



Thema:

**Erstellung eines Konzeptes zur Planung und Optimierung wissensintensiver
Dienstleistungsprojekte mit Hilfe der Data Envelopment Analysis**

Diplomarbeit

Arbeitsgruppe Wirtschaftsinformatik

Themensteller: Prof. Dr. rer. pol. habil. Hans-Knud Arndt
Betreuer: Prof. Dr. rer. pol. habil. Hans-Knud Arndt
Dr. Jörg von Garrel (Fraunhofer IFF)

vorgelegt von: Ralf Amende

Abgabetermin: 21. August 2012

Vorbemerkung

Die vorliegende Diplomarbeit entstand am Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF im Rahmen des Verbundvorhabens „Wissensintensive industrielle Dienstleistungen weltweit produktiv erbringen (WiDiPro)“ (Förderkennzeichen: 01FL10008), welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Projektträger im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (PT-DLR) im Bereich Arbeitsgestaltung und Dienstleistungen finanziell gefördert wird.

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung	II
Inhaltsverzeichnis	III
Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme	V
Symbolverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	2
2 Dienstleistungen und Dienstleistungsproduktivität	4
2.1 Dienstleistungen	4
2.2 Wissensintensive Dienstleistungen	8
2.3 Unterscheidung Effektivität, Effizienz und Produktivität	9
2.4 Produktivität von Dienstleistungen	11
2.5 Das Konzept von Grönroos und Ojasalo	14
2.6 Verfahren zur Produktivitätsmessung	16
2.6.1 Parametrische Verfahren	18
2.6.2 Nicht-parametrische Verfahren	20
3 Data Envelopment Analysis	21
3.1 Grundlagen der Data Envelopment Analysis	21
3.2 Produktionstheoretische Grundlagen der DEA	23
3.2.1 Die DEA zum Vergleich von Input-Output-Transformationen	23
3.2.2 Partielle Produktivität, Totale Faktorproduktivität und Pareto-Koopmans-Effizienz	25
3.2.3 Die Konstruktion von DEA-Technologien	30
3.2.4 Effizienzmaße der DEA	36
3.3 Mathematische Formulierung der DEA	39
3.3.1 Das CCR-Modell	39
3.3.1.1 Ableitung der primalen und dualen CCR-Basismodelle	41
3.3.1.2 Modellerweiterung um Slack-Variablen	44
3.3.2 Das BCC-Modell	45
3.3.3 Das ROD-Modell	48
3.3.4 Zwischenfazit	52
3.3.5 Das MIDEA-Modell	54
4 Dynamisierung der DEA	58
4.1 Window Analysis	58
4.2 Das DSBM-Modell	60

5	Konzeptualisierung der dynamischen Produktivitätsbestimmung für wissensintensive Dienstleistungen.....	67
5.1	Planung wissensintensiver Dienstleistungen.....	67
5.2	Optimierung wissensintensiver Dienstleistungen	70
5.3	Ganzheitliches Konzept zur Planung und Optimierung	72
6	Fazit und Ausblick	76
	Literaturverzeichnis	78

Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme

AE	allokative Effizienz
BCC-Modell	Banker-Charnes-Cooper-Modell
CCR-Modell	Charnes-Cooper-Rhodes-Modell
CRS	konstante Skalenerträge
DEA	Data Envelopment Analysis
DMU	Decision Making Unit
DSBM-Modell	Dynamic Slacks-based Measure-Modell
EIDEA-Modell	Envelopment Imprecise DEA-Modell
GE	Gesamteffizienz
MIDEA-Modell	Multiplier Imprecise DEA-Modell
NDRS	nicht abnehmende Skalenerträge
NIRS	nicht zunehmende Skalenerträge
ROD-Modell	Rank-order-data-Modell
SFA	Stochastic Frontier Analysis
TE	technische Effizienz
TFP	totale Faktorproduktivität
VRS	variable Skalenerträge

Symbolverzeichnis

g	Produktionsfunktion
i	Laufindex der Inputs
j	Laufindex der Outputs
k	Laufindex der Produktionen
m	Anzahl der Inputs
\max	maximiere
\min	minimiere
n	Anzahl der Outputs
N	Anzahl der betrachteten Produktionen
p^{aggr}	aggregiertes Produktivitätsmaß
p^{part}	partiell Produktivitätsmaß
r	Skalenertragsvariable
$R(T^{\text{emp}})$	effizienter Rand der empirisch approximierten wahren Technologie
s^-	Inputschlupf
s^+	Outputschlupf
t	Laufindex der Perioden
T	wahre Technologie
T^{emp}	empirisch approximierte Technologie
TE^{rein}	rein technische Effizienz
$TE^{\text{rein-in}}$	rein technische Ineffizienz
Te^{skal}	Skaleneffizienz
$TE^{\text{skal-in}}$	Skaleneffizienz
u_j	Aggregationsgewicht einer Outputart j
v_i	Aggregationsgewicht einer Inputart i
w	Parametervektor
x_i	Quantität einer Inputart i
x_k	Inputvektor einer Produktion k
X	aggregierte gewichtete Summe der Inputs
y_j	Quantität einer Outputart j
y_k	Outputvektor einer Produktion k
Y	aggregierte gewichtete Summe der Outputs
ϖ_i	transformiertes Aggregationsgewicht der Inputart i
μ_j	transformiertes Aggregationsgewicht der Outputart j
ε	nicht-archimedische Konstante
θ	Effizienzwert
$\lambda_{o,k}$	Gewicht der Produktion k bei der Zieldefinition von Produktion o

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Dimensionen der Dienstleistungserbringung	5
Abb. 2.2: Vierfelder-Matrix unterschiedlicher Dienstleistungssegmente.....	7
Abb. 2.3: Effizienz und Effektivität.....	10
Abb. 2.4: ‚Klassische‘ Produktivitätsformel.....	11
Abb. 2.5: Allgemeines Produktivitätskonzept	11
Abb. 2.6: Idealtypische Differenzierung von Sachgutproduktion und Dienstleistung ...	12
Abb. 2.7: Konzept zur Produktivität von Dienstleistungen von Grönroos und Ojasalo.	14
Abb. 2.8: Produktionsrelevante Leistungsbestandteile der Dienstleistung.....	15
Abb. 2.9: Produktionsfunktion und Technologiemenge	17
Abb. 3.1: Grundlegende Funktionsweise der DEA	22
Abb. 3.2: Abstraktion von Produktionsprozessen	24
Abb. 3.3: Partielle Faktorproduktivität	26
Abb. 3.4: „Wahre“ und approximierte Technologie.....	31
Abb. 3.5: Skalenertragseigenschaften bei konvexen DEA-Technologien.....	34
Abb. 3.6: Nicht-radiale Ineffizienz im zwei Input-/ein Output-Fall.....	38
Abb. 3.7: Technische Effizienzbetrachtung der Modelle CCR und BCC	47
Abb. 3.8: Effizienzwertermittlung im zwei Input-/ein Output-Fall.....	51
Abb. 3.9: Vergleich der Effizienzwerte mit/ohne Kundenzufriedenheit	54
Abb. 4.1: Dynamische DEA-Struktur	60
Abb. 5.1: Ganzheitliches DEA-Konzept zur Planung und Optimierung wissensintensiver Dienstleistungsprojekte	73

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1: Input- und outputorientierte Definition der technischen Effizienz	29
Tab. 3.2: Beispiel einer Fünf-Punkt Likert-Skala.....	49
Tab. 3.3: Effizienzanalyse mit dem ROD-Modell.....	53
Tab. 3.4: Exakte und unpräzise Daten	56
Tab. 3.5: Umwandlung ordinaler Daten in exakte Daten	57
Tab. 4.1: Window Analysis	59
Tab. 4.2: Beispieldatensatz	65
Tab. 4.3: Dynamische Effizienzberechnung.....	65
Tab. 4.4: Statische Effizienzberechnung	66

1 Einleitung

1.1 Motivation

Durch den Wandel der entwickelten Volkswirtschaften von Industrie- in Dienstleistungsgesellschaften ergeben sich neue Herausforderungen in den Bereichen der Ökonomie und Wirtschaftspolitik. Diese Herausforderungen beziehen sich vor allem auf die Steigerung der Produktivität von Dienstleistungen und hierbei im speziellen auf die Steigerung der Produktivität wissensintensiver Dienstleistungen.¹ Wird dieser Wandel am Beispiel Deutschlands betrachtet, so ist erkennbar, dass der Anteil der Erwerbstätigen im Dienstleistungssektor² von 45,1% 1970 auf 73,5% im Jahr 2010 stieg, wobei 35% der Beschäftigten im Bereich der wissensintensiven Dienstleistungen tätig sind. Im gleichen Zeitraum erhöhte sich der Anteil des tertiären Sektors an der Bruttowertschöpfung von 45% auf 71%. Wird nun ein Vergleich mit den USA gezogen, dort liegt der Anteil an der Bruttowertschöpfung bei 77,1%, dann ist erkennbar, dass der Tertiarisierungsprozess in Deutschland noch nicht abgeschlossen ist.³ Vor dem Hintergrund dieser wachsenden Zahl an Beschäftigten im Dienstleistungssektor und dem damit einhergehenden gesteigerten Anteil dieses Sektors an der Bruttowertschöpfung ist es daher notwendig, geeignete Methoden und Instrumente zur Planung und Optimierung wissensintensiver Dienstleistungsprojekte zu entwickeln, um dieser Herausforderung entgegenzutreten zu können.

Bei der Entwicklung dieser Methoden und Instrumente ist allerdings zu beachten, dass sich das Forschungsfeld der Dienstleistungsproduktivität noch im Anfangsstadium befindet. Bis heute existiert weder ein einheitlicher Dienstleistungsbegriff noch ein allgemein verbindliches Produktivitätsverständnis für Dienstleistungen.⁴

Obschon bereits in früheren wissenschaftlichen Arbeiten der Versuch unternommen wurde, ein ganzheitliches und einheitliches Produktivitätsverständnis für Dienstleistungen zu entwickeln, kamen diese Ansätze nie über theoretische Konzepte (bspw. von

¹ Vgl. Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S.8

² Als Dienstleistungssektor wird der tertiäre Sektor bezeichnet, welcher Handel und Gastgewerbe, Verkehr- und Nachrichtenübermittlung, Kredit- und Versicherungsgewerbe, Grundstücks- und Wohnungswesen, Vermietung beweglicher Sachen, Erbringung von sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen (Unternehmensdienstleister), Gebietskörperschaften und Sozialversicherung, Erziehung und Unterricht, Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen sowie sonstige öffentliche und persönliche Dienstleistungen umfasst. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2012)

³ Vgl. Statistisches Bundesamt (2012) sowie Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2012)

⁴ Vgl. Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S.8

CORSTEN oder GRÖNROOS und OJASALO) hinaus.⁵ Somit fehlt es in der Praxis an Methoden und Instrumenten zur Gestaltung der Dienstleistungsproduktivität.

1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

Im Rahmen dieser Arbeit soll daher ein Konzept entwickelt werden, mit dessen Hilfe es möglich ist, wissensintensive Dienstleistungen zu planen und zu optimieren. Die Basis dieses Konzeptes bildet die Data Envelopment Analysis (DEA) aus dem Bereich des Operations Research.

Mit Blick auf die Zielsetzung der Arbeit erfolgt zuerst ein Überblick über die historische Entwicklung des Dienstleistungsbegriffs. Dieser Überblick dient als Grundlage, um das Wesen der Dienstleistung zu verstehen und den aktuellen Stand der Dienstleistungsforschung darzulegen. Weiterhin wird die Unterteilung der verschiedenen Dienstleistungsarten anhand des Zusammenhangs zwischen Interaktions- und Komplexitätsgrad einer Dienstleistung aufgezeigt. Ausgehend von dieser Unterteilung erfolgt eine nähere Betrachtung der wissensintensiven Dienstleistungen, da auf diesem Dienstleistungstyp der Fokus der Arbeit liegt. Nachfolgend wird das Thema Produktivität allgemein aufgegriffen und von den Begrifflichkeiten der Effizienz und der Effektivität abgegrenzt. Aufbauend darauf werden Probleme bei der Übertragung des industriell geprägten Dienstleistungsbegriffs auf Dienstleistungen dargelegt und das Konzept von GRÖNROOS und OJASALO⁶ zum Thema „Dienstleistungsproduktivität“ vorgestellt. Hiernach erfolgt die Vorstellung parametrischer und nicht-parametrischer Verfahren zur Effizienzmessung.

Im Anschluss daran wird die DEA vorgestellt. Hierbei wird wiederum zuerst die historische Entwicklung erläutert. Danach erfolgt die Vermittlung des Grundprinzips der DEA und der produktionstheoretischen Grundlagen als Einführung in die Thematik. Anschließend erfolgt die mathematische Formulierung ausgewählter statischer DEA-Modelle. Hierbei wird auf die Unterschiede der verschiedenen Modelle eingegangen und deren Eignung für die Effizienzmessung im Bereich wissensintensiver Dienstleistungen betrachtet.

Darauf aufbauend wird im nachfolgenden Kapitel auf Möglichkeiten zur dynamischen Effizienzmessung eingegangen. Hierzu wird einerseits eine Analyseverfahren vorgestellt durch die die Effizienzen verschiedener Perioden und Produktionen miteinander verglichen werden können. Weiterhin wird ein Ansatz zur dynamischen Effizienzmessung

⁵ Vgl. ebd.: S.22 ff.

⁶ Vgl. Grönroos/Ojasalo (2004)

vorgestellt, welcher periodenübergreifende Effekte berücksichtigt. Dadurch kann eine Effizienzberechnung über mehrere zusammenhängende Perioden durchgeführt werden.

Auf Basis der vorgestellten DEA-Modelle erfolgt daraufhin die Entwicklung eines Konzepts zur (1) Planung und (2) Optimierung wissensintensiver Dienstleistungen. Hierzu werden aus den vorgestellten Modellen diejenigen ausgewählt und modifiziert, die für den Einsatz in diesem Bereich am besten geeignet sind. Diese DEA-Modelle werden dann so miteinander verknüpft, dass ihre Vorteile genutzt und Nachteile minimiert werden. Hierdurch entsteht dann ein ganzheitliches Konzept zur Planung und Optimierung wissensintensiver Dienstleistungsprojekte.

Abschließend erfolgen eine Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse und ein Ausblick auf zukünftigen Forschungsbedarf in diesem Bereich.

2 Dienstleistungen und Dienstleistungsproduktivität

2.1 Dienstleistungen

Im wissenschaftlichen Diskurs existiert zum jetzigen Zeitpunkt keine allgemein anerkannte Definition zur Begrifflichkeit der Dienstleistungen.⁷ Die vorhandenen Definitionen können vielmehr anhand von vier verschiedenen Definitions-Kategorien zusammengefasst werden: enumerative Definitionen, Negativdefinitionen, institutionelle Abgrenzung und Definition anhand konstitutioneller Merkmale.⁸ Zur Charakterisierung von Dienstleistungen hat sich in der wissenschaftlichen Diskussion die Definition anhand von konstitutionellen Merkmalen durchgesetzt.⁹

Bei der Charakterisierung anhand von konstitutionellen Merkmalen erfolgt eine phasenbezogene Betrachtung der Dienstleistungserstellung. Auf Basis dieser Betrachtung werden Merkmale identifiziert, die geeignet sind, um die prozess-, ergebnis- und potenzialorientierte Interpretation zu charakterisieren.¹⁰

Im Vordergrund der prozessorientierten Perspektive steht der Dienstleistungserstellungsprozess. Hierbei ist das zentrale Charakteristikum der synchrone Kontakt zwischen dem Kunden auf der einen Seite und dem Dienstleister auf der anderen Seite.¹¹ Hingegen konzentriert sich der ergebnisorientierte Ansatz am, für den Absatz relevanten, Ergebnis des Dienstleistungserstellungsprozesses.¹² Die potentialorientierte Definition hebt schließlich die Leistungsbereitschaft der Mitarbeiter bzw. der Maschinen hervor, um die Fähigkeiten und die Bereitschaft des Unternehmens zu vermarkten.¹³

Die phasenbezogene Betrachtung von Dienstleistungen greift folgende Definition von MEFFERT/BRUHN auf: „Dienstleistungen sind selbstständige, marktfähige Leistungen, die mit der Bereitstellung (z.B. Versicherungsleistungen) und/oder dem Einsatz von Leistungsfähigkeiten (z.B. Friseurleistungen) verbunden sind (Potentialorientierung). Interne (z.B. Geschäftsräume, Personal, Ausstattung) und externe Faktoren (also solche, die nicht im Einflussbereich des Dienstleisters liegen) werden im Rahmen des Erstellungsprozesses kombiniert (Prozessorientierung). Die Faktorenkombination des Dienstleistungsanbieters wird mit dem Ziel eingesetzt, an den externen Faktoren, an Menschen

⁷ Vgl. Maleri/Frietzsche (2008): S.2

⁸ Vgl. Lasshof (2006): S.47

⁹ Vgl. ebd.: S.47 sowie Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S.9

¹⁰ Vgl. Meffert/Bruhn (2009): S.16

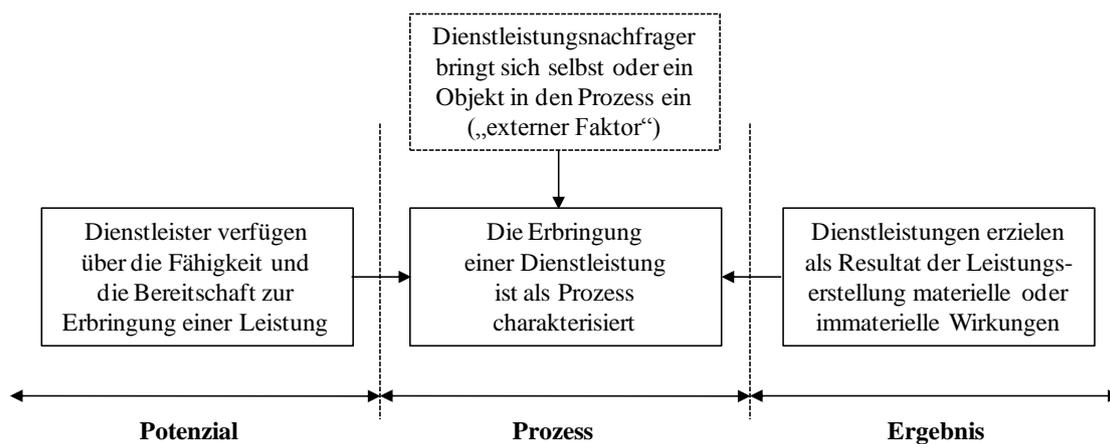
¹¹ Vgl. Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S.9

¹² Vgl. Maleri/Frietzsche (2008): S.5

¹³ Vgl. Corsten (1990): S.18

(z.B. Kunden) und deren Objekten (z.B. Auto des Kunden) nutzenstiftende Wirkungen (z.B. Inspektion des Autos) zu erzielen (Ergebnisorientierung).¹⁴

Bereits in den 80er Jahren erfolgte eine Herausarbeitung von vier konstitutiven Dienstleistungsmerkmalen (intangibility, inseparability, heterogeneity und perishability), welche sich an eine potential-, prozess- und ergebnisorientierte Dienstleistungsbetrachtung (siehe Abb. 2.1) anlehnen. Diese Merkmale stellen im wissenschaftlichen Diskurs um die Begrifflichkeiten Dienstleistung und Dienstleistungsbegriff auch heutzutage noch die wesentliche Grundlage dar. Unter *intangibility* wird hierbei die Immaterialität der Dienstleistung verstanden, während *inseparability* das direkte Engagement des Kunden am Dienstleistungserstellungsprozess beschreibt. Die Einzigartigkeit jeder Dienstleistung, die u.a. durch die direkte Beteiligung von Kunden und Mitarbeitern zustande kommt, wird als *heterogeneity* bezeichnet. Die Problematik das Dienstleistungen aufgrund ihrer Vergänglichkeit weder gelagert noch zurückgegeben oder weiterverkauft werden können, wird als *perishability* bezeichnet.¹⁵



Quelle: In Anlehnung an Hilke (1989): S.10

Abb. 2.1: Dimensionen der Dienstleistungserbringung

Insbesondere die Merkmale Heterogenität (heterogeneity) und Nicht-Lagerbarkeit (perishability) haben allerdings aufgrund der Weiterentwicklung und Nutzung von neuen Informations- und Kommunikationstechniken an Erklärungskraft, um Dienstleistungen analytisch zu bestimmen, verloren.¹⁶

Vor allem Dienstleistungen, die darauf basieren Informationen zu generieren und zu verarbeiten, werden produziert und können sowohl gelagert als auch transportiert werden.¹⁷ Weiterhin bieten sich für die Standardisierung, Modularisierung und Automatisierung

¹⁴ Vgl. Meffert/Bruhn (2009): S.19

¹⁵ Vgl. Fitzsimmons/Fitzsimmons (2008): S.21 ff. sowie Zeithaml et al. (2009): S.20 ff.

¹⁶ Vgl. Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S.10

¹⁷ Vgl. Karmarkar (2004): S.101 ff.

nung von Dienstleistungen erweiterte Möglichkeiten durch neue Technologien, wodurch auch das Merkmal der Heterogenität bei vielen Serviceleistungen immer weniger zutreffend ist. Aus diesem Grund werden daher vor allem die Merkmale (*Immaterialität* bzw.) *Intangibilität* und *Integrativität* in jüngerer Zeit als wesentliche konstitutive Merkmale von Dienstleistungen herangezogen.¹⁸

Die Intangibilität, also die materielle Nicht-Greifbarkeit von Dienstleistungen, resultiert aus der Tatsache, dass Dienstleistungen nicht als physische Objekte angesehen werden, sondern primär als Aktivitäten, Interaktionen, Prozesse und Lösungen für Kundenprobleme.¹⁹ Für den Dienstleistungsanbieter ist es daher schwierig die Beurteilung der Dienstleistungsqualität durch den Kunden nachzuvollziehen, da die meisten Dienstleistungen vor dem Kauf weder gezahlt noch gemessen oder getestet werden können.²⁰ Bei der Integrativität wird darauf verwiesen, dass entweder der Kunde selbst in den Leistungserstellungsprozess integriert oder ein von ihm bereitgestelltes Verfügungsobjekt. Weiterhin herrscht im Dienstleistungsprozess ein gewisser Unsicherheitsmoment, da in die Dienstleistungsproduktion zum Teil externe, durch den Kunden bereitgestellte, Produktionsfaktoren einfließen.²¹

Schon frühzeitig wurde die Bedeutung des persönlichen interaktiven Kontaktes, des sogenannten „Service Encounter“, zwischen Anbieter und Nachfrager im Kontext der Integrativität von Dienstleistungen erwähnt. Der Service Encounter charakterisiert sich durch ein hohes Maß an Kurzfristigkeit und Anonymität, wodurch er sich von dauerhaften, relationalen Kundenbeziehungen unterscheidet.²² Hierzu merkt GUMMESSON an: “The most crucial operational characteristic of service management and marketing – which differentiates it from goods – is the service encounter.”²³

Einer wesentlichen Beeinflussung unterliegt die Qualitätswahrnehmung des Kunden durch den Service Encounter hinsichtlich der Erstellung der Dienstleistung und dem Dienstleistungsergebnis.²⁴ Vor allem die sozialwissenschaftlich orientierte Dienstleistungsforschung hat herausgearbeitet, dass sich ein sozialpsychologischer Rahmen der Dienstleistungserbringung entlang des Service Encounters aufspannt. Innerhalb dieses Rahmens werden die beteiligten Akteure mit Verhaltensweisen und Elementen konfrontiert, die nicht-rational und emotional sind.²⁵

¹⁸ Vgl. Bruhn (2006): S.333

¹⁹ Vgl. Edvardsson et al. (2005) S. 110 f.

²⁰ Vgl. Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S.11

²¹ Vgl. Maleri/Frietzsche (2008): S.64 sowie Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S.11

²² Vgl. Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S.11

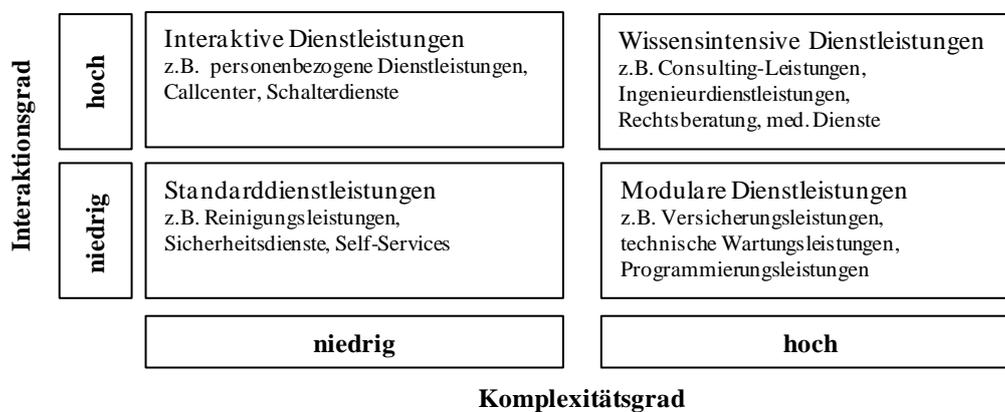
²³ Vgl. Gummesson (1998): S.8

²⁴ Vgl. Chandon et.al. (1997): S.65

²⁵ Vgl. Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S.12

Unter dem Stichwort „Customer Experience“ scheint die persönliche Kundeninteraktion in jüngerer Zeit auch eine Aufwertung aus strategischer Unternehmenssicht zu erfahren. Dies liegt einerseits darin begründet, dass die persönliche Kundeninteraktion mittlerweile als zentrales Element zur Kundenbindung, welches allerdings bisher suboptimal genutzt wird, gesehen wird. Andererseits haben sich die Versprechungen der rein technisch orientierten Customer-Relationship-Management-Ansätze nicht erfüllt.²⁶

Wird der Komplexitätsgrad einer Dienstleistung mit ihrem Interaktionsgrad in Verbindung gesetzt, ergibt sich eine Vierfelder-Matrix unterschiedlicher Dienstleistungssegmente (siehe Abb. 2.2).



Quelle: In Anlehnung an Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S. 15.

Abb. 2.2: Vierfelder-Matrix unterschiedlicher Dienstleistungssegmente

Bezugnehmend auf Abbildung 2.2 zeichnen sich wissensintensive Dienstleistungen durch einen hohen Grad an Komplexität und Interaktivität aus, womit für sie das Gegenteil der Standarddienstleistungen zutrifft. Weiterhin existieren jedoch auch Dienstleistungen mit einem hohen Komplexitätsgrad bei gleichzeitig niedriger Kundeninteraktion. Diese Dienstleistungen haben oft einen modularen Charakter. Das letzte Segment belegen die interaktiven Dienstleistungen, welche durch einen hohen Interaktionsgrad bei gleichzeitig niedrigem Komplexitätsgrad gekennzeichnet sind.²⁷

Die Unterscheidung in die verschiedenen Segmente ist allerdings als eine idealtypische Differenzierung zu verstehen, da diese Reinformen in der Praxis eher selten auftreten und die Segmentübergänge fließend sind.²⁸

²⁶ Vgl. Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S.12

²⁷ Vgl. ebd.: S.15 f.

²⁸ Vgl. ebd.: S.16

2.2 Wissensintensive Dienstleistungen

In der Literatur verlief die Diskussion um die Begrifflichkeit der „wissensintensiven Dienstleistungen“ bisher nur am Rande und äußerst heterogen. Dies hängt damit zusammen, dass die beiden Begriffe „Wissen“ und „Dienstleistung“ an sich schon mit Abgrenzungsproblemen behaftet sind und die Komplexität beim Zusammenführen dieser beiden Begriffe noch zunimmt.²⁹

Im Allgemeinen gelten Dienstleistungen, bei denen zur Erbringung der Leistung die wichtigste Ressource der Inputfaktor Wissen ist, als wissensintensive Dienstleistungen. Hierbei steht die Erzeugung, Nutzung und Verarbeitung von Wissen im Vordergrund. Bei wissensintensiven Dienstleistungen ist die „objektive“ Wertigkeit das Besondere am Inputfaktor Wissen. Zur Produktion der wissensintensiven Dienstleistung muss das hierfür eingesetzte Personal über hochgradig komplexes Wissen verfügen. Im Bereich der wissensintensiven Dienstleistungen verfügt daher ein Großteil des Personals über hohe Bildungsabschlüsse.³⁰ Daher sind oft Absolventen von Universitäten oder ähnlichen Einrichtungen, die hochspezialisiertes Wissen einbringen können, an der Dienstleistungserstellung beteiligt. Verankert ist dieses Wissen in sozialen, institutionellen sowie wissenschaftlich-technischen Feldern.³¹ Angelehnt an ihre konstitutiven Merkmale bietet SCHMIED eine Zusammenfassung der deskriptiven Eigenschaften von wissensintensiven Dienstleistungen:³²

- Die Generierung oder Anwendung neuen Wissens steht im Vordergrund der Dienstleistungserstellung bzw. des Produktes der Dienstleistung.
- Neue Informations- und Kommunikationstechnologien bilden für gewöhnlich die Basis wissensintensiver Dienstleistungen, da diese in starkem Maße intelligent genutzt und weiterentwickelt werden.
- Einen besonders hohen Stellenwert in der Prozessgestaltung hat die Integration der Kunden.
- Neben der Kostensenkung zielen Innovationen auch darauf ab, neue Märkte zu erschließen und neue Beschäftigung zu schaffen.
- Wissensintegrierende und koordinative Funktionen sind wichtige Bestandteile wissensintensiver Dienstleistungen sind, da diese Dienstleistungen oft in einem über-

²⁹ Vgl. Hansen (2009): S.15 f.

³⁰ Vgl. Tether/Hipp (2000): S.54

³¹ Vgl. Burr/Stephan (2006): S.121

³² Vgl. Schmied (2004): S.11

greifenden Prozessansatz flexibel und kundenorientiert aus diversen spezialisierten Beiträgen wirtschaftlich und rechtlich selbstständiger Anbieter gebündelt werden.

