

Borsch, Erik

Book

Der Einsatz der Data Envelopment Analysis zur Effizienzmessung im Bereich Abfallwirtschaft: Ein systematischer Literaturüberblick

Ilmenauer Schriften zur Betriebswirtschaftslehre, No. 2/2016

Provided in Cooperation with:

Technische Universität Ilmenau, Institut für Betriebswirtschaftslehre

Suggested Citation: Borsch, Erik (2016) : Der Einsatz der Data Envelopment Analysis zur Effizienzmessung im Bereich Abfallwirtschaft: Ein systematischer Literaturüberblick, Ilmenauer Schriften zur Betriebswirtschaftslehre, No. 2/2016, ISBN 978-3-940882-47-9, VERLAG proWiWi e.V., Ilmenau,
<https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:ilm1-2016200077>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/147481>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

2/2016

Der Einsatz der Data Envelopment Analysis zur Effizienzmessung im Bereich Abfallwirtschaft

Ein systematischer Literaturüberblick

Erik Borsch

Ilmenauer Schriften zur
Betriebswirtschaftslehre

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übertragung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, bleiben vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© VERLAG proWiWi e. V., Ilmenau, 2016

Ilmenauer Schriften zur Betriebswirtschaftslehre
www.tu-ilmenau.de/is-ww

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr. rer. pol. habil. Norbert Bach, Univ.-Prof. Dr. rer. pol. habil. Anja Geigenmüller,
Univ.-Prof. Dr. rer. pol. habil. Michael Grüning, Univ.-Prof. Dr. rer. pol. Rainer Souren

ISSN 2192-4643

ISBN 978-3-940882-47-9

URN urn:nbn:de:gbv:ilm1-2016200077

Der Einsatz der Data Envelopment Analysis zur Effizienzmessung im Bereich Abfallwirtschaft

Ein systematischer Literaturüberblick

Erik Borsch¹

¹ Erik Borsch M. Sc., Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Fachgebiets
Nachhaltige Produktionswirtschaft und Logistik der TU Ilmenau.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis	II
Abkürzungsverzeichnis.....	III
Symbolverzeichnis.....	IV
1 Einleitung.....	1
2 Theoretisch-konzeptionelle Grundlagen.....	3
2.1 Abfallwirtschaftliche Grundlagen	3
2.1.1 Begrifflichkeiten.....	3
2.1.2 Prozessschritte.....	4
2.2 Effizienzanalyse mittels Data Envelopment Analysis	5
2.2.1 Die Grundidee der Data Envelopment Analysis	5
2.2.2 Ausgewählte Aspekte der Modellwahl	7
3 Literaturerhebung.....	9
3.1 Abgrenzung zu anderen Literaturüberblicken	9
3.2 Erhebungsmethodik und Suchergebnisse	11
3.3 Bereinigung der erhobenen Literaturlisten	12
4 Analyse der erhobenen Literatur.....	14
4.1 Gegenstandsorientierte Auswertung	14
4.2 Modelltheoretische Auswertung.....	17
5 Zusammenfassung und Ausblick	21
Anhang A: Verzeichnis analysierter Artikel.....	24
Anhang B: Details der modelltheoretischen Auswertung.....	26
Anhang C: Literaturangaben zu „Sonstigen Modellen“	28
Literaturverzeichnis	29

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Produktionssystem Öffentliche Verwaltung	1
Abbildung 2: Abfallhierarchie.....	3
Abbildung 3: Prozessschritte der Abfallwirtschaft	5
Abbildung 4: Zusammenfassung der gegenstandsorientierten Auswertung	14
Abbildung 5: Zusammenfassung der modelltheoretischen Auswertung	17

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Stichwortbasis für die englischsprachige Literatursuche	12
Tabelle 2: Resultate der zweistufigen Literaturerhebung	12
Tabelle 3: Ergebnisse der gegenstandsorientierten Auswertung	15
Tabelle 4: Ergebnisse der modelltheoretischen Auswertung	18

Abkürzungsverzeichnis

AG	Abgase
AVV	Abfallverzeichnisverordnung
AW	Abwasser
BCC	Banker/Charnes/Cooper
BSP	Business Source Premier
CCR	Charnes/Cooper/Rhodes
DEA	Data Envelopment Analysis
DMU	Decision Making Unit
FA	Feste Abfälle
FDH	Free Disposal Hull
IG	Industrie und Gewerbe
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
SI	Siedlungen
WoS	Web of Science

Symbolverzeichnis

Variablen

B	Beobachtungsmenge der DMUs
λ	Skalenniveaufaktor einer DMU
μ	Skalenfaktor eines Inputs
ν	Skalenfaktor eines Outputs
x	Input einer DMU
y	Output einer DMU
X	Aggregierter Input einer DMU
Y	Aggregierter Output einer DMU

Indizes

i	Inputobjektart
j	Outputobjektart
n	Bezeichnung einer DMU
o	Untersuchte DMU

1 Einleitung

Die öffentliche Verwaltung ist als Teil der Exekutive für eine Vielzahl von Aufgaben der Daseinsvorsorge zuständig. Bei der Erfüllung dieser Pflichten transformieren öffentliche Betriebe oder beauftragte Dritte – ähnlich einem Produktionssystem (siehe Abbildung 1) – auf operativer Ebene (Leistungssystem) Inputs in Outputs (z. B. Behandlung kranker Patienten in einem öffentlichen Krankenhaus, Behandlung von Siedlungsabfällen in einem Abfallwirtschaftsbetrieb). Die ausführenden Organe (z. B. öffentliche Krankenhäuser, Abfallwirtschaftsbetriebe), die sowohl als Teil des Leistungssystems operative Tätigkeiten ausführen als auch als Teil des Managementsystems vorwiegend operative und taktische Entscheidungen treffen, unterliegen einer strategisch planenden und steuernden Instanz als (Teil des) strategischen Managementsystems (z. B. Bundes- und Landesministerien, Ämter der Landkreise).

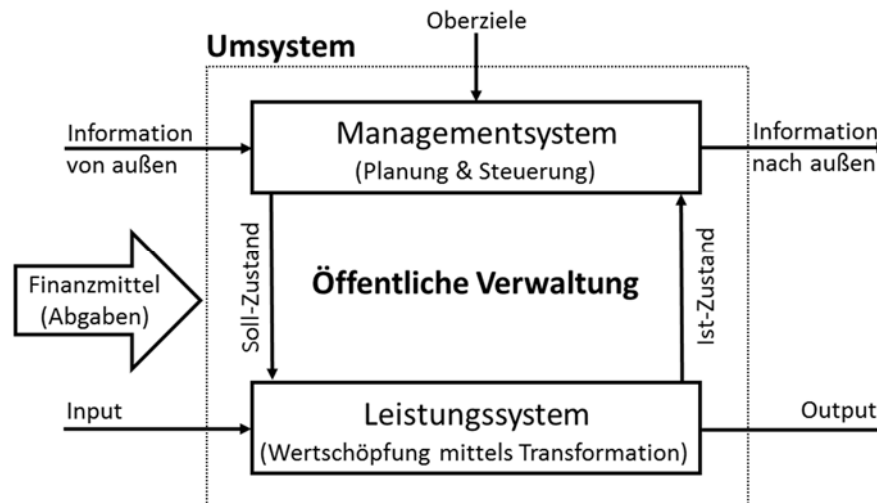


Abbildung 1: Produktionssystem Öffentliche Verwaltung (modifiziert nach DYCKHOFF 2006, S. 7)

Die zur Erfüllung der Aufgaben der öffentlichen Verwaltung notwendigen Finanzmittel wurden in den vergangenen Jahren zunehmend knapper. Um unter diesen Umständen dennoch eine angemessene Pflichterfüllung zu gewährleisten, müssen finanzielle Ressourcen besser genutzt werden. Analog zur Privatwirtschaft kommt in der öffentlichen Verwaltung der Relation von erstellten Leistungen (Output) und dafür benötigten Ressourcen (Input) – also Effizienz i. S. v. Produktivität – somit eine große Bedeutung zu.¹

Effizienzmessungen im Rahmen der Versorgung mit meritorischen Gütern sind jedoch aufgrund eines fehlenden Preissystems zur Aggregation von In- und Outputs bei der Bildung mehrdimensionaler Produktivitätskennzahlen oftmals nicht ohne Weiteres durchführbar. In derartigen Situationen

¹ Das steigende Interesse an Effizienzüberlegungen im öffentlichen Sektor zeigt sich auch in einem seit den 1980er Jahren erkennbaren Reformkurs zur Modernisierung der öffentlichen Verwaltung. Vgl. dazu BECKER/ALGERMISSEN/FALK 2007, S. 9ff., PORTZ 2005, S. 797, sowie BUDÄUS 1998, S. 1.

bietet die Data Envelopment Analysis (DEA) durch die modellendogene Bestimmung eines optimalen Gewichtungsschemas (\triangleq „Preissystem“) Möglichkeiten zur Analyse der Leistungsfähigkeit von Vergleichseinheiten, sog. Decision Making Units (DMU).²

Auf kommunaler Ebene stellt die aus dem Prinzip der Daseinsvorsorge resultierende Pflicht zur Gewährleistung der Abfallentsorgung eine zentrale Aufgabe der öffentlichen Verwaltung dar.³ Obwohl die Entsorgungsträger in verschiedenen Gemeinden sehr ähnliche Entsorgungsleistungen anbieten, können teils sehr hohe Unterschiede in den benötigten Finanzmitteln (z. B. Hausmüllgebühren) festgestellt werden. Gebührendifferenzen von bis zu 500 % lassen die Frage aufkommen, worin deren Ursachen liegen könnten.⁴

Überlegungen zu Aspekten der Effizienz der Abfallwirtschaft sind Gegenstand eines aktuellen Dissertations-Projektes am Fachgebiet Nachhaltige Produktionswirtschaft und Logistik an der TU Ilmenau. Zur Identifikation zentraler Einflussfaktoren auf die Effizienz abfallwirtschaftlicher Prozesse und bestehender Forschungslücken wird in diesem Arbeitsbericht ein Überblick über die bisher im Bereich Abfallwirtschaft durchgeführten Effizienzanalysen erarbeitet. Dabei wird ein spezieller Fokus auf Untersuchungen mittels DEA gelegt. Um dieses Ziel zu erreichen, werden in Kapitel 2 zunächst wichtige begriffliche Grundlagen dargestellt und ein kurzer Einblick in die Effizienzanalyse mittels DEA gegeben. In Kapitel 3 wird auf andere Literaturstudien eingegangen und aufgezeigt, wodurch sich der vorliegende Arbeitsbericht abgrenzt. Des Weiteren wird das Vorgehen bei der Literaturerhebung und -bereinigung erläutert. Im anschließenden Kapitel 4 werden die Ergebnisse der Literaturstudie sowohl hinsichtlich inhaltlicher bzw. gegenstandsorientierter Aspekte als auch hinsichtlich modelltheoretischer Aspekte präsentiert. Der Arbeitsbericht schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf künftige Forschungsfragen.

² Vgl. DYCKHOFF/SPENGLER 2010, S. 141. Die DEA erfreute sich im öffentlichen Sektor in den vergangenen Jahren großer Beliebtheit. Eine überblicksartige Darstellung diverser Studien liefert beispielsweise KALB 2010, S. 33–54.

³ Vgl. KRANERT/CORD-LANDWEHR 2010, S. 1, sowie zum Begriff der Daseinsvorsorge FORSTHOFF 1973, S. 567.

⁴ Siehe dazu WALDERMANN 2008 sowie IW KÖLN CONSULT GMBH 2008. Für einen umfassenden Überblick zu Hausmüllgebührenstudien in Deutschland siehe MIOFSKY 2015, S. 28.

2 Theoretisch-konzeptionelle Grundlagen

2.1 Abfallwirtschaftliche Grundlagen

2.1.1 Begrifflichkeiten

Gemäß dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) werden unter Abfällen „alle Stoffe oder Gegenstände, derer sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss“⁵ verstanden. Basierend auf dieser Definition können Abfälle grundlegend in drei verschiedenen „Aggregatzuständen“ auftreten: feste Abfälle (FA), flüssige Abfälle bzw. Abwasser (AW) und gasförmige Abfälle bzw. Abgase (AG). Als Erzeuger derartiger Stoffe können verschiedene Akteure innerhalb des Wirtschaftssystems identifiziert werden. Elementar können öffentliche Einrichtungen und private Haushalte bzw. Siedlungen (SI) sowie Betriebe und Unternehmen aus Industrie und Gewerbe (IG) unterschieden werden.⁶

In der sogenannten Abfallhierarchie benennt und priorisiert der Gesetzgeber in § 6 Abs. 1 KrWG verschiedene Maßnahmen im Umgang mit Abfall (siehe Abbildung 2).⁷

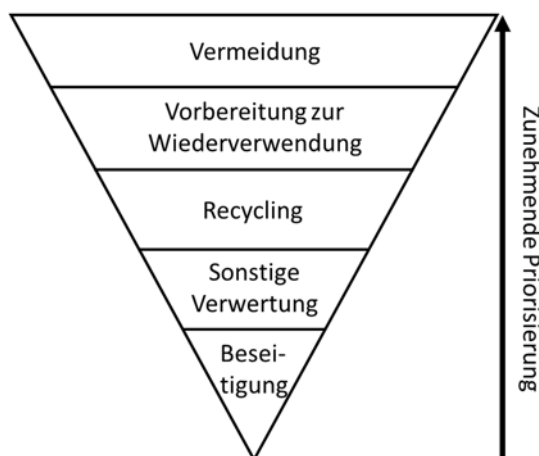


Abbildung 2: Abfallhierarchie

Den größten Stellenwert besitzt die *Vermeidung* von Abfällen. Sie umfasst alle präventiven Maßnahmen zur Reduktion des Abfallaufkommens sowie der schädlichen Auswirkungen entstandenen Abfalls⁸ und findet beispielsweise in der (erweiterten) Produktverantwortung (§§ 23–27 KrWG)

⁵ § 3 Abs.1 KrWG.

