Randfunktion der technisch effizienten Angebote keinen Fehlbetrag und daher den Wert 0,00 in allen Kriterien aus. Null-Werte für den Abstand zur Projektion auf die Gewinnfunktion weist nur A10 als Vergabegewinner aus. Zudem weisen die Werte in den zu minimierenden Zuschlagskriterien negative Werte aus. Dies zeigt, um welchen Betrag ein Bieter bspw. den Preis reduzieren muss.

Eine weitere Möglichkeit für die Dateninterpretation wird in TEEA durch die Ausgabe des relativen Verbesserungspotenzials zur Erlangung technischer bzw. Nerlove'scher Effizienz bereitgestellt. Die Auswertung wird in Anhang A-4 für das Verbesserungspotenzial hinterlegt, das aus der radialen Effizienzmessung resultiert. Die Analyse der Projektionen auf der Gewinnfunktion (vgl. Tabelle 31 auf S. 153, linker Teil) zeigt, dass für einige Angebote nicht realisierbare Mengen für die Kriterien Bauzeit (x_2) und Verbesserung der Planungsleistung (y_2) ermittelt wurden, sodass eine Korrektur dieser Projektionen erforderlich ist.

8.5.2 Korrektur der Projektionen für begrenzte Zuschlagskriterien

Der untere Grenzwert von 0 Einheiten gilt für alle Zuschlagskriterien. Ein oberer Grenzwert existiert nur für das Kriterium Verbesserung der Planung. Die realisierbaren Mengen der Bieter liegen in diesem Kriterium zwischen 0 und 10 Punkten. Im Anwendungsbeispiel ergeben sich für die Projektionen einiger Bieter (z.B. A2, A4, A9, A12 u.a.) Kriterienmengen, die oberhalb des maximal möglichen Ergebnisses von 10 Punkten liegen, wie aus der Tabelle 31 ersichtlich. Auch im Kriterium Bauzeit ergeben sich für die Angebote A9 und A32 nicht realisierbare Kriterienmengen, da eine negative Bauzeit errechnet wurde. Die Korrektur für begrenzte Zuschlagskriterien wird in diesem Kapitel für das Angebot A9 erläutert. Das Angebot befindet sich auf dem 43. Ranglistenplatz und weist einen hohen Abstand zur Gewinnfunktion auf.

1. Berechnungsstufe:

Die Kriterienmengen im qualitativen Kriterium Verbesserung der Planung müssen sich unterhalb der Obergrenze von 10 Punkten befinden. Es zeigt sich, dass die Kriterienmengen $x_{A9;1}$ und $y_{A9;1}$ neu berechnet werden müssen. Für diese Neuberechnung werden zunächst die nicht realisierbaren Kriterienmengen $x_{A9;2} = -2,56$ Wochen gegen $x_{Ugrenz,2} = 0$ Wochen und $y_{A9;2} = 15,17$ Punkte gegen $y_{Ogrenz,2} = 10$ Punkte ausgetauscht, um die nicht-radialen Effizienzmaße in diesen beiden Kriterien zu ermitteln. Dieser Prozessschritt ist in Abbildung 36 dargestellt.

Für die Ausgabe realisierbarer Kriterienmengen auf der Gewinnfunktion werden mit den Formeln aus Abbildung 53 die nicht-radialen Effizienzwerte $NE_{0,xi}$ bzw. $NE_{0,yr}$ berechnet. In der ersten Berechnungsstufe werden die Effizienzwerte für die begrenzten Kriterienmengen neu berechnet. Es ergeben sich für das Angebot A9 die zwei neuen Effizienzmaße $NE_{A9,x2}$ und $NE_{A9,y2}$, wie in Tabelle 29 enthalten. Hierzu werden in die Gleichung die Kriterienmengen der Projektionen $x_{A9;2} = -2,56$ Wochen gegen den Grenzwert $x_{Ugrenz,2} = 0$ Wochen und $y_{A9;2} = 15,17$ Punkte gegen $y_{Ogrenz,2} = 10$ Punkte, gemäß der Fallunterscheidung aus Abbildung 53, ausgetauscht. Die nicht-radialen Effizienzmaße zeigen in den begrenzten Kriterien x_2 und y_2 bessere Werte an als im ursprünglichen Angebotsbewertungsmodell. Das Symbol -/- in Tabelle 29 zeigt an, dass diese Werte erst in der zweiten Berechnungsstufe ermittelt werden. Die Nerlove'schen Effizienzwerte ergeben sich zu den nachfolgend berechneten Lösungen.

$$NE_{A9,x2} = \frac{x_{A9,2} - x_{Ugrenz,2}}{d_{x2}} = \frac{19 \text{ Wochen} - 0 \text{ Wochen}}{166,67 \text{ Wochen}} = 0,114$$

$$NE_{A9,y2} = \frac{y_{Ogrenz,2} - y_{A9,2}}{d_{y2}} = \frac{10 \text{ Punkte} - 15,17 \text{ Punkte}}{40 \text{ Punkte}} = 0,000$$

Tabelle 29: Realisierbare Kriterienmengen und Nerlove'sche Effizienzwerte für Angebot A9 (1. Berechnungsstufe)

| | Angebot A9 | | | |
|--|------------|-------------|---------------------------|----------------------|
| | x1: Preis | x2: Bauzeit | y1: Wartungs- freiheit | y2: Verb. Planung |
| | [€] | [Wochen] | [Monate] | [Punkte] |
| Kriterienmengen der nicht realisierbaren Projektion auf Gewinnfunktion | 126.129,49 | -2,56 | 205,44 | 15,17 |
| <i>Austausch in 1. Berechnungsstufe</i> | | ↓ | | ↓ |
| Kriterienmengen der realisierbaren Projektion auf Gewinnfunktion | -/- | 0,00 | -/- | 10,00 |
| $NE_{A9,xi}$ bzw. $NE_{A9,yr}$ | -/- | 0,114 | -/- | 0,000 |

2. Berechnungsstufe:

In der zweiten Berechnungsstufe werden die Effizienzwerte für die Kriterien, die die Grenzwerte einhalten, ermittelt. Um zu gewährleisten, dass die neue Projektion im Mittel denselben Effizienzwert besitzt wie die nicht-realisierbare Projektion, wird der Effizienzfehlbetrag zwischen den neuen und den ursprünglichen Effizienzwerten gleichmäßig auf die beiden nicht ausgeschöpften Kriterien umgelegt, wie in (7.16) angegeben. Der umzuverteilende Fehlbetrag des Angebots A9 wird für alle $x_{0;i} < x_{Ugrenz,i}$ und alle $y_{0;r} > y_{Ogrenz,r}$, also $x_{A9;2}$ und $y_{A9;2}$, bestimmt.

$$NE_{A9,Fehlb} = NE_0 - NE_{A9,x2} + NE_0 - NE_{A9,y2} = 0,1294 - 0,114 + 0,1294 - 0,000 = 0,1448$$

Die gleichmäßige Umverteilung von $NE_{0,Fehlb}$ auf die Effizienzwerte der zwei nicht ausgeschöpften Kriterien führt abschließend zur Vervollständigung der nicht-radialen Effizienzwerte. Sie sind für das Angebot A9 in Tabelle 30 angegeben.

Tabelle 30: Nicht-radiale Effizienzmaße für alle Zuschlagskriterien des Angebots A9

| Nicht-radiale Nerlove'sche Effizienzwerte | x1: Preis [€] | x2: Bauzeit [Wochen] | y1: Wartungs- freiheit [Monate] | y2: Verbes- serung d. Planung [Punkte] |
|---|------------------|-------------------------|---------------------------------------|---|
| | 0,129+ | | 0,129+ | |
| | 0,144/2= | | 0,144/2= | |
| $NE_{A9,i}$ bzw. $NE_{A9,r}$ | 0,201 | 0,114 | 0,201 | 0,000 |

Durch Einsetzen dieser neuen Werte in die Gleichungen (7.13) und (7.14) ergeben sich abschließend die vollständigen Kriterienmengen der realisierbaren Projektion auf der Gewinnfunktion. Die abschließende Prüfung ergibt, dass für alle Angebote realisierbare Projektionen ermittelt werden können. Für das Anwendungsbeispiel ergeben sich die neuen Projektionen, die in Tabelle 31 farblich hervorgehoben sind. Alle Kriterienmengen der realisierbaren Projektionen werden den Projektionen, die zuvor mit den radialen Effizienzwerten ermittelt wurden, in der Tabelle 31 gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass 13 Projektionen angepasst werden

müssen. Die realisierbaren Projektionen können gleichermaßen, wie bereits in Kap. 8.5.1 gezeigt, aufbereitet und in absolute oder relative Fehlbeträge umgerechnet werden. Die für begrenzte Kriterien korrigierten Projektionen auf der Randfunktion sind zusammen mit dem relativen Verbesserungspotenzial im Anhang A-5 zusammengefasst.

Tabelle 31: Zusammenfassung der berechneten Projektionen des Anwendungsbeispiels

| Angebot | Projektion auf der Gewinnfunktion mit radialen Effizienzwerten | | | | Realisierbare Projektion auf der Gewinnfunktion mit nicht-radialen Effizienzwerten | | | |
|---------|--|----------|-------------------|---------------|--|----------|-------------------|---------------|
| | Preis | Bauzeit | Wartungs-freiheit | Verb. Planung | Preis | Bauzeit | Wartungs-freiheit | Verb. Planung |
| | [Euro] | [Wochen] | [Monate] | [Punkte] | [Euro] | [Wochen] | [Monate] | [Punkte] |
| A1 | 108.104,91 | 18,77 | 85,22 | 9,98 | 108.104,91 | 18,77 | 85,22 | 9,98 |
| A2 | 108.101,05 | 19,95 | 58,95 | 11,65 | 107.506,65 | 17,66 | 69,32 | 10,00 |
| A3 | 106.178,52 | 2,12 | 87,21 | 4,09 | 106.178,52 | 2,12 | 87,21 | 4,09 |
| A4 | 108.086,68 | 17,74 | 56,84 | 11,22 | 107.647,22 | 16,05 | 64,50 | 10,00 |
| A5 | 107.849,32 | 11,07 | 71,42 | 8,62 | 107.849,32 | 11,07 | 71,42 | 8,62 |
| A6 | 106.325,81 | 12,60 | 112,18 | 5,42 | 106.325,81 | 12,60 | 112,18 | 5,42 |
| A7 | 109.256,87 | 5,82 | 114,10 | 6,40 | 109.256,87 | 5,82 | 114,10 | 6,40 |
| A8 | 108.537,78 | 11,61 | 80,08 | 8,93 | 108.537,78 | 11,61 | 80,08 | 8,93 |
| A9 | 126.129,49 | -2,56 | 205,44 | 15,17 | 123.005,74 | 0,00 | 259,95 | 10,00 |
| A10 | 109.920,87 | 18,00 | 113,00 | 10,00 | 109.920,87 | 18,00 | 113,00 | 10,00 |
| A11 | 107.793,39 | 4,31 | 111,84 | 4,81 | 107.793,39 | 4,31 | 111,84 | 4,81 |
| A12 | 108.649,84 | 19,65 | 78,65 | 11,04 | 108.274,49 | 18,20 | 85,20 | 10,00 |
| A13 | 106.860,92 | 26,63 | 69,80 | 11,53 | 106.310,66 | 24,50 | 79,40 | 10,00 |
| A14 | 108.940,16 | 19,28 | 151,93 | 7,33 | 108.940,16 | 19,28 | 151,93 | 7,33 |
| A15 | 109.686,44 | 6,44 | 69,15 | 9,34 | 109.686,44 | 6,44 | 69,15 | 9,34 |
| A16 | 104.519,46 | 13,74 | 91,01 | 5,14 | 104.519,46 | 13,74 | 91,01 | 5,14 |
| A17 | 112.322,71 | 2,51 | 145,94 | 6,76 | 112.322,71 | 2,51 | 145,94 | 6,76 |
| A18 | 109.437,17 | 15,03 | 78,49 | 10,67 | 109.195,35 | 14,10 | 82,71 | 10,00 |
| A19 | 110.282,11 | 3,23 | 59,60 | 9,62 | 110.282,11 | 3,23 | 59,60 | 9,62 |
| A20 | 109.173,91 | 24,17 | 87,92 | 12,12 | 108.411,23 | 21,22 | 101,23 | 10,00 |
| A21 | 108.092,14 | 12,74 | 62,90 | 9,70 | 108.092,14 | 12,74 | 62,90 | 9,70 |
| A22 | 105.363,89 | 12,15 | 105,70 | 4,76 | 105.363,89 | 12,15 | 105,70 | 4,76 |
| A23 | 110.079,16 | 10,35 | 115,93 | 8,16 | 110.079,16 | 10,35 | 115,93 | 8,16 |
| A24 | 109.038,76 | 29,60 | 144,43 | 10,30 | 108.931,89 | 29,18 | 146,29 | 10,00 |
| A25 | 110.513,14 | 8,49 | 102,93 | 8,80 | 110.513,14 | 8,49 | 102,93 | 8,80 |
| A26 | 106.968,31 | 9,20 | 33,20 | 9,39 | 106.968,31 | 9,20 | 33,20 | 9,39 |
| A27 | 108.777,48 | 5,70 | 60,98 | 8,75 | 108.777,48 | 5,70 | 60,98 | 8,75 |
| A28 | 107.617,82 | 17,39 | 112,54 | 7,75 | 107.617,82 | 17,39 | 112,54 | 7,75 |
| A29 | 108.892,31 | 18,79 | 127,06 | 8,49 | 108.892,31 | 18,79 | 127,06 | 8,49 |
| A30 | 106.178,69 | 10,70 | 82,70 | 6,39 | 106.178,69 | 10,70 | 82,70 | 6,39 |
| A31 | 111.957,90 | 1,25 | 67,16 | 10,30 | 111.849,75 | 0,83 | 69,05 | 10,00 |
| A32 | 112.712,42 | -2,34 | 139,05 | 6,32 | 112.510,42 | 0,00 | 142,58 | 6,51 |
| A33 | 108.115,84 | 4,02 | 114,07 | 4,92 | 108.115,84 | 4,02 | 114,07 | 4,92 |
| A34 | 106.026,15 | 15,28 | 154,54 | 3,53 | 106.026,15 | 15,28 | 154,54 | 3,53 |
| A35 | 106.840,29 | 13,55 | 143,32 | 4,47 | 106.840,29 | 13,55 | 143,32 | 4,47 |
| A36 | 107.892,87 | 22,15 | 94,01 | 10,12 | 107.848,03 | 21,97 | 94,80 | 10,00 |
| A37 | 118.896,98 | 8,15 | 173,80 | 12,72 | 117.916,95 | 4,37 | 190,90 | 10,00 |
| A38 | 108.175,42 | 1,51 | 87,93 | 5,76 | 108.175,42 | 1,51 | 87,93 | 5,76 |
| A39 | 108.860,78 | 19,59 | 95,35 | 10,34 | 108.739,38 | 19,13 | 97,47 | 10,00 |
| A40 | 106.215,14 | 4,24 | 98,75 | 4,02 | 106.215,14 | 4,24 | 98,75 | 4,02 |
| A41 | 107.506,80 | 19,15 | 135,55 | 6,84 | 107.506,80 | 19,15 | 135,55 | 6,84 |
| A42 | 105.792,14 | 5,60 | 59,96 | 6,02 | 105.792,14 | 5,60 | 59,96 | 6,02 |
| A43 | 109.412,87 | 11,45 | 78,11 | 9,81 | 109.412,87 | 11,45 | 78,11 | 9,81 |
| A44 | 113.084,97 | 13,68 | 130,68 | 10,96 | 112.740,88 | 12,35 | 136,68 | 10,00 |
| A45 | 113.941,27 | 2,98 | 179,97 | 6,56 | 113.941,27 | 2,98 | 179,97 | 6,56 |

8.6 Ergebnisstabilität

Da es sich bei dem Angebotsbewertungsmodell um ein relatives Konzept handelt, soll die Ergebnisstabilität des Nerlove'schen Effizienzwertes für das Anwendungsbeispiel untersucht werden. Die Effizienzwerte NE_0 für alle Angebote ergeben sich aus der Subtraktion von dem Gewinn des wirtschaftlichsten Angebots, also dem Gewinnfunktionswert, und dem aktuellen Gewinn einer DMU₀, wie in Gleichung (7.9) aufgezeigt. Es ist insofern zu prüfen, wie stabil die Rangfolge ist, wenn das wirtschaftlichste Angebot entfällt. In diesem Fall ergibt sich der Gewinnfunktionswert durch ein anderes Angebot. In der Folge verändern sich die Effizienzwerte aller Angebote. Es wird überprüft, ob die Veränderungen in den Nerlove'schen Effizienzwerten unterschiedlicher Angebote in Relation zueinander so ungleich sind, dass die Elimination des wirtschaftlichsten Angebots zu einer Veränderung der Rangfolge führt.

Tabelle 32 zeigt die Rangfolgen, die sich ergeben, wenn das jeweils erstplatzierte Angebot entfällt. In der Spalte (A) ist die bekannte Rangfolge mit allen $n=45$ Angeboten dargestellt. In der Spalte (B) wird das zuvor erstplatzierte Angebot A10 aus der Aktivitätenmenge entnommen. Die Spalte stellt also das Ergebnis dar, das sich einstellt, wenn das wirtschaftlichste Angebot ausgeschlossen wird. Es zeigt sich, dass sich die Rangfolge auf keinem Platz verändert. Dies ist durch die farbliche Kennzeichnung der Angebote dargestellt. Wenn der Rangfolgenplatz in einer Spalte x dem Rangfolgenplatz in der Spalte $x-1$ entspricht, wird das Angebot farblich hervorgehoben. Die Ergebnisstabilität ist nach der Elimination von A10 gänzlich erfüllt. Der Ausschluss von Angebot A23 in der Spalte (C) zeigt ebenfalls eine hohe Ergebnisstabilität, die sich nun jedoch auf die ersten zehn Plätze der Rangfolge beschränkt. Ab Rangfolgenplatz 11, der von Angebot A33 belegt ist, weichen die neuen Ergebnisse von der ursprünglichen Rangfolge ab.

Insgesamt ergibt sich im Vergleich zur ursprünglichen Rangfolge aus Spalte (A) eine sehr hohe Stabilität für die ersten 12 Plätze. Auf den nachfolgenden Rängen sind vereinzelt Verschiebungen der Angebote zu verzeichnen. Zusammenfassend kann für die Wertungskennzahl der Nerlove'schen Effizienz in diesem Anwendungsbeispiel eine sehr gute Stabilität nachgewiesen werden. Auch bei zukünftig durchgeführten Vergabeverfahren sollte die Stabilität durch den operativen Beschaffer überprüft werden, um die Akzeptanz für das neue Wertungskonzept, auf der Basis des Nerlove'schen Effizienzwertes NE_0 , zu steigern.