Da wissensintensive Dienstleistungen somit auf das kompetente Fachwissen von Experten angewiesen sind, ist der Humankapitaleinsatz sehr hoch. Weiterhin zeichnen Sie sich durch einen geringen Standardisierungsgrad aus. Dieser ist bedingt durch den hohen Integrations- und Interaktionsgrad mit dem Kunden.³³ Der Anbieter muss also in der Lage sein, die spezifischen Anforderungen des Kunden zu verstehen und diese in die Dienstleistungserstellung zu integrieren. Individuelle Kundenwünsche müssen zwar auch von Anbietern standardisierter Dienstleistungen berücksichtigt werden, die Komplexität steigt bei wissensintensiven Dienstleistungen allerdings erheblich (siehe Abb. 2.2). Ebenso unterscheiden sich die Anforderungen an die Leistungserstellung zwischen den Anbietern klassischer Dienstleistungsformen und den Anbietern wissensintensiver Dienstleistungen. Anbieter wissensintensiver Dienstleistungen benötigen zum einen ein vorhandenes Wissensrepertoire und zum anderen Kompetenzen im Umgang mit neuen Problemstellungen. Weiterhin sind neue Herangehensweisen und verschiedene Perspektiven notwendig um den Prozess der Leistungserstellung erfolgreich zu gestalten. Aufgrund dieser Unterschiede ist es nicht verwunderlich, dass der Anteil erbrachter Innovationen deutlich höher liegt im Vergleich zu den klassischen Dienstleistungen und dementsprechend auch der Innovationsgrad im Bereich wissensintensiver Dienstleistungen hoch ist.³⁴

2.3 Unterscheidung Effektivität, Effizienz und Produktivität

Produktivität ist, neben der Effizienz und der Effektivität, ein weiterer Maßstab um, unabhängig von der betrachteten Branche, die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit eines Unternehmens kontrollieren zu können.³⁵

Mittels der Effektivität kann der zielgerichtete Einsatz knapper Ressourcen innerhalb eines Unternehmens beschrieben und die zielbezogene Wirksamkeit von Maßnahmen, auf Grundlage von vorher festgelegten Aufgaben und Zielen, verdeutlicht werden.³⁶ Die Effektivität dient demnach der Betrachtung des Ausmaßes der Zielerreichung und der Fokus liegt, im Gegensatz zur Effizienz, allein auf dem Output. Bei der Effektivität geht es im Allgemeinen also darum, ‚die richtigen Dinge zu tun‘.³⁷

³³ Vgl. Brasse/Uhlmann (2004): S.123

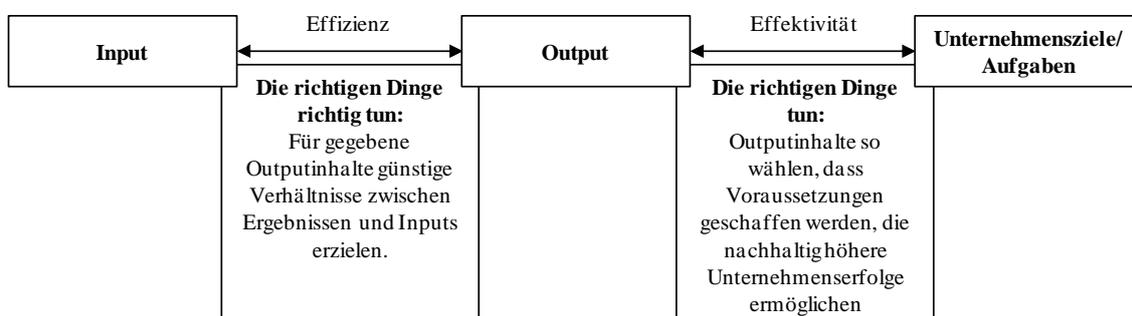
³⁴ Vgl. Burr/Stephan (2006): S.121

³⁵ Vgl. Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S.18 sowie Lasshof (2006): S.23

³⁶ Vgl. Staats (2009): S.31

³⁷ Vgl. Lasshof (2006): S.16 f.

Die Effizienz ist ebenfalls ein internes Beurteilungsmaß zur Betrachtung des Wirkungsgrades einer bestimmten Aktivität. Allerdings basiert die Effizienz, im Gegensatz zur Effektivität, allgemein auf der Gegenüberstellung von Zielerträgen und den notwendigen Mitteln um diese Ziele zu erreichen.³⁸ Der Fokus liegt hierbei auf Input-Output-Relationen von Maßnahmen, Produktionsalternativen etc.³⁹ Die Effizienz ist dabei eng an die unterschiedlichen Ausprägungen des Wirtschaftlichkeitsprinzips angelehnt, da entweder bei gegebenem Mitteleinsatz der Output maximal sein soll (Maximum-Prinzip) oder bei einem gegebenen Output der Mitteleinsatz minimiert werden soll (Minimum-Prinzip). Bei der Effizienz geht es somit darum, ‚die Dinge richtig zu tun‘ (siehe Abb. 2.3).⁴⁰



Quelle: In Anlehnung an Gladen (2003): S. 63.

Abb. 2.3: Effizienz und Effektivität

Die Produktivität hängt eng mit der Effizienz zusammen, da die Produktivität ein Maß zur Beurteilung der Effizienz darstellt. Die Produktivität ist somit eine Größe, die der Effizienz untergeordnet ist.⁴¹ Obschon diese beiden Größen eng zusammenhängen - die Produktivität wird auch als technische Effizienz bezeichnet - bestehen doch klare Unterschiede: “[...] Productivity does not indicate whether the ‘right’ inputs are being used or whether current inputs are being used as efficiently as possible. It only signals what is being achieved with current inputs.”⁴² Somit werden bei der Berechnung der Produktivität andere Einflüsse (Preis, Kosten und Markt) nicht beachtet und es wird nur Auskunft gegeben über das reine Mengenverhältnis von Output zu Input bei der Leistungserstellung (siehe Abb. 2.4).⁴³

³⁸ Vgl. Cantner et.al. (2007): S.3

³⁹ Vgl. Lasshof (2006): S.17

⁴⁰ Vgl. Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S.18

⁴¹ Vgl. Lasshof (2006): S.23

⁴² Vgl. Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S.18

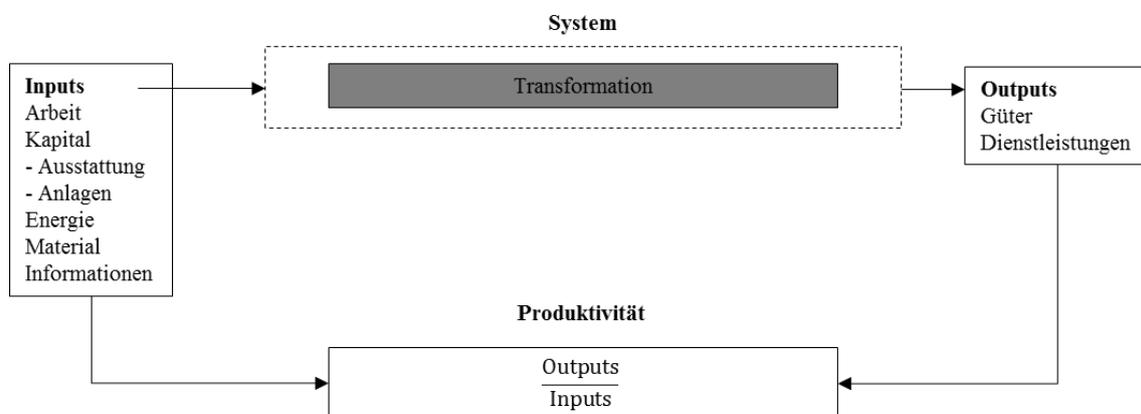
⁴³ Vgl. Lasshof (2006): S.24

$$\text{Produktivität} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}}$$

Quelle: In Anlehnung an Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S.18.

Abb. 2.4: ‚Klassische‘ Produktivitätsformel

Durch die hieraus gebildete Verhältniszahl soll die Beschreibung der Ergiebigkeit der betrieblichen Faktorkombination ermöglicht werden.⁴⁴ Dieser Zusammenhang verdeutlicht die Nutzung von Ressourcen zur Herstellung von Gütern sowie Dienstleistungen und wird als *Allgemeines Produktivitätskonzept* bezeichnet (siehe Abb. 2.5).⁴⁵



Quelle: In Anlehnung an Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S. 19.

Abb. 2.5: Allgemeines Produktivitätskonzept

Demzufolge kann die Produktivität auch als eine „spezifisch inhaltliche Ausprägung von Effizienz“ verstanden werden.⁴⁶ Die Verwendung der Begriffe Effizienz und Produktivität, im Sinne von technischer Effizienz, erfolgt daher im weiteren Verlauf der Arbeit synonym.

2.4 Produktivität von Dienstleistungen

Da das Produktivitätsverständnis auch heutzutage immer noch stark einer industriell geprägten Denkweise folgt, treten bei einer Übertragung des Produktivitätsbegriffs auf den Bereich der Dienstleistungen Probleme auf. Die Charakteristika eines solchen produktionsorientierten Produktivitätsverständnisses sind nach OJASALO folgende:

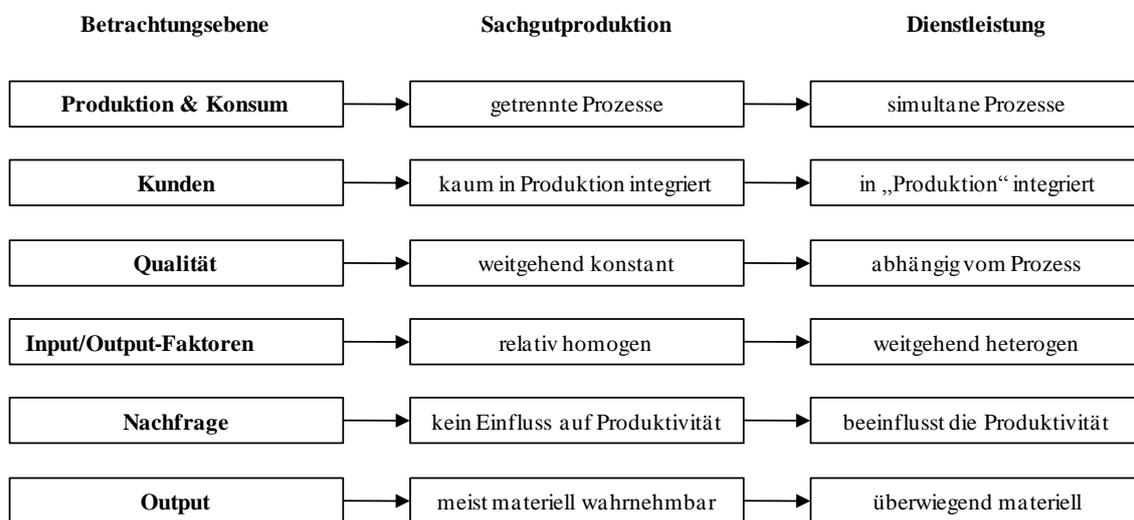
⁴⁴ Vgl. Gutenberg: (1983): S.8

⁴⁵ Vgl. Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S.19

⁴⁶ Vgl. Cantner et.al. (2007): S.3.

- Homogenität,
- Tangibilität des Outputs,
- geschlossenes System,
- Unabhängigkeit von Umsatzvolumina sowie
- keine Kundenbeteiligung.⁴⁷

BIENZEISLER und LÖFFLER haben auf Basis dieser Charakteristika eine idealtypische Differenzierung zwischen Sachgutproduktion und Dienstleistung vorgenommen (siehe Abb. 2.6).



Quelle: In Anlehnung an Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S. 21.

Abb. 2.6: Idealtypische Differenzierung von Sachgutproduktion und Dienstleistung

Weiterhin wurden drei hauptsächliche Felder identifiziert, durch die eine auf dem klassischen Produktivitätsverständnis basierende Umsetzung eines Produktivitätsmanagements im Unternehmen erschwert wird.⁴⁸

1. Inputs und Outputs werden zumeist in unterschiedlichen Einheiten bzw. Werten erfasst. Als Input gelten vorrangig Arbeiter bzw. Materialien, während die Anzahl der Endprodukte den Output darstellt. Hierin liegt ein wesentliches Problem der Produktivitätsbestimmung, denn der Aussagegehalt von Produktivitätsmaßen kann durch diese bedeutenden physischen Unterschiede stark verzerrt werden.⁴⁹

⁴⁷ Vgl. Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S.20

⁴⁸ Vgl. Johnston/Jones (2004): S.204

⁴⁹ Vgl. ebd.: S.204 sowie Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S.20

2. Die Anzahl verschiedener Kombinationsmöglichkeiten von Input und Output stellt ein weiteres Problem bei der Umsetzung des Produktivitätsgedankens im Unternehmen dar. Um Zähler und Nenner bestimmen zu können, ist es einerseits notwendig eine Entscheidung über den Typ und die Messeinheit der Determinanten des Quotienten zu treffen. Andererseits muss festgelegt werden, wie viele Produktivitätskennzahlen zum Einsatz kommen sollen, ohne dass Transparenz und Informationsgehalt der Produktivität als Performancemaß gefährdet werden.⁵⁰
3. Um den Erfolg eines Unternehmens bzw. einer Unternehmenseinheit beurteilen zu können, darf die Produktivitätskennzahl nicht isoliert betrachtet werden. Vielmehr ist es notwendig interne und externe Benchmarks und Vergleiche mit Sollproduktivitäten, Produktivitäten der Vorperioden und Produktivitäten vergleichbarer Produktionsprozesse durchzuführen, um die Aussagekraft der Produktivitätskennzahl nicht einzuschränken.⁵¹

Aufgrund der Integration externer Faktoren sind Dienstleistungssettings in hohem Maße durch Offenheit und Unsicherheit gekennzeichnet. Eine unreflektierte Anwendung des klassischen Produktivitätsverständnisses im Bereich der Dienstleistungen ist daher unzureichend und gefährlich, da hierdurch falsche Hinweise geliefert werden und Fehlentscheidungen des Managements provoziert werden können.⁵²

Schon frühzeitig wurde erkannt, dass es notwendig ist, die Dienstleistungsproduktivität konzeptionell zu erfassen und adäquat zu managen. Dennoch konnte bis heute die Konzeptualisierung der Dienstleistungsproduktivität, trotz früher wissenschaftlicher Arbeiten, nicht weit genug vorangetrieben werden, um ein ganzheitliches und allgemein akzeptiertes Verständnis der Produktivität von Dienstleistungen zu entwickeln, welches darauf aufbaut.⁵³

Allerdings existierten verschiedene konzeptionelle Ansätze zur Bestimmung der Produktivität von Dienstleistungen. Diese Ansätze beachten die konstitutiven Merkmale der Intangibilität und der Integrativität und betrachten des Weiteren Dienstleistungen explizit prozessorientiert.⁵⁴ Im weiteren Verlauf der Arbeit soll hierbei auf das Konzept von GRÖNROOS und OJASALO intensiver eingegangen werden.

⁵⁰ Vgl. Johnston/Jones (2004): S.204

⁵¹ Vgl. Corsten (1994): S.51

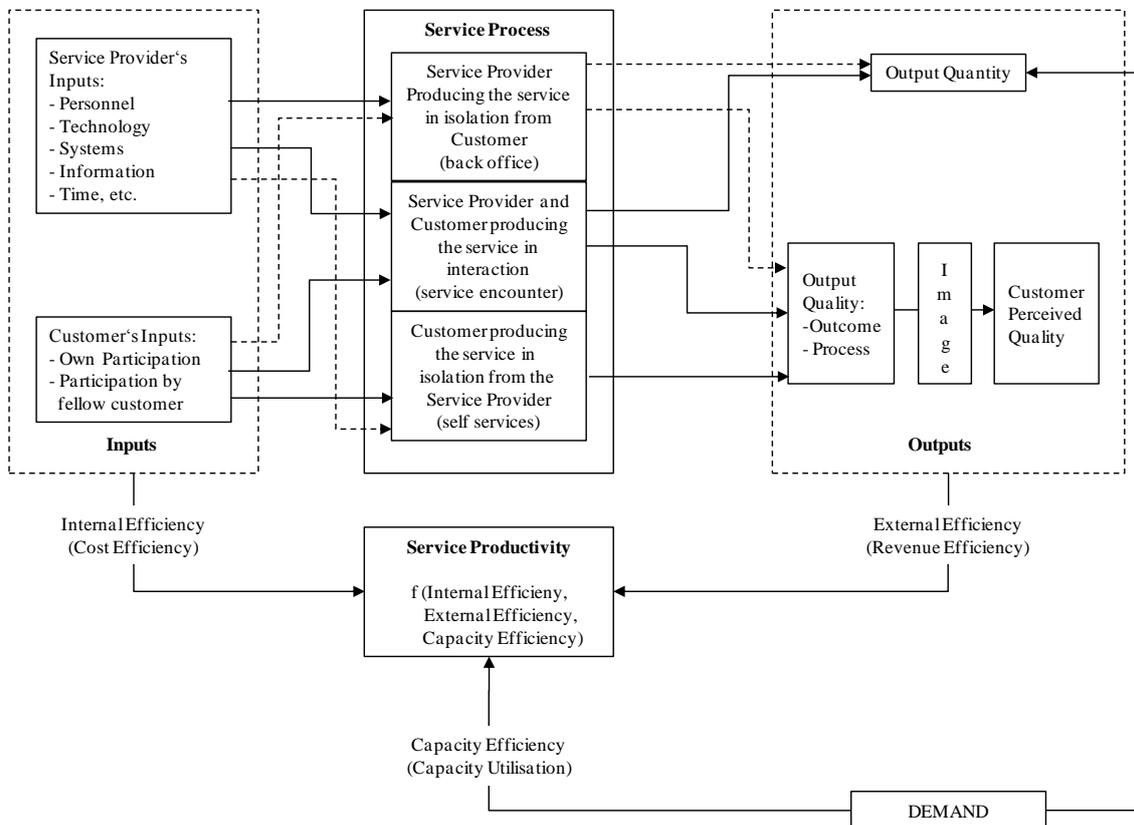
⁵² Vgl. Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S22

⁵³ Vgl. ebd.: S.22

⁵⁴ Vgl. ebd.: S.22

2.5 Das Konzept von Grönroos und Ojasalo

In ihrem theoretischen Konzept betrachten GRÖNROOS und OJASALO die Dienstleistungsproduktivität als eine Funktion bestehend aus mehreren Einflussfaktoren (siehe Abb. 2.7).⁵⁵



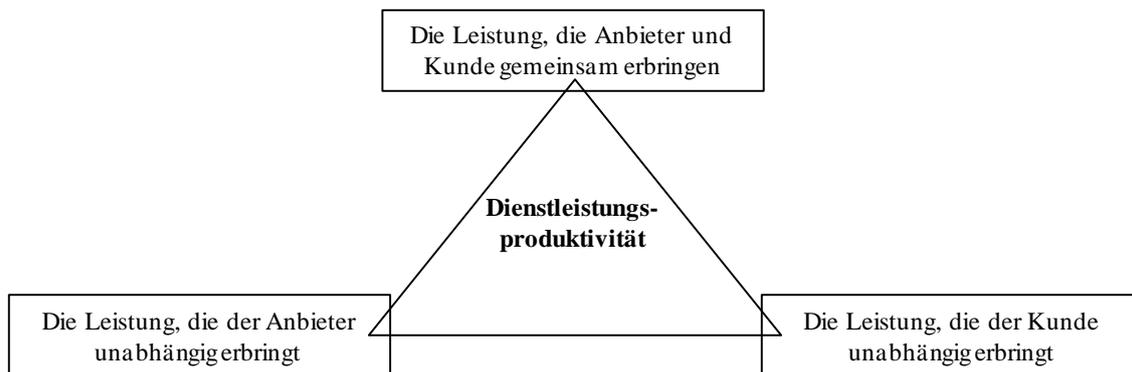
Quelle: In Anlehnung an Grönroos/Ojasalo (2004): S. 418.

Abb. 2.7: Konzept zur Produktivität von Dienstleistungen von Grönroos und Ojasalo

Basis dieses Konzeptes ist die Unterteilung des Prozesses der Dienstleistungserstellung in drei Teilprozesse (siehe Abb. 2.8): Backoffice (1), Service Encounter (2) und Selfservices (3). Das Backoffice bietet hierbei dem Anbieter die Möglichkeit seine Leistung unabhängig vom Kunden zu produzieren. Im Service Encounter hingegen treffen Kunde und Anbieter in direkter Interaktion aufeinander. Die Selfservices bieten schlussendlich dem Kunden die Möglichkeit, isoliert vom Anbieter und mit Hilfe der vorhandenen Infrastruktur, seine Dienstleistung eigenhändig zu erstellen.⁵⁶

⁵⁵ Vgl. Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S.25

⁵⁶ Vgl. Grönroos/Ojasalo (2004): S.417



Quelle: In Anlehnung an Baumgärtner/Bienzeisler (2006): S. 26.

Abb. 2.8: Produktionsrelevante Leistungsbestandteile der Dienstleistung

Die drei Teilprozesse werden hierbei durch die verschiedenen Inputs der Dienstleister und Kunden unterschiedlich beeinflusst. Während der Anbieter Teilprozess eins und zwei direkt beeinflusst und den dritten Teilprozess nur indirekt, hat der Kunden auf den ersten Teilprozess nur einen indirekten Einfluss, kann aber den zweiten und dritten Teilprozess direkt steuern. Werden diese Inputs kombiniert, so ergibt sich die *Interne Effizienz* des Unternehmens. Diese ist ein Maß für die Produktionseffektivität der Outputs bei einer vorgegebenen Anzahl von Produktionsfaktoren.⁵⁷

Die betrachteten Outputs im Rahmen der Dienstleistungsproduktivität sind hierbei zum einen die Outputquantität und zum anderen die Outputqualität. Die Outputquantität ergibt sich aus der Nachfrage der Kunden und beeinflusst die *Kapazitätseffizienz*. Diese beschreibt, anhand der Auslastung durch den Kunden, die Effizienz der Produktionskapazität. Somit sinkt die Kapazitätseffizienz bei einem Überschussangebot, wohingegen bei einer Überschussnachfrage eine negative Beeinflussung der wahrgenommenen Dienstleistungsqualität auftreten könnte.⁵⁸

Aus der Interaktion, also dem Dienstleistungsprozess an sich, und dem Dienstleistungsergebnis beim Kunden bestimmt sich die Outputqualität. In Verbindung mit dem Kundeneindruck über das Unternehmen (Image) resultiert daraus die wahrgenommene Dienstleistungsqualität. Aus der Outputquantität und der Outputqualität bestimmt sich die *Externe Effizienz* des Unternehmens, welche als Maß zur Erreichung und Verbesserung der wahrgenommenen Dienstleistungsqualität auf Grundlage einer gegebenen Anzahl an Produktionsfaktoren dient.⁵⁹

Die Dienstleistungsproduktivität definiert sich somit als eine Funktion der internen Effizienz (zur Abbildung der Kostenseite), der externen Effizienz (zur Abbildung der bei-

⁵⁷ Vgl. Grönroos/Ojasalo (2004): S.417 f.

⁵⁸ Vgl. ebd.: S.418

⁵⁹ Vgl. ebd.: S.418

den Outputausprägungen) sowie der Kapazitätseffizienz (zur Abbildung der Nachfrageschwankungen):

*Dienstleistungsproduktivität = f (Interne Effizienz, Externe Effizienz, Kapazitätseffizienz)*⁶⁰

2.6 Verfahren zur Produktivitätsmessung

Die zur Erstellung einer wissensintensiven Dienstleistung notwendigen Aktivitäten können als Produktionsprozesse betrachtet werden, bei denen durch die Kombination unterschiedlicher Produktionsfaktoren die Wertschöpfung realisiert wird. Mittels der Konzepte der Technologie und der Produktionsfunktion erfolgt in der ökonomischen Theorie die Abbildung dieser Produktionsprozesse.

Die auf Grundlage einer gegebenen organisatorischen Struktur und eines gegebenen technischen Wissensstandes realisierbaren Input-Output-Kombinationen (im weiteren Verlauf der Arbeit auch als Produktionspunkte/Produktionen bezeichnet) werden durch die Technologie T beschrieben:⁶¹

$$T := \{(x, y) \mid \text{Outputvektor } y \text{ kann mit Inputvektor } x \text{ realisiert werden}\}^{\text{62}}$$

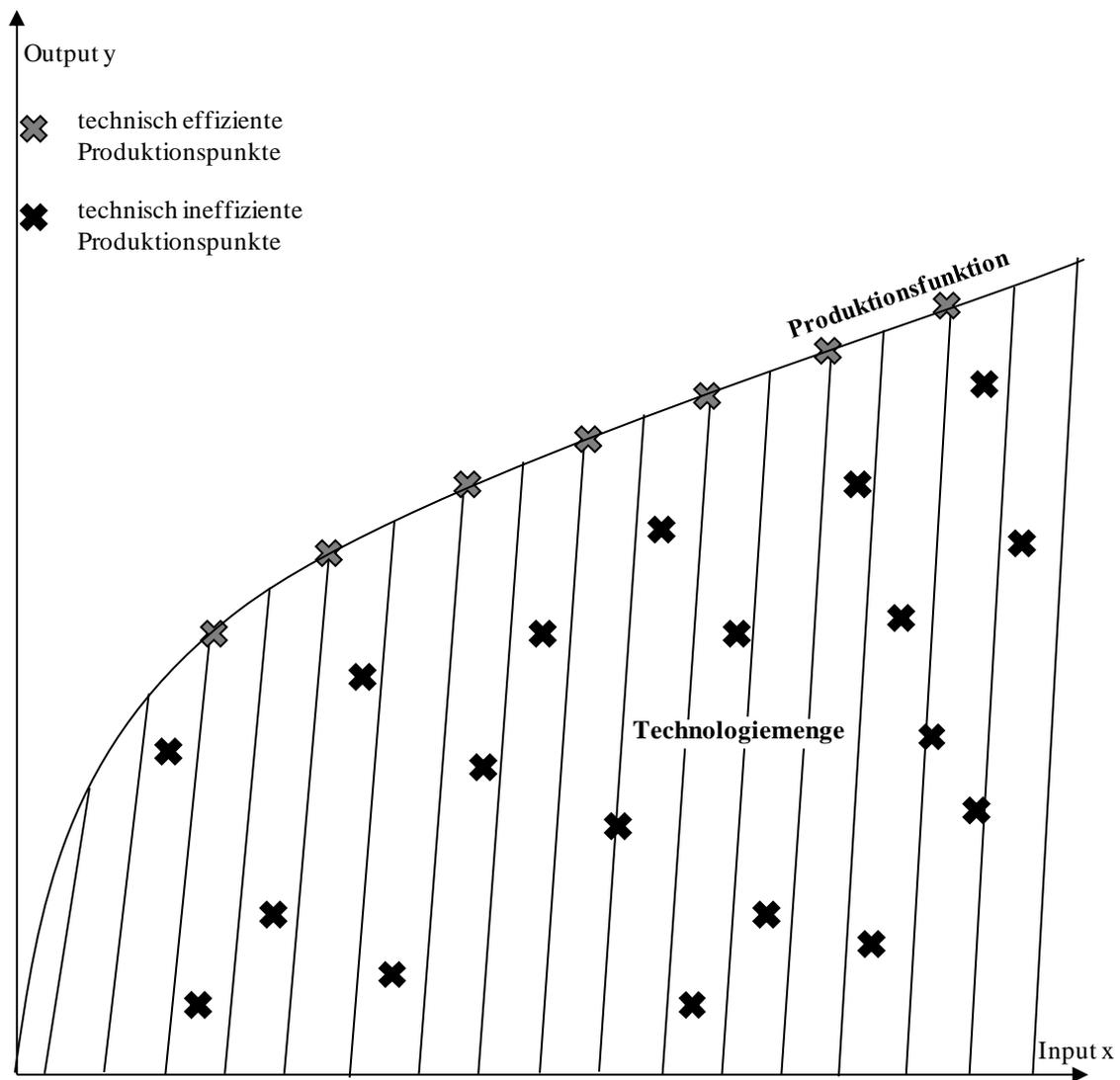
Durch die Produktionsfunktion (siehe Abb. 2.9) werden die technisch effizienten Produktionspunkte, diese sind eine Teilmenge der Technologie, abgebildet.⁶³

⁶⁰ Vgl. Grönroos/Ojasalo (2004): S.417

⁶¹ Vgl. Cantner et.al. (2007): S.3

⁶² Vgl. ebd.: S.116 sowie Kleine (2002): S.70

⁶³ Vgl. Cantner et.al. (2007): S.3



Quelle: In Anlehnung an Cantner et.al. (2007): S. 4.

Abb. 2.9: Produktionsfunktion und Technologiemenge

Die Produktionsfunktion setzt folglich stets technische Effizienz (bzw. Produktivität) voraus und ermöglicht die Darstellung des funktionalen Zusammenhangs zwischen Faktoreinsatzmenge (Input) und Ausbringungsmenge (Output).⁶⁴

Die in der Technologiemenge enthaltenen Produktionspunkte repräsentieren jeweils einen Produktionsprozess. Gelten die beiden folgenden Aussagen gleichzeitig für einen Produktionsprozess, so wird dieser als technisch effizient bezeichnet:⁶⁵

1. Bei gleicher Inputmenge x existiert kein Produktionspunkt der eine höhere Outputmenge y aufweist (Maximum-Prinzip).

⁶⁴ Vgl. Wöhe/Döring (2010): S.296

⁶⁵ Vgl. Cantner et.al. (2007): S.4

2. Zur Herstellung einer gegebenen Outputmenge y existiert kein Produktionspunkt der einen geringere Inputmenge x benötigt (Minimum-Prinzip).

Weiterhin ist eine Unterscheidung zwischen *actual-practice*- und *best-practice*-Produktionsfunktionen notwendig. Empirisch beobachtete Produktionsverfahren werden dabei stets als *actual-practice*-Produktionsfunktionen bezeichnet. Diese empirisch ermittelten Produktionsfunktionen basieren auf der Beobachtung reeller, in der Regel suboptimaler, Produktionsverfahren und stellen daher nur eine relative und keine absolute Obergrenze dar. Aus den Produktionspunkten der *actual-practice*-Produktionsfunktionen welche die Minimum- und Maximum-Prinzipien erfüllen, spannt sich dann die *best-practice*-Produktionsfunktion (synonym auch Rand- oder Frontier-Produktionsfunktion genannt) auf.⁶⁶

Die Produktionsfunktion wird als Referenz genutzt, um die Effizienz einer beobachteten Input-Output-Kombination zu ermitteln. Hierzu erfolgt ein Vergleich zwischen den empirisch ermittelten Produktionspunkten und Punkten auf der *best-practice*-Produktionsfunktion. Der Abstand eines empirischen Produktionspunktes zum effizienten Rand kann hierbei als Maß für die Ineffizienz genutzt werden.⁶⁷

Die Produktionsfunktion und die dazugehörige Technologie sind bei praktischen Anwendungen in der Regel allerdings unbekannt und es bedarf einer Schätzung, auf Grundlage der empirisch beobachteten Daten, um Sie zu ermitteln.⁶⁸ Aus diesem Grund haben parametrische und nicht-parametrische Verfahren eine weite Verbreitung gefunden. Diese gegensätzlichen Verfahren dienen der Ermittlung des funktionalen Zusammenhangs zwischen Input und Output und werden im Folgenden näher erklärt.