⁶ Eine differenzierte Klassifikation verschiedener Abfallarten nach Herkunftsbereichen bietet die Abfallverzeichnisverordnung (AVV) basierend auf der Entscheidung der Europäischen Kommission 200/532/EG.

⁷ § 6 Abs. 1 KrWG stellt die Umsetzung des Art. 4 Abs. 1 der EU-Richtlinie 2008/98/EG in deutsches Recht dar. Da die Richtlinie von allen EU-Mitgliedstaaten bis zum 12.12.2010 in nationales Recht umzusetzen war (vgl. Art. 40 Abs. 1), kann von der EU-weiten Gültigkeit der Abfallhierarchie ausgegangen werden.

⁸ Vgl. § 3 Abs. 20 KrWG.

einen konkreten Ausdruck. Die Vermeidung von Abfällen dient grundsätzlich einem übergeordneten Ziel der Kreislaufwirtschaft, der Ressourcenschonung.

Die der Vermeidung untergeordneten Abfallbehandlungsoptionen, Wiederverwendung und Recycling, tragen auch zum Ziel der Ressourcenschonung bei und sind ebenfalls ein unmittelbarer Ausdruck der durch das KrWG angestrebten (nachhaltigen) Kreislaufwirtschaft. *Wiederverwendung* umfasst „jedes Verfahren, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile, die keine Abfälle sind, wieder für denselben Zweck verwendet werden, für den sie ursprünglich bestimmt waren“.⁹ *Recyclingverfahren* hingegen bereiten Abfälle derartig auf, dass diese für ihren ursprünglichen oder einen anderen Zweck (ausgenommen jegliche Form der energetischen Verwertung oder Verfüllung) eingesetzt werden können.¹⁰ Unter dem Begriff *sonstige Verwertung* werden insbesondere Verfahren der thermischen Verwertung zusammengefasst.¹¹ Die am wenigsten zu favorisierende Behandlungsstrategie ist die *Beseitigung* durch Ablagerung bzw. Verfüllung beispielsweise auf Deponien. Die Beseitigung von Abfall stellt zwar eine technisch (verhältnismäßig) einfache Möglichkeit der Abfallbehandlung dar, diese Behandlungsstrategie ist jedoch u. U. mit hohen Kosten für den umweltverträglichen Betrieb (Vermeidung von Sickerwasser, Brandgefahr usw.) und für die sich an die Stilllegung der Deponie anschließende Nachsorgephase verbunden.¹² Die zuvor dargestellte Abfallhierarchie bildet einen groben Rahmen für die Priorisierung von Abfallbehandlungsmaßnahmen. Basierend auf dieser Rangfolge ist diejenige Maßnahme zu favorisieren, die unter Berücksichtigung technischer, ökonomischer und sozialer Aspekte am „besten“ Mensch und Umwelt schützt.¹³

2.1.2 Prozessschritte

Nachfolgend werden anhand von Abbildung 3 die grundlegenden Prozessschritte bei der Bewirtschaftung von Abfällen skizziert.¹⁴

Innerhalb des Sammlungsgebiets erzeugen Siedlungen (SI) sowie Industrie und Gewerbe (IG) im Rahmen initialer Prozesse (P1-1 und P1-2) drei verschiedene Abfallarten. Feste und flüssige Abfälle (FA, AW) werden (im Idealfall) gesammelt und zu Behandlungsanlagen transportiert (Prozess P2).

⁹ § 3 Abs. 21 KrWG.

¹⁰ Vgl. § 3 Abs. 25 KrWG.

¹¹ Zu den Verfahren der sonstigen Verwertung zählen des Weiteren der „Bergversatz und die Verfüllung von Gruben, Brüchen und Tagebauen“ (http://www.lfu.bayern.de/abfall/sonstige_verwertung/index.htm).

¹² Vgl. BILTEWSKI ET AL. 2000, S. 135ff. Der Trend zur Abkehr von der Deponierung zeigt sich deutlich in der sinkenden Anzahl aktiv betriebener Mülldeponien (siehe für eine ausführliche Darstellung der Entwicklungsstufen der Deponietechnik in Deutschland KRANERT/CORD-LANDWEHR 2013, S. 328f.). So halbierte sich die Zahl der aktiv betriebenen Mülldeponien im Zeitraum zwischen 2004 und 2013 (vgl. <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/263063/umfrage/anzahl-der-deponien-in-deutschland/>).

¹³ Vgl. § 6 Abs. 2 KrWG.

¹⁴ Die nachfolgenden Ausführungen zu den Prozessschritten der Abfallbewirtschaftung sind teilweise angelehnt an MIOFSKY 2015, S. 16f.

Abgase (AG) werden hingegen für gewöhnlich nicht gesammelt, sondern entweder direkt einer Behandlung zugeführt oder an die Umwelt abgegeben (z. B. CO₂). Die Abfallarten werden innerhalb diverser Behandlungsanlagen zur Wiederverwendung vorbereitet, recycelt oder den sonstigen Behandlungsmaßnahmen zugeführt (Prozess P3).¹⁵ Durch die Behandlung der Abfälle werden einerseits Verwertungsobjekte erzeugt (z. B. Fernwärme bei der thermischen Behandlung, Kompost aus biologisch abbaubaren Abfällen), die anschließend genutzt werden.¹⁶ Andererseits werden Abfälle zur Beseitigung generiert (z. B. feste Reststoffe aus thermischer Behandlung), die schlussendlich in einer geeigneten Ablagerungsstätte (z. B. Deponien) entsorgt¹⁷ werden (Prozess P4). Innerhalb der nachfolgenden Literaturerhebung werden ausschließlich die soeben dargestellten Prozesse der Abfallwirtschaft betrachtet.

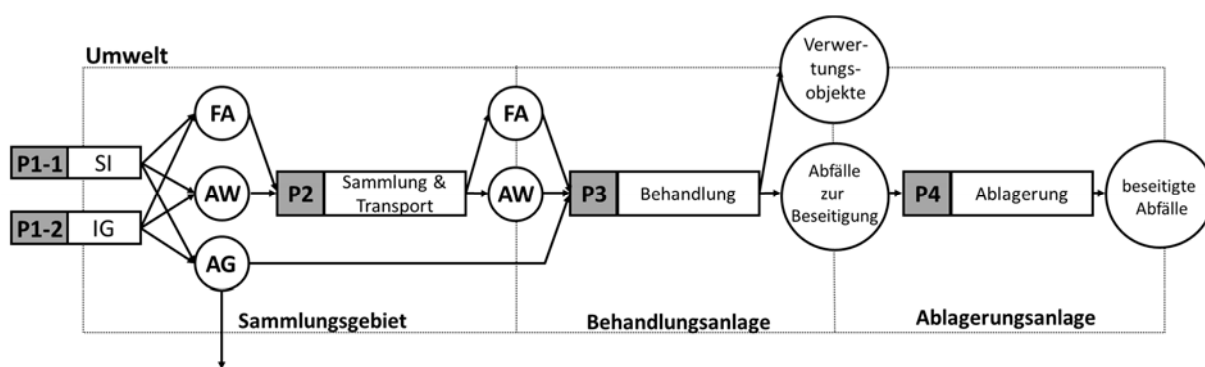


Abbildung 3: Prozessschritte der Abfallwirtschaft (modifiziert nach MIOFSKY 2015, S. 17)

2.2 Effizienzanalyse mittels Data Envelopment Analysis

2.2.1 Die Grundidee der Data Envelopment Analysis

Allgemein betrachtet werden für die Erstellung eines Produktes (Output) innerhalb eines Produktionssystems während des Leistungserstellungsprozesses (Throughput) Produktionsfaktoren (Inputs) ge- und verbraucht. Zur Beurteilung der Effizienz derartiger Prozesse stehen zahlreiche Methoden, wie beispielsweise die Data Envelopment Analysis, zur Verfügung.¹⁸

¹⁵ Siehe für eine ausführliche Darstellung verschiedener Abfallbehandlungsoptionen KRANERT/CORD-LANDWEHR 2013, Kapitel 5–7.

¹⁶ Innerhalb der dritten Prozessstufe besteht auch die Möglichkeit zur Kaskadennutzung der Abfälle innerhalb verschiedener Behandlungsanlagen. Dies trifft beispielsweise auf mechanisch-biologische Abfallbehandlung zu, die Sekundärbrennstoffe für thermische Behandlungsanlagen erzeugt.

¹⁷ Vgl. zum Begriff der Entsorgung SOUREN 1996, S. 16.

¹⁸ Effizienzmessverfahren können grundlegend in nicht-parametrische Verfahren (z. B. DEA, Free Disposal Hull) und parametrische Verfahren (z. B. Produktionsfunktionen, Stochastic Frontier Analysis) unterteilt werden. Nachfolgend wird ausschließlich die DEA näher betrachtet. Für einen umfassenden Überblick zu verschiedenen Effizienzmessverfahren siehe z. B. COELLI ET AL. 2005.

Der Begriff Effizienz meint grundlegend einen Vergleich von Zielen und den zu ihrer Erreichung notwendigen Mitteln. Handlungen gelten als effizient, wenn die durch sie bewirkte Zustandsveränderung ohne Verschwendung erfolgt. Unter dieser Voraussetzung ist „eine weitergehende Zustandsverbesserung nur bei anderweitiger Verschlechterung möglich“¹⁹. Da „der DEA ein Verständnis von Effizienz im Sinne von Produktivität zugrunde liegt“²⁰, kann im Rahmen des vorliegenden Arbeitsberichts Effizienz wie folgt definiert werden:

$$\text{Effizienz} = \text{Produktivität} = \frac{(\text{realer}) \text{ Output}}{(\text{realer}) \text{ Input}} \quad (1)$$

Abseits von zweidimensionalen Produktionen (ein Input, ein Output) erfordert die Bildung einer Produktivitäts- bzw. Effizienzkennzahl gemäß Gleichung (1) jeweils die Aggregation der Output- und Inputquantitäten. Im einfachsten Fall geschieht dies über eine Gewichtung der jeweiligen Quantitäten anhand von Marktpreisen. In vielen Bereichen, insbesondere im öffentlichen Sektor, besteht jedoch häufig nicht die Möglichkeit, auf exogen vorgegebene Gewichtungsschemata (z. B. ein Preissystem) zurückzugreifen. So ist es beispielsweise nicht möglich, den „Wert“ geheilter Patienten als Output von Krankenhäusern oder behandelte Abfallmengen als Output von Abfallwirtschaftsbetrieben konkret zu beziffern. In eben diesen Fällen bietet die Data Envelopment Analysis durch eine modellendogene Bestimmung eines geeigneten Gewichtungsschemas einen Ausweg. Basis der Effizienzmessung bildet die Beobachtungsmenge B , bestehend aus den Vergleichseinheiten bzw. Decision Making Units (DMU) $n = 1, \dots, N$. Diese werden durch die Quantitäten $x_{i,n}$ ihrer eingesetzten Inputobjektarten $i = 1, \dots, I$ sowie die Quantitäten $y_{j,n}$ ihrer erzeugten Outputobjektarten $j = 1, \dots, J$ charakterisiert. Um deren Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wird jeder Inputobjektart i ein Skalenfaktor v_i und jeder Outputobjektart ein Skalenfaktor μ_j zugewiesen. Für jede Vergleichseinheit $o \in \{1, \dots, N\}$ werden die individuellen Skalen- bzw. Gewichtungsfaktoren gemäß des folgenden Quotientenprogramms ermittelt:²¹

$$\frac{Y_o}{X_o} = \frac{\sum_{j=1}^J \mu_{j,o} Y_{j,n}}{\sum_{i=1}^I v_{i,o} X_{i,n}} \rightarrow \max! \quad (2)$$

unter den Bedingungen:

¹⁹ DYCKHOFF/AHN 2001, S. 115.

²⁰ ALLEN 2002, S. 33.

²¹ Vgl. GUTIERREZ 2005, S. 12. Die dort dargestellte Ausgangsbasis für die Herleitung eines outputorientierten CCR-Modells wurde für die hier getroffenen Ausführungen in eine „inputorientierte Ausgangsbasis“ überführt.

$$\frac{Y_n}{X_n} = \frac{\sum_{j=1}^J \mu_{j,o} Y_{j,n}}{\sum_{i=1}^I v_{i,o} X_{i,n}} \leq 1 \quad \text{für } n = 1, \dots, N \quad (3)$$

$$\mu_{j,o}, v_{i,o} \geq 0 \quad \text{für } j = 1, \dots, J; i = 1, \dots, I \quad (4)$$

Dabei wird das Gewichtungsschema derartig bestimmt, dass der durch die Zielfunktion dargestellte Effizienzwert der betrachteten DMU o maximiert wird (Gleichung (2)). Eine DMU gilt als effizient, wenn sie durch das Berechnungsschema einen maximalen Effizienzwert von eins (Gleichung (3)) erzielt. Gelingt es durch eine entsprechende Wahl der Skalenfaktoren nicht, der Vergleichseinheit Y_o/X_o den Wert eins zuzuordnen, gilt diese als ineffizient und der resultierende Wert $Y_o/X_o < 1$ als Maßzahl ihrer Ineffizienz.²²

2.2.2 Ausgewählte Aspekte der Modellwahl²³

Eine zu treffende Entscheidung bei der Auswahl eines konkreten DEA-Modells stellt die Annahme über die in der zugrundeliegenden Technologie vorherrschende **Skalenertragsform** dar.²⁴ Weist eine Technologie *konstante Skalenerträge* (bzw. Größenproportionalität) auf, so ist es den DMUs möglich, durch eine proportionale Steigerung bzw. Verringerung aller Inputquantitäten auch eine Erhöhung bzw. Verringerung aller Outputquantitäten um denselben Faktor zu erzielen. Zu den bekanntesten Modellen mit konstanten Skalenerträgen zählt das von CHARNES/COOPER/RHODES 1978 entwickelte „Urmodell“ der DEA, das CCR-Modell.²⁵ *Nicht-zunehmende Skalenerträge* (bzw. größendegressive Technologien) liegen vor, wenn DMUs lediglich in der Lage sind, ihre Input- und Outputquantitäten gleichzeitig um denselben Faktor zu reduzieren. Umgekehrt können DMUs unter *nicht-abnehmenden Skalenerträgen* (bzw. größenprogressiven Technologien) ihre Input- und Outputquantitäten lediglich um denselben Faktor erhöhen. Sofern die Technologie keine der eben genannten Eigenschaften durchgängig aufweist, liegen *variable Skalenerträge* vor.²⁶ Ein häufig genutztes DEA-Basismodell mit variablen Skalenerträgen ist das von BANKER/CHARNES/COOPER 1984 erstmals vorgestellte BCC-Modell.