Tabelle 32: Rangfolge infolge sukzessiver Elimination des wirtschaftlichsten Angebots

| Rangfolgen der Angebote | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| (A) | (B) | (C) | (D) | (E) | (F) | (G) | (H) | (I) | (J) | (K) | (L) | |
| A10 | | | | | | | | | | | | |
| A23 | A23 | | | | | | | | | | | |
| A39 | A39 | A39 | | | | | | | | | | |
| A12 | A12 | A12 | A12 | | | | | | | | | |
| A24 | A24 | A24 | A24 | A24 | | | | | | | | |
| A15 | A15 | A15 | A15 | A15 | A15 | | | | | | | |
| A26 | A26 | A26 | A26 | A26 | A33 | A33 | | | | | | |
| A29 | A29 | A29 | A29 | A29 | A29 | A29 | A29 | | | | | |
| A13 | A13 | A13 | A13 | A13 | A13 | A26 | A26 | A26 | | | | |
| A19 | A19 | A19 | A19 | A19 | A19 | A19 | A19 | A19 | A25 | | | |
| A18 | A18 | A18 | A18 | A18 | A18 | A42 | A42 | A42 | A42 | A19 | A19 | |
| A27 | A27 | A27 | A27 | A27 | A27 | A27 | A27 | A27 | A27 | A42 | A42 | A27 |
| A25 | A25 | A33 | A33 | A33 | A25 | A25 | A25 | A25 | A25 | A27 | A27 | A42 |
| A43 | A43 | A25 | A25 | A25 | A18 |
| A33 | A33 | A43 | A43 | A43 | A13 | A13 | A13 | A13 | A13 | A43 | A43 | A43 |
| A1 | A1 | A42 | A42 | A42 | A43 | A43 | A43 | A43 | A43 | A13 | A13 | A14 |
| A42 | A42 | A1 | A1 | A1 | A14 | A13 |
| A20 | A20 | A36 | A36 | A36 | A1 | A17 |
| A36 | A36 | A20 | A20 | A20 | A11 | A11 | A11 | A11 | A11 | A17 | A17 | A1 |
| A4 | A4 | A14 | A14 | A14 | A36 | A36 | A36 | A36 | A36 | A11 | A11 | A11 |
| A14 | A14 | A4 | A4 | A4 | A38 | A38 | A38 | A38 | A38 | A36 | A36 | A38 |
| A5 | A5 | A5 | A5 | A5 | A17 | A17 | A17 | A17 | A17 | A38 | A38 | A36 |
| A2 | A2 | A38 | A38 | A38 | A20 | A20 | A20 | A20 | A20 | A41 | A41 | A3 |
| A21 | A21 | A11 | A11 | A11 | A3 | A3 | A3 | A3 | A3 | A20 | A20 | A41 |
| A38 | A38 | A17 | A17 | A17 | A4 | A4 | A4 | A4 | A4 | A3 | A3 | A20 |
| A17 | A17 | A21 | A21 | A21 | A41 | A41 | A41 | A41 | A41 | A4 | A4 | A5 |
| A11 | A11 | A2 | A2 | A2 | A5 | A4 |
| A41 | A41 | A41 | A41 | A41 | A21 | A21 | A21 | A21 | A21 | A34 | A34 | A34 |
| A44 | A44 | A3 | A3 | A3 | A34 | A34 | A34 | A34 | A34 | A35 | A35 | A35 |
| A3 | A3 | A44 | A44 | A44 | A35 | A35 | A35 | A35 | A35 | A21 | A21 | A21 |
| A31 | A31 | A35 | A35 | A35 | A2 | A2 | A2 | A2 | A2 | A44 | A44 | A7 |
| A7 | A7 | A7 | A7 | A7 | A7 | A7 | A7 | A7 | A7 | A7 | A7 | A44 |
| A35 | A35 | A34 | A34 | A34 | A44 | A44 | A44 | A44 | A44 | A2 | A2 | A2 |
| A34 | A34 | A31 | A40 | A40 | A31 |
| A28 | A28 | A28 | A28 | A28 | A40 | A40 | A40 | A40 | A40 | A31 | A31 | A40 |
| A8 | A8 | A40 | A40 | A40 | A28 |
| A40 | A40 | A8 | A8 | A8 | A16 |
| A16 | A16 | A16 | A16 | A16 | A8 | A8 | A8 | A8 | A8 | A45 | A45 | A45 |
| A30 | A30 | A6 | A8 | A8 | A8 |
| A6 | A6 | A30 | A30 | A30 | A45 | A45 | A45 | A45 | A45 | A6 | A6 | A6 |
| A45 | A45 | A45 | A45 | A45 | A30 |
| A22 | A22 | A22 | A22 | A22 | A22 | A22 | A22 | A22 | A22 | A22 | A22 | A22 |
| A9 | A9 | A9 | A9 | A9 | A9 | A9 | A9 | A9 | A9 | A9 | A9 | A9 |
| A37 | A37 | A37 | A37 | A37 | A32 | A32 | A32 | A32 | A32 | A37 | A37 | A32 |
| A32 | A32 | A32 | A32 | A32 | A37 | A37 | A37 | A37 | A37 | A32 | A32 | A37 |

8.7 Fazit aus der Beispielrechnung

Die Überprüfung des Angebotswertungsmodells anhand einer umfangreichen Beispielrechnung zeigt die Ergebnisplausibilität der entwickelten Methodik. Die Wertung des Anwendungsbeispiels mit den vier multidimensionalen Zuschlagskriterien Preis [€], Bauzeit [Wochen], Wartungsfreiheit [Monate] und Verbesserung der Planung [Punkte] belegt, dass verschiedenartige Kriterien mithilfe der DEA zu einer eindimensionalen Wertungskennzahl zusammengeführt werden können. Für die insgesamt $n=45$ Angebote kann eine Rangfolge und darüber hinaus

das Verbesserungspotenzial für unterlegene Bieter abgeleitet werden. Der Vergleich der resultierenden Rangfolge aus dem Angebotswertungsmodell mit den veröffentlichten Ergebnissen von FALAGARIO ET AL. (2012) und COSTANTINO ET AL. (2011) belegt die Plausibilität des Wertungsmodells für wirtschaftliche Vergabeverfahren.

Durch die Integration einer vergaberechtlich erforderlichen Gewichtung und die Umrechnung mithilfe der technisch effizienten Angebote können die Nerlove'schen Effizienzwerte NE_0 berechnet werden. Die Stärke der DEA, technisch effiziente Angebote von technisch ineffizienten Angeboten zu trennen, wird im Anwendungsbeispiel belegt. Die Abhängigkeit zu irrelevanten Angeboten wird in diesem neuen Verfahren für die Angebotswertung ausgeschlossen. Die Ermittlung der Bezugsgröße für die Umrechnung der Wertinformationen auf der Basis der DEA eignet sich somit sehr gut für die Implementierung der vergaberechtlich geforderten Gewichtung. Durch das Aufteilen dieser Wertungskennzahl kann nachverfolgt werden, ob die Ineffizienz eines Bieters auf schlechte Kriterienmengen (TE_0) oder auf die subjektive Präferenz des Auftraggebers (AE_0) zurückzuführen ist. Zudem kann nachgewiesen werden, dass unterschiedliche Interpretationen eines Zuschlagskriteriums sich nicht auf das Ergebnis auswirken, wenn die Kriterienmengen in einem definierten Abhängigkeitsverhältnis zueinanderstehen. Ein Beispiel wurde in der Anwendungsrechnung für die differenzierte Interpretation von Bauzeit als Zuschlagskriterium mit Minimierungsziel bzw. Bauzeitverkürzung als Zuschlagskriterium mit Maximierungsziel angeführt.

Mithilfe der Effizienzwerte können in einem nächsten Schritt die Kriterienmengen aller Bieter ermittelt werden, die zum Auftragsgewinn bzw. zur technischen Effizienz geführt hätten. Auf diese Weise kann den Bietern das Verbesserungspotenzial für zukünftige Angebote im Vergleich mit dem Wettbewerb quantitativ aufgezeigt werden. Die Umrechnung in das relative Verbesserungspotenzial unterstützt den Bieter bei der Identifikation möglicher Leistungsmuster (z.B. regelmäßig schlechte Werte in einem bestimmten Zuschlagskriterium). Hierbei ist es wichtig, dass Bieter wissen, dass erst durch die regelmäßige Teilnahme an öffentlichen Ausschreibungen Erkenntnisse hinsichtlich der eigenen Stärken und Schwächen gewonnen werden können.

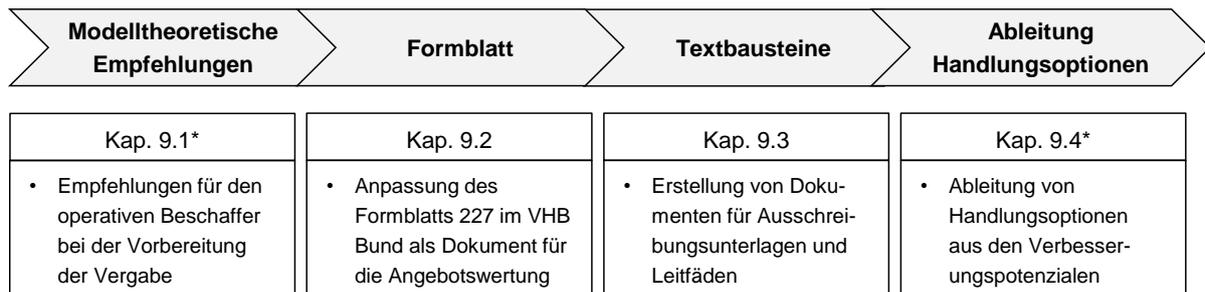
Zur Ermittlung der Kriterienmengen der Projektionen auf der Gewinnfunktion (auf der Randfunktion) werden die radialen Effizienzwerte NE_0 (TE_0) im Anwendungsbeispiel zunächst für alle $n=45$ Angebote berechnet. Aufgrund der Begrenzung des Zuschlagskriteriums Verbesserung der Planung und der Nichtnegativität für alle Kriterien werden die Projektionen auf der Gewinnfunktion dahingehend korrigiert, dass die oberen und unteren Kriteriengrenzen eingehalten werden. Auch für die fiktive Untergrenze von 0 Wochen werden die Projektionen von zwei Angeboten im Kriterium Bauzeit angepasst. Insgesamt erfolgt die Korrektur der Kriterienmengen der Projektionen auf der Gewinnfunktion $x_{0;2}$ bzw. $y_{0;2}$ für 13 Angebote. Sie besitzen nach der Anpassung zu nicht-radialen Effizienzwerten für alle Zuschlagskriterien im Mittelwert noch immer denselben Effizienzwert, wie es die Berechnung mit der radialen Distanzfunktion ergeben hat. Dies liegt an der im Modell vorgegebenen Gleichverteilung der Effizienzfehlbeiträge in den begrenzten Kriterien. Insofern beeinflusst die Umrechnung nicht die ermittelte Rangfolge der Angebote. Die Kriterienmengen der Projektionen auf der Gewinnfunktion liegen nach der Anpassung für alle Kriterien in einem Skalenbereich, der vom Bieter realisierbar ist.

Dies ist wichtig, um die Akzeptanz des Ergebniswertes zu gewährleisten. Mit der Ergebnisstabilität wird abschließend untersucht, welche Auswirkungen die Elimination des wirtschaftlichsten Angebots als Referenzwert auf das Ergebnis nimmt. Für das Anwendungsbeispiel zeigt sich ein stabiles Verhalten der entwickelten Methodik.

Zusammenfassend kann anhand des Anwendungsbeispiels die Validität der Wertungsmethodik gezeigt werden. Die Methodik besitzt das Potenzial, den Konflikt zwischen der vergabe-rechtskonformen Angebotswertung und der Förderung strategischer Ziele zu überwinden. Insbesondere der Vergleich mit Wettbewerbern hinsichtlich der strategischen Ziele kann langfristig zu einer besseren Einschätzung der Leistungsfähigkeit seitens der Bieter führen. Zur Praxistauglichkeit gehört jedoch immer auch die Verständlichkeit der Methodik für die Anwender. Die vergleichsweise komplexe Berechnung einer linearen Optimierungsaufgabe zur Identifikation der technisch effizienten Angebote bedarf einiger Übung. Somit ist für das entwickelte Angebotswertungsmodell im Weiteren eine verständliche Anleitung für Anwender zu erstellen. Die Verschriftlichung soll zur Steigerung des Verständnisses beitragen und zudem als Textbaustein für Vergabedokumente nutzbar sein. Darüber hinaus ergeben sich weitere Empfehlungen für die Vorbereitung der Vergabe seitens des operativen Beschaffers. Sie werden für die Wertung von Angeboten über öffentliche Bauleistungen ebenfalls nachfolgend benannt.

9 Vergabedokumente und Empfehlungen zum Wertungsmodell

Der Transparenzgrundsatz verlangt die Benennung aller für die Wertung der Angebote relevanten Informationen durch den Auftraggeber. Die hierzu erforderlichen Dokumente werden entwickelt und in den Kapiteln 9.2 und 9.3 bereitgestellt. Im Vorfeld werden zudem Empfehlungen für die Festlegung der Zuschlagskriterien aus einer modelltheoretischen Sicht in den Unterkapiteln zu Kap. 9.1 und ausblickend Möglichkeiten zur Ableitung von Handlungsoptionen in den Unterkapiteln zu Kap. 9.4 beschrieben. Diesen Kapitelaufbau zeigt Abbildung 68.



* und den Unterkapiteln

Abbildung 68: Kapitelaufbau für die Ableitung von Empfehlungen und Vergabedokumenten zum Angebotswertungsmodell

9.1 Modelltheoretische Empfehlungen für die Festlegung der Zuschlagskriterien

Aus der vergaberechtlichen Sicht müssen Zuschlagskriterien Merkmale der Transparenz, Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit aufweisen. Aus der baubetrieblichen Sicht wird die Kontrollierbarkeit der Kriterien während der Bauausführungsphase verlangt. Bereits aus diesen beiden Perspektiven ist die Formulierung der Kriterien ein breites Aufgabenfeld mit weiterführendem Forschungsbedarf. In diesem Kapitel werden zudem verschiedene Empfehlungen für die Festlegung von Zuschlagskriterien aus modelltheoretischer Sicht erörtert.

9.1.1 Anzahl der Zuschlagskriterien

Die Bewertung strategischer und operativer Ziele kann mithilfe vielfältiger Kriterien erfolgen. Bei der Planung komplexer Bauleistungen können z.B. vergleichsweise wenige Planungsvarianten mithilfe einer deutlich höheren Anzahl an Kriterien gewertet werden. Dies zeigt KAMARIANAKIS (2013), der 23 Kriterien nutzt, um für ein unterirdisches Infrastrukturprojekt zwei Varianten zu vergleichen. Aus effizienzanalytischer Sicht ist ein hohes Verhältnis von Zuschlagskriterien zu Angeboten für die Ermittlung der technischen Effizienz unvorteilhaft. Die Dimension des Analysesystems ist bei einer DEA abhängig von der Anzahl $m+s$ der Zuschlagskriterien. Bei einer geringen Anzahl n an Angeboten und einer zugleich hohen Anzahl an Zuschlagskriterien führt dies ggf. dazu, dass viele der Angebote als technisch effizient gewertet werden. Werden vom Auftraggeber beispielsweise $m+s=4$ Zuschlagskriterien für eine Vergabe

festgelegt, zu der $n=2$ Angebote eingehen, ist es nicht unwahrscheinlich, dass beide Angebote als technisch effizient gewertet werden. SCHEEL (2000) stellt hierzu fest, dass „zu viele verschiedene Kennzahlen Ineffizienzen verschleiern“. Diese Eigenschaft wird auch in dem Anwendungsbeispiel in Kap. 0 für das Angebot A9 ersichtlich. Das Angebot kann mit nur einer sehr guten Kriterienmenge ($y_{A9,2}=10$ Punkte) zu technischer Effizienz gelangen, obwohl es in den anderen Kriterien vergleichsweise schlechte Kriterienmengen aufweist. Für die Ableitung der Rangfolge ist dieses Verhalten unkritisch, da die Wertung nicht ausschließlich auf der technischen Effizienz, sondern auf dem Konzept der Nerlove'schen Effizienz basiert. Dies zeigt sich letztlich an der Platzierung von Angebot A9 (Rang 43 von 45). Die Anzahl an Zuschlagskriterien sollte jedoch wegen des sekundären Ziels, der Ableitung von Handlungsoptionen mithilfe der technischen Effizienz, limitiert werden. Bei einer großen Anzahl an Kriterien kann ein Angebot vergleichsweise einfach einen technischen Effizienzwert von $TE_0=0$ erlangen, indem es eine sehr gute Kriterienmenge in nur einem Zuschlagskriterium erzielt. Dieser beste technische Effizienzwert erweckt den Anschein, dass der Bieter die Auftragsvergabe ausschließlich aufgrund der Gewichtung des Auftraggebers nicht gewonnen hat. Durch die Fokussierung auf wenige Kriterien verringert sich die Wahrscheinlichkeit, dass eine hohe Anzahl der Angebote als technisch effizient gewertet wird. Da die Anzahl der eingehenden Angebote im Vorfeld unbekannt ist, müssen die Zuschlagskriterien so definiert werden, dass eine geringe Anzahl an Kriterien die strategischen und operativen Planungsziele bestmöglich abdeckt. So kann z.B. das Planungsziel „Errichtung eines nachhaltigen Bauwerks“ im Rahmen der Vergabe konkretisiert werden, indem eine Bewertung der Baustellenprozesse zugunsten einiger ausgewählter Teilaspekte aus dem Bereich der Nachhaltigkeit („Abfallkonzept“, „Lärmschutzkonzept“ o.ä.) erfolgt. Die technische Effizienz gibt dann partiell Auskunft darüber, wie erfolgreich Bieter die Fokussierung des strategischen Ziels im Zuge der Baustellenabwicklung umsetzen können. Die Empfehlung für den operativen Beschaffer hinsichtlich der Anzahl an Zuschlagskriterien lautet daher: Die operativen und strategischen Ziele sollten durch so viele Kriterien wie nötig und so wenige Kriterien wie möglich abgedeckt werden. Eine konkretere Angabe über eine maximale Anzahl an Zuschlagskriterien ist nicht möglich, da die Anzahl der eingereichten Angebote von Vergabeverfahren zu Vergabeverfahren variiert.

9.1.2 Skalenniveau der Zuschlagskriterien

Das Skalenniveau bezeichnet die Art der Bewertungsskala von Kriterien. Sie ist bei Zuschlagskriterien entweder ordinal oder kardinal. Wie in dieser Arbeit beschrieben, werden qualitative Zuschlagskriterien häufig durch ordinale, also ganzzahlige Werte bspw. auf einer Skala von 0 bis 10 Punkten bewertet. Kriterien, wie Kosten, Bauzeit oder der jährliche Energieverbrauch, sind hingegen kardinale Werte. Durch die Implementierung von Grenzwerten können sowohl ordinale als auch kardinale Zuschlagskriterien mit dem entwickelten Angebotswertungsmodell gewertet werden. Im Ergebnis wird die ordinale Struktur jedoch aufgebrochen, da der Effizienzwert reellwertig ist und die Kriterienmengen der Projektionen auf der Gewinn- und Randfunktion somit nicht ganzzahlig sind. Aus methodischer Sicht eignen sich kardinale Kriterien grundsätzlich besser, da das Skalenniveau erhalten bleibt.

Im Rahmen der Angebotserstellung ist die Quantifizierung kardinaler Kriterien durch Bieter, wie z.B. die Ermittlung der Folgekosten oder des Energieverbrauchs, i.d.R. mit einem höheren Aufwand verbunden als die Ausarbeitung von Leistungskonzepten für ordinale Kriterien, die dann von einer Bewertungskommission ad hoc bewertet werden. Kardinale Kriterien sind zudem vielfach von objektspezifischen Rahmenbedingungen abhängig. Als solche sind bspw. das spezifische Nutzerverhalten oder die Gebäudehülle zu nennen, um den Energieverbrauch z.B. für die Gebäudeheizung zu berechnen. Um eine zuverlässige, nachvollziehbare und zügige Berechnung der Kriterienmengen für kardinale Zuschlagskriterien zu ermöglichen, sind Simulationen erforderlich, die die äußeren Randbedingungen des Vergabeobjekts berücksichtigen. Derartige Szenarienanalysen erfordern ein digitales Abbild des Bauwerks, damit ein Bieter in dem begrenzten Zeitraum, der für die Angebotserstellung zur Verfügung steht, Varianten ausarbeiten kann. Die Verbreitung digitaler Planungsmethoden, wie dem Building Information Modeling, kann somit auch die Vergabe beeinflussen und den Anteil an kardinalen Zuschlagskriterien erhöhen. Hierzu ist es jedoch erforderlich, dass ein digitales Abbild des Vergabeobjekts bereits als Teil der Ausschreibungsdokumente veröffentlicht und den Bietern für die Angebotserstellung zur Verfügung steht. Nicht nur die Quantifizierung der Zuschlagskriterien durch den Bieter gestaltet sich auf diese Weise effizienter und belastbarer, sondern auch die Überprüfung durch den operativen Beschaffer. Die Möglichkeit der bauteilweisen Optimierung des Bauwerksmodells durch den Bieter kann die Abgabe von Nebenangeboten fördern und Raum für innovative und zugleich prüfbare Objekt- bzw. Prozesskonzepte schaffen. Es ist somit für die Vergabe wirtschaftlicher Angebote empfehlenswert, frühzeitig ein digitales Bauwerksmodell zu erstellen und es den Bietern für die Angebotserstellung zur Verfügung zu stellen.

9.1.3 Wertung von mehreren monetären Zuschlagskriterien

Zur Angebotswertung werden neben dem Preis in § 16d EU Abs. 2 Nr. 5 VOB/A fünf weitere Kostenarten zur Berechnung der Lebenszykluskosten benannt (vgl. Kap. 3.2.4). Auch im VHB Bund wird die Möglichkeit beschrieben, „*Folgekosten*“ als Zuschlagskriterium abzufragen (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG 2017). Weder in der VOB noch im Vergabehandbuch wird jedoch erläutert, wie die Aggregation der Kostenkriterien erfolgen soll. In § 16d EU Abs. 2 Nr. 7 VOB/A wird lediglich ausgeführt, dass *„für den Fall, dass eine gemeinsame Methode zur Berechnung der Lebenszykluskosten durch einen Rechtsakt der Europäischen Union verbindlich vorgeschrieben wird, [...] diese gemeinsame Methode bei der Bewertung der Lebenszykluskosten Anwendung [finden soll]“*. Aus effizienzanalytischer Sicht ergibt sich die Fragestellung, ob vor der Durchführung der Effizienzwertberechnung alle monetären Zuschlagskriterien zu einem Kostenkriterium zusammengefasst werden müssen (z.B. indem der Kapitalwert berechnet wird) oder ob sie als einzelne Zuschlagskriterien (z.B.

x_1 : Angebotspreis, x_2 : Nutzungskosten²⁶, x_3 : Wartungskosten²⁷ etc.) in die Effizienzwertberechnung eingehen können. Die differenzierte Wertung unterschiedlicher Kostenanteile mit einer DEA zeigen HAAS (2004), GARFAMY (2006) und RAMANATHAN (2007). Beide Berechnungsmöglichkeiten weisen Vor- und Nachteile auf.