2.6.1 Parametrische Verfahren

Durch die vorgegebene parametrische Form der Produktionsfunktion wird bei parametrischen Verfahren ein funktionaler Zusammenhang zwischen Input und Output a priori festgelegt.⁶⁹

$$y = g(x, w) \tag{1}$$

Die Produktionsfunktion g ist dabei abhängig vom Inputvektor x und einem Parametervektor w und erzeugt den Output y . Auf Basis der empirischen Produktionsdaten werden dann, häufig durch Anwendung statistischer Schätzverfahren, die unbekanntenen Werte

⁶⁶ Vgl. Cantner et.al. (2007): S.5

⁶⁷ Vgl. ebd.: S.6

⁶⁸ Vgl. ebd.: S.21

des Parametervektors w der Funktion bestimmt.⁷⁰ Relevant für die Leistungsmessung bei parametrischen Verfahren sind nicht Durchschnittsproduktionsfunktionen, welche durch Regression der beobachteten Produktionsdaten ermittelt werden, sondern ausschließlich best-practice-Produktionsfunktionen. Dies liegt an der vorausgesetzten technischen Effizienz dieser Funktionen, an welcher es sich zu orientieren gilt. Über den Abstand zur technisch effizienten Referenz kann, nach Ermittlung der Parameter der best-practice-Produktionsfunktion, mit Hilfe verschiedener Effizienzmaße quantifiziert werden, wie (in-)effizient die beobachteten Produktionspunkte sind.⁷¹

Die *Stochastic Frontier Analysis* (SFA) soll an dieser Stelle als ein bedeutendes parametrischen Verfahren (für weitere Verfahren sei an dieser Stelle auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen⁷²) genannt werden, bei dem best-practice-Produktionsfunktionen zur Effizienzmessung zugrunde liegen.⁷³ Die Abweichungen von der best-practice-Produktionsfunktion werden im Rahmen von SFA-Analysen in eine systematische und eine unsystematische Komponente zerlegt. Die ökonomische Ineffizienz, bedingt durch Fehler der Entscheidungsträger, wird durch die systematische Komponente angegeben, während Zufallsschwankungen mittels der unsystematischen Komponente erfasst werden.⁷⁴ Aus der relativ einfachen Berücksichtigung von Datenschwankungen ergibt sich der Vorteil der parametrischen Verfahren, auch wenn dieser nur dadurch zustande kommt, dass die Notwendigkeit besteht, sich auf einen bestimmten Funktionstyp festlegen zu müssen.⁷⁵

Um beurteilen zu können, inwiefern parametrische Verfahren zur Produktivitätsmessung von Dienstleistungsproduktionen eingesetzt werden können, müssen die Besonderheiten der Dienstleistungserstellung beachtet werden. Da noch immer kein allgemein akzeptiertes Produktivitätsverständnis von Dienstleistungen existiert (vgl. 2.4, S.11) erscheint es problematisch der Produktionsfunktion im Dienstleistungsbereich eine parametrische Form vorzugeben. Selbst wenn eine flexible Produktionsfunktion verwendet wird, kann deren Fehlspezifikation, vor allem bei kleinen (realistischen) Stichproben, zu verzerrten Schätzungen führen. Demnach muss das a priori verfügbare Wissen des Analysten hohen Anforderungen genügen. Die Anwendbarkeit parametrischer Verfahren im Dienstleistungsbereich wird hierdurch erheblich eingeschränkt.⁷⁶

⁷⁰ Vgl. Scheel (2000): S.50 f.

⁷¹ Vgl. Rossmly (2007): S.39 sowie Cantner et.al. (2007): S.32 ff.

⁷² Siehe Roosmy (2007): S. 38 – 44 oder Cantner et.al. (2007): S.26-68

⁷³ Vgl. Rossmly (2007): S.41

⁷⁴ Vgl. Hammerschmidt (2006): S.116

⁷⁵ Vgl. Scheel (2000): S.51

⁷⁶ Vgl. Rossmly (2007): S.44

2.6.2 Nicht-parametrische Verfahren

Der Transformationsprozess zwischen Input und Output wird bei nicht-parametrischen Verfahren als Black Box betrachtet. Dadurch entfällt die Notwendigkeit a priori Annahmen bezüglich des funktionalen Zusammenhangs zwischen Input und Output zu treffen.⁷⁷ Im Gegensatz zu parametrischen Verfahren gehen nicht-parametrische Verfahren also nicht von einer „wahren“, dem Produktionsprozess zugrunde liegenden, Produktionsfunktion aus, sondern passen die Produktionsfunktion flexibel den empirisch ermittelten Daten an.⁷⁸ Des Weiteren entfällt das Schätzen der Aggregationsgewichte für Inputs und Outputs, da diese im Rahmen einer Optimierung bestimmt werden.⁷⁹ Von Bedeutung ist dies vor allem bei nicht-monetär bewertbaren Faktoren, beispielsweise dem Produktionsfaktor Wissen. Die beschriebenen Eigenschaften der nicht-parametrischen Verfahren sprechen für ihren Einsatz zur Effizienzmessung im Bereich der wissensintensiven Dienstleistungsproduktionen. Im Rahmen dieser Arbeit soll hierbei das Verfahren der Data Envelopment Analysis angewandt und im Folgenden näher betrachtet werden.

⁷⁷ Vgl. Scheel (2000): S.50

⁷⁸ Vgl. Bauer/Hammerschmidt (2006): S.35

⁷⁹ Vgl. Hagenloch (2008a): S.1374

3 Data Envelopment Analysis

3.1 Grundlagen der Data Envelopment Analysis

Als Instrument des Performance Measurement ist die Data Envelopment Analysis ein nicht-parametrisches Verfahren um ein Effizienzkonzept, welches mehrere, unterschiedlich skalierte Inputs und Outputs berücksichtigen kann, methodisch umzusetzen. Die Produktivität (vgl. 2.3, S.9 f.), operationalisiert als Quotient aus Input und Output, wird hierbei als übergeordnetes Effizienzmaß verwendet. Der Effizienzvergleich erfolgt dabei zwischen verschiedenen Entscheidungseinheiten, so genannten „decision making units“ (DMUs), anhand gleicher Kriterien.⁸⁰

Durch den Artikel „Measuring the efficiency of decision making units von CHARNES, COOPER und RHODES“ im European Journal of Operational Research, wurde die DEA in den wissenschaftlichen Diskurs eingeführt.⁸¹ In Wissenschaft und Praxis wurde schnell erkannt, welche interdisziplinären Anwendungsmöglichkeiten bei Effizienzanalysen und Benchmarking-Projekten die DEA bietet.⁸² Dies zeigt auch die Vielzahl an methodenorientierten sowie anwendungsgetriebenen Weiterentwicklungen der DEA.⁸³

Im Rahmen einer Effizienzanalyse werden die DMUs (im Folgenden: Produktionen), aufgrund des nicht-parametrischen Charakters der DEA (vgl. 2.6.2), als Black Box betrachtet. Dadurch ist es nicht notwendig spezifische Kenntnisse über den Ablauf der Prozesse innerhalb der Produktionen zu besitzen. Es muss daher bei wertschöpfenden Einheiten der Dienstleistungsproduktion nicht bekannt sein, wie deren Inputs in Outputs transformiert werden.⁸⁴ Ohne explizite a priori Spezifikation des funktionalen Zusammenhangs zwischen Input und Output ermöglicht die DEA somit die Bestimmung einer best-practice-Produktionsfunktion, indem die effizienten Produktionen abschnittsweise (linear) miteinander verknüpft werden (siehe Abb. 3.1: Produktionen A-D). Diese best-practice-Produktionsfunktion „umhüllt“ somit alle diejenigen Produktionen, deren Input-/Output-Transformation ein geringeres Produktivitätsmaß aufweist (Produktionen E,F).⁸⁵

⁸⁰ Vgl. Backhaus et.al. (2011): S.234

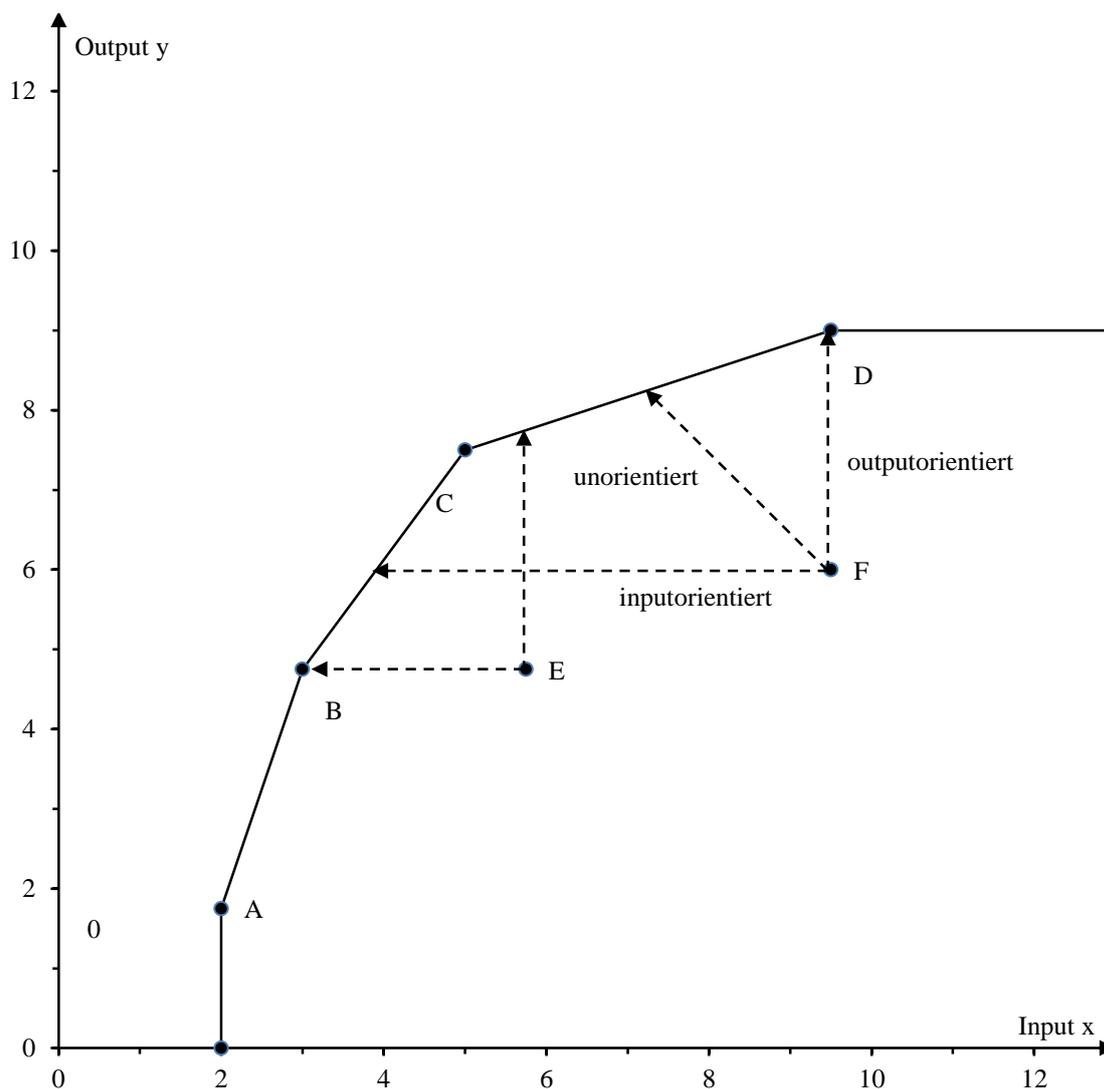
⁸¹ Vgl. Charnes et.al. (1978): S.429 ff.

⁸² Vgl. Cooper et.al. (2011): S.2

⁸³ Die Bibliografie von Tavares liefert mit 3200 Einträgen von 1600 Autoren aus 42 Ländern einen umfassenden Überblick über Veröffentlichungen zum Thema DEA. Vgl. Tavares (2002)

⁸⁴ Vgl. Scheel (2000): S.2

⁸⁵ Vgl. Schefczyk und Gerpott (1995), S.337



Quelle: In Anlehnung an Scheel (2000): S. 42.

Abb. 3.1: Grundlegende Funktionsweise der DEA

Der Abstand der empirisch beobachteten Produktionen zur best-practice-Produktionsfunktion wird nun als Maß für die Ineffizienz, zumeist in Form eines radialen, ein-dimensionalen Effizienzmaßes, herangezogen. Die Optimierung kann dabei input-, output- oder unorientiert erfolgen. Grundvoraussetzung für die Effizienzanalyse ist allerdings, dass die Produktionen unter derselben Technologie produzieren und somit dieselben Input-Outputkombinationen aufweisen.⁸⁶

Das Ergebnis der DEA ist ein aggregierter Effizienzwert, der durch das Lösen eines linearen Optimierungsprogramms, welches separat für jede einzelne Produktion aufgestellt werden muss, ermittelt wird. Der Effizienzwert der jeweils betrachteten Produktion

⁸⁶ Vgl. Förster/Wäscher (2005): S.314

wird durch das Programm unter Einbeziehung aller übrigen Produktionen ermittelt. Der Nachweis der Effizienz einer Produktion erfolgt somit relativ in Bezug zu den anderen Produktionen.⁸⁷

Weiterhin ist es nicht notwendig die einzelnen Beurteilungskriterien subjektiv zu gewichten um den Effizienzwert zu bilden, da die Aggregationsfaktoren in der DEA endogen bestimmt werden und es bedarf auch keiner a priori bekannten Produktionsfunktion.⁸⁸

3.2 Produktionstheoretische Grundlagen der DEA

3.2.1 Die DEA zum Vergleich von Input-Output-Transformationen

Zur Durchführung einer Effizienzanalyse mit der DEA ist es im Bereich der wissensintensiven Dienstleistungen notwendig, sich auf ein gewisses Abstraktionsniveau zu begeben. Ursache hierfür ist die Komplexität und Heterogenität von wissensintensiven Dienstleistungsproduktionen (siehe Abschnitt 2.2). Durch ein vereinfachtes Modell der realen Produktionsstrukturen und –technologien ist es möglich dieses Abstraktionsniveau zu erreichen. Dazu erfolgt eine Fokussierung auf wesentliche Aspekte, wohingegen unwesentliche Aspekte weggelassen werden.⁸⁹

Die verschiedenen technischen Möglichkeiten eines Produzenten zur Herstellung seiner Produkte, d.h. ein bestimmter Output kann durch eine unterschiedliche Kombination von Inputs erzeugt werden (Substitutionalität⁹⁰), ist der zugrundeliegende Gedanke der DEA. Im Rahmen der Produktionsplanung steht der Produzent somit vor der Wahl eines geeigneten Produktionsprozesses, welcher sich durch Faktoreinsatz (Input), Faktortransformation (Throughput) und Faktorsertrag (Output) beschreiben lässt.⁹¹ Die Analyse und Gestaltung von Produktionsprozessen sowie der Beziehung von Faktoreinsatz und –ertrag sind dann aus wirtschaftswissenschaftlicher Sicht Gegenstand der Produktionstheorie.⁹² Als (Produktions-)Aktivitäten im Sinne von KOOPMANNs können die Handlungen der Produktionen⁹³ erfasst werden.⁹⁴

⁸⁷ Vgl. Scheel (2000): S.3 f.

⁸⁸ Vgl. Hagenloch (2008a): S.1374

⁸⁹ Vgl. Dyckhoff (2006): S.7

⁹⁰ Vgl. Steven (1998): S.17

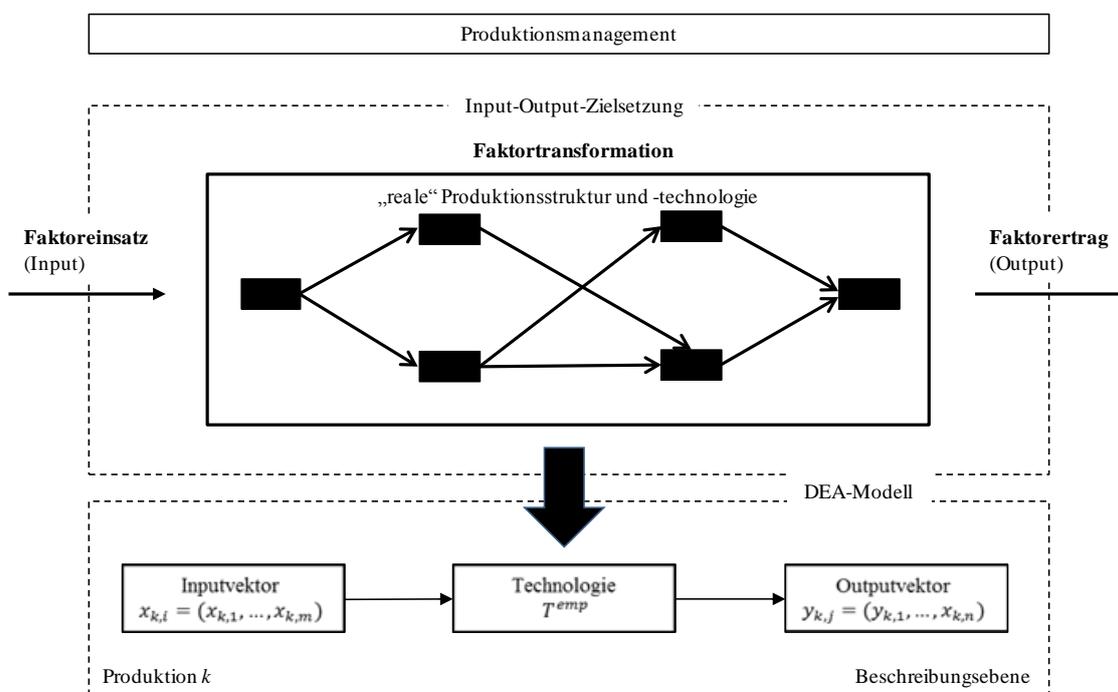
⁹¹ Vgl. Gutenberg (1984): S.63

⁹² Bei der Produktionstheorie handelt es sich somit um eine transformationsbezogene Theorie betrieblicher Wertschöpfung. Unter dieser Theorie wird allgemein eine zweckorientierte Gesamtheit von mehreren Grundannahmen (Axiome, Prämissen) sowie Schlussfolgerungen (Theoreme) verstanden, wel-

Eine modellmäßige Erfassung bzw. Abbildung des Produktionsprozesses auf technologischer Ebene kann, in Abhängigkeit von der Wahrnehmung und der Interessenlage eines Produzenten, entweder durch die Input-Output-Beziehungen (als Aktivität einer Technologie) oder mittels eines mathematischen Beschreibungsmodells realisiert werden.

Die mit $k = 1, \dots, N$ bezeichneten Produktionen bilden den Ausgangspunkt einer Effizienzanalyse mittels DEA. Die formale Beschreibung dieser Produktionen erfolgt durch die Inputquantitäten $x_{k,i}$ und Outputquantitäten $y_{k,j}$ ihrer Inputarten $i = 1, \dots, m$ und Outputarten $j = 1, \dots, n$.⁹⁵

Eine grafische Darstellung der Abstraktion von realen Produktionsstrukturen und technologien mit Hilfe eines Input-Output-Modells, im Sinne der DEA, zeigt Abbildung 3.2.



Quelle: In Anlehnung an Dyckhoff (2006): S. 8.

Abb. 3.2: Abstraktion von Produktionsprozessen

Da der technische Herstellungsprozess nicht im Vordergrund einer Effizienzanalyse mit der DEA steht (vgl. 2.6.2, S.18), wird das technisch-organisatorische Wissen aller im Effizienzvergleich involvierten Produktionen, also die Menge aller realisierbaren Input-

che sich auf erklärende Modelle von leistungserbringenden Transformationsprozesse beziehen. Vgl. Dyckhoff (2006): S.9

⁹³ Im weiteren Verlauf der Arbeit wird der Begriff Produktion (oder Aktivität) synonym zu dem in der DEA-Literatur üblichen Begriff Decision Making Unit (DMU) verwendet.

⁹⁴ Vgl. Koopmanns (1951): S.33 ff.

⁹⁵ Vgl. Kleine (2002): S.66 ff. sowie Cook/Zhu (2006): S.1025

Output-Transformationen, mit Hilfe einer empirisch approximierten Technologiemenge T^{emp} abstrahiert. Diese Approximationen sind notwendig, da die in der Praxis vorhandenen Informationen über das technisch-organisatorische Wissen i.d.R. nicht ausreichend sind, um eine exakte Beschreibung aller in Frage kommenden Input-Output-Transformationen daraus abzuleiten. Sie basieren auf den beobachteten Input-Output-Quantitäten der Produktionen und auf Annahmen über strukturelle Eigenschaften der Technologiemenge.⁹⁶

3.2.2 Partielle Produktivität, Totale Faktorproduktivität und Pareto-Koopmans-Effizienz

Im Falle nur eines Outputs y und eines Inputs x lässt sich ein (partielles) Produktivitätsmaß durch den folgenden Quotienten berechnen:⁹⁷

$$p^{part} = \frac{y}{x} = \frac{\text{Output [Mengen]}}{\text{Input [Mengen] eines Einsatzfaktors}} \quad (2)$$

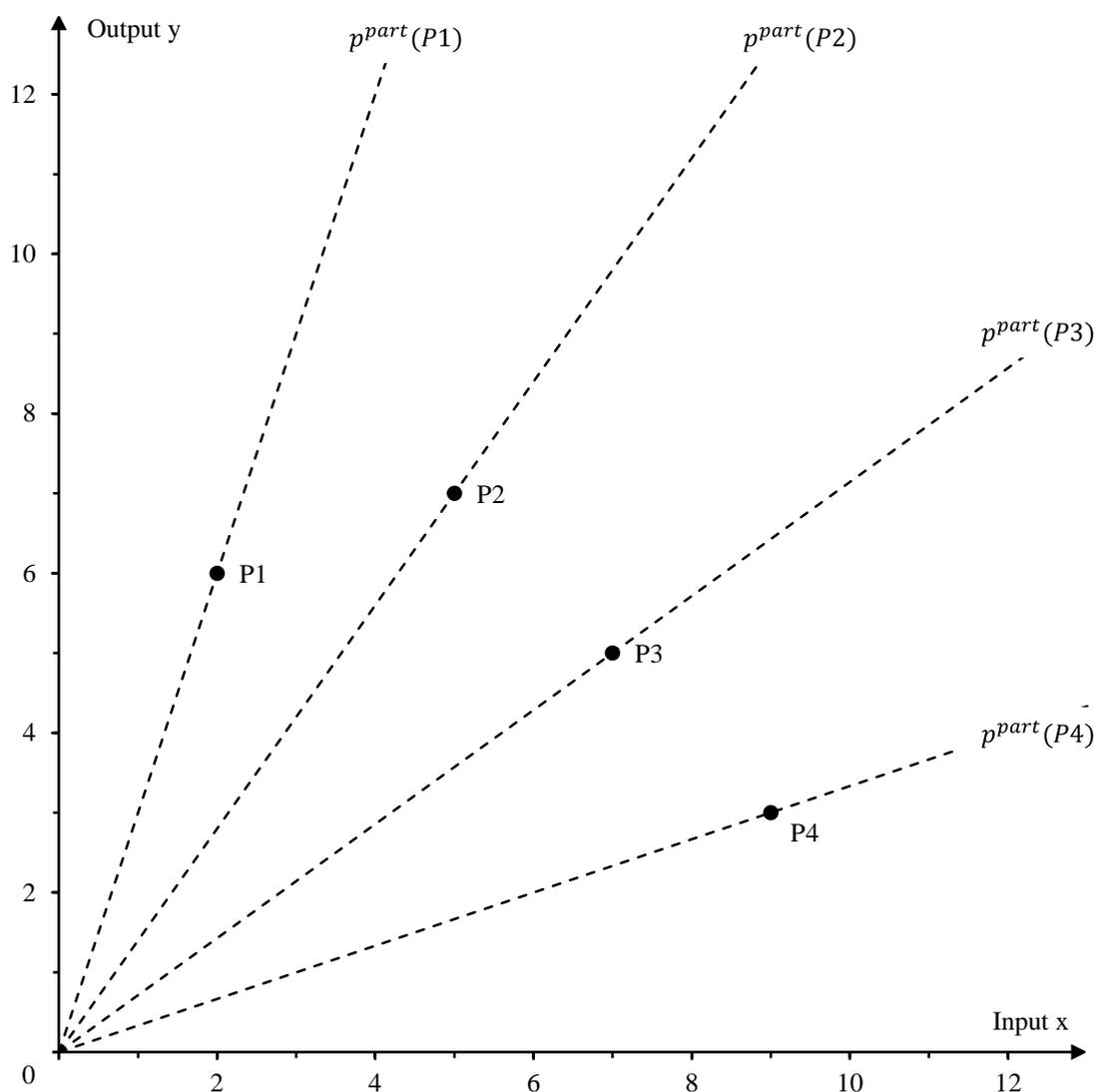
Hierbei handelt es sich um eine Produktivitätsbetrachtung eines einzelnen Produktionsfaktors (z.B. Arbeitsproduktivität, Materialproduktivität) und liefert dem Unternehmen ein Maß für dessen Ergiebigkeit.⁹⁸ Durch eine solche isolierte Produktivitätsbetrachtung ist es möglich, Rückschlüsse bezüglich der Einflussfaktoren auf die gemessenen Unterschiede zu ziehen, da diese Leistungsmaße getrennt von sonstigen Einflüssen ermittelt werden.⁹⁹ Die folgende Abbildung 3.3 zeigt (partielle) Produktivitäten von vier Produktionen (P1-P4), die auf Basis von homogenen Input- als auch Outputarten vergleichbar sind.

⁹⁶ Vgl. Scheel (2000): S.37 ff.

⁹⁷ Vgl. Lasshoff (2006): S.29

⁹⁸ Vgl. ebd.: S.30

⁹⁹ Vgl. Lovell (1993): S.5



Quelle: In Anlehnung an Scheel (2000): S. 4.

Abb. 3.3: Partielle Faktorproduktivität

Im Sinne der DEA ist eine geringere Steigung der durch den Vektor (x,y) beschriebenen Geraden mit geringerer Produktivität gleichzusetzen. Die durch den Punkt P1 beschriebene Produktion ist demnach effizient, während die Produktionen P2-P4 ineffizient sind. Durch das Fehlen absoluter Optimalwerte in der Praxis fehlt der Produktivität als Kennzahl für die Effizienz ohne einen solchen Vergleich jegliche Aussagekraft. Eine Beurteilung der Effizienz einer Produktion kann demnach nur im Vergleich zu anderen Produktionen erfolgen.¹⁰⁰

Eine Abbildung der Produktivität des gesamten Produktionsprozesses ist durch die Betrachtung ausschließlich isolierter (partieller) Produktivitätskennzahlen jedoch nicht

¹⁰⁰ Vgl. Kleine (2002): S.3 f.

möglich. Dies liegt daran, dass sich partielle Produktivitäten selbst dann ändern, wenn lediglich Substitutionsvorgänge zwischen einzelnen Produktionsprozessen im Produktionsvorgang stattfinden.¹⁰¹

Im Gegensatz zu isolierten Produktivitätsmessungen kann die totale Faktorproduktivität (TFP) durch mehrdimensionale Betrachtung, d.h. mehrere Inputs und Outputs, ein aussagekräftiges und umfassendes Produktivitätskonzept darstellen.¹⁰² Unter der Prämisse, dass die genauen Faktorpreise der betrachteten Input- und Outputarten (für alle betrachteten Produktionen) nicht explizit bekannt sind, wird dieses Konzept in der DEA berücksichtigt.¹⁰³

Mit Hilfe der Aggregationsgewichte v_i und u_j lässt sich bei mehrdimensionaler Produktivitätsbetrachtung ein (aggregiertes) Produktivitätsmaß, durch den Quotienten der gewichteten Summe der Outputs $Y = u_1 y_1 + \dots + u_m y_m$ und der gewichteten Summe der Inputs $X = v_1 x_1 + \dots + v_m x_m$, ermitteln.¹⁰⁴

$$p^{aggr} = \frac{Y}{X} = \frac{\sum_{j=1}^n u_j y_j}{\sum_{i=1}^m v_i x_i} \quad (3)$$

Als effizient wird dabei diejenige Produktion bezeichnet, die im Rahmen einer Effizienzanalyse mit der DEA letztlich den höchsten Produktivitätswert (2) aufweist.¹⁰⁵

Die konzeptionellen Grundlagen des DEA-Effizienzbegriffs gehen auf KOOPMANS zurück. KOOPMANS übertrug im Rahmen der Aktivitätsanalyse das ökonomische Konzept von PARETO auf die Produktionstheorie.¹⁰⁶

Die Grundlage für die folgenden Effizienzbetrachtungen mit der DEA liefert somit die Definition der Pareto-Koopmans-Effizienz:

Eine Input-Output-Transformation (x, y) heißt (Pareto-Koopmans-)effizient bezüglich der zugrundeliegenden Technologie T , wenn es in T unmöglich ist, sich bei einem Kriterium (Input oder Output) zu verbessern, ohne sich gleichzeitig bei einem anderen Kriterium zu verschlechtern.¹⁰⁷

Wird somit eine Produktion von keiner anderen Produktion $(x^*, y^*) \in T$ dominiert, d.h. wenn für alle Inputs $x^* \leq x$ und für alle Outputs $y^* \geq y$ gilt sowie für mindestens einen

¹⁰¹ Vgl. Cantner et.al. (2007): S.2

¹⁰² Vgl. Coelli et.al. (2005): S.3

¹⁰³ Vgl. Cantner et.al. (2007): S.55

¹⁰⁴ Vgl. Cooper et.al. (2007): S.15

¹⁰⁵ Vgl. Förster/Wäscher (2005): S.316

¹⁰⁶ Vgl. Köhne/Matz (2010): S.6

¹⁰⁷ Vgl. Scheel (2000): S.63

Input oder Output die strikte Ungleichung erfüllt ist, dann ist diese Produktion gemäß dieses Pareto-Koopmans-Effizienzbegriff effizient bezüglich der zugrundeliegenden Technologie. Für die Dominanzrelation kann an dieser Stelle die Formulierung $(-x, y) \leq -x^*, y^*$ verwendet werden.¹⁰⁸

Die schwache Pareto-Koopmans-Effizienz stellt eine Abschwächung dieser Definition dar:

Eine Produktion (x, y) ist demnach dann als schwach (Pareto-Koopmans)effizient bezüglich der zugrundeliegenden Technologie T zu klassifizieren, wenn in der Analysemenge keine Produktion existiert, die von allen Outputs mehr erzeugt und gleichzeitig von allen Inputs weniger einsetzt, d.h. wenn für alle Inputs $x^* < x$ und für alle Outputs $y^* > y$ gilt.¹⁰⁹

Die Konzentration liegt in vielen praktischen Anwendungen allerdings nicht auf allen Kriterien gleichermaßen. Neben der dargestellten unorientierten Form, bei der simultan Input- und Outputeffizienz vorliegen, wird häufig entweder die Input- oder die Outputseite betont. Da die DEA-Technologiemengen eine feste Input-Outputstruktur aufweisen, ist es möglich die eingeführten Effizienzbegriffe in eine input- und eine outputorientierte Variante aufzuspalten (siehe Tab. 3.1).