²² Vgl. GUTIERREZ 2005, S. 12 für den outputorientierten Fall. Die vorangegangenen Ausführungen sollen lediglich einen knappen Einblick in die Grundidee der DEA geben. Der interessierte Leser sei an dieser Stelle auf die sehr ausführliche Darstellung verschiedener DEA-Basismodelle und Erweiterungen von COOPER/SEIFORD/TONE 2007 verwiesen.

²³ In diesem Kapitel werden nur für den späteren Verlauf des vorliegenden Arbeitsberichts relevante Aspekte der Modellierung beschrieben. Siehe für eine Überblicksdarstellung weiterer modelltheoretischer Aspekte z. B. ALLEN 2002, S. 85ff., sowie AHN/BLATTNER/NEUMANN 2014, S. 112.

²⁴ Siehe für eine ausführliche Darstellung der Skalenertrags- bzw. Proportionalitätseigenschaften DYCKHOFF 1993, S. 62, sowie SEIFORD/ZHU 1999, S. 3.

²⁵ Vgl. dazu auch COOPER/SEIFORD/TONE 2007, S. 21ff.

²⁶ Nicht-zunehmende und nicht-abnehmende Skalenerträge sowie Modelle, die diese explizit berücksichtigen, werden nicht weiter thematisiert, da sie im Verlauf der Literaturrecherche keine Rolle gespielt haben.

Die Wahl der **Modellorientierung** ist eng verknüpft mit der Frage nach der Beeinflussbarkeit der Quantitäten der In- und Outputmengen durch die DMUs. So wäre es beispielsweise wenig zweckmäßig, durch ein outputorientiertes Modell einer DMU Ineffizienz zu unterstellen und dieser nahelegen, dass bestimmte Outputquantitäten erhöht werden müssten, obwohl die DMU auf diese Faktoren selbst kaum/keinen direkten Einfluss hat. Zudem spielt die individuelle Präferenz der DMU eine gewisse Rolle. Beispielsweise könnten im Hinblick auf die Abfallwirtschaft folgende Ziele verfolgt werden: Bewirtschaftung einer festen Abfallmenge bei minimalem Ressourceneinsatz (z. B. Finanzmittel); mit einem bestimmten Ressourceneinsatz eine möglichst große Menge Abfall bewirtschaften oder aber mit einem möglichst geringen Ressourceneinsatz eine möglichst große Abfallmenge zu bewirtschaften. Die sich hier abzeichnenden Ausprägungen des ökonomischen Prinzips korrespondieren mit den drei prinzipiellen Stoßrichtungen der Effizienzanalyse mittels DEA: inputorientiert, outputorientiert, unorientiert. So identifizieren *inputorientierte Modelle* inputseitige Verbesserungspotentiale (z. B. mögliche proportionale Reduktionsmöglichkeiten aller Inputquantitäten) unter der Voraussetzung, dass das aktuelle Outputniveau der betrachteten DMU beibehalten wird. Analog identifizieren *outputorientierte Modelle* outputseitige Verbesserungspotentiale. Die zuvor genannten DEA-Basismodelle können sowohl input- als auch outputorientiert gestaltet werden.²⁷ *Unorientierte Modelle* decken gleichzeitig in- und outputseitige Verbesserungspotentiale auf. Eines der ersten unorientierten, additiven DEA-Modelle wurde von CHARNES ET AL.²⁸ vorgestellt und diente zugleich als Erweiterung des CCR-Modells um eine zweite Phase zur Identifikation nicht-radialer Verbesserungspotentiale.²⁹

Grundlegende Voraussetzungen zahlreicher DEA-Modelle sind, dass die DMUs unter homogenen Umfeldbedingungen operieren und der Entscheider sämtliche Input- bzw. Outputquantitäten auch tatsächlich beeinflussen kann.³⁰ In der Realität ist dies jedoch oftmals nicht der Fall. Beispielsweise sehen sich Abfallwirtschaftsbetriebe in den verschiedenen Bundesländern mit durchaus unterschiedlichen rechtlichen Rahmenbedingungen konfrontiert, die unter anderem Auswirkungen auf die Gebührenkalkulation haben.³¹ Derartige exogene, durch die DMUs kaum bzw. nicht beeinflussbare Faktoren können wiederum Auswirkungen auf deren Effizienz haben und dürfen deshalb nicht vernachlässigt werden. Zur **Integration exogener Einflussfaktoren** in Effizienzanalysen mittels DEA bestehen verschiedene Optionen. Beispielsweise können Modelle modifiziert (z. B.

²⁷ Siehe für die inputorientierte Variante des CCR- bzw. BCC-Modells COOPER/SEIFORD/TONE 2007, S. 23 ff. bzw. S. 91, sowie für die outputorientierte Variante des CCR- bzw. BCC-Modells COOPER/SEIFORD/TONE 2007, S. 58 f. bzw. S. 93.

²⁸ Siehe CHARNES ET AL. 1984, S. 97.

²⁹ Siehe dazu ausführlicher ALLEN 2002, S. 68 f., sowie zu Effizienzmaßen der DEA allgemein SCHEEL 2000.

³⁰ Vgl. CHARNES ET AL. 1994, S. 50.

³¹ Siehe für einen (teilweise nicht mehr aktuellen) Überblick zu den unterschiedlichen Gestaltungsspielräumen CANTNER 1997, S. 102, sowie exemplarisch für das Bundesland NRW o. V. 2014.

BANKER/MOREY 1986)³², alle exogenen Faktoren als Inputs in einem outputorientierten Modell oder als Outputs in einem inputorientierten Modell integriert³³ oder verschiedene Regressionsverfahren³⁴ angewandt werden.

3 Literaturerhebung

3.1 Abgrenzung zu anderen Literaturüberblicken

Die Anzahl bisher veröffentlichter Literaturüberblicke zur Effizienzmessung im Bereich Abfallwirtschaft ist recht gering. Insgesamt konnte nur eine Studie identifiziert werden, die sich explizit dieser Thematik widmet, jedoch nicht speziell auf die DEA fokussiert (SIMÕES/MARQUES 2012). Daneben bieten die im späteren Verlauf präsentierten Artikel zwar jeweils einen kurzen Literaturüberblick, jedoch werden inhaltliche und methodologische Aspekte meist nur sehr knapp dargestellt. Eine Ausnahme hiervon bildet SIMÕES/DE WITTE/MARQUES 2010. Dieser Artikel bietet inhaltlich tiefergehende Einblicke in andere Arbeiten, jedoch wird nicht dargelegt, inwiefern eine systematische Datenerhebung durchgeführt wurde. Des Weiteren existieren wissenschaftliche Werke, die zwar DEA im Rahmen des New Public Managements thematisieren, jedoch keine spezielle Fokussierung auf den Bereich Abfallwirtschaft aufweisen. Derartige Arbeiten sprechen die Abfallwirtschaft nur am Rande an und werden aus diesem Grund hier nicht weiter betrachtet.³⁵

SIMÕES/MARQUES veröffentlichten 2012 einen Überblick über Studien, die sich mit der ökonomischen Leistungsfähigkeit des Abfallsektors befassen.³⁶ Die Autoren analysieren 107 überwiegend in akademischen Zeitschriften veröffentlichte Studien (73 %), die mehrheitlich parametrische Analyseverfahren (55 %) und seltener nicht-parametrische Analyseverfahren (27 %) verwenden.³⁷ Neben bibliometrisch-deskriptiven Auswertungen, wie z. B. bzgl. Autorenzahl, Veröffentlichungsjahr oder Anzahl Veröffentlichungen je Land, analysieren SIMÕES/MARQUES auch inhaltlich-deskriptiv. So stellen sie fest, dass die Mehrheit der betrachteten Publikationen die Abfallsammlung thematisiert, seltener auch Recycling sowie Deponierung. Des Weiteren werden die analysierten Studien

³² Die Autoren schlagen eine Exklusion nicht-beeinflussbarer Variablen aus der Zielfunktion und eine Untergliederung der Nebenbedingungen in Teilmengen beeinflussbarer und nicht-beeinflussbarer Faktoren vor. Einen Überblick zu Modellen dieser Kategorie bietet SYRJÄNEN 2004.

³³ Vgl. DYSON ET AL. 2001, S. 252.

³⁴ Dabei werden oftmals ein auf Bootstrapping basierender Ansatz von SIMAR/WILSON 2007 und die sog. Tobit-Regression (siehe dazu ausführlicher TOBIN 1958) genutzt. Siehe zudem SIMAR/WILSON 2007 S. 32 ff. für einen guten Überblick über Studien, die Modellmodifikationen vorgenommen bzw. angewandt haben.

³⁵ Vgl. dazu exemplarisch KALB 2010, S. 43–45. Effizienzanalysen im Bereich Abfallbewirtschaftung werden hier lediglich als Teilbereich öffentlicher Einrichtungen u. a. zusammen mit Kindergärten und Arbeitsämtern kurz angesprochen.

³⁶ SIMÕES/MARQUES 2012.

³⁷ Des Weiteren nutzen ca. 2,5 % beide Ansätze und ca. 15,4 % fußen ihre Schlussfolgerungen auf einfachen Kostenanalysen.

hinsichtlich ihres Untersuchungsgegenstandes klassifiziert. Die gebildeten Kategorien lauten: Eigentumsverhältnisse (45 %), Marktstruktur (30 %), Benchmarking (13 %) sowie Auswirkungen von Anreizregulierungen (13 %). SIMÕES/MARQUES bieten einen recht umfangreichen Überblick über eine Vielzahl Studien und fassen zum Teil wesentliche Erkenntnisse zusammen. Jedoch werden nur wenige detaillierte Einblicke in die verwendete Methodik (z. B. betrachtete In- und Outputfaktoren bei DEA-Modellen oder Art des verwendeten DEA-Modells) geboten.

Einen inhaltlich etwas tieferen Einblick liefern SIMÕES/DE WITTE/MARQUES 2010.³⁸ Die Autoren charakterisieren 20 Artikel, indem angewandte Methoden, In- und Outputs, exogene Faktoren sowie die zentralen Erkenntnisse der Artikel dargestellt werden.³⁹ Die Autoren liefern jedoch keine Informationen bzgl. der Herangehensweise bei der Literaturerhebung (z. B. verwendete Stichworte und Datenbanken). Methodologisch werden die Artikel, ohne weitere Details wie beispielsweise die gewählte Modellorientierung oder konkret verwendete Modelle zu nennen, in die Kategorien „DEA“ und „Free Disposal Hull“ (FDH) eingeordnet. Die aufgezeigten In- und Outputs lassen teils deutlichen Spielraum für Interpretationen, so z. B. der Output „customers“.⁴⁰ Zudem lassen SIMÕES/DE WITTE/MARQUES den Leser darüber im Unklaren, welche Prozesse, DMUs oder Abfallarten von den betrachteten Artikeln analysiert werden. Abgesehen davon ist ein Teil der betrachteten Artikel weder auf Deutsch noch auf Englisch verfasst (5 von 20); ein weiterer Teil der präsentierten Artikel wurde nicht in wissenschaftlichen Journals veröffentlicht (3 von 20). Des Weiteren nutzen zwei der gelisteten Artikel dieselbe Datenbasis. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Literaturüberblick von SIMÕES/DE WITTE/MARQUES zwar einen ersten Eindruck über ausgewählte DEA- und FDH-Untersuchungen in der Abfallwirtschaft liefert, jedoch nicht sehr detailliert und umfangreich ist.⁴¹

Im Hinblick auf die Prozessschritte der Abfallwirtschaft (siehe Abbildung 3), der verschiedene Abfallarten als Prozessinput betrachtet, erscheint auch die Betrachtung von Literaturüberblicken sinnvoll, die speziell den Übelinput im Rahmen der DEA thematisieren.⁴² Diesbezüglich wird noch auf einen von WOJCIK ET AL. 2015 veröffentlichten Arbeitsbericht eingegangen, der im Speziellen die Thematik der Übelinputs in der DEA aufgreift. Die Autoren identifizieren im Rahmen einer ausführlich dokumentierten, systematischen Literaturerhebung insgesamt 16 Artikel, die explizit den

³⁸ Vgl. SIMÕES/DE WITTE/MARQUES 2010. Die primäre Zielstellung dieses Artikels besteht nicht in der Schaffung eines Literaturüberblicks, sondern in der Analyse des Einflusses von Umfeldbedingungen im Bereich Abfallwirtschaft.

³⁹ Vgl. SIMÕES/DE WITTE/MARQUES 2010, S. 1135f.

⁴⁰ Der Begriff „customers“, der im Deutschen mit „Kunden“ übersetzt werden kann, lässt offen, ob damit beispielsweise die Anzahl tatsächlich bedienter Kunden gemeint ist und um welche Art von „Kunden“ es sich handelt (z. B. Privathaushalte, Industrie-/Gewerbebetriebe).

⁴¹ An dieser Stelle sei angemerkt, dass eine Schnittmenge von sechs Artikeln zwischen der im vorliegenden Arbeitsbericht identifizierten Literatur und SIMÕES/DE WITTE/MARQUES (2010) besteht. Konkret handelt es sich um die Artikel Nr. 4, 12, 13, 18, 23, 32 (siehe Tabelle 3 bzw. Tabelle 4).

⁴² Anhand des Kriteriums der Erwünschtheit lässt sich Abfall als sogenanntes Übel klassifizieren. Siehe dazu ausführlicher DYCKHOFF 2006, S. 123f.