Durch die Zusammenfassung der Kostenkriterien vor der Durchführung der Effizienzanalyse in Form der Addition der Barwerte auf einen einheitlichen Bezugspunkt wird jenes Angebot identifiziert, das den geringsten Kapitalwert und nach VOGT (2013) somit die geringsten Lebenszykluskosten (LZK) aufweist. Für den definierten Betrachtungszeitraum und unter Verwendung eines Kapitalzinssatzes sowie Preiswertveränderungen gilt es als kostengünstigste DMU. THEWES UND VOGT (2014) stellen in diesem Zusammenhang fest, dass jene Aktivität zu bevorzugen ist, die im Vergleich mit anderen Aktivitäten die geringsten Lebenszykluskosten aufweist. Bei diesem eindimensionalen Vergleich (Maßeinheit: € bzw. allg. Geldeinheiten) kann eine eindeutige Rangfolge abgeleitet werden, ohne multidimensionale Entscheidungsmodelle heranzuziehen. Bei der Berechnung der Lebenszykluskosten wird jedoch nicht berücksichtigt, ob der Auftraggeber zeitnahe Mehrkosten für die Errichtung eines Bauwerkes präferiert bzw. ob ein höherer Angebotspreis kurzfristig aufgebracht werden kann. Vielmehr wird im Ergebnis differenziert, ob die höheren Kosten für die Errichtung über den Betrachtungszeitraum, durch eine geringere Summe an Folgekosten, amortisiert werden. Bei der budgetrestriktiven öffentlichen Vergabe steht dem operativen Beschaffer zur Ausführung jedoch ggf. nur eine begrenzte Summe an Haushaltsmitteln zur Verfügung, sodass eine zeitnah kostenintensivere Bauleistung ggf. nicht realisierbar ist. Über die differenzierte Wertung der zu minimierenden Zuschlagskriterien x_1 : Angebotspreis und x_2 : Folgekosten²⁸ und über das Konzept der Gewinnfunktion, kann eine projektspezifische Gewichtung festgelegt werden. So werden für ein Zahlenbeispiel mit den vier Angeboten A1 bis A4 die Rangfolgen für beide Varianten in Tabelle 33 ermittelt. Für die Berechnung der Nerlove'schen Effizienz NE_0 wird eine Gewichtung von $a_{x_1}=75\%$ und $a_{x_2}=25\%$ gewählt. Der zeitnah aufzubringende Angebotspreis (i.S.d. Initialkosten) erhält also im Verhältnis zu den Folgekosten einen höheren Stellenwert in der Angebotswertung. Es zeigt sich, dass das kurzfristig günstigste Angebot A4 in der Rangfolge den ersten Platz belegt. Die Addition der monetären Kriterien führt dazu, dass sich das Angebot mit dem niedrigsten Kapitalwert auf dem ersten Platz der Rangfolge befindet.

Tabelle 33: Wertungsmöglichkeit bei mehreren monetären Zuschlagskriterien

| Angebot | x_1 : Angebotspreis | x_2 : Folgekosten | $LZK=x_1+x_2$ | Rangfolge gem. LZK | NE_0 | Rangfolge gem. NE_0 |
|---------|-----------------------|---------------------|---------------|--------------------|--------|-----------------------|
| | [Mio. €] | [Mio. €] | [Mio. €] | | [-] | |
| A1 | 8,5 | 27,5 | 36,0 | 2 | 0,250 | 4 |
| A2 | 8,2 | 28,5 | 36,7 | 4 | 0,227 | 3 |
| A3 | 8,0 | 27,5 | 35,5 | 1 | 0,063 | 2 |
| A4 | 7,5 | 28,9 | 36,4 | 3 | 0,000 | 1 |

²⁶ z.B. als Summe der Barwerte der Zinszahlungen (i.F. kumulierte Barwerte)

²⁷ z.B. als kumulierte Barwerte

²⁸ z.B. als kumulierte Barwerte

Derzeit existiert keine eindeutige Vorschrift, die eine gewichtete Wertung einzelner Kostenkriterien oder aber eine zusammenfassende Wertung, wie mithilfe der Kapitalwertmethode, vorschreibt. Somit muss der operative Beschaffer im Vorfeld der Vergabe für den spezifischen Einzelfall entscheiden, ob er die verschiedenen Kostenkriterien einer Gewichtung unterziehen will oder nicht. Über die Vergaberechtskonformität der aufgezeigten Effizienzwertberechnung, vor dem Hintergrund knapper finanzieller Haushaltsmittel öffentlicher Bauträger, kann kein abschließendes Urteil gefällt werden. Dem strategischen Entscheider wird daher empfohlen, in diesem Punkt Klarheit zu schaffen. Ansonsten besteht die Gefahr, dass durch die Nutzung des Angebotswertungsmodells kurzfristig kostengünstige Bauvarianten gegenüber langfristig lebenszykluskostenreduzierten Objekten legitimiert werden.

9.2 Synopse zum Formblatt 227 im VHB Bund

Mit dem Formblatt 227 des VHB Bund existiert ein standardisiertes Formular für die Dokumentation der Zuschlagskriterien und ihrer Gewichtung. In den „*Hinweisen zu 227*“ werden zudem die wesentlichen Schritte für die Wertung der Angebote benannt. Da das VHB Bund als „*Arbeitsmittel bei der Vorbereitung und Abwicklung von Bauverträgen*“ (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG 2017) von den operativen Beschaffern von Bauleistungen herangezogen werden kann, soll eine Anpassung die Möglichkeit für die weiterführende Nutzung des Formblattes gewährleisten. Das BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (2016) verfolgt das Ziel, das Vergabehandbuch regelmäßig weiterzuentwickeln. Im Aktionsplan Großprojekte vom 09.12.2016 heißt es: „*Wir wollen im Vergabehandbuch des Bundes darauf hinwirken, dass die vorzulegenden Kalkulationsunterlagen noch größere Transparenz aufweisen, um taktische Angebote vor Zuschlagserteilung besser ausschließen zu können.*“

Das Formblatt 227 des VHB Bund kann zur Dokumentation der Zuschlagseffizienz ergänzt werden. Hierzu ist die Tabelle „Gewichtung der Zuschlagskriterien“, wie in Tabelle 34 gezeigt, abzuändern. Aus der Möglichkeit, zehn Zuschlagskriterien mit der Excel-Anwendung TEEA zu werten, ergibt sich die Größe der Tabelle. In die Tabelle sind bereits die im Formblatt 227 beispielhaft formulierten Zuschlagskriterien eingetragen. Zusätzlich zu der Tabelle sind die „Hinweise zu 227“, die bspw. die Umrechnung von Preisen in Punkte beschreiben, umzuformulieren. Der Originaltext wird hierzu angepasst und synoptisch dem Originaltext gegenübergestellt. Dabei wird die Neufassung des Textes in Tabelle 35 an den notwendigen Stellen durchgestrichen und gegen die in Rot dargestellten Textbausteine ersetzt.

Tabelle 34: Formblatt zur Wertungskennzahl "Zuschlagseffizienz"

| lfd. Nr. | Zuschlagskriterien | Maßeinheit | Gewichtung [%] | Optimierungsziel (min o. max) | Grenzwerte | |
|----------|---|------------|----------------|-------------------------------|------------|-------------|
| | | | | | Obergrenze | Untergrenze |
| 1 | Preis | | | | | |
| 2 | technischer Wert | | | | | |
| 3 | Vertragsbedingungen | | | | | |
| 4 | Folgekosten | | | | | |
| 5 | Energieeffizienz | | | | | |
| 6 | andere, z.B. emissionsarme Baumaschinen | | | | | |
| 7 | | | | | | |
| 8 | | | | | | |
| 9 | | | | | | |
| 10 | | | | | | |
| | Summe: | | 100 | | | |

Hinweise: min: Zuschlagskriterium mit Minimierungsziel

Max: Zuschlagskriterium mit Maximierungsziel

Tabelle 35: Synopse zu "Hinweise zu 227" aus dem VHB Bund (2017)

| „Hinweise zu 227“ aus dem VHB Bund (2017) | Vorschlag für die „Hinweise zu 227“ für die Einführung des Angebotswertungsmodells |
|--|---|
| <p>1 Grundlage der Punktebewertung für das Zuschlagskriterium Preis:</p> <p>Für die Angebotswertung wird eine Punkteskala von 0 bis 10 Punkte festgelegt. 10 Punkte erhält das Angebot mit der niedrigsten Wertungssumme. 0 Punkte erhält ein Angebot mit dem zwei-fachen der niedrigsten Wertungssumme. Alle Angebote darüber erhalten ebenfalls 0 Punkte. Die Punktebewertung für die dazwischen liegenden Preise erfolgt über eine lineare Interpolation mit bis zu drei Stellen nach dem Komma.</p> | <p>1 Grundlage der Punktebewertung Wertung für das Zuschlagskriterium Preis Kostenkriterien:</p> <p>Als Kostenkriterien gelten die monetären Zuschlagskriterien gem. § 16d EU Abs. 2 VOB/A, also der Preis und die Lebenszykluskosten bzw. gem. § 16d Abs. 1 Nr. 3 VOB/A, also der Preis und Betriebs- und Folgekosten. Für die Angebotswertung wird eine Punkteskala von 0 bis 10 Punkte festgelegt. Für die Angebotswertung gehen Kostenkriterien in ihrer ursprünglichen Maßeinheit [€] in die Zuschlagsrechnung ein. 10 Punkte erhält das Angebot mit der niedrigsten Wertungssumme. 0 Punkte erhält ein Angebot mit dem zwei-fachen der niedrigsten Wertungssumme. Alle Angebote darüber erhalten ebenfalls 0 Punkte. Die Punktebewertung für die dazwischen liegenden Preise erfolgt über eine lineare Interpolation mit bis zu drei Stellen nach dem Komma. Für Kostenkriterien ist das Optimierungsziel die Minimierung, also „weniger ist besser“ vorzugeben. Die Summe der v.H. Sätze für alle Kostenkriterien entspricht _____ %</p> |

Der Ordnungspunkt 2 „Gewichtung der Zuschlagskriterien“ wird ergänzt. Die fortlaufende Nummerierung in dieser Spalte ändert sich entsprechend und weicht von den Ordnungsnummern gemäß des VHB Bund in der Lesefassung 2017 ab.

2 Gewichtung der Zuschlagskriterien:

Von einer Gleichgewichtung der Zuschlagskriterien (50%:50% bei zwei Zuschlagskriterien; 33,3%:33,3%:33,3% bei drei Zuschlagskriterien usw.) ist abzusehen, da ansonsten ggf. mehrere Angebote als zuschlagseffizient gewertet werden. Darüber hinaus darf die Summe der Kostenkriterien nicht mehr als 90% betragen.

3 Gewichtung der Zuschlagskriterien, die sich auf Produkte beziehen:

Bei der Festlegung der v.H. Sätze für Zuschlagskriterien, die sich auf Positionen mit Produktangaben beziehen, wird nur der geschätzte Anteil der nachstehend benannten Positionen im Verhältnis zu allen Positionen mit Produktangaben berücksichtigt. Folgende Positionen wurden bei der Gewichtung berücksichtigt: _____

4 Gewichtung der Zuschlagskriterien für zugelassene Nebenangebote:

Sind nur für Teile der Leistung Nebenangebote zugelassen, wird nur der geschätzte Anteil der im Formblatt Mindestanforderungen an Nebenangebote 226 benannten Positionen gegenüber der Gesamtleistung bei der Festlegung der v.H. Sätze der Gewichtung berücksichtigt.

5 Grundlage der Punktebewertung für das Zuschlagskriterium Energieeffizienz:

Zwischenwerte werden linear interpoliert mit bis zu drei Stellen nach dem Komma.

5 Grundlage der Punktebewertung **Wertung für das Zuschlagskriterium Energieeffizienz-Leistungskriterien:**

Zwischenwerte werden linear interpoliert mit bis zu drei Stellen nach dem Komma. **Als Leistungskriterien** werden alle nicht monetären Zuschlagskriterien bezeichnet. Die Maßeinheiten, die zur Wertung dieser Kriterien herangezogen werden, sind mit den Ausschreibungsunterlagen bekanntzugeben. Ggf. sind Ober- und/oder Untergrenzen anzugeben (bspw. 0 bis 10 Punkte). Für Kriterien mit einer Punkteskala sind entsprechende Bewertungsmatrizen zu erstellen. Leistungskriterien, die sich auf Positionen mit Produktangaben be-

| | |
|---|---|
| | ziehen (bspw. Abfrage von Energieverbrauchsklassen für spezifische Leistungspositionen) sind kenntlich zu machen. Die Summe der v.H. Sätze für alle Leistungskriterien entspricht ____% |
| <p>6 Ermittlung der Gesamtpunktezahl für jedes Angebot: Für jedes in der Angebotsanforderung benannte Kriterium wird eine Punktezahl durch Multiplikation des v.H. Satzes des Zuschlagskriteriums mit den im Rahmen der Angebotsbewertung für das jeweilige Angebot festgelegten Punkten ermittelt (z.B.: Der Mindestbieter erhält 10 Punkte, das Zuschlagskriterium Preis wird mit 70% gewichtet. Die Punktezahl des Mindestbieters beträgt somit 7,00). Die Gesamtpunktezahl aller Kriterien eines Angebotes entscheidet über die Rangfolge.</p> | <p>6 Ermittlung der Gesamtpunktezahl Zuschlagseffizienz für jedes Angebot: Für jedes Kriterium in der Angebotsanforderung benannten Kriterien wird eine Punktezahl die Zuschlagseffizienz als Abstandsmaß zu einer Gewinnfunktion durch Multiplikation des aus den v.H. Sätzen des Zuschlagskriteriums der Zuschlagskriterien mit den im Rahmen der Angebotsbewertung für das jeweilige Angebot festgelegten Punkten ermittelt (z.B.: Der Mindestbieter erhält 10 Punkte, das Zuschlagskriterium Preis wird mit 70% gewichtet. Die Punktezahl des Mindestbieters beträgt somit 7,00). Die Gesamtpunktezahl aller Kriterien eines Angebotes entscheidet über die Rangfolge. Aus den Werten der Zuschlagseffizienz der Angebote wird die Rangfolge abgeleitet. Dabei besitzt das wirtschaftlichste Angebot einen Effizienzwert von $ZE_0=0^{29}$.</p> |

Die weiteren „Hinweise zu 227“ des VHB Bund bleiben, mit Ausnahme von Hinweis „4 Punktebewertung“ und den zugehörigen Unterpunkten 4.1 und 4.2, unberührt. Der Hinweis 4 ist ersatzlos zu streichen und durch die Textbausteine aus Kap. 9.3 zu ersetzen. Die in Hinweis 5 benannte Excel-Tabelle „Nebenangebote und Wertung“, die eine Umrechnung von Preisen in Wertungspunkte in Form der Interpolationsmethode vorsieht, kann durch die Excel-Anwendung TEEA ersetzt werden.

9.3 Textbausteine für Vergabedokumente

Da es sich bei dem entwickelten Angebotswertungsmodell um eine neue Methodik handelt, müssen Textbausteine für die Vergabedokumente verfasst werden. Die Texte kann der öffentliche Auftraggeber verwenden, um die Berechnungsmethodik im Rahmen der Ausschreibung zu erläutern. Für die Vergabedokumente sollen die vollständigen wissenschaftlichen Bezeichnungen zugunsten der Verständlichkeit reduziert werden. Die Beschreibung des Prinzips zur

²⁹ Die Abkürzung ZE_0 folgt der im nachfolgenden Kapitel 9.3 eingeführten Formulierung der Wertungskennzahl als „Zuschlagseffizienz“, als vereinfachtes Synonym für den Nerlove’schen Effizienzwert NE_0 .

Ermittlung der Wertungskennzahl der Nerlove'schen Effizienz soll in den Ausschreibungsunterlagen möglichst knapp, gleichzeitig aber so gehaltvoll wie möglich formuliert werden. In den Textbausteinen werden daher fachliterarische Begriffe unter Berücksichtigung des Anwendungsfalls umformuliert. So wird vorgeschlagen, die Kennzahl der Nerlove'schen Effizienz für die Zuschlagsentscheidung als „Zuschlagseffizienz“ zu bezeichnen. Der Begriff kennzeichnet den spezifischen Anwendungsfall und bindet das ökonomische Konzept der Effizienz in die wirtschaftliche Auftragsvergabe ein. Zudem wird vorgeschlagen, die technisch effizienten DMUs als „zuschlagsrelevante Angebote“ zu betiteln und statt von einer nicht parametrischen Effizienzanalyse von einer „Effizienzberechnung“ zu sprechen. Auf die Beschreibung des Berechnungskonzeptes zur Ermittlung der Projektionen wird verzichtet. Aus dem Ergebnis dieser Berechnung geht keine unmittelbar umzusetzende Konsequenz für die Bieter hervor, vielmehr stellt die Kalkulation des Verbesserungspotenzials einen zusätzlichen Baustein für die Förderung strategischer Ziele dar.

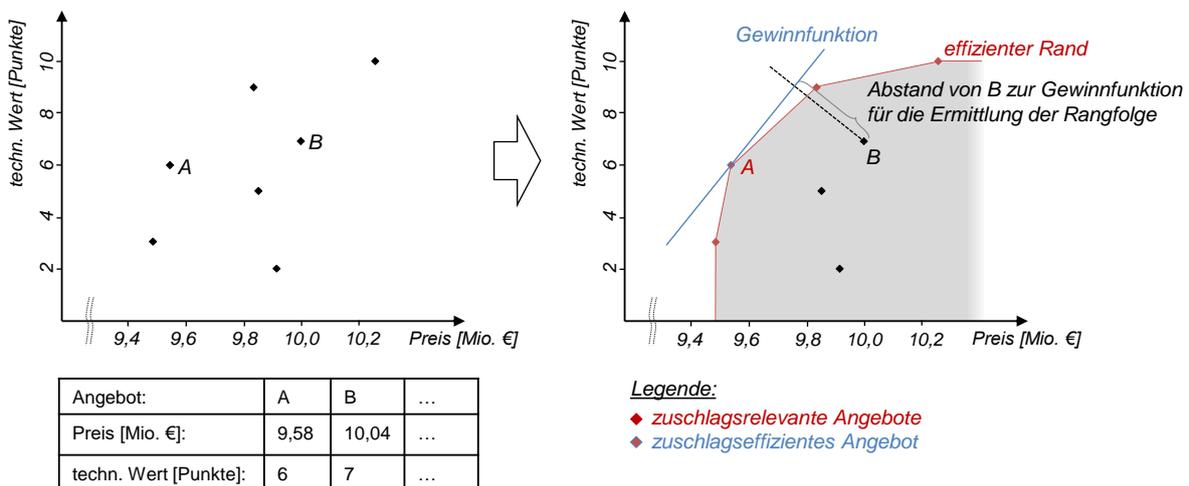
Auch die Komplexität des Berechnungsverfahrens soll so weit wie möglich reduziert werden, weshalb so wenig Variablen wie nötig verwendet werden. Für das DEA-Modell in Tabelle 36, mit dem die zuschlagsrelevanten Angebote ermittelt werden, können die Richtungsvektoren der Distanzfunktion d_{xi} und d_{yr} aus (7.10-2) und (7.10-3) vernachlässigt werden, wenn die vorläufige Distanzfunktion zu $d_{vorl}(d_{xi}=1, d_{yr}=1)$ gesetzt wird. Da die Berechnung der Projektionen nicht in der Ausschreibung beschrieben werden muss, ist die Variabilität der Richtungsvektoren für die Ausschreibungsdokumente nicht erforderlich. In der Tabelle wird auch auf die Nummerierung der Zielfunktion und der Nebenbedingungen verzichtet, sodass sie direkt in Ausschreibungsdokumente übertragen werden können.