¹⁰⁸ Vgl. Scheel. (2000): S.63

¹⁰⁹ Vgl. ebd.: S.66

Tab. 3.1: Input- und outputorientierte Definition der technischen Effizienz

Effizienzbegriff	Effizienzbedingung von (x,y)
Pareto-Koopmans-Effizienz	
Inputorientierte Effizienz	$x^* \leq x \Rightarrow (x^*, y) \notin T$
	Es ist nicht möglich, einen beliebigen Input zu senken, ohne mindestens einen anderen Input zu erhöhen und/oder wenigstens einen Output zu senken.
Outputorientierte Effizienz	$y^* \geq y \Rightarrow (x, y^*) \notin T$
	Es ist nicht möglich, einen beliebigen Output zu erhöhen, ohne wenigstens einen anderen Output zu senken und/oder wenigstens einen Input zu erhöhen.
Schwache Pareto-Koopmans-Effizienz	
Schwache inputorientierte Effizienz	$x^* < x \Rightarrow (x^*, y) \notin T$
	Es ist bei konstanten Outputs nicht möglich, alle Inputs unter Beibehaltung der aktuellen Relationen zu verringern.
Schwache outputorientierte Effizienz	$y^* > y \Rightarrow (x, y^*) \notin T$
	Es ist bei konstanten Inputs nicht möglich, alle Outputs unter Beibehaltung der aktuellen Relationen zu verringern.

Quelle: In Anlehnung an Scheel (2000): S. 67.

Zusätzlich kann die technische Effizienz TE (gemäß den dargestellten Definitionen) in die Komponenten der rein technischen Effizienz TE^{rein} sowie der Skaleneffizienz TE^{skal} zerlegt werden, um eine detailliertere Effizienzbetrachtung durchzuführen. Dabei bezieht sich TE^{rein} auf die Fähigkeit einer Produktion, bei gegebenen Inputs möglichst hohe Outputs zu erzeugen bzw. möglichst wenig Inputs für die Erzeugung von Outputs einzusetzen.¹¹⁰ Die Skaleneffizienz hingegen gibt an, inwieweit das Outputvolumen einer Produktion optimal bezüglich TE ist.¹¹¹

Aus der Summe der technischen Effizienz TE und der allokativen Effizienz AE ergibt sich die Gesamteffizienz GE einer Produktion:¹¹²

$$GE := TE + AE, \text{ wobei } TE = TE^{rein} + TE^{skal} \quad (4)$$

Im Detail zielt die allokativen Effizienz AE , auch Preiseffizienz genannt, auf das (richtige) Verhältnis des Einsatzes der Produktionsfaktoren ab.¹¹³ Allerdings ist es notwendig Marktpreise zu verwenden um die allokativen Effizienz zu bestimmen, da eine Produkti-

¹¹⁰ Vgl. Lovell (1993): S.9

¹¹¹ Vgl. Jung (2002): S.64

¹¹² Vgl. Thanassoulis (2001): S.28

¹¹³ Vgl. Cantner et.al. (2007): S.10.

on allokativ effizient ist, wenn sie nicht nur technische Effizienz aufweist, sondern auch zu minimalen Kosten produziert.¹¹⁴

3.2.3 Die Konstruktion von DEA-Technologien

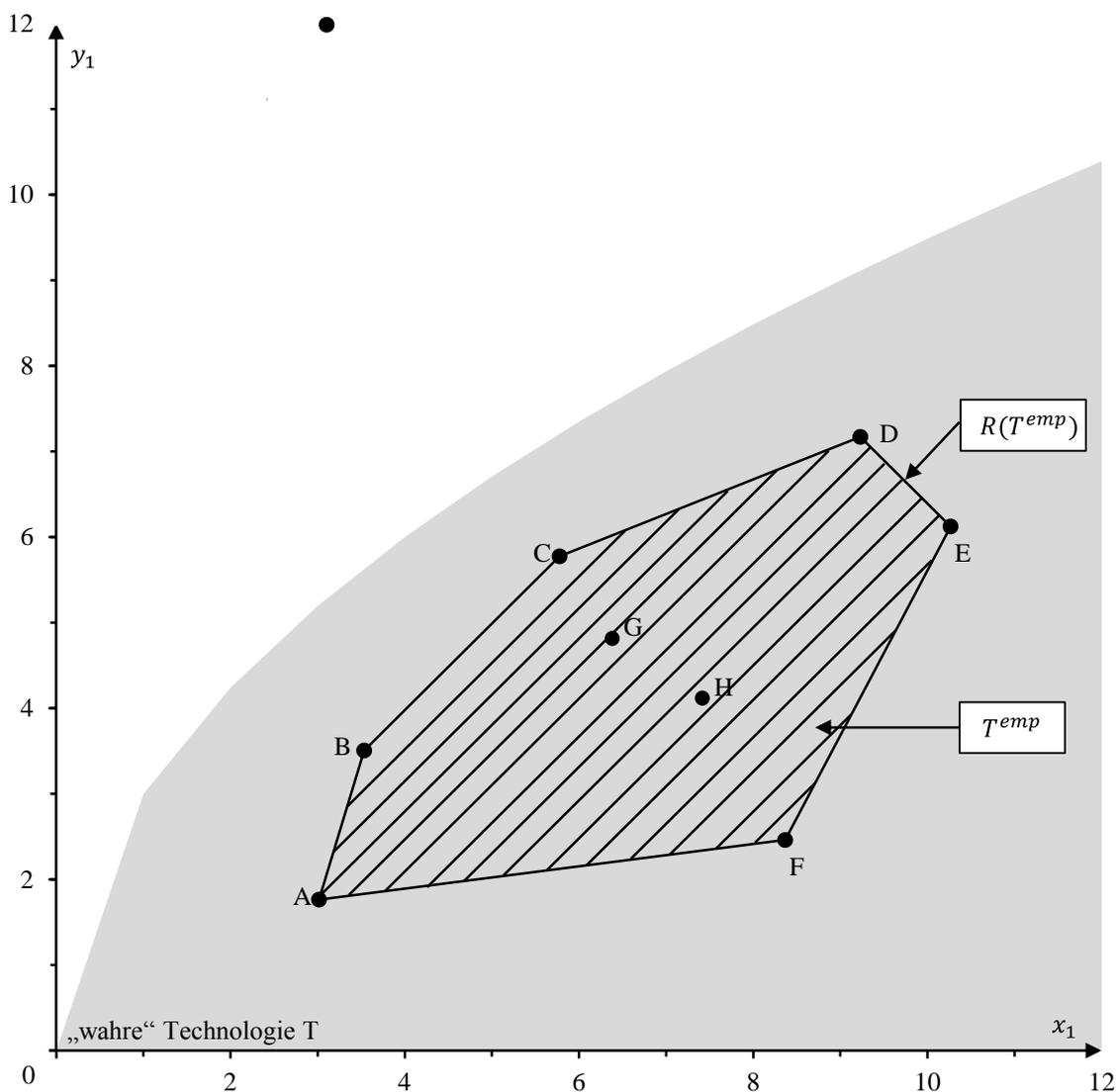
Die Technologiemenge T wurde bereits in Kapitel 2.6 als die Menge aller möglichen Input-Output-Kombinationen beschrieben, die bei gegebener organisatorischer Struktur und gegebenem technischen Wissensstand realisierbar sind.

Da die „wahre“ Technologiemenge T in der Regel nicht bekannt ist, ist deren Approximation für eine praktische und wettbewerbsorientierte Effizienzanalyse notwendig. Die Approximation erfolgt hierbei über die beobachteten Input- und Outputdaten sowie über die zugrunde gelegten strukturellen Eigenschaften der empirisch approximierten Technologie T^{emp} .

DEA-Analysen basieren auf dem Prinzip der minimalen Extrapolation, d.h. es werden zuerst plausible Annahmen über die grundlegende Struktur von T getroffen und im Anschluss daran erfolgt die Konstruktion des effizienten Rands $R(T^{emp})$ mit Hilfe einer empirisch approximierten „künstlichen“ Technologie T^{emp} als kleinstmöglicher Menge, die diese Struktureigenschaften erfüllt.¹¹⁵ Abbildung 3.4 verdeutlicht diesen Sachverhalt.

¹¹⁴ Vgl. Cantner et.al. (2007): S.232 f.

¹¹⁵ Vgl. Scheel (2000): S.52



Quelle: In Anlehnung an Scheel (2000): S. 48.

Abb. 3.4: „Wahre“ und approximierte Technologie

Eine Produktion (x,y) ist, gemäß dem vorgestellten Pareto-Koopmans-Effizienzbegriff, bezüglich der zugrundeliegenden „wahren“ Technologie T , und demnach auch innerhalb von T^{emp} , effizient, wenn sie von keiner anderen Produktion (x^*, y^*) dieser Technologie dominiert wird.

Die Menge der effizienten Produktionen der Technologie T^{emp} wird als effizienter Rand $R(T^{emp})$ bezeichnet und stellt somit die best-practice-Produktionsfunktion dar (siehe Abb. 3.4).¹¹⁶

$$R(T^{emp}) := \{(x, y) \in T^{emp} \mid \neg(x^*, y^*) \in T^{emp} : (-x, y) \leq (-x^*, y^*)\} \quad (5)$$

¹¹⁶ Vgl. Scheel (2000): S.63

Die folgenden Annahmen (1-6) über die grundlegende Struktur von T^{emp} werden im Rahmen von DEA-Analysen implizit angenommen:¹¹⁷

(1) Empirische Vollständigkeit:

$$(x_k, y_k) \in T \quad \forall k = 1, \dots, N \quad (6)$$

Wenn eine Technologiemenge T alle beobachteten Input-Output-Transformationen enthält, dann ist sie empirisch vollständig. Um Vergleichbarkeit zu gewährleisten, sollten alle beobachteten Produktionen aus derselben „wahren“ Technologie stammen.

(2) Realisierbarkeit:

$$T^{emp} \subset T \quad (7)$$

Diese Annahme fordert die technische Realisierbarkeit der empirisch approximierten Technologie T^{emp} , d.h. T^{emp} muss eine Teilmenge der „wahren“ Technologie T sein.

(3) Klassisches Präferenzaxiom:

Das klassische Präferenzaxiom besagt, dass es im Hinblick auf die Effizienz einer Produktion ceteris paribus umso vorteilhafter ist, je geringer die Elemente des Inputvektors x und je größer die Elemente des Outputvektors y sind.

(4) Monotonie:

$$(a) \quad (x_k, y_k) \in T^{emp} \wedge (x_k^* \geq x_k) \in T^{emp} \Rightarrow (x_k^*, y_k) \in T^{emp} \quad (8)$$

$$(b) \quad (x_k, y_k) \in T^{emp} \wedge (y_k \leq y_k^*) \in T^{emp} \Rightarrow (x_k, y_k^*) \in T^{emp}$$

Die 4. Annahme postuliert, dass Produktionen ebenfalls Element von T^{emp} sind, auch wenn sie bei konstanten Outputs mehr von mindestens einem Inputfaktor einsetzen als eine ebenfalls beobachtete Produktion der Technologiemenge (a). Alternativ dazu müssen auch Produktionen Element von T^{emp} sein, die bei konstanten Inputs weniger von mindestens einem Output produzieren als eine beobachtete Produktion der Technologiemenge (b). Zusammen definieren beide Teile des Axioms die freie Verschwendbarkeit. Demnach muss Verschwendung mit dem Konzept der Technologie vereinbar sein, wenn diese durch Mehreinsatz an Inputs oder Minderproduktion an Outputs auftritt. Zugleich kann hierdurch ausgeschlossen werden, dass eine Konvexkombination mehrerer Produktionen als effizient klassifiziert wird, obwohl eine andere Produktion Pareto-Koopmanns-dominant ist.

¹¹⁷ Vgl. Allen (2002): S.134 f., Scheel (2000): S.40 ff., Kleine (2002): S.130 f. sowie Cantner et.al. (2007)

(5) Konvexität

$$(x_k, y_k) \in T^{emp} \Rightarrow \sum_{k=1}^N \lambda_k * (x_k, y_k) \in T^{emp} \quad \forall k = 1, \dots, N \quad (9)$$

$$\text{mit } \lambda_k > 0, \sum_{k=1}^N \lambda_k = 1$$

Annahme (5) besagt, dass zusätzlich zu den real beobachteten Produktionen alle Konvexkombinationen aus diesen, gewichtet mit den Linearfaktoren λ , ebenso zur Technologie T^{emp} gehören müssen. Hierdurch wird die beliebige Teilbarkeit der Inputs und Outputs implizit angenommen. Insbesondere bei bestehenden Substitutionsmöglichkeiten zwischen Input- und Outputfaktoren, d.h. wenn durch beliebige Kombination der Inputs derselbe Output erzielt wird, erscheint dies ökonomisch plausibel.

(6) Skalenertragseigenschaften:

Die Annahmen bezüglich der Skalenertragseigenschaften geben die Stärke der Vergrößerung des Outputs bei proportionaler Erhöhung der Inputs an.¹¹⁸ An dieser Stelle können die folgenden Annahmen, für die in dieser Arbeit verwendeten konvexen DEA-Modelle, unterschieden werden:¹¹⁹

(a) konstante Skalenerträge (CRS):

Ist bei einer Vervielfachung der Inputs eine Vervielfachung der Outputs um den Faktor λ möglich, d.h. für alle $\lambda > 0$ gilt $(x, y) \in T^{emp} \rightarrow \lambda * (x, y) \in T^{emp}$, dann weist T^{emp} konstante Skalenerträge auf.

(b) nicht abnehmende Skalenerträge (NDRS):

Ist eine Vergrößerung der Outputs stets durch Vergrößerung der Inputs um denselben Faktor möglich, d.h. für alle $\lambda > 1$ gilt $(x, y) \in T^{emp} \rightarrow \lambda * (x, y) \in T^{emp}$, dann weist T^{emp} nicht abnehmende (oder zunehmende) Skalenerträge auf.

(c) nicht zunehmende Skalenerträge (NIRS):

Ist eine Verkleinerung der Inputs stets durch Verkleinerung der Outputs um denselben Faktor möglich, d.h. für alle $0 < \lambda < 1$ gilt $(x, y) \in T^{emp} \rightarrow \lambda * (x, y) \in T^{emp}$, dann weist T^{emp} nicht zunehmende (oder: abnehmende) Skalenerträge auf.

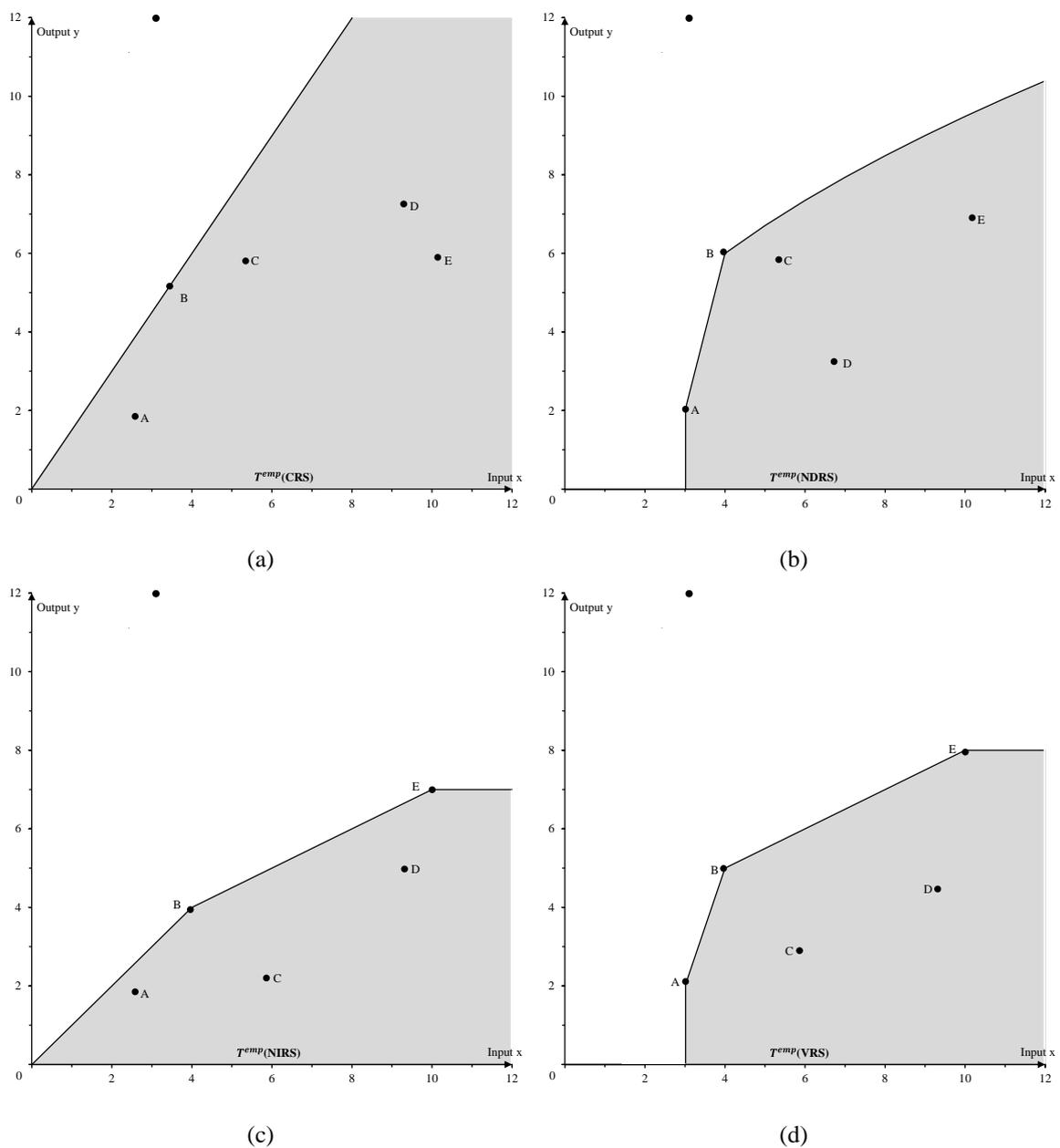
¹¹⁸ Vgl. Rassenhövel (2010): S.57

¹¹⁹ Vgl. Scheel (2000): S.41 f. sowie Kleine (2002): S.131 ff.

(d) variable Skalenerträge (VRS):

Liegt keine der obigen Skalenertragseigenschaften (a), (b) oder (c) vor, dann weist T^{emp} variable Skalenerträge auf.

Für den vereinfachten Fall jeweils eines Inputs und Outputs zeigt Abbildung 3.5 alternative Technologien unter den zuvor erläuterten Annahmen bezüglich der Skalenertragseigenschaften (a-d). Konstante Skalenerträge liegen demnach genau dann vor, wenn gleichzeitig nicht zunehmende (NIRS) und nicht abnehmende Skalenerträge (NDRS) anzutreffen sind.



Quelle: In Anlehnung an Scheel (2000): S. 42.

Abb. 3.5: Skalenertragseigenschaften bei konvexen DEA-Technologien

Welche Skalenertragseigenschaften bezüglich der Technologie T^{emp} getroffen werden ist in praktischen Anwendungen ein schwieriges Entscheidungsproblem. Derartige Annahmen können im Allgemeinen Auswirkungen auf die Anzahl der Produktionen auf dem effizienten Rand der empirisch approximierten Technologie $R(T^{emp})$ und demnach auf die Bestimmung der best-practice-Produktionsfunktion haben.¹²⁰ Eine einzige Produktion kann im Grenzfall maßgeblich für die Approximation dieser Funktion sein. Daher sei darauf hingewiesen, dass fehlerhafte Daten, d.h. Abweichungen der gemessenen Werte von den wahren Werten, einen erheblichen und verzerrenden Einfluss auf das Ergebnis der Effizienzmessung mit der DEA haben können.¹²¹

Im Rahmen dieser Arbeit wird auf Modelle mit konstanten und variablen Skalenerträgen näher eingegangen (siehe Abschnitt 3.3).

Dem CCR-Modell der DEA (vgl. Abschnitt 3.3.1) liegt die Technologie $T^{emp}(CRS)$ mit den dargestellten Annahmen (1) bis (3), der freien Verschwendbarkeit (4a) und (4b), der Konvexität (5) sowie konstanten Skalenerträgen (6a) zugrunde.¹²²

$$T^{emp}(CRS) = \{(-x, y) | (-x, y) \leq \sum_{k=1}^N \lambda_k (-x_k, y_k)\} \quad (10)$$

$$\text{mit } \sum_{k=1}^N \lambda_k > 0, \lambda_k > 0 (\forall k = 1, \dots, N)$$

Das BCC- bzw. ROD-Modell (vgl. Abschnitt 3.3.2 bzw. 3.3.3) unterscheidet sich lediglich hinsichtlich einer Technologie $T^{emp}(VRS)$, welche variable Skalenerträge unterstellt:¹²³

$$T^{emp}(VRS) = \{(-x, y) | (-x, y) \leq \sum_{k=1}^N \lambda_k (-x_k, y_k)\} \quad (11)$$

$$\text{mit } \sum_{k=1}^N \lambda_k = 1, \lambda_k > 0 (\forall k = 1, \dots, N)$$

Die so empirisch konstruierte Technologie T^{emp} stellt damit die „kleinste“ Menge dar, die mit den beobachteten Produktionen und den genannten Annahmen vereinbar ist. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass der effiziente Rand $R(T^{emp})$ allein durch die beobachteten best-practice-Funktionen aufgespannt wird.

¹²⁰ Vgl. Scheel (2000): S.42

¹²¹ Vgl. Scheel (2000): S.55

¹²² Vgl. Allen (2002): S.136 sowie Cantner et.al. (2007): S.119

¹²³ Vgl. Allen (2002): S.136

3.2.4 Effizienzmaße der DEA

Das Interesse bei einer Effizienzanalyse geht im Allgemeinen über eine rein binäre Klassifikation der Produktionen als „effizient“ bzw. „ineffizient“ hinaus. Die Quantifizierung der graduellen Unterschiede zwischen den Produktionen innerhalb der empirisch approximierten Technologie T^{emp} ist viel mehr von Interesse und wird durch Effizienzmaße ermöglicht.¹²⁴

Das Prinzip von DEA-Effizienzmaßen besteht darin, die Effizienz durch den Abstand zwischen einer zu bewertenden Produktion in T^{emp} und einem Punkt auf dem effizienten Rand $R(T^{emp})$ zu messen.¹²⁵

Als Referenzpunkt oder -einheit wird hierbei der der ineffizienten Produktion gegenübergestellte Punkt auf der Randproduktionsfunktion $R(T^{emp})$ bezeichnet. Als Referenzpunkt kann hierbei eine beobachtete Produktion, d.h. ein realer Referenzpunkt, oder eine Konvexkombination mehrerer effizienter Produktionen, d.h. ein virtueller Referenzpunkt, dienen. Dieser Referenzpunkt stellt dann einen Benchmark¹²⁶ für diese ineffiziente Produktion dar, welcher als Orientierung dient, um in einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess effizient zu werden.¹²⁷

In der Literatur existiert eine Vielzahl von Effizienzmaßen, die entweder im Rahmen praktischer Anwendungen oder theoretisch motiviert entwickelt wurden.¹²⁸

Im Rahmen dieser Arbeit werden sogenannte äquiproportionale und additive Effizienzmaße betrachtet.

Die äquiproportionalen Effizienzmaße, welche auch als radiale Maße bezeichnet werden, basieren auf produktionstheoretischen Arbeiten von FARRELL und DEBREU.¹²⁹ Diese bieten die Möglichkeit, allein durch die Kenntnis des (mit einem DEA-Modell ermittelten) Effizienzwertes θ Rückschlüsse auf das Verbesserungspotenzial einzelner Kriterien (Inputs und/oder Outputs) zu ziehen, da alle Kriterien proportional um diesen Effizienzwert verbessert werden können.¹³⁰

Äquiproportionale Effizienzmaße lassen sich in orientierte und nicht orientierte Maße differenzieren. Die Konzentration der orientierten äquiproportionalen Effizienzmaße liegt dabei, gemäß des ökonomischen Prinzips (vgl. Abschnitt 2.6), auf der proportiona-

¹²⁴ Vgl. Scheel (2000): S.75

¹²⁵ Vgl. Scheel (2000): S.89

¹²⁶ „Ein Benchmark ist ein Referenzpunkt einer gemessenen Leistung.“ Vgl. Siebert/Kempf (2008): S.8

¹²⁷ Vgl. Hagenloch (2008a): S.1376 ff.

¹²⁸ Vgl. Scheel (2000): S.75

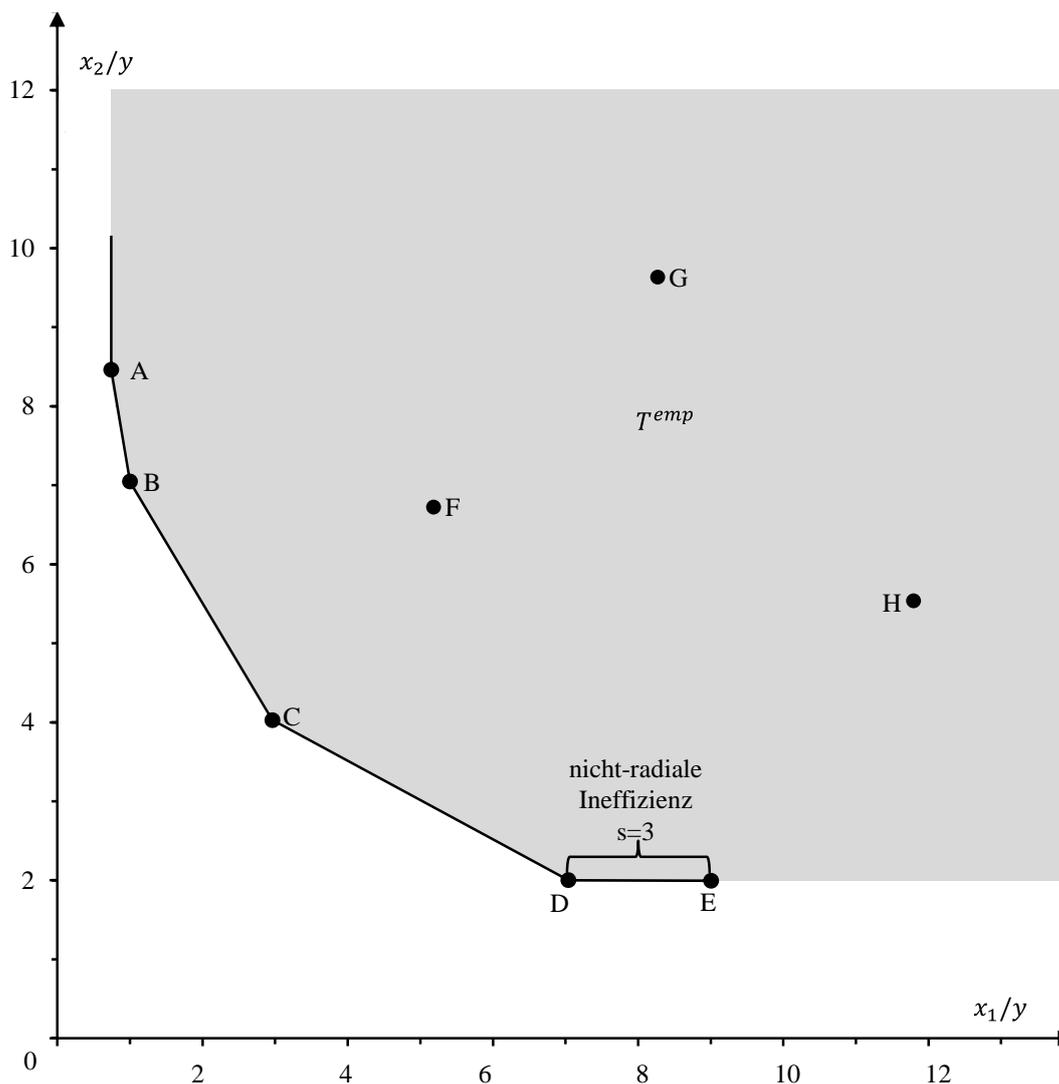
¹²⁹ Vgl. Farrel (1957): S.253 ff. sowie Debreu (1951): S.273 ff.

¹³⁰ Vgl. Scheel (2000): S.91 f.

len Reduktion bzw. Steigerung der Inputs bzw. der Outputs, ohne dabei das Input- bzw. Outputniveau zu verändern. Die nicht orientierten Effizienzmaße geben hingegen den größtmöglichen proportionalen Verbesserungsfaktor an, um den Inputs und Outputs gleichzeitig verbessert werden könnten (siehe Abb. 3.1).¹³¹

Verbesserungspotentiale, die durch Änderungen einzelner Inputfaktoren möglich sind, werden durch äquiproportionale Effizienzmaße allerdings nicht erfasst. Hierdurch kann es dazu kommen, dass bei DEA-effizienten Produktionen (Effizienzwert = 1) noch zusätzliche nicht-radiale Effizienzen bestehen. Bei derartigen Produktionen ist es möglich, bei gleichem Output noch mindestens einen Input zu reduzieren, ohne dass sich ein anderer Input erhöht. Abbildung 3.6 soll dies verdeutlichen.

¹³¹ Vgl. Scheel (2000): S.91 f.



Quelle: In Anlehnung an Hagenloch (2008b): S. 1519.