Input von Übeln thematisieren.⁴³ Die ermittelten Artikel werden in Zitationsnetzen dargestellt und die angewandten Modelle näher betrachtet (Ansätze mit Datentransformation, sonstige Ansätze). Jedoch thematisiert keiner der identifizierten Aufsätze die Entsorgung fester oder gasförmiger Abfälle; vier Aufsätze thematisieren die Behandlung von Abwasser.⁴⁴ Wie sich im späteren Verlauf des vorliegenden Arbeitsberichts jedoch zeigen wird, modelliert die überwiegende Mehrheit der Autoren gesammelte bzw. behandelte Abfallmengen als Prozessoutput.

Die vorangegangenen Ausführungen zeigen, dass ein systematischer Literaturüberblick zur Verwendung der DEA im Bereich Abfallwirtschaft, der detaillierte Einblicke in betrachtete Gegenstände und die verwendete Methodik bietet, noch aussteht. Um diese Lücke zu schließen, wird nachfolgend zunächst das Vorgehen bei der Literaturerhebung dargestellt, um anschließend den Stand des wissenschaftlichen Schrifttums zu erarbeiten.

3.2 Erhebungsmethodik und Suchergebnisse

Um einen Überblick über die bisher veröffentlichten Zeitschriftenartikel zur Thematik DEA im Bereich Abfallwirtschaft zu gewinnen, wurde eine breite Literaturrecherche durchgeführt. Als Hauptinformationsquelle dienten dabei die „Web of Science“-Datenbank (WoS) des Unternehmens Thomson Reuters sowie die „Business Source Premier“-Datenbank (BSP) des Unternehmens EBSCO Information Systems.⁴⁵ Die Suchläufe in der WoS-Datenbank wurden auf der Ebene „Topic“ durchgeführt,⁴⁶ in der BSP-Datenbank wurde „in allen Feldern“ gesucht.

Eine initiale Suche mit den deutschen Begriffskombinationen „Effizienz und Abfall/Müll“ sowie „Data Envelopment Analysis/DEA und Abfall/Müll“ brachte in den gewählten Datenbanken keine Ergebnisse hervor.⁴⁷ Aus diesem Grund wurde die Suche auf englischsprachige Termini ausgeweitet. Die in Tabelle 1 aufgelisteten Stichwörter der Kategorien „Methodologische Aspekte“ und „Inhaltliche Aspekte“ wurden jeweils miteinander kombiniert.⁴⁸

⁴³ Vgl. WOJCIK ET AL. 2015, S. 9ff.

⁴⁴ Vgl. WOJCIK ET AL. 2015, S. 14. Die von WOJCIK ET AL. identifizierten Artikel wurden im Rahmen des vorliegenden Arbeitsberichts nicht ermittelt. Dies ist auf eine unterschiedliche Stichwortbasis bei der Literatursuche und die Fokussierung der von WOJCIK ET AL. identifizierten Artikel auf modelltheoretische Erweiterungen zurückzuführen.

⁴⁵ Die BSP-Datenbank liefert nur Werke, die ab 1991 veröffentlicht wurden. Diese Limitation scheint aus Sicht des Autors jedoch „verkraftbar“ zu sein, da die mittels des WoS später als relevant identifizierten Artikel überwiegend in den Jahren nach 2000 veröffentlicht wurden.

⁴⁶ Die Recherche in der WoS-Datenbank erfordert die Auswahl eines konkreten Suchbereichs. Die Ebene „Topic“ beinhaltet Titel, Abstract, von den Autoren vergebene Schlagwörter und von Thomson Reuters zusätzlich vergebene Schlagwörter (sog. KeyWords Plus).

⁴⁷ Siehe für eine Einschätzung des Erfassungsgrades betriebswirtschaftlich relevanter Zeitschriften in der verwendeten Datenbank z. B. CLERMONT/SCHMITZ 2008.

⁴⁸ Kombinationen des englischen Begriffs „waste“ sowie dessen Synonymen mit der DEA übergeordneten Begrifflichkeiten (wie z. B. „efficiency“) ergaben eine sehr hohe Anzahl an Treffern (z. B. lieferte die Kombination aus „efficiency“ und „waste“ mehrere zehntausend Treffer). Daher wurden bewusst die oben genannten, doch sehr speziellen Begriffe für die Suche verwendet. Unter Berücksichtigung dieser Einschränkung wurde erneut eine Suche mittels

Tabelle 1: Stichwortbasis für die englischsprachige Literatursuche

<u>Methodologische Begriffe</u>	<u>Gegenstandsorientierte Begriffe</u>
Data Envelopment Analysis	waste
DEA	refuse
non-parametric	trash
	rubbish
	garbage

Die WoS-Datenbank lieferte bei der Suche nach Paarkombinationen (und -Verknüpfungen) aus methodologischen und gegenstandsorientierten Stichworten 713 Resultate, die BSP-Datenbank lieferte 152 Treffer.

3.3 Bereinigung der erhobenen Literaturlisten

Um die Datenbereinigung übersichtlich zu gestalten, wurden die beiden Trefferlisten der Datenbanken nacheinander bearbeitet. Die Ergebnisse der Datenbereinigung sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Resultate der zweistufigen Literaturerhebung

	Trefferliste 1	Trefferliste 2	Summe
Datenbank	WoS	BSP	
Resultate	713	152	
A: Duplikate	270	58 (bereits in Trefferliste 1)	
A: Titel	290	54	
A: Abstract	28	35	
Verbleibend	125	5	130
A: Konferenzbeiträge			10
A: Sprache			12
A: Inhaltlicher Fokus			68
A: sonstige			6
Verbleibend			34

A...Ausschlussgrund

ECONBIZ (Rechercheportal für Wirtschaftswissenschaften) durchgeführt. Die Verknüpfung aus „DEA/Data Envelopment Analysis“ und „Abfall/Müll“ lieferte als einzig passenden Treffer die Dissertation von PRZYBILLA (2002). Der Autor untersucht Möglichkeiten zur Yardstick-Regulierung unter Verwendung der DEA anhand von 11 thermischen Behandlungsanlagen in Deutschland. Da es sich bei diesem Werk nicht um einen Zeitschriftenbeitrag handelt, wird dieses von den weiteren Betrachtungen ausgeschlossen.

Nach Sichtung der erhobenen Daten wurde Trefferliste 1 (WoS) um 270 Duplikate bereinigt. 58 Artikel aus Trefferliste 2 (BSP) waren bereits in Trefferliste 1 enthalten und wurden dementsprechend als Duplikate eingestuft und entfernt. Des Weiteren wurden insgesamt 344 Artikel aufgrund von im Titel enthaltenen Informationen ausgeschlossen, die eine im Rahmen des vorliegenden Arbeitsberichts nicht betrachtete Fokussierung offenbarten. Aus demselben Grund wurden zudem in Summe 63 Artikel aufgrund der in der Kurzzusammenfassung (Abstract) enthaltenen Informationen ausgeschlossen. Von den verbleibenden 130 Artikeln (WoS: 125; BSP: 5) wurden 10 Konferenzbeiträge⁴⁹ sowie 12 Artikel, deren Volltexte trotz eines englischen Titels und Abstracts nicht auf Englisch verfügbar sind, ausgeschlossen.

Im Zuge einer ersten inhaltlichen Auswertung wurde festgestellt, dass ein Teil der 108 verbleibenden Artikel außerhalb des hier gesteckten Analyserahmens (siehe Kapitel 2.1.2) liegt oder aus anderen Gründen ausgeschlossen werden musste. Insgesamt wurden 68 Aufsätze aufgrund einer hier nicht betrachteten inhaltlichen Fokussierung exkludiert.⁵⁰ Des Weiteren wurden drei Artikel ausgeschlossen, da die Autoren Datenmaterial aus einer anderen Studie nutzen und auf die nähere Beschreibung von In- und Outputs verzichten. Dadurch entsteht ein gewisser Spielraum für Interpretationen, und eine verlässliche Auswertung der Artikel konnte nicht gewährleistet werden.⁵¹ Ein Artikel stellt einen reinen Literaturüberblick dar,⁵² zwei Artikel nutzen als Ansatz zur Effizienzanalyse nicht die DEA.

Für die noch verbleibenden 34 Artikel wird nachfolgend ein systematischer Überblick erstellt. Die Auswertung erfolgt dabei einerseits gegenstandsorientiert (vgl. die Inhalte des Abschnitts 2.1) und andererseits unter modelltheoretischen Gesichtspunkten (vgl. die Inhalte des Abschnitts 2.2).

⁴⁹ Der Ausschluss der Konferenzbeiträge erfolgte, um ein gewisses „Mindest-Qualitätsmaß“ zu gewährleisten, da diese Werke nicht in einem wissenschaftlichen Journal veröffentlicht wurden und dementsprechend nicht den üblichen Weg der Qualitätssicherung über Peer-Gutachten erfahren haben.

⁵⁰ Ein Teil dieser Aufsätze thematisierte beispielsweise die Standortplanung für Glascontainer oder den Zusammenhang zwischen ökonomischer und ökologischer Leistungsfähigkeit industrieller Regionen unter besonderer Berücksichtigung von CO₂-Emissionen, ohne dabei jedoch auf die Abfallbewirtschaftung einzugehen. Eine Auflistung der ausgeschlossenen Artikel mit dem jeweiligen Ausschlussgrund wird auf Nachfrage vom Autor bereitgestellt.

⁵¹ Beispielsweise wurde der Input „Arbeit“ nicht definiert. Die konkrete Operationalisierung bleibt unklar und könnte z. B. anhand der Mitarbeiteranzahl oder der durch diese geleisteten Arbeitsstunden erfolgen. Die Ursprungsstudien lagen jeweils nicht in deutscher oder englischer Sprache vor.

⁵² Dabei handelt es sich konkret um den zuvor bereits näher beschriebenen Literaturüberblick von SIMÕES/MARQUES 2012.

4 Analyse der erhobenen Literatur

4.1 Gegenstandsorientierte Auswertung

In Anlehnung an die in Kapitel 2.1 dargestellten Inhalte werden im Rahmen der gegenstandsorientierten Auswertung die identifizierten Aufsätze hinsichtlich betrachteter DMUs (Territorium, Unternehmen, Anlagen), Abfallarten (AG, FA, AW) sowie deren Herkunftsbereiche (IG, SI) und der analysierten Prozessschritte systematisiert. Abbildung 4 bildet die absoluten Häufigkeiten des Auftretens der jeweiligen Ausprägungen der Systemisierungskriterien ab.⁵³

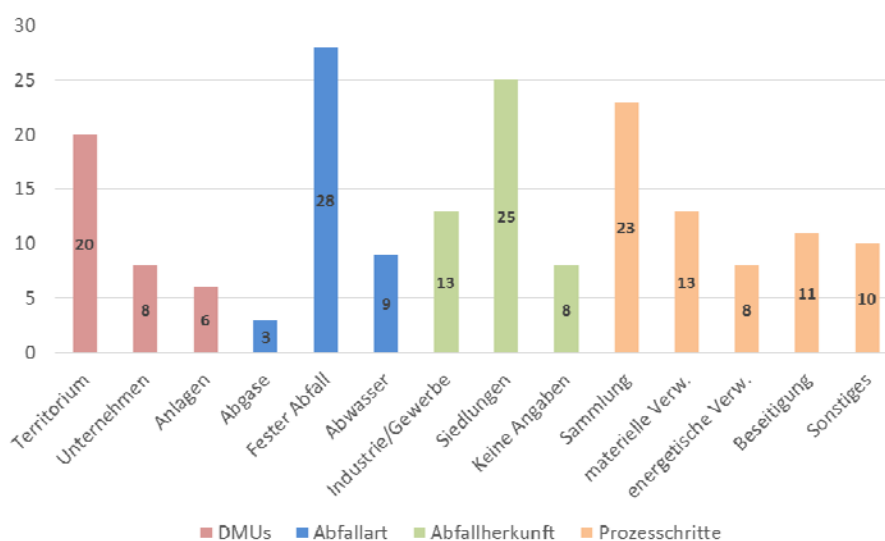


Abbildung 4: Zusammenfassung der gegenstandsorientierten Auswertung

Nachfolgend werden die in Tabelle 3 dargestellten Ergebnisse ausführlicher beschrieben und Besonderheiten herausgearbeitet. Detaillierte Literaturangaben zu den hier dargestellten Artikeln können Anhang A entnommen werden.

⁵³ Das Systemisierungskriterium „DMUs“ ist in die Ausprägung „Territorium“, „Unternehmen“ und „Anlagen“ untergliedert. In die Ausprägung „Territorium“ werden Artikel eingeordnet, die Betrachtungen auf regionaler Ebene durchführen und beispielsweise Städte oder Gemeinden als DMUs betrachten. Die Ausprägung „Unternehmen“ beinhaltet z. B. Abfallwirtschaftsbetriebe und Industriebetriebe. Thermische Abfallbehandlungsanlagen, Abwasser- aufbereitungsanlagen usw. werden unter „Anlagen“ subsumiert.