Zweidimensionale, grafische Beispiele sind zum Aufzeigen des Berechnungsprinzips von hohem Nutzen. Daher werden den Textbausteinen an den entsprechenden Stellen zweidimensionale Abbildungen hinzugefügt. Die Textstellen für die Vergabedokumente werden weiterführend durch die *kursive Schreibweise* gekennzeichnet. Die Textbausteine können wie folgt lauten:

1. Prinzip für die Ermittlung der Zuschlagseffizienz

Die Ermittlung des wirtschaftlichsten Angebots basiert auf der Wertungskennzahl der Zuschlagseffizienz. Das Verfahren wird unter Zuhilfenahme der untenstehenden Abbildung (hier: Abbildung 69) erläutert. Sieben Angebote werden anhand der zwei Zuschlagskriterien „Preis“ und „technischer Wert“ gewertet. Für den Preis gilt „weniger ist besser“ für den technischen Wert gilt „mehr ist besser“. Es wird also zwischen Zuschlagskriterien mit Minimierungsziel und Zuschlagskriterien mit Maximierungsziel unterschieden. Das Prinzip der Berechnung wird für die beiden Angebote A und B erläutert. Jedes Angebot kann wie ein Punkt in einem Koordinatensystem, wie im Teil (a) der Abbildung verdeutlicht, verstanden werden. Jede Systemachse stellt ein Zuschlagskriterium dar. Zur Effizienzberechnung werden aus den Koordinatenpunkten im Teil (b) der Abbildung zunächst jene Angebote identifiziert, die zuschlagsrelevant sind. Sie spannen einen effizienten Rand auf, der hier beispielhaft in Rot dargestellt ist. Aus der Gruppe dieser zuschlagsrelevanten Angebote wird das wirtschaftlichste Angebot mithilfe einer

Gewinnfunktion ausgewählt. Diese Gewinnfunktion ergibt sich aus der Gewichtung, die der Auftraggeber vorgibt. Sie wird als Tangente an den effizienten Rand angelegt. Das Angebot, das sich im Tangentialpunkt der Gewinnfunktion und des effizienten Randes befindet (hier: Angebot A), weist das beste Verhältnis der Zuschlagskriterien auf und gilt als zuschlagseffizient. Alle anderen Angebote weisen einen Abstand zur Gewinnfunktion auf, der entlang eines definierten Weges gemessen wird. Aus dem Abstand aller Angebote zur Gewinnfunktion ermittelt sich die Rangfolge.



(a) Zuschlagskriterien als Koordinatenpunkte

(b) Unterscheidung effizienter Angebote und Berechnungskonzept

Abbildung 69: Grafische Erläuterung der Wertungsmethodik

2. Ermittlung der zuschlagsrelevanten Angebote

Die Ermittlung der zuschlagsrelevanten Angebote kann entweder grafisch erfolgen (bei bis zu drei Zuschlagskriterien), mithilfe der verifizierten Excel-Anwendung TEEA oder durch das Lösen der nachfolgend angegebenen linearen Optimierungsaufgabe. Alle Zuschlagskriterien, die ein Minimierungsziel besitzen, werden mit x bezeichnet, alle Zuschlagskriterien mit einem Maximierungsziel mit einem y . Bei mehreren Kriterien mit demselben Optimierungsziel werden dem x bzw. dem y die Indizes 1, 2, 3 usw. angehängt (bspw. x_1 : Preis, x_2 : Bauzeit, y_1 : techn. Wert, y_2 : Lärmschutzkonzept). Alle Angebote, die nach dem Lösen der Optimierungsaufgabe einen Wert von $ZR_0=0$ besitzen, gelten als zuschlagsrelevant.

Hinweis: Der operative Beschaffer muss in einem ergänzenden Satz eindeutig den für die Wertung gewählten Lösungsweg benennen, also entweder eine grafische Lösung, das Programm TEEA oder die Nutzung einer eigenen Berechnung angeben. Unabhängig von der Entscheidung über den Lösungsweg muss die Optimierungsaufgabe der nachfolgenden Tabelle (hier: Tabelle 36) aus Gründen der Transparenz in die Ausschreibungsdokumente aufgenommen werden. Für die Berechnung wird auf der Grundlage der Gewichtung der Kostenkriterien eine Fallunterscheidung getroffen. Beträgt die Summe der v.H.-Werte aller Kostenkriterien (vgl. angepasstes Formblatt 227 des VHB Bund) mehr als 75%, ist nur Gleichung (1) der Fallunterscheidung in den Ausschreibungsdokumenten zu nennen. Bei einer Gewichtung zwischen 45% und 75% ist nur Gleichung (2) und bei weniger als 45% nur Gleichung (3) der

Fallunterscheidung anzugeben.

Tabelle 36: Effizienzanalyse zur Ermittlung der zuschlagsrelevanten Angebote

| Zielfunktion | Nebenbedingungen |
|--------------|---|
| $\max ZR_0$ | $\sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot y_{j,r} \geq y_{0,r} + ZR_0$ für alle r Kriterien mit Maximierungsziel $\sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot x_{j,i} \leq x_{0,i} - ZR_0$ für alle i Kriterien mit Minimierungsziel $\lambda_j \geq 0 \quad \forall j=1, \dots, n$ |
| | <u>Fallunterscheidung:</u> $\sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 1 \quad \forall j=1, \dots, n$ (1): Kostenkriterien > 75% $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad \forall j=1, \dots, n$ (2): 45% ≤ Kostenkriterien ≤ 75% $\sum_{j=1}^n \lambda_j \leq 1 \quad \forall j=1, \dots, n$ (3): Kostenkriterien < 45% |

Formelzeichen:

$x_{j,i} = (x_{j,1}, x_{j,2}, \dots, x_{j,m})$: Kriterienwerte in den $i=1, 2, \dots, m$ Kriterien mit Minimierungsziel aller Angebote j

$x_{0,i} = (x_{0,1}, x_{0,2}, \dots, x_{0,m})$: Kriterienwerte in den $i=1, 2, \dots, m$ Kriterien mit Minimierungsziel des Angebots 0

$y_{j,r} = (y_{j,1}, y_{j,2}, \dots, y_{j,s})$: Kriterienwerte in den $r=1, 2, \dots, s$ Kriterien mit Maximierungsziel aller Angebote j

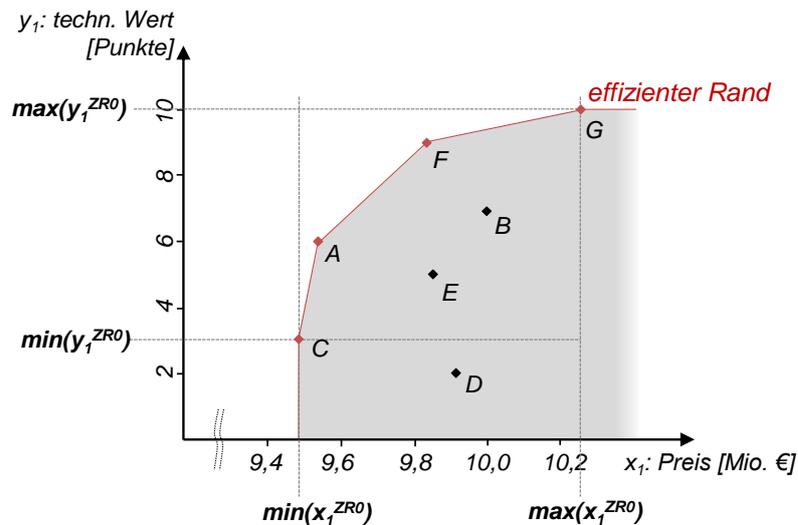
$y_{0,r} = (y_{0,1}, y_{0,2}, \dots, y_{0,s})$: Kriterienwerte in den $r=1, 2, \dots, s$ Kriterien mit Maximierungsziel des Angebots 0

ZR_0 : Zuschlagsrelevanz; bei $ZR_0=0$ ist das Angebot zuschlagsrelevant

λ_j : Referenzvektor (ergibt sich als Lösungsvariable der Rechnung)

3. Ermittlung des zuschlagseffizienten Angebots

Für jedes Zuschlagskriterium liegt nach der Identifikation der zuschlagsrelevanten Angebote ein maximaler Wert (für x_1 : höchster Preis, für y_1 : höchste Punktzahl) und ein minimaler Wert (für x_1 : niedrigster Preis, für y_1 : niedrigste Punktzahl) vor. In der nachfolgenden Abbildung (hier: Abbildung 70) werden diese Werte für den technischen Wert als Zuschlagskriterium mit Maximierungsziel, mit $\min(y_1^{ZR_0})$ und $\max(y_1^{ZR_0})$ bezeichnet. Für $\min(y_1^{ZR_0})$ ergibt sich ein Wert von 3 Punkten, für $\max(y_1^{ZR_0})$ ein Wert von 10 Punkten. Die minimalen und maximalen Werte des Preises werden mit $\min(x_1^{ZR_0})$ und $\max(x_1^{ZR_0})$ abgekürzt. Für $\min(x_1^{ZR_0})$ ergibt sich ein Wert von 9,5 Mio. €, für $\max(x_1^{ZR_0})$ ein Wert von 10,3 Mio. €. Bei weiteren Kriterien wird der tiefgestellte Index fortlaufend durchnummeriert. Allgemein werden die Variablen als $\max(x_i^{ZR_0})$ bzw. $\max(y_r^{ZR_0})$ und $\min(x_i^{ZR_0})$ bzw. $\min(y_r^{ZR_0})$ bezeichnet.

Legende:

- ◆ zuschlagsrelevante Angebote
- ◆ zuschlagsirrelevante Angebote

Abbildung 70: Berechnung der Zuschlagseffizienz mithilfe der maximalen und minimalen Kriterienwerte
 Zur Identifikation des zuschlagseffizienten Angebots werden die Werte in die nachfolgende Gleichung (hier: (9.1)) eingesetzt. Im Zähler werden mit a_{x_i} bzw. a_{y_r} die jeweiligen v.H.-Werte der Kriteriengewichte der Zuschlagskriterien x_i bzw. y_r eingetragen und mit den jeweiligen Kriterienwerten aller Angebote nacheinander multipliziert. Die Gleichung wird also für alle Angebote gelöst. Der höchste aller berechneten Werte (math: supremum) ist der Gewinnfunktionswert.

$$\text{Gewinnfunktionswert} = \sup \left(\frac{a_{y_r} \cdot y_{j,r}}{\max(y_r^{ZR0}) - \min(y_r^{ZR0})} - \frac{a_{x_i} \cdot x_{j,i}}{\max(x_i^{ZR0}) - \min(x_i^{ZR0})} \right) \quad (9.1)$$

Formelzeichen:

a_{y_r} : Gewichtung für ein Zuschlagskriterium $r=1,2,\dots$ mit Maximierungsziel

a_{x_i} : Gewichtung für ein Zuschlagskriterium $i=1,2,\dots$ mit Minimierungsziel

$\max(y_r^{ZR0})$: maximale Kriterienwerte (eines Zuschlagskriteriums mit Maximierungsziel) der zuschlagsrelevanten Angebote

$\min(y_r^{ZR0})$: minimale Kriterienwerte (eines Zuschlagskriteriums mit Maximierungsziel) der zuschlagsrelevanten Angebote

$\max(x_i^{ZR0})$: maximale Kriterienwerte (eines Zuschlagskriteriums mit Minimierungsziel) der zuschlagsrelevanten Angebote

$\min(x_i^{ZR0})$: minimale Kriterienwerte (eines Zuschlagskriteriums mit Minimierungsziel) der zuschlagsrelevanten Angebote

Sonderfall: Sollte nur ein Angebot als zuschlagsrelevant identifiziert werden, gewinnt dieses Angebot automatisch die Vergabe. Um für die anderen Angebote eine Rangfolge zu bilden, wird eine Sonderlösung für die Berechnung vorgegeben. Dies ist erforderlich, da der minimale

und maximale Kriterienwert bei nur einem zuschlagsrelevanten Angebot gleich und infolgedessen der Nenner der Gleichung (hier: (9.1)) den Wert 0 annimmt. Für den Sonderfall eines technisch effizienten Angebots gilt daher: Wenn die Anzahl der zuschlagsrelevanten Angebote $n^{TE}=1$ ergibt, wird $\min(x_i^{ZR0})=0,75 \cdot x_i^{ZR0}$ und $\max(x_i^{ZR0})=1,25 \cdot x_i^{ZR0}$ bzw. $\min(y_r^{ZR0})=0,75 \cdot y_r^{ZR0}$ und $\max(y_r^{ZR0})=1,25 \cdot y_r^{ZR0}$ gesetzt. Dabei entsprechen x_i^{ZR0} und y_r^{ZR0} den Kriterienwerten des zuschlagsrelevanten Angebots.

Mithilfe der nachfolgenden Gleichung (hier (9.2)) wird für alle Angebote die Wertungskennzahl der Zuschlagseffizienz (ZE_0) berechnet, um eine eindeutige Rangfolge abzuleiten. Hierzu wird von dem höchsten Gewinnfunktionswert der aktuelle Gewinn eines jeden Angebots abgezogen. Da beim zuschlagseffizienten Angebot der aktuelle Gewinn und der Gewinnfunktionswert identisch sind, ergibt sich ein Wert von $ZE_0=0$. Es liegt exakt im Tangentialpunkt des effizienten Randes und der Gewinnfunktion. Alle anderen Angebote weisen einen Abstand auf. Dieser wird durch den Faktor $1/(m+s)$ dividiert, wobei $m+s$ die Anzahl aller zu minimierenden und zu maximierenden Zuschlagskriterien (im Beispiel Preis und techn. Wert, also $m+s=2$) bezeichnet. Je niedriger der Wert der Zuschlagseffizienz ist, desto besser ist das Angebot. Die Rangfolge ergibt sich somit von $ZE_0=0$ für Rang 1 aufsteigend. Somit ist Fall (2) in der Optimierungsaufgabe (hier Tabelle 36) vorzugeben.

$$ZE_0 = \frac{1}{m+s} \left[\text{Gewinnfunktionswert} - \left(\frac{a_{yr} \cdot y_{0,r}}{\max(y_r^{ZR0}) - \min(y_r^{ZR0})} - \frac{a_{xi} \cdot x_{0,i}}{\max(x_i^{ZR0}) - \min(x_i^{ZR0})} \right) \right] \quad (9.2)$$

Formelzeichen:

ZE_0 : Zuschlagseffizienz eines Angebots

Für die Ableitung einer Rangfolge ist die Berechnung des Gewinns aller Angebote ausreichend. Jedoch wird erst aus der Wertungskennzahl der Zuschlagseffizienz eindeutig ersichtlich, welches Angebot Zuschlagseffizienz erzielt ($ZE_0=0$). Darüber hinaus ist das Ergebnis für die weiterführende Analyse erforderlich. Die Ermittlung des Verbesserungspotenzials zur Rückspiegelung an die Bieter sowie zur Dokumentation in der Vergabeakte wird ausführlich in den Unterkapiteln zu Kap. 7.4 erörtert. Textbausteine sind nicht erforderlich, da es sich bei der Rückspiegelung um Zusatzinformationen handelt, die in den Ausschreibungsdokumenten aus vergaberechtlicher Sicht nicht erforderlich sind. Die Textbausteine zum Angebotswertungsmodell können in Leitfäden veröffentlicht werden. Im Weiteren werden Handlungsoptionen für unterlegene Bieter und den öffentlichen Auftraggeber benannt.

9.4 Maßnahmen zur Realisierung des Verbesserungspotenzials

Allen Bietern sollen die vom operativen Beschaffer ermittelten Kriterienmengen auf der Gewinn- und auf der Randfunktion rückgespiegelt werden. Die an öffentlichen Vergaben beteiligten Akteure können die gewonnenen Daten nutzen, um Handlungsoptionen für zukünftige öffentliche Auftragsvergaben abzuleiten.

9.4.1 Ableitung von Handlungsoptionen unterlegener Bieter

Die Ableitung von Handlungsoptionen aus gewonnenen Leistungsmustern (z.B. regelmäßig 5% bis 10% technische Ineffizienz, wenn bestimmte Leistungskriterien, wie z.B. „Bauzeitverkürzung“, neben dem Preis abgefragt werden) ist ein Forschungsfeld, das sich aus den Ergebnissen des entwickelten Angebotswertungsmodells ergibt. Unterlegene Bieter können eine kontextbasierte³⁰ Datenanalyse durchführen, wenn derartige Muster aus einer Mehrzahl an Vergabeverfahren, an denen ein Bieter teilgenommen hat, identifiziert werden. Die betriebsinterne Identifikation möglicher Schwachstellen ist ein sehr umfangreicher Prozess, der hier nur vergleichsweise begrenzt skizziert werden kann. Dieses Kapitel dient daher als Ausblick über die Weiternutzung der aus dem Angebotswertungsmodell gewonnenen Informationen zur Leistungssteigerung eines Bieters.

In Kap. 4.1 wurde bereits angeführt, dass die Durchführung einer Effizienzanalyse stets den weiterführenden Zweck verfolgt, Handlungsoptionen zur Identifikation von Schwachstellen abzuleiten. TALEBITARI (2016) stellt in diesem Zusammenhang fest, dass *„nur Unternehmen, die in der Lage sind, aus historischen und aktuell generierten Informationen auch einen echten Mehrwert ziehen, am Markt überleben“*. Somit ist es wichtig *„die Menge an Informationen im Kontext interpretierbar zu machen [...]“* (TALEBITARI 2016). Für den unterlegenen Bieter stellt sich also die Frage, wie er die gewonnenen Informationen nutzen kann, um die eigene Leistung, gemessen anhand der Zuschlagskriterien, zu verbessern. Hierzu ist nach der Feststellung von Verbesserungspotenzialen das baubetriebliche und unternehmerische Geschick des Bieters gefragt. Werden die Projektionen einer DMU_0 auf der Rand- und Gewinnfunktion als Abbild der eigenen Leistungsfähigkeit im Vergleich zum Wettbewerb verstanden, können Optimierungsstrategien hinsichtlich einzelner Leistungsbereiche eingeleitet werden. Grundsätzlich sind die Ergebnisse der Effizienzanalyse einer Vergabe nur Anhaltspunkte über die aktuelle Leistungsfähigkeit. Aussagekräftige Informationen in einzelnen Zuschlagskriterien sollten nicht auf der Grundlage eines einzigen Vergabeergebnisses getroffen werden, vielmehr führt erst die mehrfache Rückspiegelung von Effizienzwerten zu inhaltvollen Aussagen. So zeigt eine einmalig schlechte Kriterienmenge wenig über die tatsächliche Leistung in diesem Zuschlagskriterium an. Mehrfach schlechte Kriterienmengen in einem Zuschlagskriterium sollten jedoch dazu anregen, Möglichkeiten zur Leistungssteigerung auszuarbeiten, um die langfristige Wettbewerbsfähigkeit zu gewährleisten.

Zur Verbesserung der eigenen Leistung sind Ineffizienztreiber in den einzelnen Kriterien zu identifizieren. Hierzu ist z. B. ein umfangreicher Screening-Prozess über verfügbare Ressourcen, Arbeitsabläufe und Arbeitsmittel erforderlich. Bei Anbietern von Bauleistungen konzentriert sich die betriebsinterne Leistungsanalyse beispielsweise auf die folgenden Aspekte:

- Qualität des Personals → mögliche Handlungsoption: kontinuierliche Schulung und Weiterbildung
- Möglichkeiten zur Standardisierung von Arbeitsabläufen → mögliche Handlungsoption:

³⁰ Kontext nach (DEY UND ABOWD 2000): Informationen zur Beschreibung eines Sachverhalts

Einsatz von Lean Prinzipien, wie dem Last-Planner® Prinzip

- Digitalisierung und Automatisierung von Arbeitsprozessen → mögliche Handlungsoption: Einsatz von Building Information Modeling

Für die Verbesserung der Kriterienmengen monetärer Zuschlagskriterien sind über diese operativen Handlungsoptionen hinaus ggf. strategische Maßnahmen erforderlich:

- Hebung von Skaleneffekten → mögliche Handlungsoption: Outsourcing, Unternehmenskooperationen

Alle benannten Handlungsoptionen bieten das Potenzial für eine weiterführende Forschung auf Grundlage des ermittelten Verbesserungspotenzials.

9.4.2 Ableitung von Handlungsoptionen des öffentlichen Auftraggebers

Der operative Beschaffer kann die ermittelten Effizienzwerte nutzen, um einen Abgleich zwischen seinen Präferenzen und der festgelegten Gewichtung zu überprüfen und ggf. für zukünftige Vergabeverfahren anzupassen. Die Visualisierung der Gewichtung über die Gewinnfunktion zeigt die Auswirkungen einer Veränderung der Prozentwerte transparenter an, als es mit gängigen Wertungsformeln möglich ist. Die Überprüfung der Entscheidung mit variierenden Gewichten kann der operative Beschaffer nach der Angebotswertung in der TEEA-Anwendung vornehmen, indem er die Gewichtung verändert. Auf diese Weise erfolgt eine Sensibilisierung über die Auswirkungen der Gewichtung in Bezug auf das Ergebnis. Darüber hinaus erfolgt ein nachvollziehbarer Erfolgsnachweis, da der operative Beschaffer allen Bietern aufzeigen kann, welche Kriterienmengen zum Auftragsgewinn geführt hätten. Diese nachweisliche Dokumentation unterstützt die Transparenz der Angebotswertung.