Abb. 3.6: Nicht-radiale Ineffizienz im zwei Input-/ein Output-Fall

Durch die Produktionen A-E wird der effiziente Rand $R(T^{emp})$ gebildet, da diese die best-practice Einheiten (Effizienzwert = 1) darstellen. Anhand der Grafik ist ersichtlich, dass sich Produktion E zwar auf dem effizienten Rand befindet, allerdings besteht entlang der Randfunktion ein nicht-radiales Verbesserungspotential bei Input x_1 in Höhe von 3 Einheiten im Vergleich zur E dominierenden Einheit D. Dieser Effizienzunterschied von E gegenüber D ist radial nicht messbar, da er sich nur auf dem Mehreinsatz des Inputs x_1 begründet.

Die Erfassung solcher nicht-proportionalen Verbesserungspotentiale erfolgt mittels additiver Effizienzmaße. Diese werden nicht relativ zum aktuellen Niveau, wie die radialen Effizienzmaße, sondern in absoluten Werten gemessen.¹³²

3.3 Mathematische Formulierung der DEA

Die in der Fachliteratur beschriebenen Anwendungen der DEA beziehen sich größtenteils auf die beiden DEA-Modelle vom Typ CCR und BCC, d.h. auf Modelle, die die Technologiemenge $T^{emp}(CRS)$ bzw. $T^{emp}(VRS)$ aus Abschnitt 3.2.3 (vgl. (6) Skalenertragseigenschaften) unterstellen. In Abschnitt 3.3.1 soll durch eine sukzessive Ableitung des CCR-Modells, aufbauend auf den bisherigen Ausführungen, die Grundidee der DEA hinsichtlich der Problematik der Effizienzmessung aufgezeigt werden. Das BCC-Modell, welches letztendlich eine Weiterentwicklung des CCR-Modells darstellt, wird in Abschnitt 3.3.2 vorgestellt. Abschnitt 3.3.3 befasst sich mit dem „Rank order data“-Modell, welches auf dem BCC-Modell aufbaut, aber neben kardinal skalierten Daten auch ordinal skalierte Daten berücksichtigen kann.

3.3.1 Das CCR-Modell

Den Ausgangspunkt der DEA bilden (vgl. Abschnitt 3.2.1) die mit $k = 1, \dots, N$ bezeichneten Produktionen, welche formal durch einen Inputvektor $x_k = (x_{k,1}, \dots, x_{k,m})$ und einen Outputvektor $y_k = (y_{k,1}, \dots, y_{k,n})$ beschrieben werden. Da die verschiedenen Inputs $i = 1, \dots, m$ und Outputs $j = 1, \dots, n$ zumeist in unterschiedlichen Einheiten vorliegen, wird jedem Input i ein Aggregationsgewicht (auch: Skalenfaktor) v_i und jedem Output j ein Aggregationsgewicht u_j zugeordnet, um diese vergleichbar zu machen.¹³³

In diesem Zusammenhang wird die Konstruktion des, nach den Entwicklern Charnes, Cooper und Rhodes benannten, CCR-Modells in der Literatur als „[...] the reduction of the multiple-output /multiple-input situation (for each DMU) to that of a single ‘virtual’ output and ‘virtual’ input“ beschrieben.¹³⁴

Die gewichtete Summe der Inputs $X = (v_1 * x_1 + \dots + v_m x_m)$ entspricht dem (virtuellen) Input und die gewichtete Summe der Outputs $Y = (u_1 * y_1 + \dots + u_n y_n)$ dem (virtuellen) Output. Ein (aggregiertes) Produktivitätsmaß (vgl. Formel 3) lässt sich bei mehreren Input- und Outputarten durch den folgenden Quotienten ermitteln.¹³⁵

¹³² Vgl. Hagenloch (2008b): S.1520

¹³³ Vgl. Kleine (2002): S.66 ff. sowie Cook/Zhu (2006): S.1025

¹³⁴ Vgl. Cooper et.al. (2011): S.9

¹³⁵ Vgl. Cooper et.al. (2007): S.15

$$p^{aggr} = \frac{Y}{X} = \frac{\sum_{j=1}^n u_j y_j}{\sum_{i=1}^m v_i x_i} \quad (12)$$

Da nach dem klassischen Präferenzaxiom (vgl. Abschnitt 3.2.3, Annahme 3) die Produktionsziele der $k = 1, \dots, N$ Produktionen in der Maximierung aller Outputs bzw. Minimierung aller Inputs bestehen, darf jede Produktion k eine Zielgewichtung durchführen. Diese Zielgewichtung soll zu einer Verdichtung der Input- und Outputarten zu einer reellwertigen Größe (einem Effizienzwert) führen und gleichzeitig die Produktivität (12) der Produktion maximieren.¹³⁶

Die Ermittlung der Aggregationsgewichte für die Inputs und Outputs erfolgt endogen über einen Optimierungsansatz der für jede Produktion k individuell ermittelt wird. Durch dieses Vorgehen wird die Schwierigkeit bei der a priori Festlegung umgangen.¹³⁷ Durch das Lösen des folgenden Optimierungsproblems ergibt sich dann das Produktivitätsmaß (12) einer mit $k = o$ bezeichneten Produktion.¹³⁸

$$\max_{u_o, v_o} \frac{\sum_{j=1}^n u_{o,j} * y_{o,j}}{\sum_{i=1}^m v_{o,i} * x_{o,i}} \quad (13)$$

$$u_{o,j} \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, n$$

$$v_{o,i} \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, m$$

Damit die Bewertung einer betrachteten Produktion $k = o$ in Relation zu den übrigen Produktionen gesetzt werden kann, wird an die Aggregationsgewichte die zusätzliche Nebenbedingung gestellt, dass diese das Produktivitätsmaß (12) auf das Intervall $[0,1]$ beschränken, wenn sie zur Bewertung irgendeiner der $k = 1, \dots, N$ Produktionen herangezogen werden. Hierdurch ist es möglich die Effizienz als relative Zahl zu interpretieren. Durch die Lösung des Quotientenprogramms lässt sich der im (relativen) Vergleich resultierende Effizienzwert θ_o ermitteln.¹³⁹

¹³⁶ Vgl. Wilken (2007): S.34 f.

¹³⁷ Vgl. Allen (2002): S.64

¹³⁸ Vgl. Wilken (2007): S.35

¹³⁹ Vgl. Wilken (2007): S.35 f.

$$\max_{u_0, v_0} \theta_o = \frac{\sum_{j=1}^n u_{o,j} * y_{o,j}}{\sum_{i=1}^m v_{o,i} * x_{o,i}} \quad (14)$$

$$u. d. NB: \frac{\sum_{j=1}^n u_{o,j} * y_{o,j}}{\sum_{i=1}^m v_{o,i} * x_{o,i}} \leq 1 \quad \forall k = 1, \dots, N$$

$$u_{o,j} \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, n$$

$$v_{o,i} \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, m$$

Erreicht nun die betrachtete Produktion $k = o$ den maximalen Produktivitätswert $\theta_o = 1$, so gilt diese im Sinne der DEA als effizient. Weist allerdings eine der $k = 1, \dots, N$ Produktionen mit den für diese Produktion errechneten Aggregationsgewichten eine höhere Produktivität auf, so gilt die betrachtete Produktion $k = o$ als DEA-ineffizient und der dazugehörige Zielwert $\theta_o < 1$ drückt das Maß der Ineffizienz aus.¹⁴⁰ Um die Effizienzen aller $k = 1, \dots, N$ Produktionen zu ermitteln ist es folglich notwendig N-Optimierungsmodelle gemäß Modell (14) aufzustellen und zu lösen.¹⁴¹

3.3.1.1 Ableitung der primalen und dualen CCR-Basismodelle

Die Lösung dieses Maximierungsproblem ist nicht trivial, da sowohl die Zielfunktion als auch die Nebenbedingungen Quotienten zweier linearer Aggregationen sind. Es handelt sich somit um ein Problem der linearen Quotientenprogrammierung, dessen Lösung numerisch sehr anspruchsvoll ist.¹⁴²

Durch einfaches Umstellen wird eine Beseitigung der Quotienten der Nebenbedingungen des Modells (14) erreicht. Die Quotienten werden mit dem Nenner erweitert, wodurch sich für jede der N Produktionen die Bedingung ergibt, dass der (virtuelle) Output einen Wert aufweisen muss, der kleiner oder gleich dem Wert des (virtuellen) Inputs ist.¹⁴³

Die Maximierung der Zielfunktion des Modells (14) bedeutet, dass entweder der Zähler maximiert, der Nenner minimiert oder beides gleichzeitig versucht wird. Zur Erreichung eines eindeutigen Vorgehens wäre es allerdings sinnvoll, entweder den Zähler oder den Nenner konstant zu setzen und somit das Quotientenprogramm in ein Problem der linearen Programmierung zu überführen, um es dann mit Hilfe des Simplexalgorithmus¹⁴⁴ zu

¹⁴⁰ Vgl. Allen (2002): S.65

¹⁴¹ Vgl. Wilken (2007): S.36

¹⁴² Vgl. Cantner et.al. (2007): S.84

¹⁴³ Vgl. ebd.: S.85

¹⁴⁴ Vgl. Domschke/Drexel (2011): S.21 ff.

lösen.¹⁴⁵ Eine entsprechende Vorgehensweise stellt die Charnes-Cooper-Transformation¹⁴⁶ dar, bei der in folgenden Schritten vorgegangen wird:

Zähler und Nenner der Zielfunktion (14) und aller Nebenbedingungen werden zunächst mit dem Kehrwert des (virtuellen) Inputs ($\sum_{i=1}^m v_{o,i} x_{o,i}$) der betrachteten Produktion erweitert. Der Nenner der Zielfunktion – der (virtuelle) Input – nimmt hierdurch den Wert 1 an, wodurch der Quotient der Zielfunktion verloren geht. Diese Normierung des Nenners auf den Wert 1 wird als zusätzliche Nebenbedingung in das Modell aufgenommen.¹⁴⁷ Weiterhin verändern sich die zu bestimmenden Aggregationsgewichte $v_{o,i}$ bzw. $u_{o,j}$ in die modifizierten Aggregationsgewichte für die Inputs ϖ_i und Outputs μ_j .¹⁴⁸

$$\mu_j = \frac{u_j}{\sum_{i=1}^m v_i \cdot x_i} \quad \forall j = 1, \dots, N \quad (15)$$

$$\varpi_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^m v_i \cdot x_i} \quad \forall i = 1, \dots, N \quad (16)$$

Durch die Erweiterung des Nenners der Zielfunktion mit dem Kehrwert des (virtuellen) Inputs ($\sum_{i=1}^m v_{o,i} x_{o,i}$) nimmt die Summe der mit den modifizierten Aggregationsgewichten bewerteten Inputs den Wert 1 an. Die zusätzlich aufzunehmende Nebenbedingung für das Modell lautet wie folgt:¹⁴⁹

$$\frac{1}{\sum_{i=1}^m v_i x_i} \cdot \sum_{i=1}^m v_i x_i = \sum_{i=1}^m \frac{v_i}{\sum_{i=1}^m v_i x_i} x_i = \sum_{i=1}^m \varpi_i \cdot x_i = 1 \quad (17)$$

Demnach erhält das transformierte, zu Modell (14) äquivalente, primale lineare Optimierungsproblem folgende Form:¹⁵⁰

¹⁴⁵ Vgl. Cantner et.al. (2007): S.85

¹⁴⁶ Vgl. Charnes et.al. (1978): S.432

¹⁴⁷ Das CCR-Modell kann auch outputorientiert formuliert werden, indem bei der Umformung des Modells (17) zunächst mit dem Kehrwert des (virtuellen) Outputs erweitert und die gewichtete Summe der Outputs auf den Wert 1 normiert wird. Vgl. Wilken (2007): S.42

¹⁴⁸ Vgl. Cantner et.al. (2007): S.85 f.

¹⁴⁹ Vgl. ebd.: S.86

¹⁵⁰ Vgl. Wilken (2007): S.37

$$\begin{aligned}
\max_{\mu_o} \theta_o &= \sum_{j=1}^n \mu_{o,j} \cdot y_{o,j} & (18) \\
\text{u. d. NB: } & \sum_{i=1}^m \varpi_{o,i} \cdot x_{o,i} = 1 \\
& \sum_{j=1}^n \mu_{o,k} \cdot y_{k,j} \leq \sum_{i=1}^m \varpi_{o,i} \cdot x_{k,i} \quad \forall k = 1, \dots, N \\
& \mu_{o,j} \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, n \\
& \varpi_{o,i} \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, m
\end{aligned}$$

Diese Modellversion wird auch als Multiplier-Form bezeichnet, da dieses Modell für jede Produktion die idealen Gewichte (bzw. „Multipller“: $\mu_{o,j}$ und $\varpi_{o,i}$) für die Aggregation der Inputs und Outputs liefert.¹⁵¹

Gemäß der Dualitätstheorie der Linearen Optimierung existiert zu jedem primalen Maximierungsproblem ein duales Minimierungsproblem und umgekehrt. Die Variablen des Dualprogramms entsprechen dabei den Nebenbedingungen des Primalprogramms.¹⁵²

Das zum primalen CCR-Modell (18) äquivalente duale CCR-Modell wird in der Literatur auch als Envelopment-Form bezeichnet, da die Variablen $\lambda_{o,k} \geq 0$ angeben, welche effizienten Produktionen eine ineffiziente umhüllen. Dieses Modell lässt sich wie folgt formulieren:¹⁵³

$$\begin{aligned}
\min \theta_o & & (19) \\
\text{u. d. NB: } & \sum_{k=1}^N \lambda_{o,k} \cdot x_{k,i} \leq \theta_o \cdot x_{o,i} \quad \forall i = 1, \dots, m \\
& y_{o,j} \leq \sum_{k=1}^N \lambda_{o,k} \cdot y_{k,j} \quad \forall j = 1, \dots, n \\
& \lambda_{o,k} \geq 0
\end{aligned}$$

Unter Berücksichtigung der Annahme der Konvexität (vgl. Abschnitt 3.2.3, Annahme 5) können die Linearfaktoren $\lambda_{o,k}$ genutzt werden, um für ineffiziente Produktionen mit Hilfe konvexer Linearkombinationen die Zielwerte bezüglich der Inputs abzuleiten.

¹⁵¹ Vgl. Hagenloch (2008a): S.1378

¹⁵² Vgl. Domschke/Drexl (2011): S.31 ff.

¹⁵³ Vgl. Wilken (2007): S.38 f.

Dies ist möglich, da es sich beim dualen CCR-Model (19) um die inputorientierte Variante handelt.¹⁵⁴

Für eine betrachtete Produktion $k = o$ wird zusätzlich der kleinstmögliche Faktor θ_o gesucht, für den gilt:

- I. Keine Gewichtung $\lambda_{o,1} \cdot y_{1,j} + \dots + \lambda_{o,N} \cdot y_{N,j}$ des Outputs j sämtlicher Produktionen $k = 1, \dots, N$ unterschreitet den Output i der Produktion $k = o$.
- II. Keine Gewichtung $\lambda_{o,1} \cdot x_{1,i} + \dots + \lambda_{o,N} \cdot x_{N,i}$ des Inputs i sämtlicher Produktionen $k = 1, \dots, N$ überschreitet den Input j der Produktion $k = o$

Hierbei muss Aussage (i) für jeden Output j und Aussage (ii) für jeden Input i gelten.¹⁵⁵

Die CCR-Modelle approximieren eine Technologie mit konstanten Skalenertragseigenschaften $T^{emp}(\text{CRS})$, d.h. ihnen liegt die Annahme konvexer Kombinierbarkeit (erkennbar an den Termen $\sum_{k=1}^N \lambda_{o,k} \cdot x_{k,i}$ bzw. $\sum_{k=1}^N \lambda_{o,k} \cdot y_{k,j}$), konstanter Skalenerträge (vgl. 3.2.3, Annahme 6, erkennbar an der Nebenbedingung $\lambda_{o,k} \geq 0$) sowie freier Verschwendbarkeit (vgl. 3.2.3, Annahme 4, erkennbar an den Relationszeichen der ersten und zweiten Nebenbedingung) zugrunde. Weiterhin entspricht der Zielwert θ_o aus Modell (19) dem Komplement des inputorientierten äquiproportionalen Effizienzmaßes.¹⁵⁶

3.3.1.2 Modellerweiterung um Slack-Variablen

Bei den vorgestellten CCR-Modellen kann das Problem auftreten, dass Verbesserungspotentiale, welche über die radialen Verbesserungspotentiale (die für alle Inputs simultan bestehen) hinausgehen, durch den Effizienzwert θ_o nicht erfasst werden. In diesem Fall wäre nicht garantiert, dass ein Effizienzwert von 1, gemäß dem Pareto-Koopmans-Effizienzbegriff (vgl. 3.2.2), einer effizienten Produktion entspricht. Dies tritt vor allem dann auf, wenn vorhandene Ineffizienzen nicht allein durch proportionale Senkung aller Inputs abgebaut werden können und ist hauptsächlich der Verwendung radialer (äquiproportionaler) Effizienzmaße geschuldet. In der Literatur werden diese nicht-proportionalen Verbesserungspotentiale als Schlupf (oder engl.: slack) bezeichnet (vgl. Abb. 3.6).¹⁵⁷

Diese Schlupfvariablen werden, bei einer Inputorientierung, für die Inputs durch

¹⁵⁴ Vgl. Jung (2002): S.55

¹⁵⁵ Vgl. Wilken (2007): S.39

¹⁵⁶ Vgl. Jung (2002): S.54

¹⁵⁷ Vgl. Yuan/Huang (2002): S.115 sowie Hagenloch (2008a): S.1380

$$s_{o,i}^- := \theta_o^* \cdot x_{o,i} - \sum_{k=1}^N \lambda_{o,k} \cdot x_{k,i} \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (20)$$

sowie für die Outputs durch

$$s_{o,j}^+ := \sum_{k=1}^N \lambda_{o,k} \cdot y_{k,j} - y_{o,j} \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (21)$$

definiert. Das Superskript – bzw. + kennzeichnet dabei die Optimierungsrichtung entsprechend der Variablenart (Inputs sind zu minimieren und Outputs zu maximieren).

Zur Identifizierung dieser nicht radialen Verbesserungen hat sich eine zweistufige Vorgehensweise durchgesetzt. Dabei wird zuerst die optimale Lösung θ_o^* der Envelopment Form (19) berechnet. Auf deren Basis werden dann anschließend die Slacks (Input-Slacks s^- ; Output-Slacks s^+) durch die Lösung des folgenden linearen Programms ermittelt:

$$\begin{aligned} \max_{s^+ s^-} & \left(\sum_{j=1}^n s_{o,j}^+ + \sum_{i=1}^m s_{o,i}^- \right) & (22) \\ \text{u. d. NB:} & -\theta_o^* \cdot x_{o,i} + \sum_{k=1}^N \lambda_{o,k} \cdot x_{k,i} + s_{o,i}^- = 0 \quad \forall i = 1, \dots, m \\ & \sum_{k=1}^N \lambda_{o,k} \cdot y_{k,j} - s_{o,j}^+ = y_{o,j} \quad \forall j = 1, \dots, n \\ & \lambda_{o,k}, s_{o,i}^-, s_{o,j}^+ \geq 0 \quad \forall k = 1, \dots, N \end{aligned}$$

Pareto-Koopmans-effizient ist eine Produktion $k = o$ dann, wenn für die optimale Lösung $\theta_o^* = 1$ sowie für alle Inputs i $s_{i,o}^- = 0$ und für alle Outputs j $s_{j,o}^+ = 0$ gilt.¹⁵⁸

3.3.2 Das BCC-Modell

Einer der Hauptkritikpunkte des CCR-Modells ist die restriktive Annahme konstanter Skalenerträge, da sich diese in vielen Anwendungssituationen als unangemessen erweisen. Dies zeigt sich insbesondere dann, wenn der Entscheidungsträger keinen Einfluss auf die Produktionsgröße hat. Das von BANKER, CHARNES und COOPER formulierte

¹⁵⁸ Vgl. Wilken (2007): S.41

BCC-Modell berücksichtigt daher variable Skalenerträge. Die zusätzliche Nebenbedingung beschränkt die Summe der Linearfaktoren $\lambda_{o,k} \geq 0$ auf den Wert 1, wodurch die potentiellen Referenzpunkt eine einheitliche Größe annehmen. Im Folgenden ist das inputorientierte BCC-Modell in der Envelopment-Form¹⁵⁹ dargestellt.¹⁶⁰

$$\begin{aligned} \min \theta_o & \qquad \qquad \qquad (23) \\ \text{u. d. NB: } \sum_{k=1}^N \lambda_{o,k} \cdot x_{k,i} & \leq \theta_o \cdot x_{o,i} \quad \forall i = 1, \dots, m \\ y_{o,j} & \leq \sum_{k=1}^N \lambda_{o,k} \cdot y_{k,j} \quad \forall j = 1, \dots, n \\ \sum_{k=1}^N \lambda_{o,k} & = 1 \quad (\text{ZUSATZ}) \\ \lambda_{o,k} & \geq 0 \end{aligned}$$

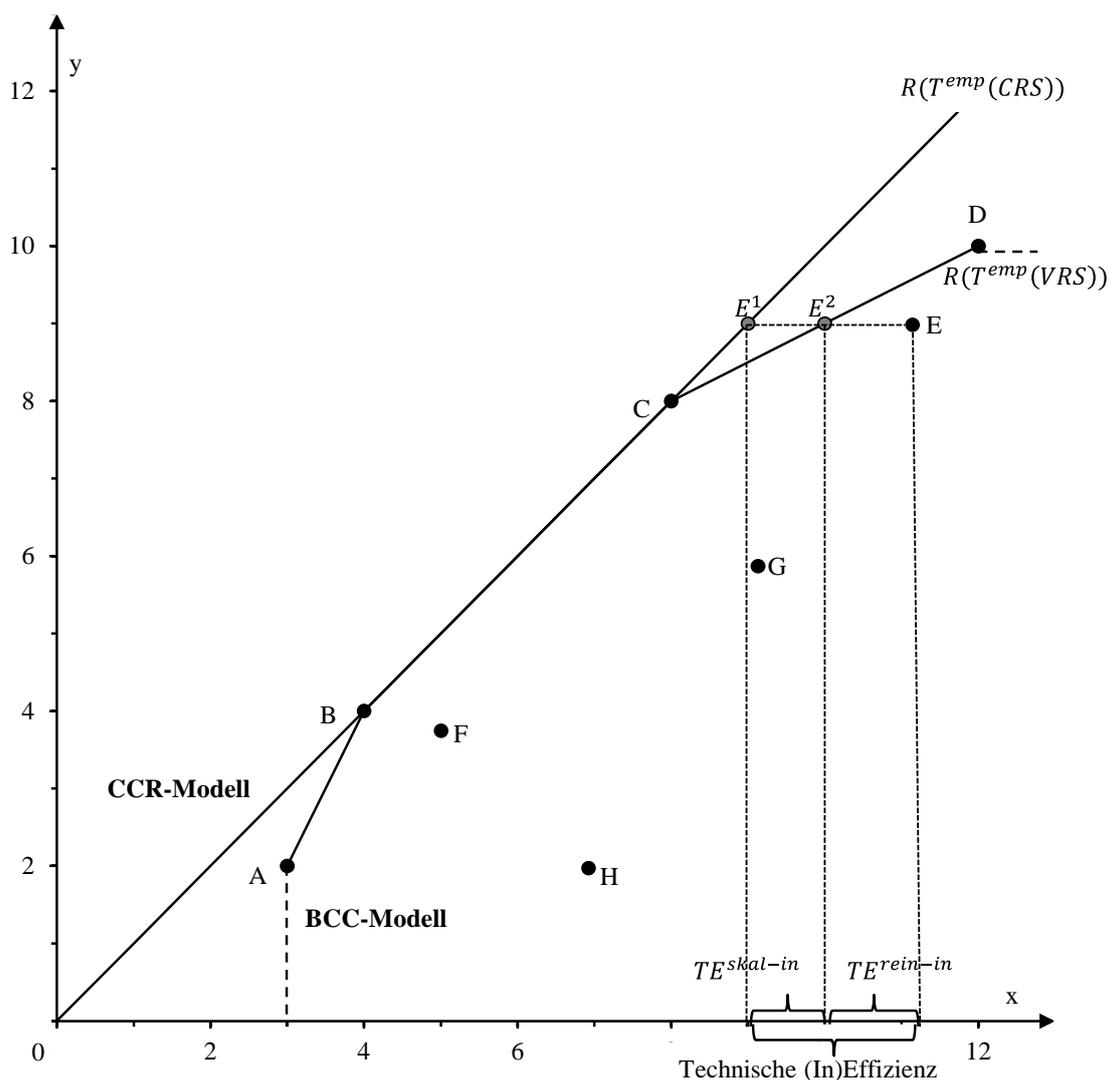
Die vorgestellten DEA-Modelle implizieren eine Betrachtung der technischen Effizienz. Bei einer Effizienzanalyse unter Verwendung des CCR-Modells ergeben sich technische Ineffizienzen für die Produktionen, die nicht als effizient ermittelt wurden. Diese Ineffizienzen setzen sich aus der reinen technischen Ineffizienz $TE^{rein-in}$ und der Skaleneffizienz $TE^{skal-in}$ zusammen (vgl. Abschnitt 3.2.2). Skaleneffizienz liegt dann vor, wenn eine Produktion ihre Effizienzwerte nach Abbau der reinen technischen Ineffizienz zusätzlich durch Veränderung des Produktionsvolumens verbessern kann.¹⁶¹

Für den vereinfachten Fall eines Inputs (x) und eines Outputs (y) zeigt Abbildung 3.7 die effiziente Randproduktionsfunktion des CCR-Modells unter konstanten Skalenerträgen $R(T^{emp}(CRS))$ und die des BCC-Modells unter variablen Skalenerträgen $R(T^{emp}(VRS))$. Die Menge der Konvexkombinationen der entsprechenden Produktionen werden durch die Teilstücke AB, BC und CD repräsentiert.

¹⁵⁹ Die korrespondierende Multiplier-Form wird in Abschnitt 5.1 dargestellt.

¹⁶⁰ Vgl. Wilken (2007): S.42f. sowie Banker et.al. (2011): S.44

¹⁶¹ Vgl. Cantner/Hanusch (1998): S.230



Quelle: In Anlehnung an Cantner et.al. (2007): S. 157.

Abb. 3.7: Technische Effizienzbetrachtung der Modelle CCR und BCC

Die Annahme variabler Skalenerträge lässt sich an der Unterscheidbarkeit von Bereichen mit zunehmenden und Bereichen mit abnehmenden Skalenerträgen erkennen. Beim Vergleich der Steigungen der Teilstücke AB und CD mit der Steigung der CRS-Randproduktionsfunktion (bspw. im Teilstück BC) ist erkennbar, dass AB steiler verläuft und CD flacher. Teilbereich AB weist demnach zunehmende Skalenerträge und Teilbereich CD abnehmende Skalenerträge auf. Durch schrittweises Fortbewegen auf dem Teilstück AB (bzw. CD), wobei bei jedem Schritt das Verhältnis von Output zu Input erfasst wird, kann dies nachgeprüft werden. Dieser erfasste Wert entspricht graphisch der Steigung des Strahls vom Ursprung zum jeweiligen Punkt auf AB (bzw. CD). Die Steigung des Ursprungsstrahls und damit die Durchschnittsproduktivität

nimmt von A nach B (bzw. C nach D) stetig zu (bzw. ab). Demnach weist Teilstück AB (bzw. CD) zunehmende (bzw. abnehmende) Skalenerträge auf.¹⁶²

Obwohl die Durchschnittsproduktivität auf den Teilstücken AB und CD bei steigendem Inputeinsatz entsprechend der jeweiligen Steigung durchweg variiert, werden sowohl A und B (bzw. C und D), als auch deren jeweiligen Konvexkombinationen, vom BCC-Modell als best-practice (technisch effizient) und damit als identisch behandelt. Anders als beim CCR-Modell werden im BCC-Modell die Produktivitätsunterschiede von A und B (bzw. C und D) aus der Effizienzanalyse eliminiert und allein dem Faktor der Produktionsgröße (bzw. der Produktionskapazität), also der Skalen(in)effizienz, zugeordnet.¹⁶³

Wird die ineffiziente Produktion E betrachtet, so ist die Skalenineffizienz $TE^{skal-in}$ durch den radialen Abstand zwischen E^1 und E^2 gekennzeichnet. Anders als das CCR-Modell ermittelt das BCC-Modell an dieser Stelle lediglich die reine technische Ineffizienz $TE^{rein-in}$. Dies geschieht mit Hilfe der eingangs erwähnten zusätzlichen Nebenbedingung.¹⁶⁴ Demnach muss eine Produktion lediglich rein technisch effizient sein um nach dem BCC-Modell als effizient eingestuft zu werden, jedoch nicht skaleneffizient.¹⁶⁵

Analog zum CCR ist es auch bei BCC-Modell möglich, dieses um Slack-Variablen zur Identifikation nicht-radialer Verbesserungsmerkmale zu erweitern. Hierfür sei an dieser Stelle allerdings auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen.¹⁶⁶

3.3.3 Das ROD-Modell

Effizienzanalysen mittels der vorgestellten DEA-Modelle basieren auf der Annahme der quantitativen Messbarkeit kardinal skalierten Input- und Outputdaten. Allerdings besteht in vielen praktischen Anwendungen die Notwendigkeit auch qualitative (ordinale) Daten in die Analyse einzubeziehen. So werden für die Erhebung bestimmter Daten häufig Rankings eingesetzt, bei denen bspw. für die Abfrage der Kundenzufriedenheit sogenannte Likert-Skalen genutzt werden. Bei diesen trägt der Kunde seine Zufriedenheit meist auf einer Skala von eins bis fünf ab. Die folgende Tabelle 3.2 zeigt ein Beispiel einer Fünf-Punkt Likert-Skala.

¹⁶² Vgl. Cantner et.al. (2007): S.157 f.

¹⁶³ Vgl. Cantner et.al. (2007): S.158

¹⁶⁴ Vgl. Siemens (2005): S.21

¹⁶⁵ Vgl. Haas (2004): S.53

¹⁶⁶ Siehe Wilken (2007): S. 44 oder Cooper et.al. (2007): S.92 ff.