Tabelle 3: Ergebnisse der gegenstandsorientierten Auswertung

Nr.	Autor(en)	Jahr	DMUs			Abfallart			Abfallherkunft			Prozessschritte				
			T	U	A	AG	FA	AW	IG	SI	KA	Sa	mV	eV	B	so.
1	Benito/Bastida/Garcia	2010	x				x		x	x		x				
2	Benito/Solana/Moreno	2014	x				x				x	x				x
3	Benito-López et al.	2011	x				x				x	x				x
4	Bosch/Pedraja/ Suarez-Pandiello	2000	x				x				x	x				
5	Chang/Liu/Yeh	2013	x				x			x		x				
6	Chen	2010	x				x			x		x				x
7	Chen/Chang/Chen/Tsai	2010			x		x		x	x				x		
8	Chen/Chang/Lai	2014			x		x				x			x		
9	Chen/Chen	2012			x		x		x	x				x		
10	de Jaeger et al.	2011	x				x			x		x				x
11	de Jaeger/Rogge	2014	x				x			x		x				
12	Garcia-Sanchez	2008	x				x			x		x				x
13	Haas/Murphy/Lancioni	2003	x				x				x	x	x			
14	Hernandez-Sancho/Molinos-Senante/Sala-Garrido	2011			x			x	x	x			x		x	
15	Hernandez-Sancho/Sala-Garrido	2009			x			x	x	x			x		x	
16	Huang/Pan/Kao	2011	x				x				x	x				
17	Lo Storto	2013		x				x		x			x		x	x
18	Lozano/Villa/Andenso-Diaz	2001	x				x		x	x		x				
19	Marques/de Cruz/Carvalho	2012		x			x			x		x	x			
20	Marques/Simoes	2009		x			x		x	x			x	x	x	
21	Molinos-Senante/Hernandez-Sacho/Sala-Garrido	2014			x			x	x	x			x		x	
22	Molinos-Senante/Sala-Garrido/Lafuente	2015		x				x		x			x		x	x
23	Moore/Nolan/Segal	2005	x				x				x	x				
24	Prado-Lorenzo/Garcinodota-Sanchez	2010	x					x		x			x		x	
25	Rogge/de Jaeger	2013	x				x			x		x				x
26	Rogge/de Jaeger	2012	x				x			x		x				x
27	Simoes/Marques	2012		x			x		x	x		x	x	x	x	
28	Simoes/Carvalho/Marques	2012	x				x			x		x				
29	Simoes/Cruz/Marques	2012		x			x		x	x		x				
30	Simoes/de Witte/Marques	2010		x			x			x		x	x	x	x	
31	Tao/Li/Xu	2011	x			x	x	x	x	x		x	x	x	x	
32	Worthington/Dollery	2001	x				x				x	x				
33	Wu et al.	2015		x		x	x	x	x							x
34	Wu/Shi/Xia/Zhu	2014	x			x	x	x	x	x		x	x	x	x	
Summen			20	8	6	3	28	9	13	25	8	23	13	8	11	10
Legende:																
DMU	T: Territorium		U: Unternehmen		A: Anlagen											
Prozess(e)	Sa: Sammlung		mV: Materielle Verwertung		eV: Energetische Verwertung		B: Beseitigung		S: sonstiges							
Objekte	AG: Abgase		FA: Feste Abfälle		AW: Abwasser											
Herkunft:	IG: Industrie/Gewerbe		SI: Siedlungen		KA: Keine Angaben											

Bezüglich der DMUs kann festgestellt werden, dass die Mehrheit der identifizierten Aufsätze *territoriale* Betrachtungen durchführt.⁵⁴ Zwei Artikel betrachten Teilregionen Chinas (Großräume) als DMUs (Nr. 5, 34). Drei Artikel führen Analysen auf Städteebene durch (Nr. 6, 23, 31). Der Großteil

⁵⁴ Oft werden die in den Aufsätzen verwendeten Begrifflichkeiten, wie z. B. „municipality“, nicht näher spezifiziert. Daraus ergibt sich ein gewisser Spielraum für Interpretationen, da beispielsweise „municipality“ sowohl mit „Stadt“, „Gemeinde“ als auch „Stadtverwaltung“ übersetzt werden kann. Des Weiteren könnten länderspezifische, verwaltungsrechtliche Unterschiede bei der Abgrenzung von beispielsweise Regionen, Gemeinden und Städten auftreten. Derartige Besonderheiten wurden in den hier getroffenen Ausführungen ausgeblendet und bieten noch Potential für weitere Untersuchungen.

der Aufsätze analysiert jedoch auf Gemeindeebene. So untersucht beispielsweise ein Artikel die Auswirkungen kommunaler Zusammenschlüsse im Bereich Abfallwirtschaft (Nr. 11). Unter den acht Artikeln, die *Unternehmen* betrachten, thematisiert lediglich ein Artikel Industriebetriebe (Nr. 34). Die restlichen Unternehmen stellen Recyclingunternehmen (Nr. 19), Abfallentsorgungsbetriebe (Nr. 20, 27, 29, 30) sowie Wasserversorgungs- und -entsorgungsbetriebe (Nr. 17, 22) dar. Hinsichtlich der technischen *Anlagen* werden drei thermische Behandlungsanlagen (Nr. 7, 8, 9) sowie drei Abwasserbehandlungsanlagen (Nr. 14, 15, 21) analysiert.

Als **Abfallart** betrachtet das Gros der Artikel *feste Abfälle*. *Abwasser* wird vorwiegend von speziell auf diesen Bereich ausgerichteten Studien thematisiert (Nr. 14, 15, 17, 21, 22, 24). Eine Besonderheit stellen die Artikel Nr. 31, 33 und 34 dar. Diese berücksichtigen auf Ebene der Großregionen und industriellen Unternehmen neben den beiden zuvor genannten Abfallarten auch *Abgase*. Hinsichtlich des **Herkunftsbereichs** der verschiedenen Abfallarten kann festgestellt werden, dass überwiegend Abfälle aus *Siedlungen* Berücksichtigung finden. Industrielle *Unternehmen* werden nur einmal als alleinige Abfallquelle betrachtet (Nr. 33), ansonsten findet stets eine integrative Betrachtung von Industrie-/Gewerbeabfall und Siedlungsabfall statt. Insgesamt acht Artikel treffen keine Aussage zur Herkunft des Abfalls.

Im Hinblick auf **Prozessschritte** untersuchen 23 Artikel u. a. den *Sammlungsprozess*. Dieser Umstand könnte beispielsweise dafür sprechen, dass der Abfallkollektion eine hohe Bedeutung zugemessen wird (z. B. aufgrund hoher Kostenanteile der Sammlung am Gesamtprozess der Abfallwirtschaft), oder aber schlicht die Daten gut verfügbar sind. Die *Beseitigung* wird vorwiegend im Rahmen von Artikeln behandelt, die als Abfallart u. a. Abwasser berücksichtigen. Lediglich drei Artikel (Nr. 20, 27, 30) thematisieren die Beseitigung ausschließlich fester Abfälle. Innerhalb dieser Artikel wird allerdings weder auf verschiedene Beseitigungsoptionen eingegangen, noch werden die verschiedenen mengenmäßigen Stoffströme zu den Beseitigungsanlagen betrachtet.⁵⁵ Die genannten Artikel thematisieren zudem nicht ausschließlich die Beseitigung, sondern auch andere Abfallbehandlungsoptionen (*thermische* und *materielle Verwertung*). Dabei wird nicht differenziert aufgezeigt, welche Abfallmengen auf welche Art und Weise behandelt oder beseitigt werden. Unter die Kategorie *Sonstiges* fallen Artikel, die zusätzlich den Aspekt Straßenreinigung (Nr. 2, 3, 12) betrachten. Des Weiteren beinhaltet diese Kategorie Artikel, die den sehr allgemeinen Begriff „Abfallbehandlung“ verwenden und diesen nicht weiter eingrenzen (Nr. 10, 16, 25, 29, 33). Lediglich vier Artikel betrachten den Prozess Abfallwirtschaft ganzheitlich (Nr. 27, 30, 31, 34). Im Bereich Wasserentsorgung wird zuweilen auch die Wasserversorgung inkludiert (Nr. 17, 22).

⁵⁵ So könnte es beispielsweise sein, dass eine Deponie nicht ausschließlich für die Beseitigung inländischen Abfalls genutzt, sondern auch zur Beseitigung von aus dem Ausland importiertem Abfall verwendet wird.

4.2 Modelltheoretische Auswertung

In Anlehnung an die in Kapitel 2.2 dargestellten Inhalte werden im Rahmen der modelltheoretischen Auswertung die identifizierten Aufsätze hinsichtlich angewandter Modelle, Modellorientierung und der unterstellten Skalenertragsform systematisiert.⁵⁶ Des Weiteren werden die Artikel bezüglich verwendeter In- und Outputs sowie berücksichtigter exogener Faktoren klassifiziert. Abbildung 5 bildet die absoluten Häufigkeiten des Auftretens der jeweiligen Ausprägungen der Systematisierungskriterien ab.⁵⁷

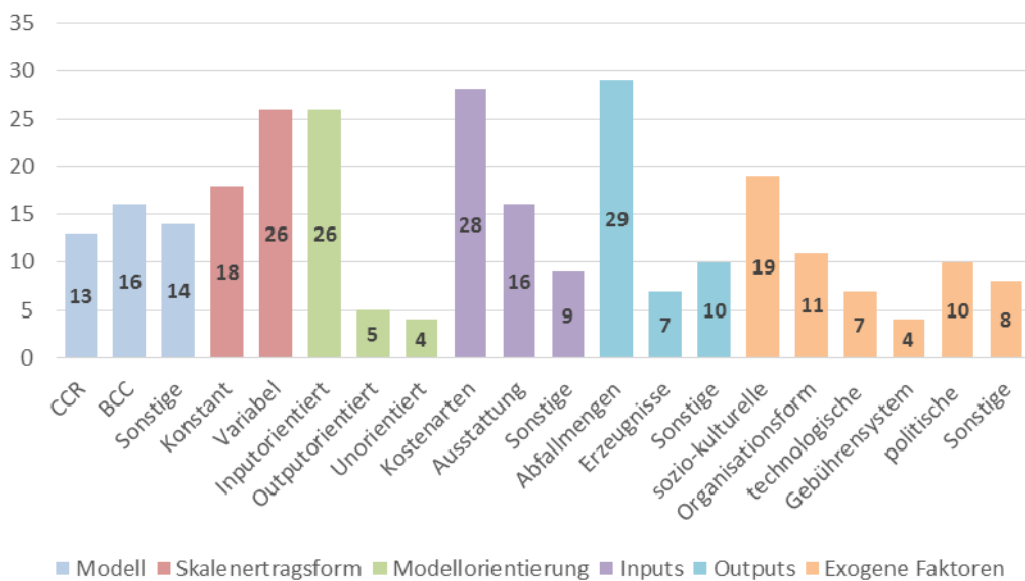


Abbildung 5: Zusammenfassung der modelltheoretischen Auswertung

Nachfolgend werden die in Tabelle 4 detaillierter dargestellten Ergebnisse beschrieben und Besonderheiten herausgearbeitet. Literaturangaben zu den hier dargestellten Artikeln können Anhang A entnommen werden.

⁵⁶ Da die Verwendung des CCR-Modells immer an die Annahme konstanter Skalenerträge gekoppelt ist, sind die Systematisierungskriterien „Modell“ und „Skalenertragsform“ nicht disjunkt. Diese Kategorien werden dennoch beibehalten, damit das Verhältnis zwischen Artikeln mit konstanten und variablen Skalenerträgen besser veranschaulicht wird und um die Ausprägung „Sonstige“ innerhalb der *Modelle* weiter zu spezifizieren.

⁵⁷ Zu sozio-kulturellen Faktoren zählen beispielsweise die Bevölkerungszahl, das Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukt sowie die Altersstruktur der Bevölkerung. Technologische Faktoren sind unter anderem Verbrennungskapazitäten von thermischen Behandlungsanlagen, Behandlungskapazitäten von Wasseraufbereitungsanlagen sowie die Länge des Wasserversorgungsnetzes. Politische Faktoren, wie etwa die politische Ausrichtung der amtierenden Partei und der Regulierungsgrad in gewissen Teilbereichen der Abfallbewirtschaftung, stellen weitere exogene Einflussgrößen dar.

Tabelle 4: Ergebnisse der modelltheoretischen Auswertung⁵⁸

Nr.	Autor(en)	Jahr	Modell(e)			SE			Orient.			Inputs			Outputs			Exogene Faktoren				
			CCR	BCC	S	C	V	I	O	U	K	A	S	M	E	S	SK	O	T	G	P	S
1	Benito/Bastida/Garcia	2010		x			x			x			x			x		x	x	x		x
2	Benito/Solana/Moreno	2014		x			x	x				x			x		x	x	x			x
3	Benito-López et al.	2011		x			x	x				x			x		x	x	x			x
4	Bosch/Pedraja/Suarez-Pandiello	2000		x			x	x				x			x		x					
5	Chang/Liu/Yeh	2013			x		x				x	x	x	x	x							
6	Chen	2010	x		x	x		x				x	x	x	x			x				
7	Chen/Chang/Chen/Tsai	2010	x	x		x	x	x				x		x	x							
8	Chen/Chang/Lai	2014			x		x	x				x		x	x	x			x	x	x	
9	Chen/Chen	2012	x	x		x	x	x				x	x	x	x	x			x			
10	de Jaeger et al.	2011	x			x		x				x		x			x			x	x	x
11	de Jaeger/Rogge	2014	x					x					x			x	x					
12	García-Sánchez	2008			x	x	x	x				x	x	x		x	x					x
13	Haas/Murphy/Lancioni	2003	x			x		x				x		x	x	x		x				
14	Hernandez-Sancho/Molinos-Senante/Sala-Garrido	2011			x		x	x				x		x					x			
15	Hernandez-Sancho/Sala-Garrido	2009	x			x		x				x	x		x					x		
16	Huang/Pan/Kao	2011			x	x		x					x	x		x						
17	Lo Storto	2013		x			x	x				x	x			x		x		x		
18	Lozano/Villa/Andenso-Díaz	2001		x			x		x			x	x	x								
19	Marques/de Cruz/Carvalho	2012			x	x	x	x	x			x			x	x		x	x			x
20	Marques/Simoes	2009	x	x	x	x	x	x				x			x			x	x			x
21	Molinos-Senante/Hernandez-Sacho/Sala-Garrido	2014			x		x				x	x		x	x				x			
22	Molinos-Senante/Sala-Garrido/Lafuente	2015			x	x	x				x	x	x			x						x
23	Moore/Nolan/Segal	2005	x	x		x	x		x			x	x				x	x				x
24	Prado-Lorenzo/Garcinodota-Sánchez	2010	x	x		x	x	x				x		x		x	x	x				x
25	Rogge/de Jaeger	2013		x			x	x				x			x		x			x	x	x
26	Rogge/de Jaeger	2012		x			x	x				x			x		x			x		x
27	Simoes/Marques	2012			x		x	x				x	x		x							x
28	Simoes/Carvalho/Marques	2012	x	x		x	x	x				x	x		x			x		x		
29	Simoes/Cruz/Marques	2012			x		x	x				x	x		x			x				x
30	Simoes/de Witte/Marques	2010	x	x		x	x	x				x			x			x	x			x
31	Tao/Li/Xu	2011	x			x		x				x			x	x						
32	Worthington/Dollery	2001		x			x	x				x			x			x		x		
33	Wu et al.	2015			x		x				x	x		x		x		x				
34	Wu/Shi/Xia/Zhu	2014			x	x			x			x	x		x	x						
Summen			13	16	14	18	26	26	5	4	28	15	12	29	7	10	19	11	7	4	10	8
Legende:																						
Modelle	CCR: Charnes/Cooper/Rhodes			BCC: Banker/Charnes/Cooper			S: sonstige															
Skalenertragsform (SE)	C: konstant			V: variabel																		
Modellorientierung (Orient.)	I: inputorientiert			O: outputorientiert			U: unorientiert															
Inputs	K: Kostenarten			A: Ausstattung			S: sonstige															
Outputs	M: Abfallmengen			E: Erzeugte Verwertungsobjekte			S: sonstige															
Exogene Faktoren	SK: sozio-kulturelle			O: Organisations-/Eigentumsform			T: technologische			G: Gebührensystem			P: politische			S: sonstige						

Die **Modellwahl** zeigt eine recht ausgewogene Verteilung der Ausprägungen „CCR“ und „BCC“. Hierbei ist zu beachten, dass die Ausprägungen „CCR“ und „BCC“ nicht nur die reinen Basismodelle berücksichtigen, sondern auch gewisse Modifizierungen. Sieben Artikel nutzen zugleich CCR- und BCC-Modelle, beispielsweise zur Identifikation der vorherrschenden Skalenertragsform⁵⁹ oder eines geeigneten Modells⁶⁰ (Nr. 7, 9, 20, 23, 24, 28, 30). Eine Übersicht über die angewandten Modelle inklusive der sonstigen Modelle kann Anhang B entnommen werden. Konkrete Literaturangaben zu den in Anhang B erwähnten Modellen sind in Anhang C vorzufinden.