Der strategische Entscheider kann die gewonnenen Informationen nutzen, um Handlungsoptionen für zukünftige Vergabeverfahren abzuleiten. Diese Erkenntnisse beziehen sich, wie im vorherigen Kap. 9.4.1 erläutert, nicht nur auf den einzelnen, konkreten Vergabefall, sondern vielmehr auf eine größere statistische Menge abgeschlossener Vergabeverfahren. Sie sind in Hinsicht auf zukünftige Vergabeprozesse, insbesondere für übergeordnete Ämter und Ministerien, von Interesse. Informationen, u.a. über den Nutzen strategischer Ziele in Abhängigkeit zu möglichen Mehrkosten, können bewertet werden. Eine einheitliche Definition darüber, welcher Betrag an Mehrkosten für strategische Ziele im Einklang mit dem Wirtschaftlichkeitsgrundsatz stehen, kann zudem benannt werden (NIEWERTH ET AL. 2017b; 2017c). Aus diesen Auswertungen können wiederum Empfehlungen zur Definition von Zuschlagskriterien (bspw. in Form von Kriterienkatalogen mit (teil-)standardisierten Wertungsmatrizen) und zu einer geeigneten Kriteriengewichtung ausgegeben werden. Statistische Auswertungen hierzu können in Leitfäden und Vergabehandbüchern veröffentlicht werden. Es scheint in diesem Sinne empfehlenswert, sich langfristig auf wenige, prägnante Zuschlagskriterien zu beschränken, damit Bieter die Sicherheit haben, dass eine kostenintensive Leistungssteigerung zugunsten bestimmter strategischer Aspekte langfristig zu einer Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit führt und infolgedessen einen messbaren, wirtschaftlichen Nutzen erbringt (NIEWERTH 2016).

Da die Informationen über eingereichte Angebote derzeit jedoch beim operativen Beschaffer

verbleiben und i.d.R. nicht an übergeordnete Behörden oder Ämter weitergereicht werden, ist der Informationsfluss eingeschränkt. Eine Übermittlung anonymisierter Datensätze sollte rechtlich überprüft werden, da erst eine große Anzahl an Informationen Leistungsmuster erkennen lässt. Wenn der strategische Entscheider Handlungsoptionen für den operativen Beschaffer bereitstellen will, erscheint es sinnvoll, im Vorfeld eine Klassifizierung der Bauleistungen vorzunehmen und für spezifische Objektarten Handlungsoptionen abzuleiten. Muster aus historischen Daten für vergleichbare Bauobjekte (z.B. Autobahnbrücken > 300m, Verwaltungsgebäude > 1000 m² Nutzfläche etc.) können vor der Veröffentlichung der Ausschreibungsdokumente herangezogen werden, um geeignete Zuschlagskriterien auszuwählen und die Gewichtung für den spezifischen Auftragsgegenstand festzulegen bzw. mit methodischer Unterstützung objektiviert zu bestimmen.

10 Zusammenfassung und Ausblick

10.1 Zusammenfassung

Der Auftraggeber, der im Zuge der öffentlichen Auftragsvergabe auch als operativer Beschaffer bezeichnet wird, soll die Vergabe eines öffentlichen Bauauftrags so ausgestalten, dass neben dem Preis weitere Zuschlagskriterien abgefragt werden. Mit der Vergabe zugunsten des wirtschaftlichsten Angebots sollen volkswirtschaftliche Aspekte, die im Fall der Auftragsvergabe als strategische Ziele bezeichnet werden, gefördert werden. Durch diese politische Forderung erhöht sich unweigerlich der Wertungsaufwand für den Auftraggeber und gleichermaßen der Bearbeitungsaufwand zur Erstellung der Angebotsunterlagen. Zudem wird durch qualitative Leistungskriterien, die durch eine Bewertungskommission des Auftraggebers ad hoc bewertet werden, die Subjektivität der Zuschlagsentscheidung gesteigert. Mathematische Schwachstellen in den aktuell verwendeten Wertungsformeln bieten zudem eine Angriffsfläche für die juristische Anfechtung der Vergabeentscheidung durch unterlegene Bieter. Nachprüfungsverfahren vor einer Vergabekammer bzw. weiterführend vor einem Oberlandesgericht können den Beginn der Ausführungsphase verzögern und ungeplante Mehrkosten hervorrufen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Modell für die Wertung öffentlicher Angebote entwickelt, das multidimensionale Zuschlagskriterien auf eine entscheidungstheoretisch adäquate Weise zusammenführt, um eine stabile Rangfolge abzuleiten. Insofern steigert das Modell die vergaberechtliche Sicherheit bei der Wertung wirtschaftlicher Angebote, bei denen neben dem Preis weitere nicht-monetäre Kriterien abgefragt werden. Neben diesem Primärziel soll das Modell zudem das Sekundärziel der Förderung strategischer Ziele im Rahmen der Auftragsvergabe unterstützen. Um diese Anforderungen zu vereinen, wird die Data Envelopment Analysis aus dem Feld der nicht-parametrischen Effizienzanalysen ausgewählt und an die spezifischen Randbedingungen der öffentlichen Auftragsvergabe angepasst. Hierzu werden geeignete Struktureigenschaften ausgewählt, die die Präferenzen des Auftraggebers zugunsten der zu wertenden Zuschlagskriterien widerspiegeln. Zudem wurde eine Distanzfunktion entwickelt, die die Nerlove'sche Effizienz als alternative Wertungskennzahl zum Preis-Leistungs-Verhältnis gem. § 127 Abs. 1 GWB über den direkten, radialen Abstand von einer DMU_0 zu der Gewinnfunktion misst. Das Konzept der technischen Effizienz wird somit erweitert, indem Wertinformationen in das DEA-Modell implementiert werden. Absolute Wertinformationen wie z.B. Marktpreise existieren für Zuschlagskriterien nicht. Das Vergaberecht fordert gem. § 127 Abs. 5 GWB vom Auftraggeber jedoch eine Gewichtung der Zuschlagskriterien. Um die subjektiven Größen so transparent wie möglich herzuleiten, wird der Analytische Hierarchieprozess verwendet. Mit diesem Verfahren kann die Gewichtung nachvollziehbar für alle Akteure dokumentiert werden, indem die Bedeutungen eines Kriteriums gegenüber allen anderen Kriterien paarweise benannt werden. Im Ergebnis resultiert ein Vektor, der die v.H.-Werte für alle Zuschlagskriterien enthält. Für die Implementierung dieser Prozentwerte in die DEA musste ein Umrechnungsansatz entwickelt werden, um mithilfe der zuschlagsrelevanten, technisch effizienten

Angebote DEA-konforme Wertinformationen zu generieren. Für die Umrechnung der relativen Gewichte in absolute Wertinformationen wird die Stärke der DEA ausgenutzt, die technisch effizienten Angebote zu identifizieren und als Bezugsgröße heranzuziehen. Der methodische Ausschluss zuschlagsirrelevanter Angebote für die Festlegung einer Bezugsgröße ist ein signifikanter Vorteil gegenüber gängigen Wertungsformeln.

Über das mikroökonomisch fundierte Konzept der Gewinnfunktion kann sodann eruiert werden, ob ein Bieter bei seinem Angebot die Präferenzen des Auftraggebers beachtet hat. Das wirtschaftlichste Angebot befindet sich sowohl auf der Randfunktion aus den technisch effizienten Angeboten, als auch auf der Gewinnfunktion, die sich aus der Gewichtung des Auftraggebers ableitet. Es gewinnt den Auftrag um die Ausführung der ausgeschriebenen Bauleistung. Alle anderen Angebote weisen einen Abstand zu der Gewinnfunktion und/oder der Randfunktion auf. Je höher der Abstand eines Angebots zur Gewinnfunktion ist, desto schlechter ist die Platzierung des Angebots in der Rangfolge. Die Berechnungsmethodik, die diesem Prinzip zu Grunde liegt, kann in den Ausschreibungsdokumenten durch eine mathematische Formel, die im Zuge dieser Arbeit hergeleitet wurde, sowie durch eine Optimierungsaufgabe angegeben werden.

Zur Förderung der strategischen Ziele wird die Effizienzanalyse als Benchmarkingkonzept verstanden. Mithilfe der Distanzfunktion und des technischen bzw. des Nerlove'schen Effizienzwertes können den Bietern Verbesserungspotenziale im Vergleich zum Wettbewerb angezeigt werden. Hierzu werden die Projektionen auf der Rand- bzw. der Gewinnfunktion berechnet. Diese Projektionen eines jeden Angebots zeigen die Kriterienwerte an, die ein Bieter hätte anbieten müssen, um Nerlove bzw. technisch effizient zu sein. Mit anderen Worten werden die Kriterienmengen rückgespiegelt, die zum Auftragsgewinn geführt hätten. Der langfristige Vergleich mit Wettbewerbern ermöglicht die Identifikation von Schwachstellen in allen Wettbewerbsfaktoren und nicht nur im Preiskriterium. Dies soll dazu führen, dass das Bewusstsein aller Akteure zugunsten der teilweise abstrakten Leistungsindikatoren, wie z.B. Aspekte der Nachhaltigkeit, steigt. Identifiziert ein Bieter mehrfach schlechte Werte in einem Zuschlagskriterium, sollte eine Optimierung der Bauprozesse bzw. der Baumanagementprozesse angestrebt werden, um die Wettbewerbsfähigkeit langfristig zu erhalten. Damit das entwickelte Modell Informationen rückspiegelt, die ein Bieter realisieren kann, wurde das Konzept der radialen Effizienzmessung für begrenzte Zuschlagskriterien erweitert. Für Kriterien, die z.B. auf eine Werteskala von 0 bis 10 Punkten begrenzt sind, wird ein nicht-radiales Konzept zur Effizienzmessung entwickelt. Die benannten Entwicklungsstufen sind in einer Microsoft Excel Arbeitsdatei umgesetzt. Zudem sind Textbausteine für die Vergabedokumente entstanden und Empfehlungen für den Auftraggeber benannt. Auf diese Weise kann das neue Angebotswertungsmodell direkt verwendet und anhand von realen Vergabefällen weiter erprobt werden. Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass das entwickelte Angebotswertungsmodell ein Baustein für die Angebotsprüfung ist, dem das Potenzial zugesprochen wird, den Konflikt zwischen der Ableitung einer stabilen Rangfolge und der politischen Forderung strategischer Ziele bei der Vergabe öffentlicher Bauaufträge aufzuheben.

10.2 Ausblick

Das entwickelte Angebotswertungsmodell stellt einen Beitrag zur Förderung strategischer Ziele dar, indem mathematische Schwächen gängiger Wertungsformeln überwunden und Verbesserungspotenziale identifiziert werden. Um das Modell für verschiedene Vergabegegenstände und unterschiedliche Kombinationen von Zuschlagskriterien zu validieren, sollte es einer umfangreicheren Erprobung im Rahmen von Vergabeverfahren für öffentliche Bauaufträge unterzogen werden. Dabei kann die Stabilität der Rangfolge weiter überprüft und die Fähigkeit der Leistungsanalyse eruiert werden. Insbesondere die langfristige Leistungsanalyse mit der Identifikation von Leistungsmustern zur Ableitung von Handlungsoptionen muss nach der Durchführung einer größeren Anzahl an Angebotswertungen mit dem entwickelten Modell weiterführend untersucht werden. Die Motivation eines Bieters, eine Verbesserung der Kriterienmengen herbeizuführen, wird davon abhängig sein, wie volatil Effizienzwerte bzw. wie deutlich Muster in den Daten erkennbar sind. Es muss überprüft werden, ob Zuschlagskriterien sich langfristig als Indikatoren für die Schwachstellenanalyse eignen oder ob Schwankungen bei unterschiedlichen Auftragsgegenständen die Ergebnisse zu sehr beeinträchtigen. Hierzu können in weiteren Forschungsarbeiten die gesammelten Effizienzwerte eines Bieters ausgewertet werden. Bieterseitig wäre der nächste Schritt die kontextbasierte Ableitung von Handlungsoptionen für verschiedene Zuschlagskriterien.

Als visualisierbares Ergebnis kann das Verständnis für strategische Ziele bei den beteiligten Akteuren einer öffentlichen Auftragsvergabe durch das Angebotswertungsmodell geschärft werden. Um eine Förderung von strategischen Zielen zu gewährleisten, sollte der strategische Entscheider Richtlinien entwerfen, um die wichtigsten Aspekte in Form von einigen wenigen, aussagekräftigen Zuschlagskriterien zu bündeln. Nach dem Vorbild des Kriterienkatalogs der Sozialpartner-Initiative FAIRE VERGABE (2016) aus Österreich wird auch dem strategischen Entscheider in Deutschland empfohlen, ein vergleichbares Werk zu entwickeln. Hier können neben den Kostenkriterien z.B. fünf bis acht aussagekräftige Leistungskriterien benannt werden, aus denen der operative Beschaffer eine Auswahl für den spezifischen Vergabefall treffen kann. Bei einer zu hohen Anzahl von zur Verfügung stehenden Kriterien können Bieter keine Themenschwerpunkte erkennen. Infolgedessen wird von den meisten Bietern, auch wenn ein Verbesserungspotenzial identifiziert wird, voraussichtlich keine Optimierung angestrebt, weil die Planungssicherheit fehlt. Erst wenn Gewissheit darüber besteht, welche Aspekte langfristig relevant sind, wird eine Optimierung z.B. der Baustellenprozesse, abgestimmt auf die strategische Zielsetzung, erfolgen. Eindeutig definierte Kriterien sind somit die Grundlage, um eine Veränderung des Wertebilds herzustellen. Dabei besteht die Chance, zukünftig nicht den Preisunterschied als wichtigstes Element zum Auftragsgewinn heranzuziehen, sondern den Effizienzwert als Vergleichsgröße für die Wirtschaftlichkeit der Angebote.

Weiterführender Diskussionsbedarf resultiert auch aus der neuen Möglichkeit, das mikroökonomische Minimalprinzip im Rahmen der Angebotswertung umzusetzen. Mit dem Angebotswertungsmodell existiert die Option, das Minimalprinzip durch die Nutzung einer inputorientierten Distanzfunktion zu methodisieren. Wie in Kap. 7.3.2 betont, stellt sich die Frage, ob das Sparsamkeitsprinzip für die wirtschaftliche Auftragsvergabe eine Inputorientierung erfordert.

Im Rahmen der Modellentwicklung wurde diese Fragestellung verneint, da die Leistungskriterien bei einer Inputorientierung nur in einer vergleichsweise unterrepräsentierten Form in die Wertung einfließen. Im entwickelten Modell wird eine simultane Verbesserung der Kosten- und der Leistungskriterien verfolgt. Diese Fragestellung kann in weiterführenden Forschungsarbeiten aufgegriffen und zur Diskussion gestellt werden. Gleichermaßen sind die Prozentwerte für die Fallunterscheidung der Struktureigenschaft der Skalenerträge, die an die Präferenzen des Auftraggebers gekoppelt ist, bei weiteren Vergabeverfahren zu überprüfen. Die festgelegten Grenzwerte für die Auswahl der Skalenertragsart können grundsätzlich angepasst werden, wenn weitere Untersuchungen zu dem Ergebnis führen, dass andere Grenzen die Präferenzen besser abbilden.

Damit das Angebotswertungsmodell in der Praxis genutzt werden kann, ist die Veröffentlichung einer Excel-Anwendung, wie die in den Unterkapiteln zu Kap. 7.6 beschriebene Datei TEEA, erforderlich. Für die Modellentwicklung wurde auf das Programm Microsoft Excel zurückgegriffen. Der Vorteil von Excel liegt in der breiten Verfügbarkeit sowohl auf der Seite der Auftraggeber, als auch auf der Seite der Bieter. Bei der Nutzung einer anderen Programmoberfläche könnte das Berechnungstool jedoch, bei bis zu drei Zuschlagskriterien, um eine grafische Ausgabe der Ergebnisse erweitert werden. Die Visualisierung erhöht die Verständlichkeit für die Ergebniswerte. Ein nächster Arbeitsschritt kann daher die Erweiterung der TEEA-Anwendung um eine grafische Ausgabe bei bis zu drei Zuschlagskriterien sein. Die Visualisierung der Rand- und Gewinnfunktion könnte bspw. mithilfe des „Quick Hull“ Algorithmus, den auch SEIDL UND SOMMERSGUTER-REICHMANN (2011) verwenden, erfolgen. Hierzu ist weiterführende Recherche- und Entwicklungsarbeit erforderlich.

Abschließend bleibt festzustellen, dass die wirtschaftliche Auftragsvergabe auch zukünftig ein Feld mit hohem Forschungsbedarf sein wird. Es erstreckt sich von der Definition geeigneter Zuschlagskriterien über deren Bewertung, die Angebotsprüfung mit dem Wertungsprozess und die Vertragsgestaltung auf der Grundlage des wirtschaftlichsten Angebots.

Verzeichnis der Gesetze, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften und Rechtsprechungen

2004/18/EG: Richtlinie 2004/18/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 31.03.2004 über die Koordinierung der Verfahren zur Vergabe öffentlicher Bauaufträge, Lieferaufträge und Dienstleistungsaufträge.

2014/24/EU: Richtlinie 2014/24/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26.02.2014 über die öffentliche Auftragsvergabe und zur Aufhebung der Richtlinie 2004/18/EG.

71/305/EWG: Richtlinie 71/305/EWG des Rates vom 26.06.1971 über die Koordinierung der Verfahren zur Vergabe öffentlicher Bauaufträge.

BGB: Bürgerliches Gesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. Januar 2002 (BGBl. I S. 42, 2909; 2003 I S. 738), zul. geändert durch Artikel 7 des Gesetzes vom 31. Januar 2019 (BGBl. I S. 54).

BvergG: Bundesgesetz über die Vergabe von Aufträgen (Bundesvergabegesetz – BvergG) 2017.

EUV: Vertrag über die Europäische Union (EU-Vertrag), Fassung aufgrund des am 1.12.2009 in Kraft getretenen Vertrages von Lissabon, bekanntgemacht im ABI. EG Nr. C 115 vom 09.05.2008, zul. geändert am 01.07.2013.

GWB: Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. Juni 2013 (BGBl. I S. 1750, 3245), zul. geändert durch Artikel 10 des Gesetzes vom 12. Juli 2018 (BGBl. I S. 1151).

HOAI: Honorarordnung für Architekten und Ingenieure vom 10. Juli 2013 (BGBl. I S. 2276).

KrWG: Kreislaufwirtschaftsgesetz vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), zul. geändert durch Artikel 2 Absatz 9 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808).

VgV: Vergabeverordnung vom 12. April 2016 (BGBl. I S. 624), zul. geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 10. Juli 2018 (BGBl. I S. 1117).

VOB: BAnz AT 19.01.2016 B3: Bekanntmachung der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen Teil A (VOB/A) – Ausgabe 2016.

BGH, U. v. 28.02.2002 - VII ZR 376/00, JurionRS 2002, 19647.

BGH, B. v. 07.01.2014 - X ZB 15/13, JurionRS 2014, 10170.

BGH, U. v. 05.11.2015 - VII ZR 43/15, JurionRS 2015, 32985.

BGH, U. v. 04.04.2017 - X ZB 3/17: „Postdienstleistungen“, JurionRS 2017, 13325.

BMVBS, 10.01.2008, B 15 - O 1082-000/2: Maßnahmenpapier zur „Hightechstrategie“

EuGH, U. v. 17.09.2002 - C-513/99: „Concordia Bus Finland“, ECLI:EU:C:2002:495.

EuGH, U. v. 16.10.2003 - Rs. C-421/01: „Traunfellner-Urteil“, ECLI:EU:C:2003:549.

EuGH, U. v. 04.12.2003 - C 448/01, ECLI:EU:C:2003:651.

EuGH, U. v. 24.01.2008 - Rs C-532/06, ECLI:EU:C:2008:40.

EuGH, U. v. 12.11.2009 - C 199/07, ECLI:EU:C:2009:693.

EuGH, U. v. 10.05.2012 - C-368/10, ECLI:EU:C:2012:284.

EuGH, U. v. 14.07.2016 - C-6/15, ECLI:EU:C:2016:555.