Tab. 3.2: Beispiel einer Fünf-Punkt Likert-Skala

Trifft zu	Trifft eher zu	Weder noch	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu
1	2	3	4	5

Quelle: Eigene Darstellung

Hierdurch ist es dann zwar möglich die Daten auf- bzw. absteigend zu ordnen, allerdings ist es bei ordinalen Daten nicht möglich die Abstände zwischen zwei Werten zu interpretieren.¹⁶⁷

Eine Weiterentwicklung basierender DEA-Modelle im Hinblick auf die Einbettung kardinal und ordinal skalierten Daten stellt das auf die Autoren WADE D. COOK und JOE ZHU¹⁶⁸ zurückzuführende „Rank order data“-Modell (im Rahmen dieser Arbeit auch als ROD-Modell bezeichnet) dar. Die Grundlage dieses Modells bildet das BCC-Modell, wobei quantitative und qualitative Inputs und Outputs mit jeweils gesonderten Gewichten in das Basis-Quotientenprogramm integriert werden. Nach einer Reihe mathematischer Transformationen¹⁶⁹ stellt sich das ROD-Modell wie folgt dar:¹⁷⁰

$$\begin{aligned}
\min \theta_o - \varepsilon \sum_{j \in R_1} s_j^+ - \varepsilon \sum_{i \in I_1} s_i^- - \varepsilon^2 \sum_{j \in R_2} \sum_{l=1}^L \alpha_{jl}^1 - \varepsilon^2 \sum_{i \in I_2} \sum_{l=1}^L \alpha_{il}^2 & \quad (24) \\
u. d. NB: \sum_{k=1}^N \lambda_k y_{k,j}^1 - s_j^+ = y_{0,j}^1, \quad j \in R_1 & \\
\theta_o x_{0,i}^1 - \sum_{k=1}^N \lambda_k x_{k,i}^1 - s_i^- = 0, \quad i \in I_1 & \\
\sum_{k=1}^N \lambda_k \gamma_{k,j}^*(l) - \alpha_{jl}^1 = \gamma_{0,j}^*(l), \quad j \in R_2, l = 1, \dots, L & \\
\theta_o \delta_{0,i}^*(l) - \sum_{k=1}^N \lambda_k \delta_{k,i}^*(l) - \alpha_{il}^2 = 0, \quad i \in I_2, l = 1, \dots, L & \\
\sum_{k=1}^N \lambda_k = 1 & \\
\lambda_k, s_j^+, s_i^-, \alpha_{jl}^1, \alpha_{il}^2 \geq 0 &
\end{aligned}$$

¹⁶⁷ Vgl. Scheel (2000): S.19 f.

¹⁶⁸ Vgl. Cook/Zhu (2006)

¹⁶⁹ Für eine vollständige Herleitung des Modells siehe: Cook/Zhu (2006)

¹⁷⁰ Vgl. Cook/Zhu (2006): S.1025 ff.

Dieses Modell enthält in der Zielfunktion bereits die Slacks (Schlupfvariablen) für die zusätzliche Identifikation nicht-radialer Verbesserungspotentiale. Die Slacks der kardinalen (quantitativen) Outputs j (bzw. Inputs i) werden mit den Variablen s_j^+ (bzw. s_i^-) bezeichnet (vgl. Abschnitt 3.2.4). Die Beschreibung der ordinalen (qualitativen) Outputs j (bzw. Inputs i) erfolgt über die Variablen α_{jl}^1 (bzw. α_{il}^2), welche zusätzlich von dem Likert-Skalen-Wert l abhängig sind. Durch diesen Wert wird die „Position“ auf der Likert-Skala angegeben, an welcher der Kunde bspw. seine Zufriedenheit einträgt. Mittels der Variable L wird die Größe dieser Skala angegeben.¹⁷¹

Durch eine sogenannte nicht-archimedische Konstante ε wird der Einfluss der Slack-Variablen auf die Zielfunktion vernachlässigbar klein gehalten. Diese Konstante wird genutzt, da der Effizienzwert θ_o ein radiales (äquiproportionales) Effizienzmaß darstellt, während die Slack-Variablen nicht radial gemessen werden. Ohne weitere Zusatzmaßnahmen ist eine Verschmelzung beider Effizienzmaße daher nicht möglich.¹⁷²

Die Outputs j (bzw. Inputs i) werden unabhängig von ihrer Form (kardinal oder ordinal) in den Mengen R_1 oder R_2 (bzw. I_1 oder I_2) zusammengefasst. Analog zu den bisher vorgestellten Modellen entsprechen die kardinalen Outputwerte (bzw. Inputwerte) der Menge R_1 (bzw. I_1) den Variablen $y_{k,j}^1$ (bzw. $x_{k,i}^1$). Die ordinalen Outputwerte (bzw. Inputwerte) der Menge R_2 (bzw. I_2) werden indirekt von den Variablen $\gamma_{k,j}^*(l)$ (bzw. $\delta_{k,i}^*(l)$) wiedergegeben. Durch diese Variablen wird für die ordinalen Input- und Outputwerte sichergestellt, dass ein „besseres“ Ranking auf der Likert-Skala auch zu einer höheren Gewichtung bei der Optimierung führt. Die Gewichtung erfolgt hierbei den Inputwerten aufsteigend, während die Gewichtung bei den Outputwerten absteigend erfolgt.¹⁷³

Bei der Betrachtung der Nebenbedingungen zeigt sich einerseits die aus dem BCC-Modell bekannte Restriktion, durch die die Summe der Gewichtungsfaktoren λ_k auf eins gesetzt wird und damit die Größenunterschiede der Produktionen eliminiert werden (vgl. Abschnitt 3.3.2). Andererseits wird ersichtlich, dass sich die Nebenbedingungen für die Outputs (1 und 3) und Inputs (2 und 4) nur hinsichtlich der „Anwesenheit“ ordinal bzw. kardinal skalierten Daten unterscheiden.

Bei der Betrachtung des Terms der zweiten Nebenbedingung ergibt sich nach dem Umstellen der folgende Ausdruck, durch den der Gedanke hinter den Nebenbedingungen einmal exemplarisch verdeutlicht werden kann:

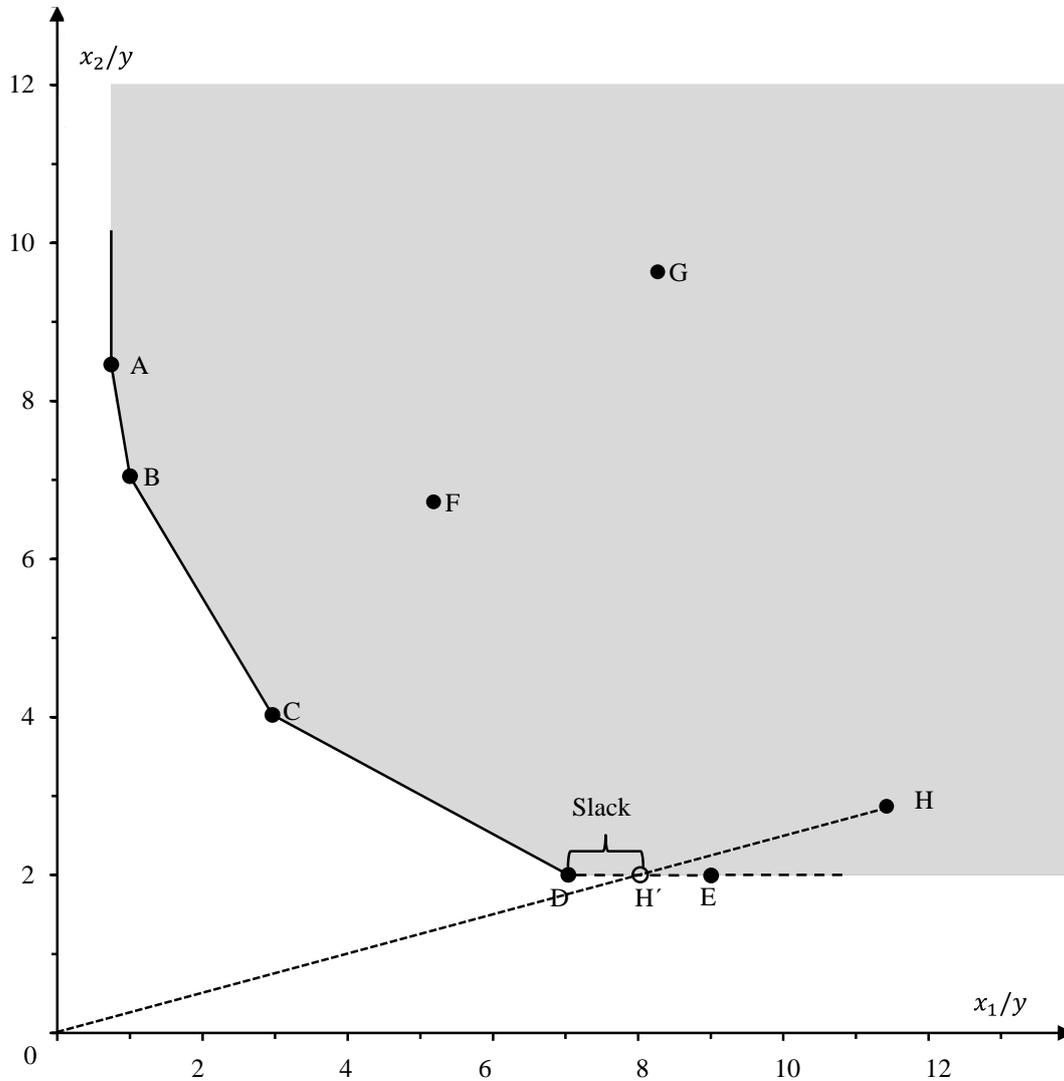
¹⁷¹ Vgl. Cook/Zhu 2006: S.1025 f.

¹⁷² Vgl. Cantner et.al. (2007): S.219

¹⁷³ Vgl. Cook/Zhu (2006): S.1027

$$\theta_o x_{0,i}^1 - s_i^- = \sum_{k=1}^N \lambda_k x_{k,i}^1, \quad i \in I_1 \quad (25)$$

Zunächst sei dafür auf die folgende Abbildung 3.8 verwiesen:



Quelle: In Anlehnung an Hagenloch (2008b): S. 1519.

Abb. 3.8: Effizienzwertermittlung im zwei Input-/ein Output-Fall

Als Ausgangspunkt dient die ineffiziente Produktion H, welche (vereinfachend für dieses Beispiel) durch die Inputs $x_{0,1}^1$ und $x_{0,2}^1$ definiert wird. Der Schnittpunkt des Fahrstrahls mit der Randproduktionsfunktion repräsentiert die virtuelle Vergleichseinheit H' für H. Durch Multiplikation der beiden Inputs $x_{0,1}^1$ und $x_{0,2}^1$ mit dem für die Produktion $k = o$ optimalen Effizienzwert θ_o (vgl. (22)) erreicht die Produktion H den Punkt H' und liegt somit bereits auf der effizienten Randproduktionsfunktion $R(T^{emp})$. Aufgrund der Dominanz von D bzgl. H' ist diese Produktion nur schwach effizient (vgl. Tab. 3.1).

Nach Subtraktion der entsprechenden Slack-Variablen s_i^- (Ausschöpfung nicht-radialer Verbesserungspotentiale) gelangt die betrachtete DMU H nun von Punkt H' zu dem Punkt D, welcher prinzipiell eine Konvexkombination $\sum_{k=1}^N \lambda_k x_{k,i}^1$ ($\sum_{k=1}^N \lambda_k = 1$) darstellt.

3.3.4 Zwischenfazit

Nach der Vorstellung der DEA-Modelle soll in diesem Zwischenfazit kurz geklärt werden, welches dieser Modelle für den Bereich der wissensintensiven Dienstleistungen geeignet ist. Durch das in Abschnitt 3.3.1 vorgestellte CCR-Modell wurde die DEA erstmals in den wissenschaftlichen Diskurs eingeführt. Aufgrund der Beschränkung auf konstante Skalenerträge und die Nichtberücksichtigung ordinaler Daten ist dieses Modell allerdings nicht geeignet, um im Bereich der wissensintensiven Dienstleistungen eingesetzt zu werden. Die Berücksichtigung ordinaler Daten ist notwendig, um Outputs wie die Kundenzufriedenheit in die Berechnung einbeziehen zu können (siehe Abschnitt 3.3.3). Durch die Berücksichtigung variabler Skalenerträge wäre das in Abschnitt 3.3.2 vorgestellte BCC-Modell zwar grundsätzlich geeignet für den avisierten Einsatzzweck, aber auch in diesem Modell können keine Ordinaldaten in die Effizienzberechnung mit einbezogen werden. Daher ist auch das ursprüngliche BCC-Modell ungeeignet. Schlussendlich bietet das in Abschnitt 3.3.3 vorgestellte ROD-Modell sowohl die Berücksichtigung variabler Skalenerträge als auch die Integration ordinaler Daten in die Berechnung. Um nun dieses Modell validieren zu können, kann eine Sensitivitätsanalyse hilfreich sein.

Zur Validierung des ROD-Modells wurde mit Hilfe mehrerer Tools¹⁷⁴ eine Sensitivitätsanalyse auf Basis realer Unternehmensdaten durchgeführt. Bei der Anwendung des Tools wird die Effizienz der Produktionen sowohl ohne als auch mit dem Einfluss ordinaler Faktoren (in diesem Fall dem Faktor Kundenzufriedenheit) berechnet (siehe Tab. 3.3).

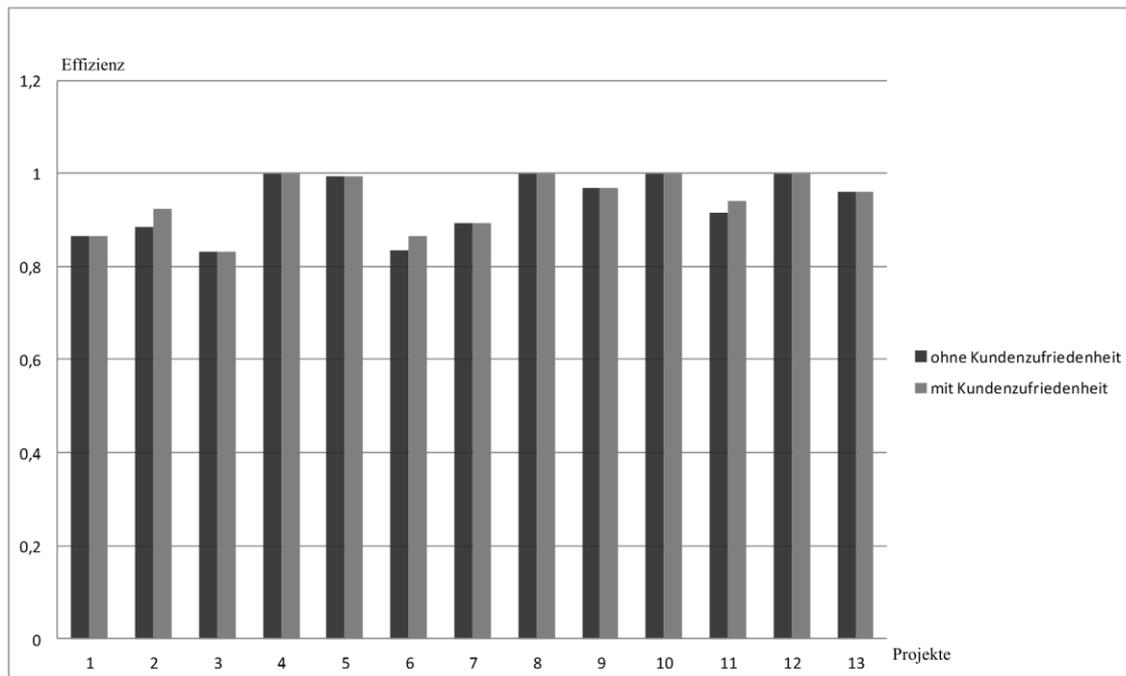
¹⁷⁴ Dieses Tools („DEA-Projektplaner“, „DEA-Projektcontroller“) wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes am Fraunhofer IFF entwickelt und setzen die vorgestellten DEA-Modelle softwaretechnisch um. Sie können einerseits ex ante genutzt werden, um anhand vorher definierter Parameter und durch Eingabe diverser Daten effiziente Produktionen aufzuzeigen. Hierzu ist es möglich die Anzahl kardinaler (bzw. ordinaler) Inputs und Outputs anzugeben, sowie die gewünschte Anzahl an Referenzprojekten und die gewünschte Projekteffizienz. Im Anschluss daran werden Intervallgrenzen für die Parameter angegeben. Auf Basis der vorgestellten DEA-Modelle berechnen die Tools im Anschluss mögliche effiziente Produktionen. Andererseits können die Tools ex post zum Projektcontrolling eingesetzt werden, indem im Anschluss an die Dienstleistungserstellung die konkret ermittelten Daten eingegeben werden, um die Produktionseffizienz zu ermitteln.

Tab. 3.3: Effizienzanalyse mit dem ROD-Modell

Projekte	Inputs		Outputs		Effizienz		
	Entgelt	Kunden- änderun- gen	Umsatz	Kun- den- zufrie- denheit	Ohne Kunden- zufrieden- heit	Mit Kunden- zufriedenheit	Δ
1	8285,60€	1	31564,69€	1	0,8653876	0,8653876	0
2	24045,85€	3	96993,22€	1	0,8837556	0,9223083	0,0385527
3	9697,22€	0	36942,38€	2	0,8317212	0,8317212	0
4	9628,60€	0	46333,84€	1	1	1	0
5	8200,35€	1	37487,94€	2	0,9946142	0,9946142	0
6	23629,30€	2	90017,81€	1	0,8349033	0,8654221	0,0305188
7	7364,98€	0	28057,50€	1	0,8942981	0,8942981	0
8	5237,32€	0	19952,00€	1	1	1	0
9	5278,31€	0	21822,50€	4	0,9686393	0,9686393	0
10	21003,82€	2	96019,00€	2	1	1	0
11	15130,03€	5	64844,00€	1	0,9164799	0,9394425	0,0229626
12	62711,40€	5	260623,00€	1	1	1	0
13	11456,63€	3	52374,00€	2	0,9611413	0,9611413	0

Quelle: Eigene Darstellung

Hierbei ist auffällig, dass mit dem aktuellen Modell nur geringe bis gar keine Unterschiede zwischen den Ergebnissen mit und ohne Ordinaldaten auftreten (siehe Abb. 3.9).



Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 3.9: Vergleich der Effizienzwerte mit/ohne Kundenzufriedenheit

Da im Modell von GRÖNROOS und OJASALO allerdings die Kundenzufriedenheit ein wichtiger Faktor ist (vgl. Abschnitt 2.5), können die vorhandenen Modelle in der jetzigen Form als nicht hinreichend einsatzfähig bezeichnet werden, um ordinale Daten dahingehend zu berücksichtigen, dass diese einen signifikanten Einfluss auf die Effizienz einer Produktion haben. Daher soll im Folgenden noch ein weiteres Modell betrachtet werden.

3.3.5 Das MIDEA-Modell

Einen weiteren Ansatz zur Nutzung ordinaler Daten in DEA-Modellen zeigen CHEN und ZHU auf. Da bei der Verwendung unpräziser Daten aus dem linearen DEA-Modell ein nicht-lineares DEA-Modell wird, in der Literatur auch bekannt als Imprecise DEA (IDEA), transformieren Sie aus den ungenauen Daten ein Set von genauen Daten um die linearen Standard DEA-Modelle nutzen zu können. Grundlage ihrer Arbeit ist die Multiplier Form des CCR-Modells (siehe 3.3.1), weshalb dieses Modell auch Multiplier IDEA (MIDEA) genannt wird.¹⁷⁵

Die Grundform des MIDEA-Modells wird dann wie folgt formuliert:

¹⁷⁵ Vgl. Chen/Zhu (2007): S.35 ff.

$$\begin{aligned} \max_{\mu_o} \theta_o &= \sum_{j=1}^n \mu_{o,j} \cdot y_{o,j} & (26) \\ \text{u. d. NB: } & \sum_{i=1}^m \varpi_{o,i} \cdot x_{o,i} = 1 \\ & \sum_{j=1}^n \mu_{o,k} \cdot y_{k,j} \leq \sum_{i=1}^m \varpi_{o,i} \cdot x_{k,i} \quad \forall k = 1, \dots, N \\ & (x_{k,i}) \in \Omega_i^- \\ & (y_{k,j}) \in \Omega_j^+ \\ & \mu_{o,j} \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, n \\ & \varpi_{o,i} \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, m \end{aligned}$$

Durch $(x_{k,i}) \in \Omega_i^-$ und $(y_{k,j}) \in \Omega_j^+$ werden die jeweiligen unpräzisen Daten (z.B. Intervalldaten oder ordinale Daten) repräsentiert. Aufgrund dieser unbekanntenen Entscheidungsvariablen ist Modell (26) nicht-linear und nicht-konvex.¹⁷⁶

Um nun dieses nicht-lineare und nicht-konvexe IDEA-Modell zu lösen und in ein lineares Problem zu überführen, bedarf es einer Lösung von Modell (26) auf Basis der vorhandenen ordinalen Daten. Diese liegen in folgender Form vor:¹⁷⁷

$$y_{1,j} \leq y_{2,j} \leq \dots \leq y_{k,j} \leq \dots \leq y_{N,j} \quad (27)$$

$$x_{1,i} \leq x_{2,i} \leq \dots \leq x_{k,i} \leq \dots \leq x_{N,i} \quad (28)$$

Durch das Lösen von Modell (26) ergibt sich ein Set optimaler Lösungen für $y_{k,j}^*$ und $x_{k,i}^*$ mit dem optimalen Effizienzwert θ_k^* :¹⁷⁸

$$y_{1,j}^* \leq y_{2,j}^* \leq \dots \leq y_{k-1,j}^* \leq y_{k,j}^* \leq y_{k+1,j}^* \leq \dots \leq y_{N,j}^* \quad (29)$$

$$x_{1,i}^* \leq x_{2,i}^* \leq \dots \leq x_{k-1,i}^* \leq x_{k,i}^* \leq x_{k+1,i}^* \leq \dots \leq x_{N,i}^* \quad (30)$$

Aufgrund der Einheiteninvarianz sind weiterhin auch $\rho y_{k,j}^*$ und $\rho x_{k,i}^*$, ρ ist hierbei eine positive Konstante, optimale Lösungen für die beobachtete Produktion, weshalb immer $y_{k,j}^* = x_{k,i}^* = 1$ gesetzt werden kann. Das Set der optimalen Lösung kann dadurch in die folgende Form geändert werden:

¹⁷⁶ Vgl. Chen/Zhu (2007): S.37 f.

¹⁷⁷ Vgl. ebd.: S. 38 ff.

¹⁷⁸ Vgl. ebd.: S: 43

$$0 \leq y_{1,j}^* \leq y_{2,j}^* \leq \dots \leq y_{k-1,j}^* \leq y_{k,j}^* (= 1) \leq y_{k+1,j}^* \leq \dots \leq y_{N,j}^* \leq M \quad (31)$$

$$0 \leq x_{1,i}^* \leq x_{2,i}^* \leq \dots \leq x_{k-1,i}^* \leq x_{k,i}^* (= 1) \leq x_{k+1,i}^* \leq \dots \leq x_{N,i}^* \leq M \quad (32)$$

wobei M ein sehr großer Wert nahe $+\infty$ sein kann.¹⁷⁹

Für die ordinalen Inputs und Outputs wird dann im Anschluss das folgende Intervall festgelegt:¹⁸⁰

$$y_{k,j} \in [0,1] \text{ und } x_{k,i} \in [0,1] \quad \forall k = 1, \dots, k-1 \quad (33)$$

$$y_{k,j} \in [1,M] \text{ und } x_{k,i} \in [1,M] \quad \forall k = k+1, \dots, N \quad (34)$$

Ausgehend von Tabelle 3.4 soll die Identifizierung der genauen Daten veranschaulicht werden.

Tab. 3.4: Exakte und unpräzise Daten

	Outputs		Inputs	
	Exakt	Ordinal ¹⁸¹	Exakt	Intervall
	Erlös($y_{k,1}$)	Zufriedenheit ($y_{k,2}$)	Kosten ($x_{k,1}$)	Beurteilung ($x_{k,2}$)
Produktion 1	2000	4	100	[0.6, 0.7]
Produktion 2	1000	2	150	[0.8, 0.9]
Produktion 3	1200	5	150	1
Produktion 4	900	1	200	[0.7, 0.8]
Produktion 5	600	3	200	1

Quelle: In Anlehnung an Chen/Zhu (2007): S. 44.

Zur Umwandlung der ordinalen Daten in genaue Daten werden die Produktionen 3, 4 und 5 betrachtet. Produktion 4 hat den niedrigsten Wert, daher wird der Zufriedenheitswert für alle Produktionen auf „1“ gesetzt. Da Produktion 3 den höchsten Zufriedenheitswert aufweist, wird dieser auf „1“ gesetzt und für alle andere Produktionen auf „0“. Produktion 5 weist einen mittleren Zufriedenheitswert auf, weshalb die Produktionen 2 und 4 auf „0“ und die Produktionen 1,3 und 5 auf „1“ gesetzt werden. Aus dieser Umwandlung ergibt sich dann Tabelle 3.5.¹⁸²

¹⁷⁹ Vgl. Chen/Zhu (2007): S. 43

¹⁸⁰ Vgl. ebd.: S. 43

¹⁸¹ Ordinalskalierung: 1 = schlecht; 5 = gut

¹⁸² Vgl. Chen/Zhu (2007): S. 45 f.

Tab. 3.5: Umwandlung ordinaler Daten in exakte Daten

	Produktion unter Beurteilung				
Zufriedenheit	Produktion 1	Produktion 2	Produktion 3	Produktion 4	Produktion 5
$(y_{1,2})$	1	1	0	1	1
$(y_{2,2})$	0	1	0	1	0
$(y_{3,2})$	1	1	1	1	1
$(y_{4,2})$	0	0	0	1	0
$(y_{5,2})$	0	1	0	1	1

Quelle: In Anlehnung an Chen/Zhu (2007): S. 46.

Auf Grundlage dieser Umwandlung ist es möglich lineare DEA-Modelle zur Effizienzberechnung einzusetzen. Demnach kann nun mittels des MIDEA-Modell und den, transformierten, exakten Daten die Effizienz verschiedener Produktionen unter Beachtung der Kundenzufriedenheit ermittelt werden.¹⁸³

¹⁸³ Vgl. Chen/Zhu (2007): S. 46

4 Dynamisierung der DEA

Unabhängig von ihrer Eignung zum Einsatz im Bereich der wissensintensiven Dienstleistungen ist allerdings zu konstatieren, dass die vorgestellten DEA-Modelle immer nur eine Periode betrachten und periodenübergreifende Effekte nicht beachten bzw. einbeziehen können. Bei der Betrachtung des Konzeptes von GRÖNROOS und OJASALO (vgl. Abb. 2.7) wird jedoch deutlich, dass bestimmte Inputs/Outputs erst während bzw. nach der Bereitstellung der Dienstleistung auftreten und/oder ihre Effekte erst in Folgeperioden ersichtlich werden. Da der Kunde in den Erstellungsprozess der Dienstleistung mit integriert wird, ist sein Einsatz ein Unsicherheitsfaktor bei der Produktivitätsbestimmung. Die Effizienz, mit der der Kunde seine Aufgaben erledigt, ist in der Vorbetrachtung sehr schwer bis gar nicht zu ermitteln, sondern kann erst nach Beendigung seiner Tätigkeit erfasst werden. Je nach Standardisierungsgrad der Tätigkeit können so zwar im Laufe der Zeit Daten gesammelt werden, um Voraussagen für zukünftige Erstellungsprozesse zu treffen, aber je individueller der Erstellungsprozess abläuft, umso unpräziser werden diese Daten. Einen weiteren Unsicherheitsfaktor stellt die vom Kunden wahrgenommene Qualität der Dienstleistung bzw. die Kundenzufriedenheit im Allgemeinen dar. Deren Erhebung kann zum größten Teil zwangsläufig erst nach „Auslieferung“ der Dienstleistung ermittelt werden (auch wenn es möglich ist, Befragungen schon während des Dienstleistungserstellungsprozesses durchzuführen, so kann doch erst nach Abschluss aller Arbeiten eine endgültige Bewertung erfolgen). Vor allem die Kundenzufriedenheit kann Effekte über mehrere Perioden hinweg haben, da durch positive Erfahrungen zum einen der Kunde an sich an das Unternehmen gebunden werden kann und zum anderen Neukunden geworben werden können. Für eine periodenübergreifende, dynamische Produktivitätsbetrachtung bzw. Produktivitätsbestimmung sind demnach zusätzliche Analysemethoden und auch dynamische DEA-Modelle notwendig. Als zusätzliche Analysemethoden soll hierbei die (1) „Window Analysis“ vorgestellt werden und (2) ein Ansatz von TONE und TSUTSUI im Bereich der dynamischen DEA-Modelle.

4.1 Window Analysis

Die Window Analysis dient dem Vergleich der Effizienzwerte einer Produktion über mehrere Perioden hinweg. Die beobachtete Produktion wird dabei in jeder Periode als eine abweichende Produktion behandelt und ihre Effizienz neu berechnet. Hierdurch bietet sich die Möglichkeit, die Effizienz der Produktion über einen definierten Zeitraum zu betrachten und mit einer vordefinierten Anzahl an Perioden zu vergleichen. Durch diese Analyse ist es dann möglich, Effizienzunterschiede aufzudecken und ent-

sprechende Ursachen zu analysieren. Weiterhin kann auch überprüft werden, ob durch Maßnahmen vergangener Perioden eine Effizienzveränderung stattgefunden hat.¹⁸⁴

Um die Window Analysis durchzuführen, werden im Vorfeld der Analyse ein Zeitfenster w sowie die Anzahl der Perioden p ausgewählt, in welcher die Produktionen analysiert werden sollen. Abhängig von der Anzahl der Produktionen $k = 1, \dots, N$, die verglichen werden sollen, ergeben sich $k \cdot w$ zu analysierende Produktionen pro Zeitfenster. Die Ergebnisse der jeweiligen Effizienzberechnung werden hierbei in Tabellenform festgehalten (siehe Tab. 4.1). Für ein vollständiges Ergebnis müssen über den gesamten Zeitraum $p - w + 1$ Analysen durchgeführt werden.¹⁸⁵

Tab. 4.1: Window Analysis

Produktion	Monat 1	Monat 2	Monat 3	Monat 4	Monat 5
Produktion 1	97,89	97,31	98,14		
		97,36	97,53	97,04	
			96,21	95,92	95,79
Produktion 2	100,00	100,00	100,00		
		100,00	100,00	100,00	
			98,97	99,05	100,00
Produktion 3	100,00	100,00	100,00		
		100,00	100,00	100,00	
			100,00	100,00	100,00

Quelle: In Anlehnung an Cooper et.al. (2011): S. 25.

Bei der Betrachtung von Tabelle 4.1 ist ersichtlich, dass das Zeitfenster 3 Monate bei einem Periodenzeitraum von insgesamt 5 Monaten beträgt, wodurch schlussendlich 3 Analysen notwendig sind. Da es sich um 3 verschiedene Produktionen handelt, müssen hierbei pro Analyse 9 verschiedene Produktionen betrachtet.