⁵⁸ Hellgraue Kreuze innerhalb der Spalten Skalenerträge deuten die bereits erwähnte Verknüpfung zwischen den DEA-Basismodellen (CCR, BCC) und der durch die Verwendung dieser Modelle implizierte Skalenertragsform (konstant, variabel) an.

⁵⁹ Siehe für eine ausführliche Darstellung des Konzepts Skaleneffizienz BANKER/CHARNES/COOPER 1984, COOPER/SEIFORD/TONE 2007, S. 153.

⁶⁰ Die Berechnung mehrerer DEA-Modelle sowie deren vergleichende Ergebnisanalyse zur Identifikation eines geeigneten Modells wird beispielsweise auch von GOLANY/ROLL 1989, S. 246, durchgeführt.

Hinsichtlich der gewählten **Skalenertragsform** überwiegt die Anzahl an Artikeln mit *variablen* Skalenerträgen. Auffällig ist, dass lediglich acht Artikel ausschließlich Modelle mit *konstanten* Skalenerträgen zugrunde legen (Nr. 6, 10, 11, 13, 15, 16, 31, 34). Die übrigen zehn Artikel, die ein Modell mit konstanten Skalenerträgen verwenden, nutzen ebenfalls mindestens ein weiteres Modell mit variablen Skalenerträgen. Da die analysierten Artikel recht unterschiedliche Analysegegenstände betrachten, können jedoch keine verlässlichen Tendenzaussagen über die Skalenerträge der Abfallwirtschaft insgesamt oder bestimmter Teilprozesse getroffen werden.

Bezüglich der gewählten **Modellorientierung** fällt das Ergebnis eindeutiger aus. Die überwiegende Mehrheit der Artikel nutzt *inputorientierte* Modelle. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass inputseitig meist die anfallenden Kosten der Abfallwirtschaft betrachtet werden und diese erstens verhältnismäßig gut beeinflussbare Faktoren darstellen sowie zweitens im Zuge der meist ökonomisch orientierten Untersuchungen besonders relevant erscheinen.

Outputorientierte Modelle werden in fünf Artikeln verwendet. Als Outputfaktoren dienen dabei u. a. gesammelte Abfallmengen (Nr. 1, 18, 19) bzw. die Menge entsorgten Abwassers (Nr. 34) sowie die Anzahl bedienter Kunden (Nr. 23). Die Wahl der Outputorientierung könnte in den genannten Artikeln durchaus auf serviceorientierte Überlegungen zurückzuführen sein, sollte aber kritisch hinterfragt werden, da die gesammelte bzw. entsorgte Abfallmenge durch die betrachteten DMUs nicht beliebig variiert werden kann. Auf der einen Seite kann die gesammelte bzw. entsorgte Abfallmenge beispielsweise durch den Mehreinsatz von Sammelfahrzeugen oder Mitarbeitern durchaus gesteigert werden. Auf der anderen Seite können die analysierten DMUs die insgesamt zu sammelnde bzw. zu entsorgende Abfallmenge jedoch kaum beeinflussen. Abgesehen von der geringen Beeinflussbarkeit erscheint eine Steigerung der zu sammelnden bzw. zu entsorgenden Abfallquantität für einige DMUs (z. B. thermische Behandlungsanlagen) zwar ökonomisch interessant, ökologisch jedoch fragwürdig.

Unorientierte Modelle werden lediglich von vier Artikeln genutzt. Outputseitig werden bei diesen Artikeln u. a. die zu entsorgende Abfallmenge eines Industriebetriebs (Nr. 5), die Menge entfernter Schwebstoffe und organischer Abfälle aus behandeltem Abwasser (Nr. 21), die bereitgestellte Wassermenge bei der Wasserversorgung (Nr. 22) sowie erzeugte und veräußerte Verwertungsobjekte (Nr. 33) verwendet. Die Orientierungswahl erscheint in diesen Fällen plausibel, da die betrachteten Outputs durch die DMUs recht gut beeinflussbar wirken.

Inputseitig werden zumeist verschiedene *Kostenarten* (z. B. Betriebskosten, Personalkosten) genutzt. Seltener wird die technische und personelle *Ausstattung* der DMUs (z. B. Anzahl an Fahrzeugen, Mitarbeiterzahl) berücksichtigt.⁶¹ Sämtliche Artikel, die als DMUs Unternehmen bzw.

⁶¹ Eine ausführliche Übersicht der verwendeten In- und Outputs kann Anhang B entnommen werden.

technische Anlagen wählen, inkludieren Kosten. Im Gegensatz dazu ziehen nur ein Teil der Artikel, die territoriale Betrachtungen durchführen (Nr. 4, 11, 12, 16, 18, 24), explizit Kosten als Inputs heran. Allerdings betrachten vier dieser Artikel (Nr. 4, 12, 18, 24) inputseitig technische und personelle Kennzahlen, welche wiederum mit verschiedenen Kostenarten (z. B. Betriebskosten) korreliert sind. Diese indirekte Art, Kosten zu berücksichtigen, könnte auf eine begrenzte Datenverfügbarkeit zurückzuführen sein. Vier Artikel betrachten Müllmengen als *sonstige* Prozessinputs (Nr. 6, 7, 13, 33). Interessanterweise nutzen drei dieser Artikel (Nr. 6, 7, 13) inputorientierte Modelle und berücksichtigen somit auch die ökologische Zielsetzung Abfallvermeidung.⁶² Artikel Nr. 33 analysiert zwei Subsysteme eines produzierenden Unternehmens (Produktions- und Entsorgungssystem) unter Nutzung unorientierter Modelle.

Wie in Abbildung 3 dargestellt, kann Abfall sowohl als Prozessinput (noch zu bewirtschaftender Abfall) als auch als Prozessoutput (bereits bewirtschafteter Abfall) betrachtet werden.⁶³ Dies zeigt sich auch in den betrachteten Artikeln. So werden *Abfallmengen* überwiegend als Prozessoutput, beispielsweise im Sinne von gesammelten oder thermisch behandelten Abfallmengen, modelliert. Zwei weitere Artikel (Nr. 11, 16) integrieren aufgrund modellierungsspezifischer Besonderheiten outputseitig Leistungskennzahlen, die ebenfalls eng verknüpft mit den Betriebskosten sind (z. B. Kosten pro Megagramm gesammelten Abfalls).

Neben Abfallmengen werden zuweilen auch *Erzeugnisse* oder Erlöse aus dem Verkauf erzeugter Verwertungsobjekte (z. B. Strom aus thermischer Verwertung) betrachtet. Ein Artikel berücksichtigt finanzielle Transferleistungen eines dualen Systems (Nr. 19). Unter *Sonstige* sind innerhalb der Outputs beispielsweise Tourismusindizes (Nr. 2), Qualitätsindizes (Nr. 3) oder staatliche Sanktionen bei der Verletzung gewisser Qualitätsstandards bei der Wasserversorgung (Nr. 22) eingeordnet.

Die Mehrheit der Artikel berücksichtigt *sozio-kulturelle* Faktoren (wie z. B. die Bevölkerungszahl, Bevölkerungsdichte, Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukt) als **exogene Einflussfaktoren**. Als *politische Faktoren* werden die Ausrichtung der amtierenden politischen Partei von vier Artikeln (Nr. 1, 2, 3, 25) sowie der Regulierungsgrad des Tätigkeitsbereichs der DMUs durch staatliche Organe berücksichtigt (Nr. 19, 29, 27, 29, 30). Insbesondere in den Artikeln, die als DMUs Unternehmen betrachten, scheinen politische Einflussfaktoren von Interesse zu sein. So nutzen 63 % dieser Artikel

⁶² Der Umstand, dass Artikel Nr. 7 die Effizienz thermischer Behandlungsanlagen unter Nutzung inputorientierter Modelle analysiert und dabei eingesetzte Abfallmengen als Input berücksichtigt, mag zunächst verwundern. Das Ziel dieser Analyse war jedoch weniger die Untersuchung der wirtschaftlichen, sondern vielmehr der ökologischen Effizienz der thermischen Behandlung von Abfällen.

⁶³ Von einem rein technischen Standpunkt aus stellt Abfall zunächst immer einen Prozessinput (z. B. der Sammlung, der Behandlung, der Ablagerung) dar.

(Nr. 19, 20, 27, 29, 30) gewisse politische Rahmenbedingungen (z. B. Regulierungsgrad, Regulierungsmodell) als exogene Einflussfaktoren.⁶⁴ *Sonstige* Faktoren sind beispielsweise der Abfuhrhythmus (Nr. 10), die ökonomischen Aktivitäten der betrachteten Städte (Nr. 12), diverse Wetterkennzahlen (Nr. 23) oder ob ein gewichtsbasiertes Gebührensystem genutzt wird (Nr. 25). Insgesamt gestaltet sich die Gruppe der exogenen Faktoren recht heterogen. Dies ist unter Umständen darauf zurückzuführen, dass die Erhebung entsprechender Daten (z. B. zu Gebührensystem, Abfuhrhythmen) mitunter sehr aufwändig sein kann und diese Informationen daher in einigen Studien evtl. bewusst vernachlässigt wurden. Interessanterweise berücksichtigen Artikel, die technische Anlagen betrachten, weder sozio-kulturelle noch politische Einflussfaktoren. Dies verwundert, da beispielsweise der Wirkungsgrad thermischer Behandlungsanlagen oder Abwasseraufbereitungsanlagen durchaus von der Beschaffenheit bzw. Zusammensetzung des angelieferten Abfalls abhängig ist. Die Zusammensetzung des Abfalls wiederum könnte von diversen sozio-kulturellen Faktoren (z. B. der Bereitschaft zur Mülltrennung) oder aber auch politischen Rahmenbedingungen (z. B. politische Vorgaben hinsichtlich Mülltrennung) abhängig sein.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel des vorliegenden Arbeitsberichts war es, einen systematischen Literaturüberblick zur Verwendung der DEA im Bereich Abfallwirtschaft zu geben. Dazu wurden in Abschnitt 2.1 zunächst Begrifflichkeiten definiert sowie der schematische Prozess der Abfallwirtschaft (siehe Abbildung 3) kurz dargestellt. Zudem wurde in Abschnitt 2.2 grundlegend in die Effizienzmessung mittels DEA eingeführt und relevante Aspekte der Modellwahl (Skalenertragsform, Modellorientierung) vorgestellt. Im Rahmen von Abschnitt 3.1 wurde eine Abgrenzung von anderen Literaturüberblicken (SIMÕES/MARQUES 2012, SIMÕES ET AL. 2010, WOJCIK ET AL. 2015) vorgenommen. Dabei wurde deutlich, dass die genannten Artikel entweder nicht speziell auf DEA oder auf Abfallwirtschaft ausgerichtet waren. Zur anschließenden Literaturerhebung wurden die WoS- und BSP-Datenbanken genutzt (siehe Abschnitt 3.2). Die ermittelte Literaturliste wurde in verschiedenen Schritten von anfänglich 865 auf 34 zu betrachtende Artikel eingegrenzt (Abschnitt 3.3).

Im Zuge der gegenstandsorientierten Auswertung der Artikel (Abschnitt 4.1) wurden die analysierten DMUs, die betrachteten Abfallarten und deren Herkunft sowie die jeweils betrachteten (Teil-)Prozesse der Abfallwirtschaft näher analysiert. Dabei wurde festgestellt, dass mehrheitlich territoriale Betrachtungen der Sammlung festen Abfalls aus Siedlungen durchgeführt werden. Der Prozess Beseitigung wurde vorwiegend in Analysen von Wasserwirtschaftsbetrieben betrachtet.

⁶⁴ Im Vergleich dazu berücksichtigen nur 25 % der Artikel, die auf territorialer Ebene analysieren, sowie keiner der Artikel, die technische Anlagen analysieren, politische Einflussfaktoren.

Untersuchungen zur Beseitigung fester Abfälle sind hingegen selten und beschränken sich weitgehend auf oberflächliche Betrachtungen. So wird beispielsweise nicht dargelegt, welche Abfallmengen tatsächlich beseitigt wurden. Verflechtungen mit dem Ausland (Müllimporte oder -exporte) wurden gar nicht thematisiert.