OLG Dresden, B. v. 05.01.2001 - Verg 11 u. 12/00

OLG Düsseldorf, B. v. 30.07.2009 - Verg 10/09

OLG Düsseldorf, B. v. 03.03.2010 - VII-Verg 48/09

OLG Düsseldorf, B. v. 02.11.2011 - VII-Verg 22/11

OLG Düsseldorf, B. v. 25.04.2012 - VII-Verg 61/11

OLG Düsseldorf, B. v. 21.05.2012 - VII-Verg 3/12

OLG Düsseldorf, B. v. 11.12.2013 - VII-Verg 22/13

OLG Düsseldorf, B. v. 22.01.2014 - VII-Verg 26/13

OLG Düsseldorf, B. v. 09.04.2014 - VII-Verg 36/13

OLG Düsseldorf, B. v. 21.10.2015 - VII-Verg 28/14

OLG München, B. v. 26.06.2007 - Verg 6/07

OLG München, B. v. 30.08.2016 - Z3-3/3194/1/28/07/16

OLG München, B. v. 30.03.2017 - Verg 10/16

OLG Saarbrücken, B. v. 09.11.2005 - Verg 4/05

VK Baden-Württemberg, B. v. 14.11.2013 - 1 VK 37/13

VK Bund, B. v. 06.12.2013 - VK 1-103/13

VK Düsseldorf, B. v. 13.04.2000 - VK-4/2000-L

VK Lüneburg, B. v. 03.02.2014 - VgK - 48/2013

VK München, B. v. 30.08.2016 - Z3-3/3194/1/28/07/16

VK Westfalen, B. v. 21.01.2015 - 18/14

Literaturverzeichnis

- AHN, H.; DYCKHOFF, H.; GILLES, R.: Datenaggregation zur Leistungsbeurteilung durch Ranking: Vergleich der CHE- und DEA-Methodik sowie Ableitung eines Kompromissansatzes, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (ZfB) 77. Jg., Heft 6: 615-643, 2007.
- AIGNER, D. J.; CHU, S. F.: On estimating the industry production function, in: The American Economic Review 58 (4): 826-839, 1968.
- AIGNER, D. J.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, P.: Formulation and estimation of stochastic frontier production function models, in: Journal of Econometrics 6: 21-37, 1977.
- ALLEN, K.: Möglichkeiten und Grenzen einer Messung ökologischer Effizienz mittels Data Envelopment Analysis, Dissertation (D 82), Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule, Aachen, 2002.
- ALLENDORF, J.; BERG, E.: Etablierung der Effizienzanalyse mittels DEA zur Verbesserung der Aussagefähigkeit von Betriebsanalysen in der Milchviehhaltung Nordrhein-Westfalens, Forschungsbericht Nr. 178, Institut für Lebensmittel- und Ressourcenökonomik der Universität Bonn, 2014.
- AMELUNG, S.: Nachhaltigkeitsanforderungen bei der Vergabe öffentlicher Aufträge, in: SCHLEMMINGER, H. (Hrsg.), Green Building, Richard Boorberg Verlag, Stuttgart, 2013.
- AUSTRIAN NATIONAL COMMITTEE OF ITA: Empfehlungen für ein Vergabemodell für Infrastrukturprojekte VIP – Bestbieterprinzip, 2. Auflage, ITA Austria, Wien, 2014.
- BANKER, R.D.; CHARNES, A; COOPER, W. W.: Some models for estimating technical and scale efficiencies, in Management Science 30 (9): 1078-1092, 1984.
- BANKER, R.D.; MAINDIRATTA, A.: Nonparametric Analysis of Technical and Allocative Efficiencies in Production in: Econometrica 56 (6): 1315-1332, 1988.
- BARTH, R.; DROSS, M.; FISCHER, A.: Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen im Hinblick auf die Berücksichtigung von Umweltkriterien beider öffentlichen Auftragsvergabe, in: BARTH, R.; ERDMENGER, C.; GÜNTHER, E. (Hrsg.), Umweltfreundliche öffentliche Beschaffung, Innovationspotential, Hemmnisse, Strategien, Heidelberg, 2005, 185-292.
- BARTSCH, W.: Die neuen gewichteten Bewertungsmethoden der UfAB, Hamburger Vergabetag, 31.01.2013.
- BARTSCH, W.; VON GEHLEN, H.: Keine zutreffende Ermittlung des besten Preis-Leistungs-Verhältnisses mit Interpolationsformeln, in: NZBau 9: 523-528, 2015.
- BARTSCH, W.; VON GEHLEN, H.; HIRSCH, V.: Mit Preisgewichtung vorbei am wirtschaftlichsten Angebot? in: NZBau 7: 393-403, 2012.
- BATTESE, G.; CORRA, G.: Estimation of a production frontier model with application to the pastoral zone of eastern Australia, in: Australian Journal of Agricultural Economics 21 (3): 167-179, 1977.
- BAUER, H.: Baubetrieb, 3. vollständig neu bearbeitete Auflage, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 2007.

- BAYERISCHE INGENIEURKAMMER-BAU: Billig statt wirtschaftlich – Umfrage der Bayerischen Ingenieurekammer-Bau zur Auftragsvergabe, Pressebericht, München, 2015.
- BELTON, V.; STEWART, T.J.: DEA and MCDA - Competing or Complementary Approaches?, in: MESKENS, N.; ROUBENS, M. (Hrsg.): *Advances in Decision Analysis*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London: 87-104, 1999.
- BERG, M.; BLANKENBERG, B.: Innovative öffentliche Beschaffung, Potenziale erkennen und handeln, in: *Ökologisches Wirtschaften* 31 (1): 23-24, 2016.
- BERGMAN, M. A.; LUNDBERG, S.: Tender evaluation and supplier selection methods in public procurement, in: *Journal of Purchasing and Supply Management* 19: 73-83, 2013.
- BESCHAFFUNGSAMT DES BUNDESMINISTERIUM DES INNEREN: Unterlagen für Ausschreibung und Bewertung von IT-Leistungen (UfAB 2018), Bonn, 2018.
- BLÄTTEL-MINK, B.: *Wirtschaft und Umweltschutz: Grenzen der Integration von Ökonomie und Ökologie*, Habilitationsschrift, Goethe Universität Frankfurt am Main, 2001.
- BOLES, J. S.; DONTU, N.; LOHTIA, R.: Salesperson Evaluation Using Relative Performance Efficiency: The Application of Data Envelopment Analysis, in: *The Journal of Personal Selling and Sales Management* 15 (3): 31-49, 1995.
- BRAGLIA, M.; PETRONI, A.: A quality assurance-oriented methodology for handling trade-offs in supplier selection, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 30 (2): 96-112, 2000.
- BRATT, C.; HALLSTEDT, S.; ROBÈRT, K.H.; BROMAN, G.; OLDMARK, J.: Assessment of criteria development for public procurement from a strategic sustainability perspective, in: *Journal of Cleaner Production* 52: 309-316, 2013.
- BREYER, F.: *Mikroökonomik; Eine Einführung*, 6. überarbeitete und aktualisierte Auflage, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 2015.
- BRIEC, W.: A Graph-Type Extension of Farrell Technical Efficiency Measure, in: *Journal of Productivity Analysis* 8 (1): 95-110, 1997.
- BRYCE, C. L.; ENGBERG, J. B.; WHOLEY, D. R.: Comparing the agreement among alternative models in evaluating HMO efficiency, in: *Health Service Research* 35: 509-528. 2000.
- BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT: Building Research Establishment Environmental Assessment Method, in online-Quelle: www.breeam.com, abgerufen am 05.07.2019.
- BUNDESMINISTERIUM DES INNERN, FÜR BAU UND HEIMAT: Informationsportal Nachhaltiges Bauen, in online-Quelle: www.bnb-nachhaltigesbauen.de, abgerufen am 05.07.2019.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (Hrsg.): Hightech-Strategie 2025, in online-Quelle: www.hightech-strategie.de, abgerufen am 05.07.2019.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (Hrsg.): Reform Bundesbau: Bessere Kosten-, Termin- und Qualitätssicherheit bei Bundesbauten, 2016.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND NUKLEARE SICHERHEIT (Hrsg.): Umweltfreundliche öffentliche Beschaffung, in online-Quelle: www.bmub.bund.de/P423/, abgerufen am 24.04.2018.

- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG (HRSG.): Vergabe- und Vertragshandbuch für die Baumaßnahmen des Bundes, Ausgabe 2008 – Stand: 2017.
- BURGER, A.: Produktivität und Effizienz in Banken; Terminologie, Methoden und Status Quo, Frankfurt School of Finance & Management: Working Paper Series No. 92, 2008.
- BUTLER, P.; KEAVENEY, M.: An analysis of the Barriers to and Drivers of Green Public Procurement in Achieving a More Sustainable Construction Industry. Proceedings in Conference of Informatics and Management Sciences; März 24.-28., Zilina (Slovakia), 39-44, 2014.
- CANTNER, U.; KRÜGER, J.; HANUSCH, H.: Produktivitäts- und Effizienzanalyse. Der nichtparametrische Ansatz, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 2007.
- CHAMBERS, R. G.; CHUNG, Y.; FÄRE, R.: Benefit and Distance Functions, in: Journal of Economic Theory 70 (2): 407-419, 1996.
- CHAMBERS, R. G.; CHUNG, G.; FÄRE, R.: Profit, Directional Distance Functions, and Nerlovian Efficiency, in: Journal of Optimization and Applications 98 (2): 351-364, 1998.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.: Programming with linear fractional functionals, in: Naval Research Logistics Quarterly 9. Jg.: 181–186, 1962.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E.: Measuring the efficiency of decision making units, in: European Journal of Operational Research 2 (6): 429-444, 1978.
- CHEN, T.H.: An economic Approach to public Procurement, in: Journal of Public Procurement 8 (3): 407-430, 2008.
- CHEN, P.-C.; YU, M.-M.; CHANG, C.-C.; MANAGI, S.: Non-Radial Directional Performance Measurement with undesirable Outputs, Munich Personal RePEc Archive, (MPRA Paper), 2014.
- CHERCHYE, L.; DE ROCK, B.; DIERYNCK, B.; ROODHOOFT, F.; SABBE, J.: Opening the ‚Black Box‘ of Efficiency Measurement: Input Allocation in Multi-Output Settings, in: Operations Research 61 (5): 1148-1165, 2013.
- COELLI, T.J.; RAO, D.S.P.; O'DONNELL, C.J.; BATTESE, G.E.: An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis, Second Edition, Springer Verlag, New York, 2005.
- COOK, W.D.; KRESS, M.: A Data Envelopment Model for Aggregating preference Rankings, in: Management Science 36 (11): 1302-1310, 1990.
- COOPER, W.W.; SEIFORD, L.M.; TONE, K.: Data Envelopment Analysis. A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software, Second Edition, Springer Verlag, 2007.
- CORSTEN, H.; GÖSSINGER, R.: Produktionswirtschaft; Einführung in das industrielle Produktionsmanagement, 14. Auflage, De Gruyter Verlag, Oldenburg, 2016.
- COSTANTINO, N.; DOTOLI, M.; FALAGARIO, M.; FANI, M. P.; MANGINI, A. M.; SCIANCALEPORE, F.: Supplier Selection in the Public Procurement Sector via a Data Envelopment Analysis Approach, in: Proceedings of the 19th Mediterranean Conference on Control and Automation: 236-24, June 20-23, Corfu, 2011.
- DE BOER, L.; LINTHORST, M.M.; SCHOTANUS, F.; TELGEN, J.: An analysis of some mistakes, miracles and myths in supplier selection, in: Proceedings of the 15th IPSERA Conference,

- April 6-8, San Diego, 2006.
- DE BORGER, B.; KERSTENS, K.: Cost efficiency of Belgian local governments: A comparative analysis of FDH, DEA, and econometric approaches, in: *Regional Science and Urban Economics* 26: 145-170, 1996.
- DEBREU, G: The Coefficient of Resource Utilization, In: *Econometrica* 3 (19): 273-292, 1951.
- DELLNITZ; A.: Produktivitäts- und Effizienzverbesserungen in der Data Envelopment Analysis. Von der Selbst- zur Kreuzbewertung, Springer Fachmedien, zugleich Dissertation Fern-Universität Hagen, Wiesbaden, 2016.
- DEPRINS, D.; SIMAR, L.; TULKENS, H.: Measuring Labor-Efficiency in Post Offices, in: CHANDER, P.; DRÈZE, J.; LOVELL, C. A. K.; MINTZ, J. (Hrsg.): *Public Goods, Environmental Externalities and Fiscal Competition*, Springer, Boston: 285-309, 1984.
- DEY, A.K.; ABOWD, G.D.: Towards a better Understanding of Context and Context-Awareness, in: *Conference: Proceedings of the PrCHI 2000 Workshop on the What, Who, Where, When and How of Context-Awareness*, 2000.
- DINKELBACH, W.; ROSENBERG, O.: *Erfolgs- und umweltorientierte Produktionstheorie*. 5. Neubearbeitete und erweiterte Auflage. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 2004.
- DYCKHOFF, H.: *Produktionstheorie; Grundzüge industrieller Produktionswirtschaft*, 5. Überarbeitete Auflage, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 2006.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (Hrsg.): *Guidance of Innovation Procurement*, Commission notice C(2018) 2051, Brussels, 15.05.2018.
- ECKARDT, H.: *Der wettbewerbliche Dialog und das „competitive negotiation“ Verfahren im Vergleich*, Dissertation, Universität Heidelberg, 2010.
- EMROUZNEJAD, A.; PARKER, B. R.; TAVARES, G.: Evaluation of Research in Efficiency and Productivity: A Survey and Analysis of the first 30 Years of scholarly Literature in DEA, in: *Socio-Economic Planning Sciences* 42 (3): 151-157, 2008.
- EßIG, M.: *Öffentliche Beschaffung: Bedeutung und Ansatzpunkte zur konzeptionellen Weiterentwicklung*, in: BUNDESVERBAND MATERIALWIRTSCHAFT, EINKAUF UND LOGISTIK (Hrsg.): *Best Practice in Einkauf und Logistik*, 2., völlig neue und erweiterte Auflage, 294-303, Wiesbaden, 2008.
- EßIG, M.; AMANN, M.; GLAS, H.: Lebenszyklus-Ansatz in der öffentlichen Beschaffung, in: *Controlling & Management Review: Zeitschrift für Controlling & Management* 60 (2): 64-70. 2016.
- EßIG, M.; SCHAUP, M.; JUNGCLAUS, M.; KURZ, S.: *Impulse für mehr Innovationen im öffentlichen Beschaffungswesen, Leitfaden des BUNDESMINISTERIUMS FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE* (Hrsg.), Berlin, 2014.
- FAIRE VERGABE (Sozialpartner-Initiative): *Bestbieterkriterien-Katalog*, Wien, 2016.
- FALAGARIO, M.; SCIANCALEPORE, F.; COSTANTINO, N.; PIETROFORTE, R.: Using a DEA-cross Efficiency Approach in Public Procurement Tenders, in: *European Journal of Operational Research* 218 (2): 523-529, 2012.
- FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.: Theory and Application of Directional Distance Functions, in: *Journal of Productivity Analysis* 13 (3): 93-103, 2000.

- FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; NOH, D.; WEBER, W.: Characteristics of a Polluting Technology: Theory and Practice, in: *Journal of Econometrics* 126: 469-492, 2005.
- FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; MARGARITIS, D.: Efficiency and Productivity: Malmquist and more, in: FRIED, H.O.; LOVELL, C.A.K.; SCHMIDT S.S. (Hrsg.): *The measurement of productive efficiency and productivity growth*: 522-622, Oxford University Press, New York, 2008.
- FARRELL, M.J.: The Measurement of Productive Efficiency, In: *Journal of the Royal Statistical Society* 120 (3): 253-290, 1957.
- FERBER, T.: Government Procurement Agreement (GPA) - Weltweite Vereinbarung zur öffentlichen Vergabe von Aufträgen, in online-Quelle: <https://issuu.com/thomas-ferber/docs/gpa>, Darmstadt, 2012.
- FIEDLER, A.; OFFERGELD, B.; FUNKE, J.; ESCHENBRUCH, K.; FANDREY, A.; RÖWEKAMP, H.: Verfahren zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien bei der Ausschreibung von Elementen der Straßeninfrastruktur, *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 271 Bergisch Gladbach*, 2016.
- FLEßA, S.: Entscheidungstheorie Teil 3c, Vorlesungsunterlagen am Lehrstuhl für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Gesundheitsmanagement der Universität Greifswald, oder in online-Quelle: <https://slideplayer.org/slide/786597>, abgerufen am 05.07.2019, 2010.
- FORAY, D.; GODDARD, J.; BELDARRAIN, X.G.; LANDABASO, M.; MCCANN, P.; MORGAN, KL; NAUWELAERS, C.; ORTEGA-ARGILÈS, R.; MULATERO, F.: *Guide to Research and Innovation Strategies for Smart Specialisation (RIS 3)*, European Union – Regional Policy, 2011.
- FORUM VERGABE E.V. (Hrsg.): Änderungen der VOB/A Abschnitt 1 beschlossen, in online-Quelle: vergabe-forum.de, veröffentlicht am 19.11.2018.
- FRANKE, H.; WALLICZEK, J.: Juristische Grundlagen und Gesichtspunkte für Ausschreibungen und Vergaben im LZ-Ansatz, in: BALCK, H. (Hrsg.), *Lebenszyklusorientierte Planungsprozesse, Ausschreibungen und Vergaben - Pilotierung in der Projektbegleitung öffentlicher Bauvorhaben im Hochbau*. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015.
- FUKUYAMA, H.; WEBER, W.L.: A Directional Slacks- Based Measure of Technical Inefficiency, in: *Socio-Economic Planning Sciences* 43 (4): 274-287, 2009.
- GARFAMY, R. M.: A Data Envelopment Analysis Approach based on Total Cost of Ownership for Supplier Selection, in: *Journal of Enterprise Information Management* 19 (6): 662-678, 2006.
- GRALLA, M.: *Baubetriebslehre – Bauprozessmanagement*, Werner Verlag, Köln, 2011.
- GREENE, W. H.: *Econometric Analysis; International Edition*, 7. Auflage, Pearson Education Limited, Harlow, 2012.
- GROSSKOPF, S.: Some Remarks on Productivity and its Decompositions, in: *Journal of Productivity Analysis* 20: 459-474, 2003.
- HAAS, F.: *Effizienztreiber innovativer Prozesse – Anwendung der Data Envelopment Analysis am Beispiel der elektronischen C-Teile-Beschaffung*, 1. Auflage, Deutscher Universitäts-Verlag, zugleich Dissertation, Universität Münster, Wiesbaden, 2004.
- HAMMERSCHMIDT, M.: *Effizienzanalyse im Marketing; Ein produktionstheoretisch fundierter Ansatz auf Basis von Frontier Functions*. Schriftenreihe des Instituts für Marktorientierte

- Unternehmensführung der Universität Mannheim, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2006.
- HEIERMANN, W.; KUFFER, J.; KULLACK, A; MANSFELD, L.; BAUER, J.: Handkommentar zur VOB, 14. Auflage/VOB Ausgabe 2016, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2017.
- HIMMEL, W.: Nutzenoptimierte Vergabe öffentlicher Bauaufträge - Modell, Umfrage, Beispiele mit einem Vergleich der Regelungen in Deutschland, Österreich, der Schweiz, Dissertation, Institut für Baubetrieb und Baumanagement, Essen, 2015.
- HIMMEL, W.; MALKWITZ, A.: Bewertung der Neufassung der VOB/A aus wettbewerblicher Perspektive, in: Bauingenieur 91 (9): 381-387, 2016.
- HOFFMANN, C.: Die Data Envelopment Analysis (DEA) und ihre Anwendungsmöglichkeiten zur vergleichenden Effizienzanalyse im Forstwesen, Dissertation, Universität Wien, 2006.
- HOITSCH, H.-J.: Produktionswirtschaft. Grundlagen einer industriellen Betriebswirtschaftslehre, 2. Auflage, Verlag Vahlen, München, 1993.
- HORNUFF, M.R.: Flexibilität in der Bauablaufplanung und ihre Nutzung bei Bauverzögerungen, Dissertation, Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb, Braunschweig, 2003.
- KAMARIANAKIS, S.: Ein multikriterielles fuzzy- und risikobasiertes Entscheidungsmodell für die Planung unterirdischer Infrastruktur, Dissertation, Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb der Ruhr Universität Bochum, Shaker Verlag, Aachen, 2013.
- KAPARAKIS, E. I.; MILLER, S. M.; NOULAS, A. G.: Short-Run Cost Inefficiency of Commercial Banks: A Flexible Stochastic Frontier Approach, in: Journal of Money, Credit and Banking 26 (4): 875-894, 1994.
- KERPEN, P.: Praxisorientierte Data Envelopment Analysis, Springer Gabler Verlag, zugleich Dissertation FernUniversität Hagen, Wiesbaden, 2016.
- KLEINE, A.: DEA-Effizienz Entscheidungs- und produktionstheoretische Grundlagen der Data Envelopment Analysis, 1. Auflage, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2002.
- KOMLOS, J.; SÜSSMUTH, B.: Empirische Ökonomie. Eine Einführung in Methoden und Anwendungen, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 2010
- KOOPMANS, T. C.: Activity Analysis of Production and Allocation, Wiley, New York, 1951.
- KRAUS, P.; BRONNEN, F.: Wie viele Äpfel sind eine Birne? Zum Problem der Umrechnung von Preisen und Leistung im Lichte der aktuellen Rechtsprechung, in: VergabeR 5: 559-570, 2017.
- KUNDE, M.: Das Mehr an Eignung als Zuschlagskriterium erlaubt? (EuGH, Urt. v. 26.3.2015-Rs. C-601/13), in online-Quelle: vergabeblog.de, Nr. 22152, veröffentlicht am 26.04.2015.
- LORENTZIADIS, P. L.: Post-objective Determination of Weights of the Evaluation Factors in Public Procurement Tenders, in: European Journal of Operational Research 200 (1): 261-267, 2010.
- LUENBERGER, D. G.: Benefit functions and duality, in: Journal of Mathematical Economics (21): 461-481, 1992a.
- LUENBERGER, D. G.: New Optimality Principles for Economic Efficiency and Equilibrium, in:

- Journal of Optimization Theory and Applications 75 (2): 221-264, 1992b.
- LUENBERGER, D. G.: Microeconomic Theory, McGraw Hill, New York, 1995.
- MAIBACH, M.; SIEBER, N.; BERTENRATH, R.; EWRINGMANN, D.; KOCH, L.; THÖNE, M.; BICKEL, P.: Praktische Anwendung der Methodenkonvention: Möglichkeiten der Berücksichtigung externer Umweltkosten bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen von öffentlichen Investitionen, Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes, Förderkennzeichen 203 14 127, Zürich/Köln, 2007.
- MALKWITZ, A.; KARL, C.; JARON, R.: Öffentliche Bauaufträge. Nationale Vergabeleitlinien kompakt, De Gruyter Oldenbourg, 2009.
- MATEUS, R.; FERREIRA, J.A.; CARREIRA, J.: Full disclosure of tender evaluation models: Background and application in Portuguese public procurement, in: Journal of Purchasing and Supply Management 16: 206-215, 2010.
- MCCABE, B.; TRAN, V.; RAMANI, J.: Construction prequalification using Data Envelopment Analysis, in: Canadian Journal of Civil Engineering 32 (1): 183-193, 2005.
- MEEUSEN, W.; VAN DEN BROECK, J.: Efficiency estimations from Cobb-Douglas Production Functions with composed errors, in: International Economic Review 18 (2): 435-444, 1977.
- MUßHOFF, O.; HIRSCHAUER, N.; HERINK, M.: Bei welchen Problemstrukturen sind Data-Envelopment-Analysen sinnvoll? Eine kritische Würdigung, in: Agrarwirtschaft 58 (2): 114-124, 2009.
- NERLOVE, M.: Estimation and Identification of Cobb-Douglas Production Functions, Rand McNally Company, Chicago, 1965.
- NIEWERTH, S.: Bewertung strategischer Zuschlagskriterien für die Vergabe von Bauleistungen, in: MECKMANN, F. (Hrsg.): Tagungsband zum 1. BIH-Assistententreffen: 10-24, Mülheim an der Ruhr, 2016.
- NIEWERTH, S.; VOGT, P.; THEWES, M.: Wertung strategischer und lebenszyklusorientierter Zuschlagskriterien für die Vergabe von Bauleistungen, in: Bauingenieur 92 (9): 398-405. 2017a.
- NIEWERTH, S.; THEWES, M.; VOGT, P.: Das Preis-Leistungs-Verhältnis zur Vergabe öffentlicher Bauaufträge und Vorschlag einer alternativen Wertungskennzahl, in: KÖRKEMEYER, K.; KURZROCK, B. M. (Hrsg.): Tagungsband zum 28. BBB-Assistententreffen: 207-217, Kaiserslautern, 2017b.
- NIEWERTH, S.; VOGT, P.; THEWES, M.: Data Envelopment Analysis zur Angebotswertung öffentlicher Bauaufträge und Vergleich mit ausgewählten Wertungsformeln, in: MINNERT, J. (Hrsg.): Tagungsband zum 2. BIH-Treffen, Gießen, 2017c
- OBERMAIER, R.; SALIGER, E.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungstheorie: Einführung in die Logik individueller und kollektiver Entscheidungen, 6. Auflage, Oldenbourg Verlag, München, 2013.
- OBERSCHMIDT, J.: Multikriterielle Bewertung von Technologien zur Bereitstellung von Strom und Wärme, Dissertation, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät der Universität Göttingen, 2010.
- ORTNER, R.: Die Eignungsprüfung, in online-Quelle: vergabeblog.de, Nr. 18054, veröffentlicht

am 22.01.2014.

- OSEBOLD, R.; SCHMIDT, J.S.; GRÜN, E.; STRUX, H.-P.: Ökologische nachhaltige Abwicklung großer Tiefbauprojekte. Vorteile für Auftraggeber und Bauunternehmen, in: Bauingenieur 90 (4): 168-175, 2015.
- OSSADNIK, W.; MAUS, S.: AHP als Instrument des strategischen Controllings: Methodische Grundlagen und Fallstudien zum führungsunterstützenden Einsatz des Analytischen Hierarchie-Prozesses, Springer Verlag, Heidelberg, 1993.
- PARAMESH, R.: Independence from Irrelevant Alternatives, in: Econometrica 41 (5): 987-991, 1973.
- PASTOR, J. T.; APARICIO, J.; ALCARAZ, J.; VIDAL, F.; PASTOR, D.: The Reverse Directional Distance Function, in: APARICIO, J.; LOVELL, C. A. K.; PASTOR J. T. (Hrsg.): Advances in Efficiency and Productivity, International Series in Operations Research & Management Science 249, Springer International Publishing AG, 2016.
- POREMBSKI, M.: Produktivität der Banken; Untersuchungen mit der Data Envelopment Analysis, 1. Auflage, Deutscher Universitätsverlag, zugleich Dissertation, Universität Marburg, Wiesbaden, 2000.
- RACKY, P.: Fachlosweise Vergabe oder Generalunternehmervergabe als Entscheidungsproblem des Bauherrn, Gutachterliche Stellungnahme im Auftrag des Hauptverbands der Deutschen Bauindustrie e.V. (Hrsg.), des Bundesvereins Mittelständischer Bauunternehmen e.V. und des Verbands Beratender Ingenieure e.V., 2009.
- RAMANATHAN, R.: Supplier Selection Problem: Integrating DEA with the Approaches of Total Cost of Ownership and AHP, in: Supply Chain Management: International Journal 12 (4): 258-261, 2007.
- RATCHFORD, B. T.; AGRAWAL, J.; GRIMM, P. E.; SRINIVASAN, N.: Toward Understanding the Measurement of Market Efficiency, in: Journal of Public Policy & Marketing 15 (2): 127–184, 1996.
- REICHMANN, T.: Controlling mit Kennzahlen, 8. überarbeitete und erweiterte Auflage, Verlag Franz Vahlen, München, 2011.
- REUCHER, E.; RÖDDER, W.; CHEN LO, M.; KOPITKE, B.: Unternehmensranking mittels Kreuzeffizienzen - Eine DEA-Anwendung für einen Halbleiterkonzern. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft ZfB, 78 (3): 289–306, 2008.
- RUSSELL, R. R.: On the Axiomatic Approach to the Measurement of Technical Efficiency, in: EICHHORN, W. (Hrsg.): Measurement in Economics, Physica-Verlag, Heidelberg, 1988.
- RUSSELL, R. R.: Continuity of Measures of Technical Efficiency, in: Journal of Economic Theory 51: 255-267, 1990.
- SAATY, T.L.: The Analytic Hierarchy Process, RWS Publications, Pittsburgh, 1980.
- SAATY, T.L.: Decision Making for Leaders, 3. Auflage, RWS Publications, Pittsburgh, 2001.
- SAEN, R. F.: Supplier Selection by the new AR-IDEA Model, in: International Journal of Advanced Manufacturing Technology 39: 1061-1070, 2008.
- SAEN, R. F.: A Decision Model for Ranking Suppliers in the Presence of cardinal and ordinal

- Data, Weight Restrictions, and nondiscretionary Factors, in: *Annals of Operations Research* 172: 177-192, 2009.
- SANFT, S.: Modell zur Wirtschaftlichkeitsbewertung von Instandhaltungsstrategien bei Gasverteilernetzen im regulierten deutschen Gasmarkt, Dissertation, Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb der Ruhr-Universität, Bochum, 2015.
- SANFT, S.; THEWES, M.: Wirtschaftlichkeitsbewertung von Instandhaltungsstrategien bei Gasverteilernetzen, in: *3R* 10-11: 45-52, 2016.
- SCHALK, G.: Nebenangebote im Bauwesen - Bedeutung und Auswirkungen auf Bauvergabe- und -vertragsrecht, Technik und Baubetrieb unter besonderer Berücksichtigung der „Traunfellner-Entscheidung“ des EuGH, Inauguraldissertation, Universität Augsburg, 2007.
- SHEEL, H.: Effizienzmaße der Data Envelopment Analysis, Deutscher Universitäts-Verlag zugl. Dissertation, Fakultät Wirtschaftswissenschaften, TU Dortmund, Wiesbaden, 2000.
- SCHEFCZYK, M.: Data Envelopment Analysis, in: *Die Betriebswirtschaft* 56. Jg.: 167-183, 1996.
- SCHMIDT, J.-S.: Perspektiven des Umweltmanagements für die deutsche Bauwirtschaft: Ein Strategiemodell für öffentliche Auftraggeber des Tiefbaus, Dissertation, RWTH Aachen, 2016.
- SCHMIDT, P.: On the statistical estimation of parametric frontier production functions, in: *Review of Economics and Statistics* 58: 238-239, 1976.
- SCHUMM, M.: Richtige Gewichtung der Zuschlagkriterien, in online-Quelle: Euroforum Vergaberecht [euroforum.de], veröffentlicht am 24.06.2014.
- SEIDL, I.; SOMMERGUTER-REICHMANN, M.: Visualizing Production Surfaces in 3D Diagrams, in: *Advances in Operations Research*, Artikel ID 424989, 17 Seiten, 2011.
- SEIFORD, L. M.; THRALL, R. M.: Recent Developments in DEA: The Mathematical Programming Approach to Frontier Analysis, in: *Journal of Econometrics* 46 (1-2): 7-38, 1990.
- SERESHT, M. Z.; AKBARIJOKAR, M.; KHOSRAVI, S.; AFSHARI, H.: Construction Project Success ranking through the Data Envelopment Analysis, in: *Journal of Data Envelopment Analysis and Decision Science* 2014: 1-13, 2014.
- SEVKLI, M.; KOH, S.C.L.; ZAIM, S.; DEMIRBAG, M.; TATOGLU, E.: An application of Data Envelopment Analytic Hierarchy Process for Supplier Selection: A Case Study of Beko in Turkey, in: *International Journal of Production Research* 45 (9): 1973-2003, 2007.
- SEXTON, T.R.; SILKMAN, R.H.; HOGAN, A.J.: *Data envelopment analysis: Critique and extensions*, Jossey-Bass, San Francisco, 1986.
- SHEPHARD, R. W.: *Cost and production functions*, Princeton University Press, Princeton, 1953.
- SMITH, P. C.: *Measuring value for money in healthcare: concepts and tools*, Centre for Health Economics, University of York, 2009.
- SOLBACH, M.; BODE, H.: *Praxiswissen Vergaberecht*, Walter de Gruyter Verlag, Berlin, 2015.
- SOURANI, A.; SOHAIL, M.: *Barriers to addressing sustainable Construction in Public Procure-*

- ment Strategies, Proceedings of the Institute of Civil Engineers: Engineering Sustainability, 164 (4): 229 – 237, 2011.
- STADT KOPENHAGEN (Hrsg.): Procurement of Intelligent Street Lighting, Kopenhagen (Dänemark), 2012.
- TALEBITARI, B.: Das Projekt ist kein Objekt – BIM Building Information Modeling, Interview mit Damjanov, A., in: momentum Magazin, Ernst&Sohn Verlag, 18.08.2016.
- TALLURI, S.; NARASIMHAN, R.: A Note on „A Methodology for Supply Base Optimization“, IEEE Transactions on Engineering Management 52 (1): 130-139, 2005.
- TESTA, F.; IRALDO, F.; FREY, M.; DADDI, T.: What factors influence the uptake of GPP (green public procurement) practices? New evidence from an Italian survey, in: Ecological Economics 82: 88-96, 2012.
- THANASSOULIS, E.: Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis: A Foundation Text with Integrated Software, 1. Auflage, Springer Science+Business Media, New York, 2001.
- THEWES, M.; KAMARIANAKIS, S.: Multi-criteria decision making of construction methods using the Analytical Hierarchy Process based on fuzzy scales, in: Advances in Underground Space Development, Research Publishing, Singapur, 2012.
- THEWES, M.; KAMARIANAKIS, S.: Decision analysis for underground infrastructure using uncertain data and fuzzy scales, in: ANAGNOSTOU, G.; EHRBAR, H. (Hrsg.): Underground – The Way to the Future: 126-133, CRC Press, London, 2013.
- THEWES, M.; VOGT, P.: Modellentwicklung für die Lebenszykluskostenanalyse von Straßentunneln, in: Bauingenieur 89 (10): 421-430, 2014.
- TRIEB, G.: Wettbewerblicher Dialog und Verhandlungsverfahren, Dissertation, Universität Wien, 2009.
- U.S. GREEN BUILDING COUNCIL: Green building leadership is LEED, in online-Quelle: <https://new.usgbc.org/leed>, abgerufen am 05.07.2019.
- VARIAN, H.R.: The Nonparametric Approach to Production Analysis, in: Econometrica 52 (3): 579-598, 1984.
- VARNÄS, A.; BALFORS, C.; FAITH-ELL, C.: Environmental consideration in procurement of construction contracts: current practice, problems and opportunities in green procurement in the Swedish construction industry, in: Journal of Cleaner Production 17: 1214-1222, 2009.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (Hrsg.): Richtlinie 4703: Facility Management - Lebenszykluskostenorientierte Ausschreibung, Mai 2015.
- VEREINTE NATIONEN (Hrsg.): Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung, Resolution der Generalversammlung, verabschiedet am 25.09.2015.
- VOGT, P.: Modell für die Lebenszyklusanalyse von Straßentunneln unter Berücksichtigung technischer und finanzieller Unsicherheiten, Dissertation, Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb der Ruhr-Universität, Bochum, 2013.
- VON DAMM, C.: Gestaltungsmöglichkeiten des Wettbewerbs bei der öffentlichen Beschaffung von Bauleistungen, Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 2004.

- WANNINGER, R.: Haben Nebenangebote noch eine Zukunft? in: BURTSCHER, D.; GÄCHTER, W. (Hrsg.): Value Engineering, Partnering, PPP – Neuer Wein in alten Schläuchen?: ICC Tagungsband International Consulting and Construction 15: 1-21, Innsbruck, 2007.
- WANNINGER, R.; STOLZE, S.-F.; KRATZENBERG, R.: Auswirkungen von Vergabenachprüfungsverfahren auf die Kosten öffentlicher Baumaßnahmen, in: NZBau 8: 481-486, 2006.
- WEBER, K.: Mehrkriterielle Entscheidungen, Oldenbourg Verlag, München/Wien, 1993.
- WEBER, C.A.; DESAI, A.: Determination of paths to vendor market efficiency using parallel coordinates representation: A negotiation tool for buyers, in: European Journal of Operational Research 90: 142-155, 1996.
- WEGENER, B.: Umweltschutz in der öffentlichen Auftragsvergabe, in: NZBau 5: 273-279, 2010.
- WILHAUS, A.: CSR und Vergaberecht: Nachhaltige öffentliche Beschaffung als Treiber für CSR, in: WALDEN, D.; DEPPING, A. (Hrsg.): CSR und Recht, Juristische Aspekte nachhaltiger Unternehmensführung erkennen und verstehen, 1. Aufl., Berlin, 173-189, 2015.
- WILKEN, R.: Dynamisches Benchmarking; Ein Verfahren auf Basis der Data Envelopment Analysis, Gabler Edition Wissenschaft zugl. Dissertation, Universität Münster, Deutscher Universitäts Verlag, Wiesbaden, 2007.
- WILLIAMS, G. H.; ANDERSON, T. R.: Use of DEA to Evaluate Non-linear and Imprecise Information in Construction Contractor Performance, Portland International Conference of Management of Engineering and Technology (PICMET), Portland, 2003.
- WU, T.; SHUNK, D.; BLACKHURST, J.: AIDEA: a Methodology for Supplier Evaluation and Selection in a supplier-based Manufacturing Environment, in: International Journal of Manufacturing Technology and Management 11 (2): 174-192, 2007.
- YANG, J.B.; WANG, H.H.; WANG, W.C.; MA, S.M.: Using Data Envelopment Analysis to support best-value contractor selection, in: Journal of Civil Engineering and Management 22 (2): 199-209, 2016.
- YAT, H. C.; LI, J.; CHOI, T. N. Y.; MAN, K. F.: Evaluating Construction Contractors' Efficiency in Hong Kong using Data Envelopment Analysis Assurance Region model, in: Journal of Facility Management 11 (1): 52-68, 2013.
- ZEISS, C.: Weniger Energieverbrauch! – Beschaffung energieeffizienter Geräte und Ausrüstung, in: NZBau 11: 658-661, 2011.
- ZEISS, C.: Sichere Vergabe unterhalb der Schwellenwerte, 3. Auflage, Bundesanzeiger Verlag, 2016.
- ZHANG, N.; ZHOU, P.; CHOI, Y.: Energy efficiency, CO₂ emission performance and technology gaps in fossil fuel electricity generation in Korea: A meta-frontier non-radial directional distance function analysis, in: Energy Policy 56: 653-662, 2013.
- ZHU, J.: Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking. Data Envelopment Analysis with Spreadsheets, 3. Edition, Springer Verlag, New York, 2014.
- ZIMMERMANN, H.-J.; GUTSCHE, L.: Multi-Criteria Analyse. Einführung in die Theorie der Entscheidungen bei Mehrfachzielsetzungen, 1. Auflage, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 1991.

Anhang

Anhang A-1: Beispielaufgabe zur Dualisierung

Anhang A-2: Berechnung von Effizienzwerten und Multipliern mit dem Simplex-Algorithmus

Anhang A-3: Kriterienwerte aus NIEWERTH ET AL. (2017a)

Anhang A-4: Relativer Abstand zwischen den Projektionen und den Angeboten des Anwendungsbeispiels

Anhang A-5: Korrigierte Projektionen auf der Randfunktion und relatives Verbesserungspotenzial für das Anwendungsbeispiel

A-1: Beispielaufgabe zur Dualisierung

Die nachfolgende primale Maximierungsaufgabe soll unter Einhaltung der Umformungsregeln in Tabelle A1 dualisiert werden.

Tabelle A1: Umformungsregeln für die Dualisierung

| | Primalform | Dualform |
|-------------------|--------------|--------------|
| Zielfunktion: | max | min |
| Nebenbedingungen: | \leq | \geq |
| | $x_i \geq 0$ | $y_i \geq 0$ |

Primalform:

$$\max 5x_1 + 6x_2 \quad (\text{A-1.1})$$

u.d.N.

$$6x_1 + 4x_2 \leq 18 \quad (\text{A-1.2})$$

$$3x_1 + x_2 \leq 15 \quad (\text{A-1.3})$$

$$x_1, x_2 \geq 0 \quad (\text{A-1.4})$$

(A-1.1) beschreibt eine lineare Zielfunktion, bestehend aus zwei Strukturvariablen x_1 und x_2 , die mit den Werten 5 bzw. 6 multipliziert werden. Unter Einhaltung der Nebenbedingungen (A-1.2) bis (A-1.4) soll die Dualform ermittelt werden. Hierzu wird die transponierte Koeffizientenmatrix A^T aufgestellt. Die ersten beiden Spalten von A^T bilden die beiden \leq -Nebenbedingungen (A-1.2) und (A-1.3) der Primalform ab, die dritte Spalte zeigt die Zielfunktion (A-1.1).

$$A^T = \begin{pmatrix} 6 & 3 & 5 \\ 4 & 1 & 6 \\ 18 & 15 & 0 \end{pmatrix}$$

Aus dieser Matrix können die Zielfunktion und Nebenbedingungen der Dualform unmittelbar abgelesen werden. Die dritte Zeile bildet die zu minimierende Zielfunktion, wobei die Strukturvariablen x_i gemäß der Umformungsregel für Nebenbedingungen in die Dualvariablen y_i umgeschrieben werden. Die ersten beiden Zeilen der Matrix beschreiben die zwei Nebenbedingungen der Dualform.

Dualform:

$$\min 18y_1 + 15y_2 \quad (\text{A-1.5})$$

u.d.N.

$$6y_1 + 3y_2 \geq 5 \quad (\text{A-1.6})$$

$$4y_1 + y_2 \geq 6 \quad (\text{A-1.7})$$

$$y_1, y_2 \geq 0 \quad (\text{A-1.8})$$

Beide Formen kommen nach dem Auflösen der Optimierungsaufgabe, bspw. mithilfe des Simplex-Algorithmus, zum selben Ergebnis. Zur Dualisierung siehe auch CORSTEN UND GÖSSINGER (2016).