Der gewählte Tabellenaufbau erleichtert dabei das Erkennen der Effizienzentwicklung. Durch die zeilenweise Betrachtung ist es möglich, die Effizienzentwicklung einer einzelnen Produktion über den betrachteten Zeitraum zu analysieren. Hierbei ist z.B. erkennbar, dass sich die Effizienz von Produktion 2 in Monat 5 im relativen Vergleich zu den Vormonaten im gleichen Zeitfenster verbessert hat. Hingegen ist durch eine spaltenweise Betrachtung ein Vergleich der verschiedenen Produktionen miteinander möglich und das Überlappen der Zeitfenster gestattet eine Sensitivitätsanalyse.¹⁸⁶ Ähnliche Produktionen können so miteinander verglichen und Effizienzunterschiede aufgezeigt werden.

¹⁸⁴ Vgl. Cooper et.al. (2011): S.23 f.

¹⁸⁵ Vgl. Cooper et.al. (2011): S.23 ff.

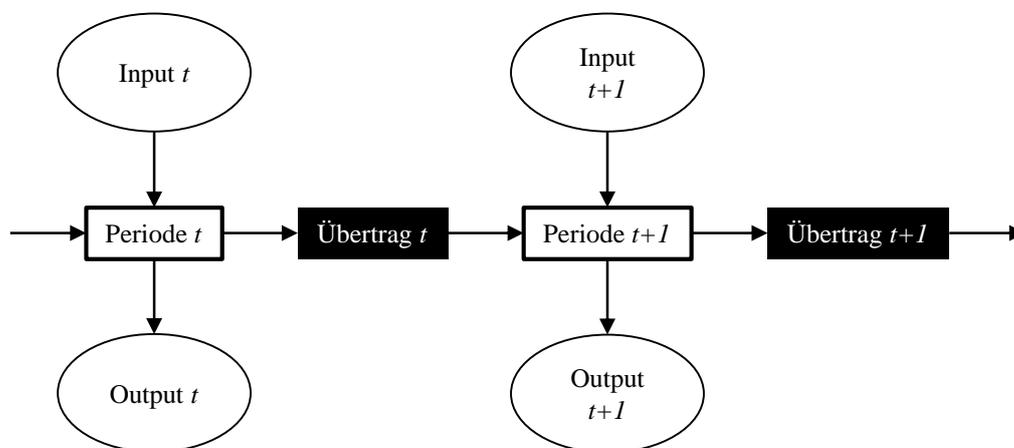
¹⁸⁶ Vgl. Cooper et.al. (2011): S.24 sowie Wilken (2007): S.4

4.2 Das DSBM-Modell

Methoden wie die Window Analysis oder der Malmquist-Index dienen zwar zur periodenübergreifenden Effizienzmessung, allerdings betrachten diese die jeweiligen Perioden unabhängig voneinander und zielen nur auf lokale Periodenoptima ab. Im Gegensatz dazu bezieht das Dynamic Slacks-based Measure-Modell (DSBM) von TONE und TSUTSUI, welches auf dem dynamischen DEA-Modell von FÄRE und GROSSKOPF aufbaut, auch periodenübergreifende Effekte mit in die Betrachtung ein.¹⁸⁷

Das DSBM-Modell ist ein nicht-radiales Modell, wodurch Inputs und Outputs unabhängig voneinander geändert werden können, und ermöglicht die Gewichtung von Inputs/Outputs abhängig von ihrer Wichtigkeit. Die Überträge zwischen den Perioden werden in vier verschiedene Arten, erwünscht (gut), unerwünscht (schlecht), diskretionär (frei) und nicht-diskretionär (fest), unterteilt, welche die tatsächlichen Eigenschaften der periodenübergreifenden Aktivitäten reflektieren.¹⁸⁸

Im Gegensatz zu den in Kapitel 3.3 vorgestellten DEA-Modellen betrachtet das DSBM-Modell nicht nur eine Periode, sondern auch Überträge zwischen zwei zusammenhängenden Perioden (siehe Abb. 4.1).



Quelle: In Anlehnung an Tone/Tsutsui (2009):S. 146.

Abb. 4.1: Dynamische DEA-Struktur

Die periodenübergreifenden Aktivitäten, auch als Verbindungen bezeichnet, werden dabei in vier verschiedenen Kategorien unterteilt:

- 1) Erwünschte (gute) Verbindungen: Diese Verbindungen bilden die erwünschten Überträge (z.B. Gewinnrücklagen) ab. Erwünschte Verbindungen werden im DSBM-Modell als Output behandelt und ihr Verbindungswert darf nicht gerin-

¹⁸⁷ Vgl. Tone/Tsutsui (2009): S.145

¹⁸⁸ Vgl. Tone/Tsutsui (2009): S.145

ger sein als der beobachtete Wert. Ein Mangel an vergleichbaren Verbindungen in dieser Kategorie wird dabei als Ineffizienz betrachtet.

- 2) Unerwünschte (schlechte) Verbindungen: Diese Verbindungen gehören zu den unerwünschten Überträgen (z.B. Altlasten) und werden als Input behandelt. In diesem Fall darf der Verbindungswert nicht größer sein als der beobachtete Wert. In dieser Kategorie wird ein Übermaß an vergleichbaren Verbindungen als Ineffizienz betrachtet.
- 3) Diskretionäre (freie) Verbindungen: Überträge, die die DMU frei handhaben kann, werden über diskretionäre Verbindungen dargestellt. Der Wert dieser Verbindung muss hierbei nicht mit dem beobachteten Wert übereinstimmen, sondern kann höher oder niedriger sein. Die Abweichung vom tatsächlichen Wert hat dabei nur einen indirekten Einfluss auf den Effizienzwert.
- 4) Nicht-diskretionär (feste) Verbindungen: Feste Überträge können von der DMU nicht kontrolliert werden und der Wert dieser Verbindungen ist gleich dem beobachteten Wert. Ihr Einfluss auf den Effizienzwert ist ebenfalls nur indirekt.¹⁸⁹

Für die Berechnung der Effizienz der Produktionen $k = 1, \dots, N$ über die Perioden $t = 1, \dots, T$ nutzt das DSBM-Modell den Input $x_{k,i,t}$ ($i = 1, \dots, m$) und den nicht-diskretionären (festen) Input $x_{k,i,t}^{fix}$ ($i = 1, \dots, p$) sowie den Output $y_{k,j,t}$ ($j = 1, \dots, n$) und den nicht-diskretionären (festen) Output $y_{k,j,t}^{fix}$ ($j = 1, \dots, r$). Die verschiedenen Verbindungskategorien werden über die Variablen $z_{k,l,t}^{good}$ ($l = 1, \dots, ngood$), $z_{k,l,t}^{bad}$ ($l = 1, \dots, nbad$), $z_{k,l,t}^{free}$ ($l = 1, \dots, nfree$) und $z_{k,l,t}^{fix}$ ($l = 1, \dots, nfix$) definiert. Hierbei geben $ngood$, $nbad$, $nfree$ und $nfix$ die Anzahl an Verbindungen zwischen den Perioden an. Die Produktionsmöglichkeiten für $\{x_{i,t}\}$, $\{x_{i,t}^{fix}\}$, $\{y_{j,t}\}$, $\{y_{j,t}^{fix}\}$, $\{z_{l,t}^{good}\}$, $\{z_{l,t}^{bad}\}$, $\{z_{l,t}^{free}\}$, $\{z_{l,t}^{fix}\}$ werden wie folgt definiert:¹⁹⁰

$$\begin{aligned}
 x_{i,t} &\geq \sum_{k=1}^N x_{k,i,t} \cdot \lambda_k^t \quad (i = 1, \dots, m; t = 1, \dots, T) \\
 x_{i,t}^{fix} &= \sum_{k=1}^N x_{k,i,t}^{fix} \cdot \lambda_k^t \quad (i = 1, \dots, p; t = 1, \dots, T) \\
 y_{j,t} &\leq \sum_{k=1}^N y_{k,j,t} \cdot \lambda_k^t \quad (j = 1, \dots, n; t = 1, \dots, T)
 \end{aligned} \tag{35}$$

¹⁸⁹ Vgl. Tone/Tsutsui (2009): S.146

¹⁹⁰ Vgl. Tone/Tsutsui (2009): S.146 f.

$$\begin{aligned}
y_{j,t}^{fix} &= \sum_{k=1}^N y_{k,j,t}^{fix} \cdot \lambda_k^t \quad (j = 1, \dots, r; t = 1, \dots, T) \\
z_{l,t}^{good} &\leq \sum_{k=1}^N z_{k,l,t}^{good} \cdot \lambda_k^t \quad (l = 1, \dots, ngood; t = 1, \dots, T) \\
z_{l,t}^{bad} &\geq \sum_{k=1}^N z_{k,l,t}^{bad} \cdot \lambda_k^t + s_{l,t}^{bad} \quad (l = 1, \dots, nbad; t = 1, \dots, T) \\
z_{l,t}^{free} &: free \quad (l = 1, \dots, nfree; t = 1, \dots, T) \\
z_{l,t}^{fix} &= \sum_{k=1}^N z_{k,l,t}^{fix} \cdot \lambda_k^t \quad (l = 1, \dots, nfix; t = 1, \dots, T) \\
\lambda_k^t &\geq 0 \quad (k = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T) \\
\sum_{k=1}^N \lambda_k^t &= 1 \quad (t = 1, \dots, T)
\end{aligned}$$

Die Kontinuität der Verbindungen zwischen den Perioden t und $t+1$ wird durch die folgende Bedingung gewährleistet:

$$\sum_{k=1}^N z_{k,l,t}^{\alpha} \cdot \lambda_k^t = \sum_{k=1}^N z_{k,l,t}^{\alpha} \cdot \lambda_k^{t+1} \quad (\forall l, t = 1, \dots, T-1) \quad (36)$$

Die Variable α steht in dem Fall für die jeweilige Verbindungskategorie. Diese Bedingung ist insofern kritisch für das dynamische Modell, als das Sie die Aktivitäten von Periode t und Periode $t+1$ miteinander verbindet.¹⁹¹

Ausgehend von den obigen Definitionen kann die Produktion $k = o$ wie folgt beschrieben werden:

$$\begin{aligned}
x_{o,i,t} &= \sum_{k=1}^N x_{k,i,t} \cdot \lambda_k^t + s_{i,t}^- \quad (i = 1, \dots, m; t = 1, \dots, T) \\
x_{o,i,t}^{fix} &= \sum_{k=1}^N x_{k,i,t}^{fix} \cdot \lambda_k^t \quad (i = 1, \dots, p; t = 1, \dots, T) \\
y_{o,j,t} &= \sum_{k=1}^N y_{k,j,t} \cdot \lambda_k^t - s_{j,t}^+ \quad (j = 1, \dots, n; t = 1, \dots, T)
\end{aligned} \quad (37)$$

¹⁹¹ Vgl. Tone/Tsutsui (2009): S.146

$$\begin{aligned}
y_{o,j,t}^{fix} &= \sum_{k=1}^N y_{k,j,t}^{fix} \cdot \lambda_k^t \quad (j = 1, \dots, r; t = 1, \dots, T) \\
z_{o,l,t}^{good} &= \sum_{k=1}^N z_{k,l,t}^{good} \cdot \lambda_k^t - s_{l,t}^{good} \quad (l = 1, \dots, ngood; t = 1, \dots, T) \\
z_{o,l,t}^{bad} &= \sum_{k=1}^N z_{k,l,t}^{bad} \cdot \lambda_k^t + s_{l,t}^{bad} \quad (l = 1, \dots, nbad; t = 1, \dots, T) \\
z_{o,l,t}^{free} &= \sum_{k=1}^N z_{k,l,t}^{free} \cdot \lambda_k^t + s_{l,t}^{free} \quad (l = 1, \dots, nfree; t = 1, \dots, T) \\
z_{o,l,t}^{fix} &= \sum_{k=1}^N z_{k,l,t}^{fix} \cdot \lambda_k^t \quad (l = 1, \dots, nfix; t = 1, \dots, T) \\
\sum_{k=1}^N \lambda_k^t &= 1 \quad (t = 1, \dots, T)
\end{aligned}$$

$$\lambda_k^t \geq 0, s_{i,t}^- \geq 0, s_{j,t}^+ \geq 0, s_{l,t}^{good} \geq 0, s_{l,t}^{bad} \geq 0, s_{l,t}^{free} : free \quad (\forall i, j, l, t)$$

Hierbei sind $s_{i,t}^-$, $s_{i,t}^+$, $s_{i,t}^{good}$, $s_{i,t}^{bad}$ und $s_{i,t}^{free}$ die Schlupfvariablen für Inputüberschuss, Outputmangel, Verbindungsmangel, Verbindungsüberschuss und Verbindungsabweichung.¹⁹²

Für die Effizienzberechnung im inputorientierten Fall¹⁹³ werden im DSBM-Modell die relativen Schlupfe der Inputs und der unerwünschten Verbindungen maximiert. Aufbauend auf (36) und (37) stellt sich das inputorientierte DSBM-Modell dann wie folgt dar:¹⁹⁴

$$\theta_o^* = \min \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T w^t \left[1 - \frac{1}{m + nbad} \left(\sum_{i=1}^m \frac{w_i^- \cdot s_{i,t}^-}{x_{o,i,t}} + \sum_{l=1}^{nbad} \frac{s_{l,t}^{bad}}{z_{o,l,t}^{bad}} \right) \right] \quad (38)$$

Die Variablen w^t und w_i^- sind hierbei die Gewichtungen der Periode t und des Inputs i die entsprechend ihrer Bedeutung exogen zugeführt werden und dabei die folgenden Bedingungen erfüllen:

$$\sum_{t=1}^T w^t = T \quad (39)$$

¹⁹² Vgl. Tone/Tsutsui (2009): S.147

¹⁹³ Für die Berechnungen im outputorientierten und nicht-orientierten Fall siehe: Tone/Tsutsui (2009)

¹⁹⁴ Vgl. Tone/Tsutsui (2009): S.147

$$\sum_{i=1}^m w_i^- = m$$

Wenn alle Gewichtungen gleich sind, dann können $w^t = 1$ ($\forall t$) und $w_i^- = 1$ ($\forall i$) gesetzt werden.¹⁹⁵

Im obigen Modell (38) werden die unerwünschten Verbindungen wie Inputs behandelt, da Sie ähnliche Eigenschaften, d.h. ein geringerer Wert wird bevorzugt, haben. Dennoch sind diese Verbindungen keine Inputs, sondern Sie dienen zum Verknüpfen zweier aufeinanderfolgender Perioden (siehe Bedingung (36)). Der Term zwischen den eckigen Klammern in (38) gibt die Effizienz der jeweiligen Periode t in Abhängigkeit vom Schlupf des Inputs und der Verbindungen an. Wenn alle Schlupfvariablen den Wert 0 annehmen, dann ist die Effizienz der Periode 1.¹⁹⁶

Unter der Annahme das $\{\lambda_o^{t*}\}, \{s_{o,t}^{-*}\}, \{s_{o,t}^{+*}\}, \{s_{o,t}^{good*}\}, \{s_{o,t}^{bad*}\}$ und $\{s_{o,t}^{free*}\}$ optimale Lösungen für (38) sind, kann die inputorientierte Periodeneffizienz $\theta_{o,t}^*$ wie folgt definiert werden:¹⁹⁷

$$\theta_{o,t}^* = 1 - \frac{1}{m + nbad} \cdot \left(\sum_{i=1}^m \frac{w_i^- \cdot s_{o,i,t}^{-*}}{x_{o,i,t}} + \sum_{l=1}^{nbad} \frac{s_{o,l,t}^{bad*}}{z_{o,l,t}^{bad}} \right) \quad (t = 1, \dots, T) \quad (40)$$

Die Gesamteffizienz über alle Perioden entspricht dann dem gewichteten Durchschnitt aller Periodeneffizienzen:¹⁹⁸

$$\theta_o^* = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T w^t \cdot \theta_{o,t}^* \quad (41)$$

Eine Produktion $k = 1, \dots, N$ ist demnach nur dann über alle Perioden $t = 1, \dots, T$ hinweg effizient, wenn die Effizienz jeder einzelnen Periode $\theta_{o,t}^* = 1$ beträgt und die Slacks $s_{o,i,t}^{-*} = 0$ und $s_{o,i,t}^{bad*} = 0$ sind.¹⁹⁹

Um nun aufzuzeigen, inwiefern das DSBM-Modell Einfluss auf den Effizienzwert einer Produktion hat, haben TONE und TSUTSUI einen Beispieldatensatz generiert. Dieser besteht aus 8 Produktion (A-H) mit je einem Input, einem Output und einem Übertrag für einen Zeitraum von 4 Perioden (T1-T4)(siehe Tab. 4.2). Die Inputs steigen hierbei pro Periode stetig an. Die Outputs hingegen wurden in vier Gruppen unterteilt, d.h. Produk-

¹⁹⁵ Vgl. Tone/Tsutsui (2009): S.147

¹⁹⁶ Vgl. Tone/Tsutsui (2009): S.147 f.

¹⁹⁷ Vgl. Tone/Tsutsui (2009): S.148

¹⁹⁸ Vgl. Tone/Tsutsui (2009): S.148

¹⁹⁹ Vgl. Tone/Tsutsui (2009): S.148

tion A und B haben stabile, Produktion C und D steigende, Produktion E und F fallende und Produktion G und H schwankende Outputs. Die Verbindungen zwischen den Perioden bestehen aus zwei Gruppen, sodass Produktion A,C,F und H stetige und Produktion B,D,E und G steigende Verbindungswerte besitzen.²⁰⁰

Tab. 4.2: Beispieldatensatz

Produktion	Input				Output				Verbindungen			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
A	10	11	12	13	50	50	50	50	10	10	10	10
B	30	33	36	39	150	150	150	150	20	25	30	35
C	20	22	24	26	50	100	150	180	30	30	30	30
D	30	33	36	39	100	120	150	180	15	20	25	30
E	30	33	36	39	150	135	120	105	20	25	30	35
F	10	11	12	13	100	90	40	35	10	10	10	10
G	30	33	36	39	100	180	95	200	20	30	40	50
H	20	22	24	26	100	40	150	100	10	10	10	10

Quelle: In Anlehnung an Tone/Tsutsui (2009): S. 151.

Die Effizienzberechnung dieses Beispieldatensatzes erfolgte dann zum einen mittels des inputorientierten DSBM-Modells unter Annahme konstanter Skalenerträge. (siehe Tab. 4.3)²⁰¹

Tab. 4.3: Dynamische Effizienzberechnung

Produktion	Gesamteffizienz	Periodeneffizienz			
		T1	T2	T3	T4
A	0,706	0,544	0,833	0,75	0,694
B	0,746	0,683	0,917	0,75	0,635
C	1	1	1	1	1
D	0,846	0,842	0,875	0,833	0,833
E	0,567	0,625	0,642	0,558	0,444
F	0,917	1	1	0,833	0,833
G	0,749	0,767	0,782	0,672	0,775
H	0,851	0,85	0,778	1	0,778

Quelle: In Anlehnung an Tone/Tsutsui (2009): S. 151.

Zum anderen wurde der Effizienzwert unter Annahme konstanter Skalenerträge für jede Periode separat berechnet, d.h. ohne Verbindung zwischen aufeinanderfolgenden Perioden (siehe Tab. 4.4). Die Verbindungen zwischen den Perioden wurden in diesem Fall als Input betrachtet und es wurde wieder die Annahme konstanter Skalenerträge getrof-

²⁰⁰ Vgl. Tone/Tsutsui (2009): S.150 f.

²⁰¹ Vgl. Tone/Tsutsui (2009): S.151

fen. In diesem Fall ist die Gesamteffizienz der Durchschnittswert der Effizienzen über alle vier Perioden hinweg.²⁰²

Tab. 4.4: Statische Effizienzberechnung

Produktion	Gesamteffizienz	Periodeneffizienz			
		T1	T2	T3	T4
A	0,563	0,5	0,556	0,5	0,694
B	0,593	0,625	0,611	0,5	0,635
C	0,584	0,208	0,463	0,667	1
D	0,606	0,5	0,556	0,533	0,833
E	0,505	0,625	0,55	0,4	0,444
F	0,722	1	1	0,4	0,486
G	0,519	0,417	0,667	0,29	0,704
H	0,771	0,75	0,333	1	1

Quelle: In Anlehnung an Tone/Tsutsui (2009): S. 151.

Bei der Betrachtung der beiden Tabellen und dem Vergleich der Effizienzen der verschiedenen Produktionen ist klar ersichtlich, dass die Effizienzwerte bei der dynamischen Berechnung signifikant höher sind als bei der isolierten Betrachtung. Weiterhin sind auch die Gesamteffizienzwerte der Produktionen robuster gegenüber Veränderungen der Eingangswerte. Beobachten lässt sich dies beispielsweise bei Produktion C (siehe Tab. 4.2, S.65). Diese Produktion weist steigende Inputs und Outputs auf, während der Wert des Periodenübertrags gleich bleibt. Die Gesamteffizienz im dynamischen Modell (siehe Tab. 4.3) ist hierbei fast doppelt so hoch wie im statischen Modell (siehe Tab. 4.4). Dies ist auch auf die konstanten Periodeneffizienzen im dynamischen Modell zurückzuführen. Da der Periodenübertrag schon bei der Berechnung der Effizienz der ersten Periode greift und hier die Diskrepanz zwischen den Effizienzwerten am größten ist, ist klar ersichtlich, dass die Berücksichtigung von periodenübergreifenden Effekten einen großen Einfluss hat.

²⁰² Vgl. Tone/Tsutsui (2009): S.151

5 Konzeptualisierung der dynamischen Produktivitätsbestimmung für wissensintensive Dienstleistungen

In den vorangegangenen Kapiteln wurde zum einen auf Dienstleistungen im Allgemeinen und wissensintensive Dienstleistungen im Speziellen sowie auf die Schwierigkeiten bei der Bestimmung ihrer Produktivität eingegangen. Zum anderen wurde verschiedene DEA-Modelle als Instrumente zur Effizienzmessung vorgestellt, welches entweder zur statischen oder zur dynamischen Effizienzanalyse eingesetzt werden können. In diesem Kapitel soll nun ein Konzept entwickelt werden, durch das es, mittels der vorgestellten DEA-Modelle, möglich ist, wissensintensive Dienstleistungsprojekte zu planen und zu optimieren. Der Fokus hierbei liegt einerseits auf Vergleichsmöglichkeiten zwischen verschiedenen Perioden eines wissensintensiven Dienstleistungsprojektes bzw. zwischen unterschiedlichen gleichartigen Dienstleistungsprojekten als auch auf der Möglichkeit einer dynamischen Effizienzmessung eines wissensintensiven Dienstleistungsprojektes über mehrere Perioden hinweg. Dadurch kann eine umfassende Analyse eines wissensintensiven Dienstleistungsprojektes erreicht werden. Dafür ist allerdings auch das kontinuierliche Erfassen der relevanten Kennzahlen, z.B. über Kennzahlensysteme, erforderlich, um die notwendigen Berechnungen zeitnah vornehmen zu können.

5.1 Planung wissensintensiver Dienstleistungen

Um wissensintensive Dienstleistungsprojekte planen zu können, wird einerseits ein geeignetes Instrument benötigt, andererseits müssen auch alle benötigten Daten vorhanden und aktuell sein. Das in Abschnitt 3.3.5 vorgestellte MIDEA-Modell ist als theoretische Grundlage für die Effizienzbestimmung in diesem Bereich geeignet, da es auch ordinal skalierte Daten berücksichtigt. In der vorgestellten Form nutzt es als Grundlage die Multiplier-Form des CCR-Modells (siehe 3.3.1). Aufgrund der Annahme konstanter Skalenerträge ist das CCR-Modell für den Einsatz im Bereich der wissensintensiven Dienstleistungen allerdings ungeeignet. Das vorgestellte BCC-Modell (siehe 3.3.2) hingegen berücksichtigt variable Skalenerträge. Um nun das MIDEA-Modell für die Effizienzbestimmung wissensintensiver Dienstleistungen einsetzen zu können, ist es notwendig, anstelle der Multiplier-Form des CCR-Modells die Multiplier-Form des BCC-Modells als Berechnungsgrundlage zu nutzen. In Abschnitt 3.3.2 wurde zwar schon die Envelopment-Form des BCC-Modells vorgestellt, allerdings eignet sich diese nicht für den angestrebten Einsatzzweck. Dies liegt darin begründet, dass IDEA-Modelle auf Basis der Envelopment-Form, die sogenannten Envelopment IDEA-Modell (EIDEA), immer das schlechteste Effizienzscenario ermitteln, wohingegen MIDEA-Modelle im-

mer das erfolgsversprechendste Effizienzzenario darstellen.²⁰³ Folgend ist die Multiplier-Form des BCC-Modells dargestellt.²⁰⁴

$$\begin{aligned} \max_{\mu_o} \theta_o &= \sum_{j=1}^n \mu_{o,j} \cdot y_{o,j} - r_o & (42) \\ \text{u. d. NB: } \sum_{i=1}^m \varpi_{o,i} \cdot x_{o,i} &= 1 \\ \sum_{j=1}^n \mu_{o,k} \cdot y_{k,j} - r_o &\leq \sum_{i=1}^m \varpi_{o,i} \cdot x_{k,i} \quad \forall k = 1, \dots, N \\ \mu_{o,j}, \varpi_{o,i} &\geq 0, \quad r_o \in \mathbb{R} \end{aligned}$$

Durch den Parameter r_o wird die zusätzliche Bedingung aus der Envelopment-Form des BCC-Modells (siehe Abschnitt 3.3.2) in der Multiplier-Form berücksichtigt. Bei einem Wert von $r_o < 0$ (bzw. $r_o > 0$) liegen steigende (bzw. fallende) Skalenerträge vor und bei $r_o = 0$ produziert die Produktion schon auf optimalem Niveau.²⁰⁵

Diese Multiplier-Form muss nun dahingehend erweitert werden, dass es mit ihr möglich ist ordinale Daten bei der Effizienzmessung zu berücksichtigen. Hierzu ist es notwendig die Bedingungen $(x_{k,i}) \in \Omega_i^-$ und $(y_{k,j}) \in \Omega_j^+$ zu integrieren, da diese die unpräzisen Daten repräsentieren (vgl. Abschnitt 3.3.5). Das daraus resultierende MIDEA-Modell auf Basis der Multiplier-Form des BCC-Modells nimmt dann diese Form an:

²⁰³ Vgl. Chen/Zhu (2007): S.35

²⁰⁴ Vgl. Wilken (2007): S.44

²⁰⁵ Vgl. Wilken (2007): S.43

$$\begin{aligned}
\max_{\mu_o} \theta_o &= \sum_{j=1}^n \mu_{o,j} \cdot y_{o,j} - r_o & (43) \\
u. d. NB: & \sum_{i=1}^m \varpi_{o,i} \cdot x_{o,i} = 1 \\
& \sum_{j=1}^n \mu_{o,k} \cdot y_{k,j} - r_o \leq \sum_{i=1}^m \varpi_{o,i} \cdot x_{k,i} \quad \forall k = 1, \dots, N \\
& (x_{k,i}) \in \Omega_i^- \\
& (y_{k,j}) \in \Omega_j^+ \\
& \mu_{o,j}, \varpi_{o,i} \geq 0, \quad r_o \in \mathbb{R}
\end{aligned}$$

Neben der Notwendigkeit die unpräzisen Daten in die Multiplier-Form des BCC-Modells zu integrieren, ist auch die Wahl der zu verwendenden Kennzahlen entscheidend für eine aussagekräftige Effizienzberechnung. Eine Orientierungshilfe für die Kennzahlenauswahl bietet dabei das Konzept von GRÖNROOS und OJASALO (siehe Abschnitt 2.5). Dieses bietet für die verschiedenen Bereiche der Dienstleistungserstellung Vorschläge, welche Kennzahlen dort erfasst werden können und zeigt auch, dass die Kundenzufriedenheit ein valider Output zur Messung der Dienstleistungsproduktivität sein kann. Neben den dort aufgezeigten Vorschlägen für Messgrößen ist es dennoch wichtig, dass die Kennzahlenerhebung individuell für jeden Produzenten angepasst wird. Dies ist aufgrund des geringen Standardisierungsgrades wissensintensiver Dienstleistungsproduktionen und des hohen Interaktions- und Integrationsgrades mit dem Kunden notwendig (vgl. Abschnitt 2.2). Des Weiteren müssen die verschiedenen Kennzahlen in einem integrierten System zentral gesammelt werden. Die Nutzung eines integrierten Systems dient einerseits der Fehlervermeidung bei der Datenerfassung, welche beim mehrmaligen Übertragen von verschiedenen Zielsystemen in das Kennzahlensystem auftreten können. Andererseits liegt der Vorteil eines integrierten Systems gegenüber Insellösungen darin das von jedem Standort aus auf die benötigten Kennzahlen zugegriffen werden kann. Um die Kennzahlen zentral zu sammeln und gleichzeitig auch mit den gewünschten Zielwerten vergleichen zu können, bieten sich Kennzahlensysteme, wie z.B. die Balanced Scorecard, an.

Durch das zentrale Sammeln der verschiedenen Periodeneffizienzen der einzelnen wissensintensiven Dienstleistungsproduktionen ergibt sich die Möglichkeit zu jedem beliebigen Zeitpunkt mittels der Window Analysis (siehe Abschnitt 4.1) einen Effizienzvergleich durchzuführen.

Auf Basis des modifizierten MIDEA-Modells ist es nun im Vorfeld der Dienstleistungserstellung möglich eine Effizienzbetrachtung durchzuführen, um die Dienstleistungsproduktion optimal zu planen. Weiterhin besteht durch das Kennzahlensystem die Möglichkeit auf vergangene Daten ähnlicher Dienstleistungsprojekte zurückgreifen, um auf Basis dieser Erfahrungswerte eine möglichst genaue Abschätzung und Planung zu gewährleisten. Mit Hilfe der Window Analysis kann dann im Verlauf der Dienstleistungserstellung bzw. im Anschluss daran ein Effizienzvergleich der Perioden durchgeführt werden, um Verbesserungspotentiale zu ermitteln. Hierbei werden jedoch keine periodenübergreifenden Effekte berücksichtigt. Da durch das verwendete Modell nur isolierte Periodenoptima berechnet werden, ist die daraus resultierende Gesamteffizienz des Dienstleistungserstellungsprozesses nur bedingt aussagekräftig (siehe Abschnitt 3.3.5).