Die modelltheoretische Auswertung (Abschnitt 4.2) zeigte, dass hinsichtlich der gewählten Skalenertragsform keine Tendenz Aussagen getroffen werden können. Dies ist maßgeblich darauf zurückzuführen, dass die Artikel ein sehr heterogenes Feld an Untersuchungsgegenständen abdecken. Die gewählte Modellorientierung war zumeist inputorientiert, was vor dem Hintergrund der häufigen Integration verschiedener Kostenarten auf der Inputseite durchaus nachvollziehbar ist. Die Wahl outputorientierter Modelle erschien insbesondere im Falle der outputseitigen Integration von Abfallquantitäten aufgrund der nur bedingt gegebenen Beeinflussbarkeit durch die betrachteten DMUs durchaus diskussionswürdig. Hinsichtlich der genutzten Modelle zeigte sich ebenfalls ein sehr heterogenes Bild. Sowohl CCR-(basierte-)Modelle, BCC-(basierte-)Modelle als auch zahlreiche andere Modelle fanden Verwendung (siehe dazu ausführlicher Anhang B in Verbindung mit Anhang C). Inputseitig wurden nur selten Abfallquantitäten, gelegentlich die technische oder personelle Ausstattung und zumeist verschiedene Kostenarten modelliert. Outputseitig fanden selten Qualitätsindizes, teils Erlöse aus dem Verkauf erzeugter Verwertungsobjekte sowie häufig die gesammelte/behandelte Abfallmenge Berücksichtigung. Die Mehrheit der betrachteten Artikel bezieht sozio-kulturelle Faktoren (z. B. Bevölkerungsdichte) mit ein. Des Öfteren werden die Organisations-/Eigentumsform der DMU und diverse politische Rahmenbedingungen (z. B. Regulierungsgrad) sowie seltener das Abfallgebührensensystem oder der Abfuhrhythmus des Abfalls einbezogen.

Da im Rahmen der Literaturrecherche kein Artikel identifiziert wurde, der die Effizienz der deutschen Abfallwirtschaft mittels DEA untersucht, ergibt sich schon aus der Länderperspektive eine deutliche Forschungslücke.⁶⁵ Für zukünftige Forschungsvorhaben des Autors scheinen insbesondere die bereits in der Einleitung erwähnten Hausmüllgebührendifferenzen eine interessante Ausgangsproblematik zu bieten. Dies begründet sich vor allem durch die bisher nicht hinreichend erklärte Größenordnung der Abweichungen von bis zu 500 %.⁶⁶ Diesbezüglich besteht nicht nur aus rein wissenschaftlicher Perspektive, sondern auch seitens der Gebührenpflichtigen ein Interesse an Erklärungsansätzen sowie der Reduktion eventuell bestehender Effizienzdefizite (z. B. mit

⁶⁵ Wie bereits erläutert, wurde in diesem Arbeitsbericht die Dissertation von PRZYBILLA 2002 von näheren Betrachtungen ausgeschlossen. In künftigen Untersuchungen werden die Erkenntnisse der erwähnten Publikation näher dargestellt und berücksichtigt. An dieser Stelle sei jedoch angemerkt, dass PRZYBILLA 2002 die meisten der im Ausblick dieses Arbeitsberichts erwähnten und noch zu erforschenden Aspekte der Abfallwirtschaft nicht betrachtet.

⁶⁶ Siehe dazu WALDERMANN 2008 sowie IW KÖLN CONSULT GMBH 2008.

dem Ziel der Gebührensenkung). Die Untersuchung bestehender Hausmüllgebührendifferenzen erfordert eine Fokussierung auf die kommunale Abfallwirtschaft.

Basierend auf den Erkenntnissen des vorliegenden Arbeitsberichts soll in einer nachfolgenden Untersuchung zunächst analysiert werden, inwieweit die identifizierten In- und Outputs sowie exogene Einflussgrößen auch für eine Untersuchung der deutschen Abfallwirtschaft relevant sind und inwiefern Anpassungen bzw. Erweiterungen vorgenommen werden müssen, um die länderspezifischen Gegebenheiten adäquat zu berücksichtigen. Dabei soll unter anderem der bisher kaum analysierte Teilprozess Abfallbeseitigung näher betrachtet werden. So könnten der bereits erwähnte Rückgang der Anzahl an Deponien in Deutschland sowie die damit einhergehende Reduktion der beseitigten Abfallquantität einen maßgeblichen Einfluss auf die Kosten- und Erlösstruktur der deutschen Abfallwirtschaft haben (z. B. Stilllegungs- und Nachsorgekosten für Deponien, zunehmende Quantitäten absetzbarer Verwertungsobjekte). Zudem sollen die bereits in Kapitel 1 angesprochenen Einflüsse der unterschiedlichen rechtlichen Rahmenbedingungen bei der Gebührenkalkulation genauer beleuchtet werden.

Ziel der zuvor beschriebenen künftigen Forschungsvorhaben des Autors ist es nicht, einen rein konzeptionellen Beitrag zu leisten, sondern eine empirische Analyse der kommunalen Abfallwirtschaft in Deutschland durchzuführen. Vor diesem Hintergrund muss ebenfalls der Frage nach der Verfügbarkeit relevanter Daten nachgegangen werden. Bei mangelhafter Datenverfügbarkeit gilt es geeignete Lösungsstrategien zu entwickeln. So könnte es nach derzeitigem Kenntnisstand beispielsweise problematisch sein, die tatsächlichen Kosten vieler Abfallwirtschaftsbetriebe zu ermitteln. Um dieser Problematik zu bewältigen, könnte unter Umständen eine Approximation der Kosten mittels gezahlter Benutzungsgebühren (z. B. Hausmüllgebühren) erfolgen, da diese oftmals dem sog. Kostendeckungsprinzip unterliegen.

In künftigen Forschungsvorhaben werden zudem bestimmte exogene Faktoren, wie beispielsweise Gebührenmaßstäbe, verstärkt betrachtet, da sich diese ebenfalls auf die Abfallgebührenkalkulation und somit – zumindest in Deutschland – auf das „Budget der Abfallbewirtschafter“ auswirken.⁶⁷ In den untersuchten Artikeln wurden bestehende Verflechtungen mit dem Ausland innerhalb der Abfallwirtschaft noch nicht analysiert. Nach Ansicht des Autors sollte diese Forschungslücke künftig ebenfalls geschlossen werden, da Abfallimporte und -exporte die zu bewirtschaftende und die bewirtschaftete Abfallmenge beeinflussen und dadurch beispielsweise für thermische Behandlungsanlagen besonders relevant erscheinen.

⁶⁷ Vgl. zum Zusammenhang zwischen der Höhe der Hausmüllgebühren und dem verwendeten Gebührenmaßstab MIOFSKY/SOUREN 2011.

Anhang A: Verzeichnis analysierter Artikel

- Benito, B./Bastida, F./Garcia, J. A.: Explaining Differences in Efficiency: An Application to Spanish Municipalities, in: *Applied Economics* 42 (4) 2010, S. 515–528.
- Benito, B./Solana, J./Moreno, M.-R.: Explaining Efficiency in Municipal Services Providers, in: *Journal of Productivity Analysis* 42 (3) 2014, S. 225–239.
- Benito-Lopez, B./del Rocio Moreno-Enguix, M./Solana-Ibanez, J.: Determinants of Efficiency in the Provision of Municipal Street-cleaning and Refuse Collection Services, in: *Waste Management* 31 (6) 2011, S. 1099–1108.
- Bosch, N./Pedraja, F./Suarez-Pandiello, J.: Measuring the Efficiency of Spanish Municipal Refuse Collection Services, in: *Local Government Studies* 26 (3) 2000, S. 71–91.
- Chang, D.-S./Liu, W./Yeh, L.-T.: Incorporating the Learning Effect into Data Envelopment Analysis to Measure MSW Recycling Performance, in: *European Journal of Operational Research* 229 (2) 2013, S. 495–504.
- Chen, C.-C.: A Performance Evaluation of MSW Management Practice in Taiwan, in: *Resources, Conservation and Recycling* 54 (12) 2010, S. 1353–1361.
- Chen, H.-W./Chang, N.-B./Chen, J.-C./Tsai, S.-J.: Environmental Performance Evaluation of Large-scale Municipal Solid Waste Incinerators Using Data Envelopment Analysis, in: *Waste Management* 30 (7) 2010, S.1371–1381.
- Chen, P.-C./Chang, C.-C./Lai, C.-L.: Incentive Regulation and Performance Measurement of Taiwan's Incineration Plants: An Application of the Four-stage DEA Method, in: *Journal of Productivity Analysis* 41 (2) 2014, S. 277–290.
- Chen, Y.-T./Chen, C.-C.: The Privatization Effect of MSW Incineration Services by Using Data Envelopment Analysis, in: *Waste Management* 32 (3) 2012, S. 595–602.
- de Jaeger, S./Eyckmans, J./Rogge, N./van Puyenbroeck, T.: Wasteful Waste-reducing Policies? The Impact of Waste Reduction Policy Instruments on Collection and Processing Costs of Municipal Solid Waste, in: *Waste Management* 31 (7) 2011, S. 1429–1440.
- de Jaeger, S./Rogge, N.: Cost-efficiency in Packaging Waste Management: The Case of Belgium, in: *Resources, Conservation and Recycling* 85 2014, S. 106–115.
- Garcia-Sanchez, I. M.: The Performance of Spanish Solid Waste Collection, in: *Waste Management & Research* 26 (4) 2008, S. 327–336.
- Haas, D. A./Murphy, F. H./Lancioni, R. A.: Managing Reverse Logistics Channels with Data Envelopment Analysis, in: *Transportation Journal* 42 (3) 2003, S. 59–69.
- Hernandez-Sancho, F./Molinos-Senante, M./Sala-Garrido, R.: Energy Efficiency in Spanish Wastewater Treatment Plants: A non-radial DEA Approach, in: *Science of the Total Environment* 409 (14) 2011, S. 2693–2699.
- Hernandez-Sancho, F./Sala-Garrido, R.: Technical Efficiency and Cost Analysis in Wastewater Treatment Processes: A DEA approach, in: *Desalination* 249 (1) 2009, S. 230–234.
- Huang, Y.-T./Pan, T.-C./Kao, J.-J.: Performance Assessment for Municipal Solid Waste Collection in Taiwan, in: *Journal of Environmental Management* 92 (4) 2011, S. 1277–1283.
- Lo Storto, C.: Are Public-Private Partnerships a Source of Greater Efficiency in Water Supply? Results of a Non-Parametric Performance Analysis Relating to the Italian Industry, in: *Water* 5 (4) 2013, S. 2058–2079.
- Lozano, S./Villa, G./Adenso-Diaz, B.: Centralised Target Setting for Regional Recycling Operations using DEA, in: *Omega* 32 (2) 2004, S. 101–110.

- Marques, R. C./da Cruz, N. F./Carvalho, P.: Assessing and Exploring (In)Efficiency in Portuguese Recycling Systems using Non-parametric Methods, in: *Resources, Conservation and Recycling* 67 2012, S. 34–43.
- Marques, R. C./Simoes, P.: Incentive Regulation and Performance Measurement of the Portuguese Solid Waste Management Services, in: *Waste Management & Research* 27 (2) 2009, S. 188–196.
- Molinos-Senante, M./Hernandez-Sancho, F./Sala-Garrido, R.: Benchmarking in Wastewater Treatment Plants: A Tool to Save Operational Costs, in: *Clean Technologies and Environmental Policy* 16 (1) 2014, S. 149–161.
- Molinos-Senante, M./Sala-Garrido, R./Lafuente, M.: The Role of Environmental Variables on the Efficiency of Water and Sewerage Companies: A Case Study of Chile, in: *Environmental science and pollution research* 22 (13) 2015, S. 10242–10253.
- Moore, A./Nolan, J./Segal, G. F: Putting out the Trash – Measuring Municipal Service Efficiency in US cities, in: *Urban Affairs Review* 41 (2) 2005, S. 237–259.
- Prado-Lorenzo, J. M./Garcinodota-Sanchez, I. M.: Effect of Operation Size, Environmental Conditions and Management on Municipal Sewerage Services, in: *International Journal of Productivity & Performance Management*, 59 (3) 2010, S. 206–228.
- Rogge, N./de Jaeger, S.: Measuring and Explaining the Cost Efficiency of Municipal Solid Waste Collection and Processing Services, in: *Omega* 41 (4) 2013, S. 653–664.
- Rogge, N./de Jaeger, S.: Evaluating the Efficiency of Municipalities in Collecting and Processing Municipal Solid Waste: A shared Input DEA-model, in: *Waste Management* 32 (10) 2012, S. 1968–1978.
- Simoes, P./Marques, R. C.: Influence of Regulation on the Productivity of Waste Utilities. What can we learn with the Portuguese Experience?, in: *Waste Management* 32 (6) 2012, S. 1266–1275.
- Simoes, P./Carvalho, P./Marques, R. C.: Performance Assessment of Refuse Collection Services using Robust Efficiency Measures, in: *Resources, Conservation and Recycling* 67 2012, S. 56–66.
- Simoes, P./da Cruz, N. F./Marques, R. C.: The Performance of Private Partners in the Waste Sector, in: *Journal of Cleaner Production* 29–30 2012, S. 214–221.
- Simoes, P./de Witte, K./Marques, R. C.: Regulatory Structures and Operational Environment in the Portuguese Waste Sector, in: *Waste Management* 30 (6) 2010, S. 1130–1137.
- Tao, M./Li, H./Xu, H.: Influencing Factor Analysis of the Investment Efficiency of the Environmental Governance: A Case of Shandong Province in China, in: *Grey Systems: Theory and Application* 1 (3) 2011, S. 240–249.
- Worthington, A. C./ Dollery, B. E.: Measuring Efficiency in Local Government: An Analysis of New South Wales Municipalities' Domestic Waste Management Function, in: *Policy Studies Journal* 29 (2) 2001, S. 232–249.
- Wu, J./Zhu, Q./Chu, J./Liang, L.: Two-Stage Network Structures with Undesirable Intermediate Outputs Reused: A DEA Based Approach, in: *Computational Economics* 46(3) 2015, S. 455–477.
- Wu, H.-G./Shi, Y./Xia, Q./Zhu, W.-D.: Effectiveness of the policy of circular economy in China: A DEA-based analysis for the period of 11th five-year-plan, in: *Resources, Conservation and Recycling* 83 2014, S. 163–175.