A-2: Berechnung von Effizienzwerten und Multipliern mit dem Simplex-Algorithmus

Für das Zahlenbeispiel wird der Simplex Algorithmus für die DMU D in fünf Iterationsschritten gelöst. Hierzu wird das lineare Lösungssystem aus Kap. 5.5.2 in die Spalten (1) bis (7) der Tabelle A2 übertragen. Die Spalten beinhalten dann jeweils einen Multiplier, die Schlupfvariablen, den technischen Effizienzwert (TE_0) und den Wert auf der rechten Seite (RS) der Gleichung. Zur Lösung sind die Pivotspalte und die Pivotzeile zu identifizieren. Dieser Schritt wird exemplarisch für den ersten Iterationsschritt beschrieben. Die Pivotspalte befindet sich dort, wo die Zielfunktionszeile (unterste Zeile des jeweiligen Iterationsschritts) den niedrigsten Wert besitzt (hier: -1). Die Pivotzeile ist jene Zeile, in der der Quotient aus der Spalte RS dividiert durch die Pivotspalte den geringsten, nichtnegativen Wert aufweist (hier: $0/1=0$). Sie werden in Tabelle A2 farblich hervorgehoben. Im Schnitt befindet sich das Pivotelement (hier: 1), nach dem das Simplex-Tableau entwickelt wird (CANTNER ET AL. 2007). Das Ziel ist die Generierung eines Einheitsvektors (alle Zellenwerte ergeben 0, Pivotelement ergibt 1) in der Pivotspalte mithilfe einer linearen Operation (Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division). Eine optimale Lösung ist gefunden, wenn die Zielfunktionszeile keine negativen Werte mehr enthält.

Tabelle A2: Iterationsschritte des Simplex-Algorithmus für das Zahlenbeispiel

| Nr. | $u_{D,1}$ | $v_{D,1}$ | $v_{D,2}$ | u_D | s_A | s_B | s_C | s_D | s_E | TE_0 | RS |
|------|-----------|-----------|-----------|-------|--------|--------|---------|--------|-------|--------|------|
| (1) | 0 | 9 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| (2) | 1 | -3 | -20 | -1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| (3) | 1 | -4 | -10 | -1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| (4) | 1 | -7 | -13 | -1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| (5) | 1 | -9 | -6 | -1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| (6) | 1 | -12 | -6 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| (7) | -1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| (8) | 0 | 9 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| (9) | 0 | 6 | -14 | 0 | 1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 |
| (10) | 0 | 5 | -4 | 0 | 0 | 1 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 |
| (11) | 0 | 2 | -7 | 0 | 0 | 0 | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 |
| (12) | 1 | -9 | -6 | -1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| (13) | 0 | -3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 1 | 0 | 0 |
| (14) | 0 | -9 | -6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| (15) | 0 | 0 | 37,5 | 0 | 0 | 0 | -4,5 | 4,5 | 0 | 0 | 1 |
| (16) | 0 | 0 | 7 | 0 | 1 | 0 | -3 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| (17) | 0 | 0 | 13,5 | 0 | 0 | 1 | -2,5 | 1,5 | 0 | 0 | 0 |
| (18) | 0 | 1 | -3,5 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | -0,5 | 0 | 0 | 0 |
| (19) | 1 | 0 | -37,5 | -1 | 0 | 0 | 4,5 | -3,5 | 0 | 0 | 0 |
| (20) | 0 | 0 | -10,5 | 0 | 0 | 0 | 1,5 | -2,5 | 1 | 0 | 0 |
| (21) | 0 | 0 | -37,5 | 0 | 0 | 0 | 4,5 | -3,5 | 0 | 1 | 0 |
| (22) | 0 | 0 | 0 | 0 | -5,357 | 0 | 11,571 | -6,214 | 0 | 0 | 1 |
| (23) | 0 | 0 | 1 | 0 | 0,143 | 0 | -0,429 | 0,286 | 0 | 0 | 0 |
| (24) | 0 | 0 | 0 | 0 | -1,929 | 1 | 3,286 | -2,357 | 0 | 0 | 0 |
| (25) | 0 | 1 | 0 | 0 | 0,500 | 0 | -1,000 | 0,500 | 0 | 0 | 0 |
| (26) | 1 | 0 | 0 | -1 | 5,357 | 0 | -11,571 | 7,214 | 0 | 0 | 0 |
| (27) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,500 | 0 | -3,000 | 0,500 | 1 | 0 | 0 |
| (28) | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,357 | 0 | -11,571 | 7,214 | 0 | 1 | 0 |
| (29) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,435 | -3,522 | 0 | 2,087 | 0 | 0 | 1 |
| (30) | 0 | 0 | 1 | 0 | -0,109 | 0,130 | 0 | -0,022 | 0 | 0 | 0 |
| (31) | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,587 | 0,304 | 1 | -0,717 | 0 | 0 | 0 |
| (32) | 0 | 1 | 0 | 0 | -0,087 | 0,304 | 0 | -0,217 | 0 | 0 | 0 |
| (33) | 1 | 0 | 0 | -1 | -1,435 | 3,522 | 0 | -1,087 | 0 | 0 | 0 |
| (34) | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,261 | 0,913 | 0 | -1,652 | 1 | 0 | 0 |
| (35) | 0 | 0 | 0 | 0 | -1,435 | 3,522 | 0 | -1,087 | 0 | 1 | 0 |

| | | | | | | | | | | | |
|------|---|---|---|----|---|--------|---|--------|---|---|-------|
| (36) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | -2,455 | 0 | 1,455 | 0 | 0 | 0,697 |
| (37) | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | -0,136 | 0 | 0,136 | 0 | 0 | 0,076 |
| (38) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1,136 | 1 | 0,136 | 0 | 0 | 0,409 |
| (39) | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,091 | 0 | -0,091 | 0 | 0 | 0,061 |
| (40) | 1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| (41) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,273 | 0 | -1,273 | 1 | 0 | 0,182 |
| (42) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |

A-3: Kriterienwerte aus Niewerth et al. (2017a)

Tabelle A3: Kriterienwerte nach NIEWERTH ET AL. (2017a)

| Angebot | x_1 : Kosten [Euro] | x_2 : Bauzeit [Wochen] | y_1 : USK [Punkte] |
|---------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| A1 | 35.985.005 | 30 | 9 |
| A2 | 34.346.200 | 29 | 8 |
| A3 | 36.413.140 | 30 | 7 |
| A4 | 37.452.580 | 27 | 8 |
| A5 | 35.962.407 | 29 | 10 |
| A6 | 35.980.150 | 28 | 7 |
| A7 | 36.745.020 | 28 | 7 |

A-4: Relativer Abstand zwischen den Projektionen und den Angeboten des Anwendungsbeispiels mit radialer Distanzfunktion

Tabelle A4: Relativer Abstand zwischen den Projektionen und den Angeboten gem. (8.1)

| Angebot | relativer Fehlbetrag zur Projektion auf der Randfunktion | | | | relativer Fehlbetrag zur Projektion auf der Gewinnfunktion | | | |
|---------|--|---------|-------------------|---------------|--|---------|-------------------|---------------|
| | Preis | Bauzeit | Wartungs-freiheit | Verb. Planung | Preis | Bauzeit | Wartungs-freiheit | Verb. Planung |
| | [%] | [%] | [%] | [%] | [%] | [%] | [%] | [%] |
| A1 | -1,18 | 18,66 | 47,43 | 15,11 | -1,94 | -30,50 | 77,54 | 24,70 |
| A2 | -0,97 | -13,44 | 209,26 | 11,11 | -2,58 | -35,65 | 554,97 | 29,47 |
| A3 | -0,54 | -15,10 | 35,29 | 54,34 | -3,05 | -85,86 | 200,74 | 309,10 |
| A4 | -0,98 | -15,43 | 125,56 | 11,11 | -2,17 | -34,28 | 278,91 | 24,68 |
| A5 | -1,58 | -30,66 | 138,57 | 26,98 | -2,56 | -49,70 | 224,65 | 43,74 |
| A6 | -2,03 | -28,08 | 135,70 | 208,95 | -4,29 | -59,36 | 286,82 | 441,65 |
| A7 | -2,10 | -45,86 | 82,91 | 73,37 | -3,25 | -70,90 | 128,19 | 113,44 |
| A8 | -3,08 | -47,91 | 1010,68 | 64,40 | -3,76 | -58,53 | 1234,63 | 78,67 |
| A9 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -4,24 | -113,46 | 90,23 | 51,74 |
| A10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| A11 | -1,00 | -26,83 | 32,89 | 51,51 | -2,73 | -73,06 | 89,55 | 140,27 |
| A12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1,03 | -18,11 | 33,30 | 10,43 |
| A13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1,52 | -19,31 | 70,25 | 15,29 |
| A14 | -0,50 | -7,35 | 8,92 | 10,23 | -2,26 | -33,51 | 40,67 | 46,65 |
| A15 | -0,18 | -6,34 | 7,81 | 2,28 | -1,30 | -46,37 | 57,16 | 16,69 |
| A16 | -0,82 | -11,18 | 120,45 | 83,14 | -4,10 | -55,67 | 600,04 | 414,19 |
| A17 | -0,69 | -21,87 | 14,72 | 18,37 | -2,58 | -82,08 | 55,26 | 68,95 |
| A18 | -0,95 | -18,55 | 39,25 | 10,88 | -1,62 | -31,67 | 67,00 | 18,58 |
| A19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1,57 | -67,71 | 105,53 | 20,31 |
| A20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -2,05 | -26,76 | 83,17 | 21,20 |
| A21 | -1,78 | -31,73 | 286,83 | 26,11 | -2,63 | -46,92 | 424,20 | 38,61 |
| A22 | -1,81 | -24,08 | 217,68 | #DIV/0! | -4,65 | -62,02 | 560,63 | #DIV/0! |
| A23 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,15 | -5,89 | 2,59 | 1,94 |
| A24 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1,27 | -15,44 | 20,36 | 14,41 |
| A25 | -1,09 | -29,70 | 31,13 | 16,29 | -1,73 | -46,92 | 49,18 | 25,74 |
| A26 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -1,38 | -38,64 | 374,24 | 17,39 |
| A27 | -0,45 | -14,65 | 30,74 | 6,53 | -1,71 | -56,13 | 117,80 | 25,02 |
| A28 | -2,24 | -29,24 | 103,83 | 57,89 | -3,62 | -47,29 | 167,95 | 93,64 |
| A29 | -0,59 | -10,11 | 11,54 | 8,66 | -1,46 | -24,84 | 28,35 | 21,29 |
| A30 | -2,28 | -33,73 | #DIV/0! | 117,37 | -4,27 | -63,09 | #DIV/0! | 219,55 |
| A31 | -0,87 | -25,76 | 349,32 | 13,25 | -3,08 | -91,68 | 1243,22 | 47,15 |
| A32 | -2,90 | -55,78 | 302,54 | #DIV/0! | -5,71 | -109,75 | 595,27 | #DIV/0! |
| A33 | -0,16 | -5,69 | 3,96 | 5,46 | -1,88 | -66,51 | 46,25 | 63,85 |
| A34 | -0,39 | -5,50 | 8,48 | #DIV/0! | -3,47 | -49,07 | 75,61 | #DIV/0! |
| A35 | -1,01 | -15,36 | 24,92 | 103,21 | -3,39 | -51,61 | 83,74 | 346,81 |
| A36 | -1,10 | -15,03 | 38,99 | 13,98 | -2,08 | -28,56 | 74,10 | 26,56 |
| A37 | -2,23 | -33,61 | 73,65 | 36,87 | -4,94 | -74,53 | 163,33 | 81,77 |
| A38 | -0,51 | -16,84 | 27,48 | 17,51 | -2,68 | -88,37 | 144,24 | 91,90 |
| A39 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,33 | -6,69 | 7,14 | 3,37 |
| A40 | -1,64 | -33,42 | 137,94 | #DIV/0! | -3,93 | -79,80 | 329,33 | #DIV/0! |
| A41 | -0,93 | -12,85 | 21,95 | 23,90 | -2,78 | -38,21 | 65,30 | 71,08 |
| A42 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -2,02 | -59,99 | 172,55 | 50,39 |
| A43 | -1,02 | -23,13 | 45,15 | 13,18 | -1,76 | -39,72 | 77,52 | 22,64 |
| A44 | -1,82 | -31,38 | 49,17 | 24,48 | -2,74 | -47,38 | 74,24 | 36,95 |
| A45 | -1,01 | -20,98 | 22,19 | 55,39 | -4,14 | -86,45 | 91,45 | 228,23 |

Es wird darauf hingewiesen, dass ein relativer Ergebniswert bei einer angebotenen Kriterienmenge von $x_{0,i} \neq 0$ (bspw. 0 Monate Garantieanspruch, wie in diesem Praxisbeispiel) nicht berechnet werden kann, da die Division durch Null zu einem mathematischen Fehler (#DIV/0!) führt.

Anhang A-5: Korrigierte Projektionen auf der Randfunktion und relatives Verbesserungspotenzial für das Anwendungsbeispiel

Tabelle A5: An Grenzwerte angepasste Projektionen auf der Randfunktion

| Angebot | Realisierbare Projektion auf der Randfunktion | | | | relativer Fehlbetrag zur Projektion auf der Randfunktion | | | |
|---------|---|----------|-----------------------|------------------|--|---------|-----------------------|------------------|
| | Preis | Bauzeit | Wartungs- freiheit | Verb. Planung | Preis | Bauzeit | Wartungs- freiheit | Verb. Planung |
| | [Euro] | [Wochen] | [Monate] | [Punkte] | [%] | [%] | [%] | [%] |
| A1 | 108.933,27 | 21,96 | 70,77 | 9,21 | -1,18 | -18,66 | 47,43 | 15,11 |
| A2 | 108.885,61 | 22,98 | 45,26 | 9,60 | -1,87 | -25,88 | 402,86 | 6,68 |
| A3 | 108.928,35 | 12,74 | 39,23 | 1,54 | -0,54 | -15,10 | 35,29 | 54,34 |
| A4 | 108.960,62 | 21,12 | 41,59 | 9,54 | -1,38 | -21,79 | 177,25 | 5,97 |
| A5 | 108.934,63 | 15,26 | 52,49 | 7,62 | -1,58 | -30,66 | 138,57 | 26,98 |
| A6 | 108.837,53 | 22,29 | 68,35 | 3,09 | -2,03 | -28,08 | 135,70 | 208,95 |
| A7 | 110.554,39 | 10,83 | 91,46 | 5,20 | -2,10 | -45,86 | 82,91 | 73,37 |
| A8 | 109.307,91 | 14,58 | 66,64 | 8,22 | -3,08 | -47,91 | 1010,68 | 64,40 |
| A9 | 131.714,23 | 19,00 | 108,00 | 10,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| A10 | 109.920,87 | 18,00 | 113,00 | 10,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| A11 | 109.709,53 | 11,71 | 78,40 | 3,03 | -1,00 | -26,83 | 32,89 | 51,51 |
| A12 | 109.775,89 | 24,00 | 59,00 | 10,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| A13 | 108.511,70 | 33,00 | 41,00 | 10,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| A14 | 110.905,77 | 26,87 | 117,63 | 5,51 | -0,50 | -7,35 | 8,92 | 10,23 |
| A15 | 110.931,01 | 11,24 | 47,44 | 8,18 | -0,18 | -6,34 | 7,81 | 2,28 |
| A16 | 108.092,69 | 27,54 | 28,66 | 1,83 | -0,82 | -11,18 | 120,45 | 83,14 |
| A17 | 114.506,59 | 10,94 | 107,84 | 4,73 | -0,69 | -21,87 | 14,72 | 18,37 |
| A18 | 109.919,47 | 16,89 | 70,08 | 9,65 | -1,19 | -23,21 | 49,10 | 7,18 |
| A19 | 112.036,06 | 10,00 | 29,00 | 8,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| A20 | 111.461,96 | 33,00 | 48,00 | 10,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| A21 | 109.036,89 | 16,38 | 46,42 | 8,83 | -1,78 | -31,73 | 286,83 | 26,11 |
| A22 | 108.508,71 | 24,29 | 50,83 | 1,85 | -1,81 | -24,08 | 217,68 | #DIV/0! |
| A23 | 110.247,06 | 11,00 | 113,00 | 8,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| A24 | 110.438,76 | 35,00 | 120,00 | 9,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| A25 | 111.226,97 | 11,25 | 90,48 | 8,14 | -1,09 | -29,70 | 31,13 | 16,29 |
| A26 | 108.469,71 | 15,00 | 7,00 | 8,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| A27 | 110.174,48 | 11,10 | 36,61 | 7,46 | -0,45 | -14,65 | 30,74 | 6,53 |
| A28 | 109.161,31 | 23,35 | 85,61 | 6,32 | -2,24 | -29,24 | 103,83 | 57,89 |
| A29 | 109.846,12 | 22,47 | 110,42 | 7,61 | -0,59 | -10,11 | 11,54 | 8,66 |
| A30 | 108.384,50 | 19,22 | 44,21 | 4,35 | -2,28 | -33,73 | #DIV/0! | 117,37 |
| A31 | 114.258,10 | 10,13 | 27,03 | 8,03 | -1,09 | -32,49 | 440,53 | 14,74 |
| A32 | 115.642,94 | 10,70 | 87,92 | 3,61 | -3,26 | -55,41 | 339,61 | #DIV/0! |
| A33 | 110.006,31 | 11,32 | 81,09 | 3,16 | -0,16 | -5,69 | 3,96 | 5,46 |
| A34 | 109.412,23 | 28,35 | 95,46 | 0,40 | -0,39 | -5,50 | 8,48 | #DIV/0! |
| A35 | 109.469,66 | 23,70 | 97,44 | 2,03 | -1,01 | -15,36 | 24,92 | 103,21 |
| A36 | 108.976,44 | 26,33 | 75,11 | 9,03 | -1,10 | -15,06 | 39,09 | 12,93 |
| A37 | 122.215,04 | 20,96 | 115,90 | 8,20 | -2,29 | -34,50 | 75,61 | 17,12 |
| A38 | 110.584,48 | 10,81 | 45,89 | 3,53 | -0,51 | -16,84 | 27,48 | 17,51 |
| A39 | 109.224,97 | 21,00 | 89,00 | 10,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| A40 | 108.738,03 | 13,98 | 54,73 | 1,68 | -1,64 | -33,42 | 137,94 | #DIV/0! |
| A41 | 109.543,96 | 27,02 | 100,00 | 4,96 | -0,93 | -12,85 | 21,95 | 23,90 |
| A42 | 107.967,74 | 14,00 | 22,00 | 4,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| A43 | 110.229,21 | 14,61 | 63,86 | 9,05 | -1,02 | -23,13 | 45,15 | 13,18 |
| A44 | 114.058,10 | 17,44 | 113,70 | 9,25 | -1,91 | -32,93 | 51,60 | 15,68 |
| A45 | 117.672,49 | 17,38 | 114,86 | 3,11 | -1,01 | -20,98 | 22,19 | 55,39 |

Lebenslauf

PERSÖNLICHE DATEN

Name: Stefan Niewerth, M.Sc.
Geburtsdatum: 22.11.1988
Familienstand: verheiratet, keine Kinder

BERUFLICHER WERDEGANG

01/2019 – heute CML Construction Services GmbH (Servicebetrieb der STRABAG SE)
11/2013 – 12/2018 Hochschule Ruhr West, Institut Bauingenieurwesen, Lehrgebiete Bauverfahrenstechnik und Baukalkulation, Prof. Dr.-Ing. P. Vogt und Geotechnik, Prof. Dr.-Ing. R. Schäfer, Mülheim a. d. Ruhr
03/2016 – 03/2018 meckmann|partner GmbH – Ingenieure und Sachverständige für Immobilien, Korschenbroich, Düsseldorf, Bochum
04/2013 - 10/2013 IKT – Institut für unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen
02/2011 – 04/2013 GID – Gesellschaft für Informatikdienstleistungen, Marl
08/2008 – 08/2010 GIP – Gesellschaft für Industrieanlagenplanung, Marl

AKADEMISCHER WERDEGANG

10/2015 – heute Doktorand am Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb der Ruhr-Universität Bochum, Prof. Dr.-Ing. Markus Thewes
10/2011 – 10/2013 Masterstudium Bauingenieurwesen, Ruhr-Universität Bochum, Vertiefung: Geotechnik und Tunnelbau
10/2008 – 09/2013 Bachelorstudium Umwelttechnik und Ressourcenmanagement, Ruhr-Universität Bochum, Vertiefung: Umwelttechnik und Umweltp lanung

SCHULAUSSBILDUNG

07/2005 – 05/2008 Gymnasiale Oberstufe des Berufskollegs Borken
07/1999 – 06/2005 Elisabeth-von-Thüringen Realschule, Reken