5.2 Optimierung wissensintensiver Dienstleistungen

Für eine aussagekräftige Gesamteffizienzbetrachtung unter Berücksichtigung periodenübergreifender Effekte ist dann der Einsatz des DSBM-Modells erforderlich. Dieses bietet neben der Beachtung periodenübergreifender Effekte und der inputorientierten Effizienzbetrachtung (siehe Abschnitt 4.1) auch die Möglichkeit die Effizienz outputorientiert oder unorientiert zu berechnen. Weiterhin ist es möglich, die verschiedenen Inputs bzw. Perioden zu gewichten, um somit ihrer Einfluss auf die Perioden-/Gesamteffizienz zu erhöhen oder zu verringern.²⁰⁶ Hierbei ist allerdings wieder zu beachten, dass das vorgestellte Modell ohne Modifikation nicht für den Einsatz im Bereich wissensintensiver Dienstleistungen geeignet ist. Dies liegt auch in diesem Fall wieder darin begründet, dass unpräzise Daten bei der Berechnung nicht berücksichtigt werden. Demnach muss auch dieses Modell um die Bedingungen $(x_{k,i}) \in \Omega_i^-$ und $(y_{k,j}) \in \Omega_j^+$ erweitert werden (siehe Abschnitt 3.3.5).

Für den in Abschnitt 4.1 vorgestellten Beispieldatensatz wurde die Effizienzberechnung unter der Annahme konstanter Skalenerträge vorgenommen. Hierfür wurde die Bedingung $\sum_{k=1}^N \lambda_k^t = 1$ eliminiert.²⁰⁷ Für den Einsatz im Bereich der wissensintensiven Dienstleistungsproduktionen ist das Vorhandensein dieser Bedingung allerdings zwingend notwendig, um die Berechnung unter Annahme variabler Skalenerträge vornehmen zu können.

Die Vorbedingungen für den Einsatz des DSBM-Modells zur Effizienzberechnung wissensintensiver Dienstleistungen nehmen dann die folgende Form an:

²⁰⁶ Vgl. Tone/Tsutsui (2009): S.147 ff.

²⁰⁷ Vgl. Tone/Tsutsui (2009): S.147

$$x_{o,i,t} = \sum_{k=1}^N x_{k,i,t} \cdot \lambda_k^t + s_{i,t}^- \quad (i = 1, \dots, m; t = 1, \dots, T) \quad (44)$$

$$x_{o,i,t}^{fix} = \sum_{k=1}^N x_{k,i,t}^{fix} \cdot \lambda_k^t \quad (i = 1, \dots, p; t = 1, \dots, T)$$

$$y_{o,j,t} = \sum_{k=1}^N y_{k,j,t} \cdot \lambda_k^t - s_{j,t}^+ \quad (j = 1, \dots, n; t = 1, \dots, T)$$

$$y_{o,j,t}^{fix} = \sum_{k=1}^N y_{k,j,t}^{fix} \cdot \lambda_k^t \quad (j = 1, \dots, r; t = 1, \dots, T)$$

$$z_{o,l,t}^{good} = \sum_{k=1}^N z_{k,l,t}^{good} \cdot \lambda_k^t - s_{l,t}^{good} \quad (l = 1, \dots, ngood; t = 1, \dots, T)$$

$$z_{o,l,t}^{bad} = \sum_{k=1}^N z_{k,l,t}^{bad} \cdot \lambda_k^t + s_{l,t}^{bad} \quad (l = 1, \dots, nbad; t = 1, \dots, T)$$

$$z_{o,l,t}^{free} = \sum_{k=1}^N z_{k,l,t}^{free} \cdot \lambda_k^t + s_{l,t}^{free} \quad (l = 1, \dots, nfree; t = 1, \dots, T)$$

$$z_{o,l,t}^{fix} = \sum_{k=1}^N z_{k,l,t}^{fix} \cdot \lambda_k^t \quad (l = 1, \dots, nfix; t = 1, \dots, T)$$

$$\sum_{k=1}^N \lambda_k^t = 1 \quad (t = 1, \dots, T)$$

$$(x_{k,i,t}) \in \Omega_i^-$$

$$(y_{k,j,t}) \in \Omega_j^+$$

$$\lambda_k^t \geq 0, s_{i,t}^- \geq 0, s_{j,t}^+ \geq 0, s_{l,t}^{good} \geq 0, s_{l,t}^{bad} \geq 0, s_{l,t}^{free} : free \quad (\forall i, j, l, t)$$

Unter diesen Voraussetzungen ist es nun möglich, das DSBM-Modell für die Effizienzberechnung wissensintensiver Dienstleistungen einzusetzen.

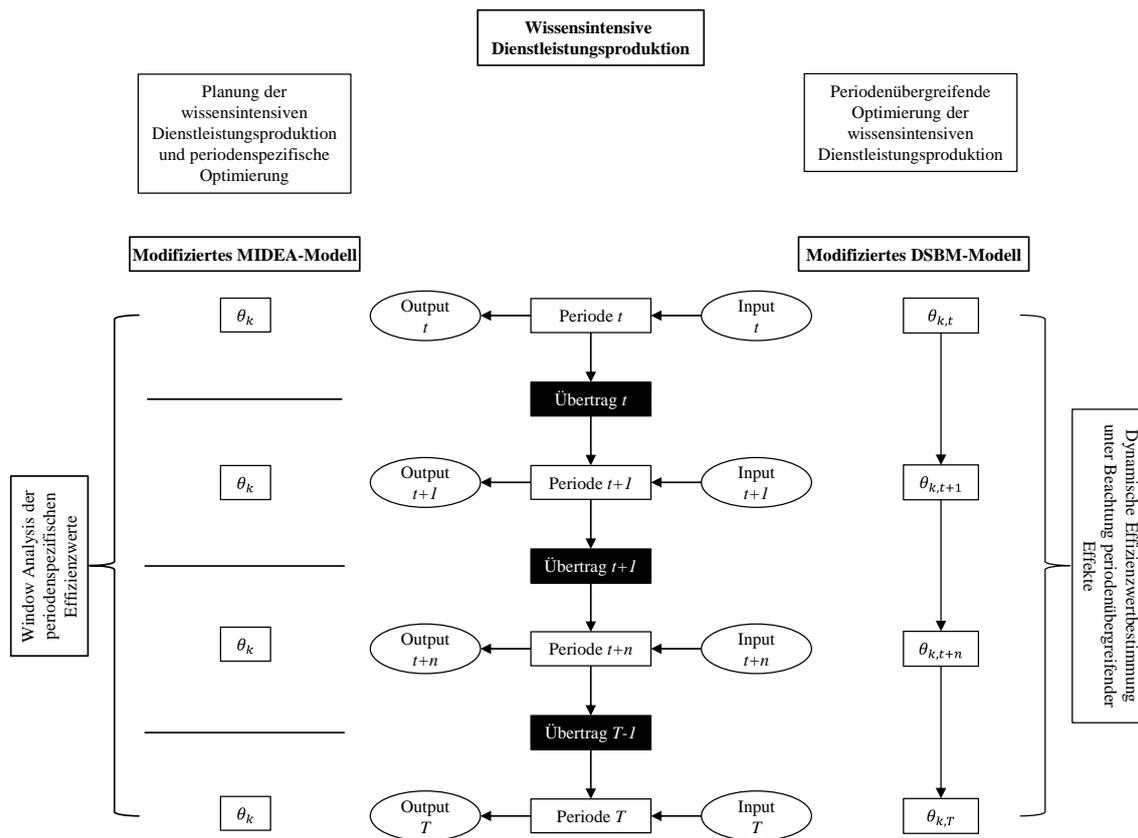
Neben der zentralen Sammlung der Kennzahlen (siehe 5.1) ist es weiterhin notwendig, diese auch zeitnah zu erfassen. Die zeitnahe Kennzahlenerhebung ist für die dynamische und durchgehende Effizienzbestimmung von wesentlicher Bedeutung. Nur dadurch kann gewährleistet werden, dass zu jedem Zeitpunkt der Dienstleistungsproduktion eine Effizienzbestimmung durchgeführt werden kann. Hierdurch ist der Produzent in der

Lage auf einen Effizienzabfall kurzfristig zu reagieren und Optimierungen im laufenden Betrieb vorzunehmen.

Durch die dynamische Effizienzberechnung und der damit einhergehenden Beachtung von Überträgen aus vorherigen Perioden erfolgt die Optimierung nicht mehr kurzfristig und periodenbezogen, sondern verfolgt ein langfristiges Ziel zur Optimierung des gesamten Produktionsprozesses. Dennoch ist es auch in diesem Fall möglich, mittels der Window Analysis die einzelnen Perioden einer bzw. ähnlicher Produktionen zu vergleichen, um auch hier Unterschiede aufzuzeigen oder auch den Einfluss der Überträge zu beobachten.

5.3 Ganzheitliches Konzept zur Planung und Optimierung

Auf Grundlage der in Abschnitt 5.1 und Abschnitt 5.2 erläuterten Instrumente bietet sich nun die Möglichkeit ein ganzheitliches Konzept zur Planung und Optimierung wissensintensiver Dienstleistungsprojekte zu erstellen. Dieses Konzept bietet einerseits die Möglichkeit die Produktion ex-ante zu planen und einzelne Perioden separat zu optimieren. Andererseits kann eine dynamische Effizienzbetrachtung durchgeführt werden, um periodenübergreifende Effekte zu berücksichtigen und notwendige Optimierungen im laufenden Betrieb durchzuführen. Nach Abschluss der Dienstleistungsproduktion können anhand der gesammelten Daten ex-post Analysen durchgeführt werden, wodurch Schwachstellen aufgezeigt und Verbesserungspotentiale ermittelt werden können. Durch Abbildung 5.1 wird dieses Modell visuell veranschaulicht und im Folgenden näher erläutert.



Um eine dynamische und durchgehende Effizienzbetrachtung zu gewährleisten, ist der alleinige Einsatz des modifizierten MIDEA-Modells allerdings nicht ausreichend. Aus diesem Grund kommt im vorgestellten Modell zusätzlich noch das DSBM-Modell in einer abgeänderten Form (siehe Abschnitt 5.2) zum Einsatz. Dieses ermöglicht eine periodenspezifische Betrachtung der Effizienz unter Berücksichtigung periodenübergreifender Effekte. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit einerseits Inputs individuell zu gewichten, um so deren Einfluss auf die Effizienzberechnung der betrachteten Periode zu erhöhen oder zu verringern. Hierdurch erfolgt auch eine indirekte Beeinflussung der Gesamteffizienz. Andererseits können auch die Perioden unterschiedlich gewichtet werden, wodurch direkt die Gesamteffizienz einer wissensintensiven Dienstleistungsproduktion beeinflusst wird (siehe Abschnitt 4.1). Der Produzent ist somit in der Lage, auf Basis eigener Maßstäbe die Wichtigkeit von Inputs und Perioden festzulegen. Die Effizienzwerte der unterschiedlichen Perioden können dann auch wieder mittels der Window Analysis miteinander verglichen werden. Um mit dem modifizierten DSBM-Modell eine durchgehende Effizienzbetrachtung durchführen zu können, muss allerdings gewährleistet sein, dass die benötigten Kennzahlen immer aktuell zur Verfügung stehen. Nur dadurch ist auch eine durchgehende Effizienzmessung möglich, durch die zeitnah auf Änderungen im Produktionsablauf reagiert werden kann.

Durch das zentrale Erfassen der Kennzahlen bieten sich allerdings auch im Nachgang der wissensintensiven Dienstleistungsproduktion weitere Vorteile für den Produzenten. Mit Hilfe der erfassten Daten und der vorgestellten DEA-Modelle können ex-post Analysen durchgeführt werden, um so allgemeine Schwachstellen bzw. Verbesserungspotentiale zu finden. Hierdurch können für nachfolgende wissensintensive Dienstleistungsproduktionen Erfahrungen gesammelt werden, um Fehler zu vermeiden und die Effizienz zu verbessern.

Bezugnehmend auf das Modell von GRÖNROOS und OJASALO (siehe Abschnitt 2.5), welches die Produktivität von Dienstleistungen in drei unterschiedliche Bereiche unterteilt, bietet sich durch die gesammelten Daten weiterhin die Möglichkeit diese Teilproduktivitäten mittels des MIDEA- oder des DSBM-Modells zu berechnen. Hierdurch ergibt sich eine detaillierte Effizienzbetrachtung der gesamten wissensintensiven Dienstleistungsproduktionen. Für den Produzenten ist dadurch eindeutiger ersichtlich, in welchen Bereichen Optimierungsbedarf herrscht und wo Schwächen behoben werden müssen.

Das vorgestellte Konzept bietet somit die Möglichkeit eine wissensintensive Dienstleistungsproduktion im Vorfeld zu planen, im gesamten Verlauf eine dynamische Effizienzmessung und eine inputorientierte, outputorientierte oder unorientierte Optimie-

zung vorzunehmen sowie nach ihrem Abschluss Analysen der einzelnen Teilbereiche durchzuführen. Außerdem können, neben der globalen Optimierung, einzelne Teilperioden isoliert betrachtet und optimiert und Vergleiche zwischen den Teilperioden durchgeführt werden. Dies kann zum einen ohne Beachtung periodenübergreifender Effekte und zum anderen mit Beachtung periodenübergreifender Effekte durchgeführt werden. Demnach ergibt sich eine variable Auswahl an Instrumenten, um eine wissensintensive Dienstleistungsproduktion unter Erreichung des gewünschten Effizienzwertes durchzuführen.

6 Fazit und Ausblick

In den vorangegangenen Kapiteln wurde aufgezeigt, welche Schwierigkeiten beim Erfassen der Produktivität von wissensintensiven Dienstleistungen auftreten können. Dies hängt einerseits damit zusammen, dass bisher weder eine einheitliche Definition für den Begriff „Dienstleistung“ noch ein allgemein verbindliches Produktivitätsverständnis für Dienstleistungen existiert. Andererseits können existierende Ansätze zur Produktivitätsmessung aufgrund der spezifischen Charakteristika von Dienstleistungen nicht ohne weiteres auf den Bereich der wissensintensiven Dienstleistungen übertragen werden. Mit theoretischen Ansätzen wie dem Konzept von GRÖNROOS und OJASALO existieren zwar schon Ideen zur Erfassung der Dienstleistungsproduktivität, allerdings führten diese noch nicht zu praxistauglichen Methoden und Instrumenten.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher die Data Envelopment Analysis als Instrument zur Effizienzmessung vorgestellt. Hierbei wurden sowohl statische als auch dynamische DEA-Modelle dargestellt und auf ihre Eignung zum Einsatz im Bereich der wissensintensiven Dienstleistungen geprüft. Das ROD-Modell erschien hierbei als ideal zur Planung wissensintensiver Dienstleistungen, da es wichtige Anforderungen zur Effizienzmessung in diesem Bereich aufnimmt und umsetzt. Dies zeigt sich insbesondere darin, dass es die Möglichkeit bietet sowohl ordinal als auch kardinal skalierte Daten in die Berechnung mit einzubeziehen. Hierdurch ist es möglich den wichtigen Outputfaktor „Kundenzufriedenheit“ bei der Effizienzmessung zu berücksichtigen. Allerdings zeigte sich im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse, dass das Einbeziehen der Kundenzufriedenheit nur einen geringen Einfluss auf die Produktivität hat. Daher ist dieses Modell für die angestrebte Konzeptionierung nicht hinreichend einsatzfähig gewesen. Aus diesem Grund wurde im Anschluss das MIDEA-Modell vorgestellt, welches die ordinalen Daten in kardinale Daten umwandelt. Um das MIDEA-Modell zur Planung wissensintensiver Dienstleistungen einzusetzen musste es allerdings um die Annahme variabler Skalenerträge erweitert werden. Weiterhin kann das MIDEA-Modell zur Optimierung der periodenspezifischen Effizienz genutzt werden und mittels der Window Analysis können die ermittelten Effizienzwerte miteinander verglichen werden. Zur Optimierung der Gesamteffizienz im vorliegenden Konzept wurde auf das DSBM-Modell zurückgegriffen. Dieses zeichnet sich dadurch aus, dass es periodenübergreifende Verbindungen berücksichtigt und Überträge aus Vorperioden mit in die Berechnung einbezieht. Allerdings musste auch dieses Modell modifiziert werden, damit auch ordinale Inputs bzw. Outputs bei der Effizienzberechnung Berücksichtigung finden.

Obschon im Rahmen dieser Arbeit ein ganzheitliches Konzept zur Planung und Optimierung wissensintensiver Dienstleistungen entwickelt und vorgestellt wurde, besteht noch weiterer Forschungsbedarf. So ist es in jedem Falle erforderlich, sowohl mit dem

modifizierten MIDEA-Modell als auch mit dem modifizierten DSBM-Modell eine Sensitivitätsanalyse durchzuführen. Dies ist notwendig, um abschließend zu klären, ob diese beiden Modelle die ordinalen Daten in dem Maße berücksichtigen, dass die Effizienzberechnung ohne/mit ihrer Inbezugnahme signifikante Unterschiede aufweist.

Weiterhin muss überprüft werden, inwiefern das vorgestellte Konzept in der Praxis eingesetzt werden kann. Hierzu ist eine softwaretechnische Umsetzung des gesamten Konzeptes notwendig. Diese Umsetzung muss dann auch so konzipiert sein, dass sie in bestehende Systeme integriert werden kann.

Literaturverzeichnis

- Allen, K. (2002): Messung ökologischer Effizienz mittels Data Envelopment Analysis. 1. Aufl. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl.
- Backhaus, K. ; Bröker, O. ; Wilken, R. (2011): Produktivitätsmessung von Dienstleistungen mit Hilfe von Varianten der DEA, Bd. 1. In: Bruhn, Manfred; Hadwich, Karsten (Hrsg.): Dienstleistungsproduktivität : Management, Prozessgestaltung, Kundenperspektive. Wiesbaden : Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden, 2011 (1), S. 226–245.
- Banker, R. D.; Cooper, W. W.; Seiford, L. M.; Zhu, Joe (2011): Returns to Scale in DEA. In: William W. Cooper, Lawrence M. Seiford, Joe Zhu (2011): Cooper, W. W.; Seiford, L. M.; Zhu, J. (2011): Handbook on data envelopment analysis. 2. Aufl. New York: Springer, S. 41–70.
- Bauer, H. H. ; Hammerschmidt, M. (2006): Grundmodelle der DEA. In: Bauer, Hans H.; Hammerschmidt, Maik; Staat, Matthias (Hrsg.): Marketingeffizienz: Messung und Steuerung mit der DEA : Konzept und Einsatz in der Praxis. München : Vahlen, 2006, S. 33–59.
- Baumgärtner, M.; Bienzeisler, B. (2006): Dienstleistungsproduktivität: Konzeptionelle Grundlagen am Beispiel interaktiver Dienstleistungen. Stuttgart.
- Brasse, C.; Uhlmann, M. (2004): Integration von Erfahrungswissen. In: Hermann, Sibylle (2004), S. 123–134.
- Bruhn, M. (2006): Gegenstand und Besonderheiten des Dienstleistungsmarketing. In: Wirtschaftspolitische Blätter, Jg. 53, H. 3, S. 331–342.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2011): Dienstleistungswirtschaft. <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Wirtschaft/dienstleistungswirtschaft.html> 20.08.2012.
- Burr, W.; Stephan, M. (2006): Dienstleistungsmanagement. Innovative Wertschöpfungskonzepte im Dienstleistungssektor. Stuttgart: Kohlhammer.
- Cantner, U., Hanusch, M. (1998) Effizienzanalyse mit Hilfe der Data Envelopment Analysis. Wirtschaftswissenschaftliches Studium 27, S. 228-237.
- Cantner, U.; Krüger, J.; Hanusch, H. (2007): Produktivitäts- und Effizienzanalyse. Der nichtparametrische Ansatz. Berlin, Springer-Verlag.
- Chandon, J.-L; Leo, P.-Y; Philippe, J. (1997): Service encounter dimensions - a dyadic perspective: Measuring the dimensions of service encounters as perceived by customers and personnel. In: International Journal of Service Industry Management 8 (1), S. 65–86.
- Charnes, A.; Cooper, W.W; Rhodes, E. (1978): Measuring the efficiency of decision making units. In: European Journal of Operational Research 2 (6), S. 429–444.
- Chen, Yao; Zhu, Joe (2007): Interval And Ordinal Data. In: Joe Zhu und Wade D. Cook (Hg.): Modeling Data Irregularities and Structural Complexities in Data Envelopment Analysis. Boston, MA: Springer US, S. 35–62.
- Coelli, T.; Prasada Rao, D.S. Battese G.E (2005): An Introduction to efficiency and productivity analysis. 2. Aufl. New York: Springer.

- Cook, W. D.; Zhu, J. (2006): Rank order data in DEA: A general framework. In: *European Journal of Operational Research* 174 (2), S. 1021–1038.
- Cooper, W. W.; Seiford, L. M.; Tone, K. (2007): *Data Envelopment Analysis. A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*. 2. Aufl. New York : Springer.
- Cooper, William W.; Seiford, Lawrence M.; Zhu, Joe (2011): *Data Envelopment Analysis: History, Models, and Interpretations*. In: Cooper, W. W.; Seiford, L. M.; Zhu, J. (2011): *Handbook on data envelopment analysis*. 2. Aufl. New York: Springer, S. 1–39.
- Corsten, H. (1990): *Betriebswirtschaftslehre der Dienstleistungsunternehmen*. 2. Aufl. München u.a..
- Corsten, H. (1990): *Betriebswirtschaftslehre der Dienstleistungsunternehmen*. Einführung. 2. Aufl. München: R. Oldenbourg.
- Debreu, G. (1951): The Coefficient of Resource Utilization. In: *Econometrica* 19 (3), S. 273–292.
- Domschke, W.; Drexl, A. (2011): *Einführung in Operations Research*. 8. Aufl. Berlin ;, Heidelberg [u.a.]: Springer. Online verfügbar unter http://www.pim.wiwi.uni-due.de/uploads/tx_itochairt3/publications/Siemens-Arbeitsbericht26.pdf.
- Dyckhoff, H. (2006): *Produktionstheorie. Grundzüge industrieller Produktionswirtschaft*. 5. Aufl. Berlin, Springer.
- Edvardsson, B.; Gustafsson, A.; Roos, I. (2005): Service portraits in service research: a critical review. In: *International Journal of Service Industry Management*, Jg. 16, H. 1, S. 107–121.
- Edvardsson, B.; Gustafsson, A.; Roos, I. (2005): Service portraits in service research: a critical review. In: *International Journal of Service Industry Management* 16 (1), S. 107–121.
- Farrell, M. J. (1957): The Measurement of Productive Efficiency. In: *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)* 120 (3), S. 253–290.
- Fitzsimmons, J. A.; Fitzsimmons, M. J. (op. 2008): *Service management. Operations, strategy, information technology*. 6. Aufl. Boston: Mc Graw Hill.
- Fitzsimmons, J. A.; Fitzsimmons, M. J. (2008): *Service management. Operations, strategy, information technology*. 6th ed. Boston.
- Förster, A. ; Wäscher, G. (2005): Benchmarking von Distributionslagern. In: Foschiani, Stefan; Habenicht, Walter; Wäscher, Gerhard (Hrsg.): *Strategisches Wert schöpfungsmanagement in dynamischer Umwelt : Festschrift für Erich Zahn*. Frankfurt am Main : Lang, 2005, S. 307–333.
- Gladen, W. (2003): *Kennzahlen- und Berichtssysteme. Grundlagen zum Performance Measurement*. 2. Aufl. Wiesbaden: Gabler.
- Grönroos, C.; Ojasalo, K. (2004): Service productivity: Towards a conceptualization of the transformation of inputs into economic results in services. In: *Journal of Business Research* 57 (4), S. 414–423.

- Gummesson, E. (1998): Productivity, quality and relationship marketing in service operations. In: *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, Jg. 10, H. 1, S. 4–15.
- Gutenberg, E. (1983): *Die Produktion*. Berlin, New York: Springer-Verlag.
- Gutenberg, E. (1984): *Der Absatz*. Berlin, New York: Springer-Verlag.
- Haas, F. (2004): *Effizienztreiber innovativer Prozesse. Anwendung der Data Envelopment Analysis am Beispiel der elektronischen C-Teile-Beschaffung*. 1. Aufl. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Hagenloch, T. (2008a): Effizienzbewertung mit der Data Envelopment Analysis (I). In: *WISU* (2008), Nr. 10, S. 1372–1382.
- Hagenloch, T. (2008b): Effizienzberechnung mit der Data Envelopment Analysis (II). In: *WISU* (2008), Nr. 11, S. 1519–1527.
- Hammerschmidt, M. (2006): *Effizienzanalyse im Marketing. Ein produktionstheoretisch fundierter Ansatz auf Basis von Frontier Functions*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Hansen, H. (2009): *Gründungserfolg wissensintensiver Dienstleister. Theoretische und empirische Überlegungen aus Sicht der Competence-based-Theory of the Firm*. Wiesbaden: Gabler.
- Johnston, R.; Jones, P. (2004): Service productivity: Towards understanding the relationship between operational and customer productivity. In: *International Journal of Productivity and Performance Management* 53 (3), S. 201–213.
- Jung, J. T. (2002): *Externes Controlling. Wettbewerb im öffentlichen Sektor mit Hilfe der Data Envelopment Analysis*. Hamburg: Kovač.
- Karmarkar, U. (2004): Will You Survive the Services Revolution? In: *Harvard Business Review*, Jg. 82, H. 6, S. 101–107.
- Kleine, A. (2002): *DEA-Effizienz. Entscheidungs- und produktionstheoretische Grundlagen der Data Envelopment Analysis*. 1. Aufl. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl.
- Köhne, T. ; Matz, S. (2010): *Effizienzuntersuchung deutscher Kompisitversicherer: Skaleneffizienz, Technische Effizienz und ihre Entwicklung im Zeitablauf*. Berlin : Berliner Schriften zur Versicherungswirtschaft Institut für Versicherungswirtschaft an der Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin, 2010 (Nr. 1).
- Koopmans, T. C. (1951): Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities. In: Koopmans, Tjalling C. (Hrsg.): *Activity analysis of production and allocation : Proceedings of a Conference*. New York; London : Wiley, 1951 (Cowles Comission for Research in Economics), S. 33–97.
- Lasshof, B. (2006): *Produktivität von Dienstleistungen. Mitwirkung und Einfluss des Kunden*. 1. Aufl. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl.
- Lovell, C.A.K. (1993): Production Frontiers and Productive Efficiency. In: Fried, Harold O. (Hrsg.): *The measurement of productive efficiency : Techniques and applications*. New York NY u.a : Oxford Univ. Press, 1993, S. 3–67.
- Maleri, R.; Fritzsche, U. (2008): *Grundlagen der Dienstleistungsproduktion*. 5., vollst. überarb. Aufl. Berlin.

- Meffert, H.; Bruhn, M. (2009): Dienstleistungsmarketing. Grundlagen - Konzepte - Methoden. 6. Aufl. Wiesbaden: Gabler.
- Rassenhövel, S. (2010): Performancemessung im Hochschulbereich. Theoretische Grundlagen und empirische Befunde. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler.
- Rossmly, M. (2007): Leistungsmessung stochastischer Dienstleistungsproduktionen. 1. Aufl. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Scheel, H. (2000): Effizienzmaße der Data-Envelopment-Analysis. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl.
- Schefczyk, M., Gerpott, T.J. (1995) Ein produktionswirtschaftlicher Benchmarking-Ansatz: Data Envelopment Analysis, Journal für Betriebswirtschaft 45, S. 335-346.
- Schmied, M. W. (2004): Von „Dienstleistung 2000plus“ zu „Wissensintensive Dienstleistungen“ – Die Entwicklung der Dienstleistungsinitiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). In: Borchert, Margret (2004.), S. 1–17.
- Siebert, G.; Kempf, S. (2008): Benchmarking. Leitfaden für die Praxis. 3. Aufl. München: Hanser, Carl.
- Siemens, F. (2005): Vorgehensmodell zur Auswahl einer Vairante der Data Envelopment Analysis. Arbeitsbericht Nr. 26. Essen, Universität Duisburg-Essen, Institut für Produktion und industrielles Informationsmanagement. Arbeitsbericht Nr. 26., 2005.
- Staats, S. (2009): Metriken zur Messung von Effizienz und Effektivität von Konfigurationsmanagement- und Qualitätsmanagementverfahren. 1. Aufl. Bremen : Europ. Hochsch.-Verl, 2009 (Wismarer Schriften zu Management und Recht 32).
- Statistisches Bundesamt Deutschland (2011):
<http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/> 20.08.2012.
- Steven, M. (1998): Produktionstheorie. Wiesbaden: Gabler.
- Tavares, G. (2002): A Bibliography of Data Envelopment Analysis : Rutcor Research Report RRR 01-02. Piscataway, New Jersey, Rutgers University, Rutgers Center for Operations Research. 2002.
http://rutcor.rutgers.edu/pub/rrr/reports2002/1_2002.pdf. 21.08.2012.
- Tether, B.; Hipp, C. (2000): Competition and Innovation amongst Knowledge Intensive and Other Service Firms: Evidence from Germany. In: Andersen, B. (2000), S. 49–67.
- Thanassoulis, E. (2003): Introduction to the theory and application of data envelopment analysis. A foundation text with integrated software. Norwell, Mass: Kluwer Academic.
- Tone, K.; Tsutsui, M. (2010): Dynamic DEA: A slacks-based measure approach. In: Omega 38 (3-4), S. 145–156.
- Wilken, R. (2007): Dynamisches Benchmarking. Ein Verfahren auf Basis der Data Envelopment Analysis. 1., Aufl. Wiesbaden : Dt. Univ.-Verl.
- Wöhe, G.; Döring, U. (2010): Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 24. Aufl. München: Vahlen.

- Yuan, B., Huang, J.N. (2002) Applying Data Envelopment Analysis to Evaluate the Efficiency of R&D Projects-A Case Study of R&D in Energy technology, in: Thore, S. A. ,Hrsg., Technology Commercialization: DEA an Related Analytical Methods für Evaluating the Use an Implementation of Technical Innovation, Kluwer, Boston u.a., S. 111-134
- Zeithaml, V. A.; Bitner, M. J.; Gremler, D. D. (2009): Services marketing. Integrating customer focus across the firm. 5. ed., internat. ed. Boston.
- Zhu, Joe; Cook, Wade D. (Hg.) (2007): Modeling Data Irregularities and Structural Complexities in Data Envelopment Analysis. Boston, MA: Springer US.

Abschließende Erklärung

Ich versichere hiermit, daß ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig, ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Magdeburg, den 21. August 2012