Anhang B: Details der modelltheoretischen Auswertung

Nr.	Autor(en)	Jahr	Angewandte Modelle	Inputfaktoren	Outputfaktoren	Exogene Faktoren
1	Benito; Bastida; Garcia	2010	BCC	Personalkosten, laufende Transferleistungen, sonst. laufende Kosten	Gesammelte Mengen Haushalts- und Industrie- und Gewerbeabfall; Anzahl (täglich) bedienter Kunden	Wirtschaftliche Aktivitäten der Gemeinden, Tourismusindex, Bevölkerungszahl, politische Ausrichtung, Organisationsform
2	Benito; Solana; Moreno	2014	BCC; Simar/Wilson (2007)	Pro-Einwohner-Kosten der Abfallsammlung und Straßenreinigung	Abfallaufkommen, Qualitätsindex	Durchschnittseinkommen, Bevölkerungsdichte, Tourismusindex, politische Ausrichtung, Organisationsform, Wirtschaftliche Aktivitäten in den Gemeinden
3	Benito-López et al.	2011	BCC; Simar/Wilson (2007)	Pro-Kopf-Kosten der Abfallsammlung und Straßenreinigung	Abfallaufkommen, Servicequalitätsindex	pro-Kopf-Einkommen, Bevölkerungsdichte, Tourismusindex, wirtschaftliche Aktivitäten der Gemeinde, Organisationsform, politische Ausrichtung
4	Bosch; Pedraja; Suarez-Pandiello	2000	BCC	Anzahl Sammelbehälter und -fahrzeuge, Anzahl ganzer Arbeitstage nicht-administrativen Personals	Gesammelter Bioabfall	Bevölkerungsdichte, saisonale Bevölkerung
5	Chang; Liu; Yeh	2013	Modifiziertes SBM mit unerwünschten Outputs	Lerneffekt hinsichtlich Recyclingverhalten, Mitarbeiterzahl, Anzahl an Fahrzeugen, Budget	Zu entsorgende Abfallmenge, recycelbare Abfallmenge	
6	Chen	2010	CCR; AHP (Saaty, 1980)	Abfallmenge, Mitarbeiterzahl, Kosten der Abfallsammlung sowie deren technische Ausstattung	Gesammelte Mengen an recycelbarem Abfall und Restabfall	Altersstruktur, Bevölkerungszahl, Index zur Erfassung der sozialen Sicherheit, verfügbares Einkommen
7	Chen; Chang; Chen; Tsai	2010	CCR, BCC	Betriebskosten, Stromverbrauch, therm. behandelte Abfallmenge, Betriebszeit, Stillstandsdauer	8 Arten fester und gasförmiger Schadstoffemissionen	
8	Chen; Chang; Lai	2014	Simar/Wilson (2007) integriert in verstufte Ansatz von Fried et al. (1999)	Personalkosten, sonstige Kosten	Thermisch verwertete Abfallquantität, abgesetzte Strommenge	Verbrennungs- und Stromerzeugungskapazität, Anlagenalter, Organisationsform, Art des Hausmüllgebührens-systems
9	Chen; Chen	2012	CCR, BCC (2-stufig)	Mitarbeiterzahl, Betriebskosten, Verbrennungs- und Stromerzeugungskapazität	Verbrannte Abfallmenge, erzeugte Strommenge	Organisationsform
10	de Jaeger et al.	2011	CCR; Simar/Wilson (2002)	Gesamtkosten der Sammlung und Behandlung	Abfallaufkommen aufgeschlüsselt nach fünf verschiedenen Abfallfraktionen	Gesamtbevölkerung, Bevölkerungsdichte, Durchschnittseinkommen, %-Satz Personen älter als 75 Jahre, %-Satz Personen jünger als 4 Jahre, Politische Ausrichtung, Preissystem, Abfuhrhythmus, Zusammenschluss in einem Zweckverband, regionale Zusammenarbeit in der Abfallwirtschaft
11	de Jaeger; Rogge	2014	Benefit-of-the-Doubt (Meyn/Moesen 1991)	Dummyvariable (= 1)	Kosteneffizienzen der Sammlung von Papier-/Kartonabfall, Leichtverpackungen, Glas	Bevölkerungszahl, Bevölkerungsdichte
12	Garcia-Sanchez	2008	Banker/Morey (1986)	Mitarbeiteranzahl, Anzahl an Fahrzeugen, Anzahl an Containern, Tourismusindex	Abfallmenge, Anzahl Sammelstellen, zu reinigende Straßenfläche, Anzahl geleerter Straßen-Abfalleimer	Bevölkerungsgröße und -dichte, Durchschnittstemperatur, Grundfläche der Stadt, Pro-Kopf-Einkommen, wirtschaftliche Aktivität der Stadt, politische Ausrichtung, kommunale Zusammenschlüsse zu Zweckverbänden
13	Haas; Murphy; Lancioni	2003	CCR (mehrstufig)	Abfallmenge, Nettokosten des Abfallverwaltungssystems	Recycelte Abfallmenge, Anzahl bedienter Haushalte	Organisationsform
14	Hernandez-Sancho; Molinos-Senante; Sala-Garrido	2011	Färe et al. (1994)	Jeweils pro m ³ : Energiekosten, Personalkosten, Kosten benötigter Reagenzien, Wartungskosten, Kosten für die Beseitigung des Klärschlammes und sonst. Abfälle, andere Kosten	Menge entfernter Schwebstoffe und organischer Stoffe	Benötigte Energie pro m ³ behandelten Wassers, jährlich behandelte Abwassermenge
15	Hernandez-Sancho; Sala-Garrido	2009	CCR	Energieverbrauch, Personalkosten, Wartungskosten, Kosten für die Beseitigung des Klärschlammes und sonstiger Abfälle, andere Kosten	Entfernte Verunreinigungen	Anlagenkapazität
16	Huang; Pan; Kao	2011	Ramanathan (2006) Despotis (2005)	Dummyvariable (=1)	Key-Performance-Indikatoren: Kosten pro Volumen gesammelten Abfalls; Gesammelte Müllmenge pro Zeiteinheit und Sammelfahrzeug; Bediente Bevölkerung pro Sammler; Gesammelte Abfallmenge pro Fahrzeugmeile	
17	Lo Storto	2013	BCC (2-Stufig)	Länge der Wasserleitungen, Länge der Abwasserleitungen, Betriebskosten	Betriebsentnahmen	Anzahl bedienter Kommunen und Anschlüsse, Bevölkerungszahl, Verhältnis Anzahl Anschlüsse zur Gesamtnetzwerklänge, Verhältnis Anzahl Anschlüsse zur Anzahl Gemeinden
18	Lozano; Villa; Andenso-Diaz	2001	modifiziertes 2-stufiges BCC-Modell	Anzahl Glascontainer, Bevölkerungszahl, Anzahl Bars/Restaurants	Gesammelte Menge Glasabfall	
19	Marques; de Cruz; Canhalho	2012	Tone (2001)	Betriebskosten, Kapitalkosten	Gesammelte Mengen an Glas-, Papier-, Kunststoffabfall, Erlöse, finanzielle Transferleistungen des Dualen Systems	Bevölkerungsdichte, Organisationsform, Regulierungsgrad, Standort
20	Marques; Simoes	2009	CCR, BCC, Andersen/Petersen 1993	Betriebskosten, Kapitalkosten	Behandelte Abfallmenge, recycelte Abfallmenge	Bevölkerungsdichte, pro-Kopf-BIP, Entfernung zu Behandlungsanlagen (in Tabelle nur Entfernung zu Deponien), Organisationsformen, Regulierungsgrad durch staatliche Behörde
21	Molinos-Senante; Hernandez-Sancho; Sala-Garrido	2014	Färe/Lovell 1978	Personalkosten, Energieverbrauch, Kosten benötigter Reagenzien, Kosten für die Beseitigung des Klärschlammes und sonstiger Abfälle, Wartungskosten, andere Kosten	Menge entfernter Schwebstoffe und organischer Stoffe	Anlagenkapazität, verschiedene Abwasser- und Klärschlammbehandlungsverfahren, Energiebedarf und Menge erzeugten Klärschlammes pro m ³ behandelten Abwassers, Anlagenalter
22	Molinos-Senante; Sala-Garrido; Lafuente	2015	Färe et al. 1994	Betriebskosten, Mitarbeiteranzahl, Netzwerklänge	Erwünscht: Bereitgestellte Wassermenge, Anzahl an Kunden Unerwünscht: Staatliche Sanktionen, Anzahl Beschwerden	Höhe der (Ab-)Wassergebühr, Verhältnis Spitzenwasserverbrauch zu Durchschnittswasserverbrauch, Herkunft des Wassers (Grund-/Oberflächenwasser)

Nr.	Autor(en)	Jahr	Angewandte Modelle	Inputfaktoren	Outputfaktoren	Exogene Faktoren
23	Moore, Nolan; Segal	2005	CCR, BCC	Mitarbeiteranzahl; "Solid waste budget"	Anzahl bedienter Kunden	div. Wetter-Kennzahlen, Bevölkerungsgröße sowie deren Veränderungen im Zeitverlauf, Anzahl städt. Angestellter im Verhältnis zur Gesamtzahl Staatsbediensteter, Grundfläche, steuerliche Belastung der Bürger, Steueraufkommen pro Kopf
24	Prado-Lorenzo; Garcinodota-Sanchez	2010	CCR, BCC, je zweistufig; Simar/Wilson (2007)	Mitarbeiteranzahl, Länge der Abwasserleitungen, Anzahl bestimmter technischer Gerätschaften	Anzahl Verbindungspunkte zum öffentlichen Entsorgungssystem, Menge entsorgtem Abwassers	Bevölkerungszahl, Tourismusindex, Anzahl Haushalte innerhalb der Gemeinde, Grundfläche der Gemeinde, Bevölkerungsdichte, Menge an verbrauchtem Trinkwasser, durchschnittliche jährliche Regenmenge, Managementtyp
25	Rogge; de Jaeger	2013	modifizierte BCC-Modelle	Gesamtkosten der Sammlung und Behandlung	Aufkommen an 6 verschiedenen Abfallfraktionen	Gemeintypologie, Altersstruktur, Durchschnittseinkommen, Abholfrequenz, Politische Ausrichtung, Gebührensystem
26	Rogge; de Jaeger	2012	modifiziertes BCC-Modell	Gesamtkosten der Sammlung und Behandlung	Aufkommen an 6 verschiedenen Abfallfraktionen	Bevölkerungszahl, Bevölkerungsdichte, Durchschnittseinkommen, Abholfrequenz, Gebührensystem (nicht in Analyse berücksichtigt)
27	Simoes, Marques	2012	Produktivitätsindizes: Malmquist, Tomqvist, Hicks-Moorsteen	Mitarbeiteranzahl, Kapitalkosten, sonstige Kosten	Behandelte Abfallmenge, recycelte Abfallmenge (differenziert nach verschiedenen Abfallfraktionen)	Regulierungsmodell ("sunshine regulation", "rate-of-return regulation")
28	Simoes; Carvalho; Marques	2012	CCR, BCC; Simar/Wilson 2007; Simar 2003	Mitarbeiteranzahl; Anzahl Sammelfahrzeuge; Betriebskosten	Gesammelte Abfallmenge	Bevölkerungszahl, Organisationsform, durch Fahrzeuge abgedeckte Strecke, Fläche, Bevölkerungsdichte, BIP pro Kopf, Kaufkraft, km/Container, Personen/Container, Containeranzahl, Gemeindetypologie
29	Simoes; Cruz; Marques	2012	Produktivitätsindizes: Malmquist, Tomqvist	Betriebskosten, Kapitalkosten, Mitarbeiteranzahl	Behandelte Abfallmenge, recycelte Abfallmenge	Organisationsform, Grad der Abhängigkeit der Entsorgungsfirma von Gemeinderegierung
30	Simoes; de Witte; Marques	2010	CCR, BCC, Simar/Wilson (1998) Simar/Wilson (2007)	Betriebskosten, Kapitalkosten	Behandelte Abfallmenge, recycelte Abfallmenge	pro-Kopf-BIP, Entfernung zur Abfallbehandlungsanlage, Bevölkerungsdichte, Organisationsform, Regulierungsgrad, Nutzung von Kompostierung, Nutzung von Verbrennung
31	Tao; Li; Xu	2011	CCR (2-stufig)	Gesamtinvestitionen zur Behandlung von Umweltverschmutzungen	Industrieabwasser, beseitigte Industrieemissionen (SO ₂ , Staub, Ruß, fester Abfall), genutzter fester Industrieabfall, Wert der aus Abgasen, Abwasser und festen Abfällen hergestellten Produkte, Menge gesammelten Abfalls	
32	Worthington; Dollery	2001	Banker/Morey (1986)	Gesamtkosten der Sammlung	Gesammelte Abfallmenge, gesammelte Menge recycelbarer Abfall, implizierte Recyclingrate	Anzahl an Grundstücken, durchschnittliche Anzahl Personen je Grundstück, Bevölkerungsdichte und -verteilung, Abfallentsorgungskostenindex
33	Wu et al.	2015	Neuartiges additives Modell	Investitionen in die Behandlung von industriellen Abwasser, Abgas und Abfall; Menge abgegebenes Industrieabwasser; Industrielle Abgase; Industrieller Abfall	Wert der aus Abwasser, Abgas und Abfall erzeugten Verwertungsobjekte	Geographische Verteilung der Regionen
34	Wu; Shi; Xia; Zhu	2014	Super-Effizienz (Andersen/Petersen 1993), Window-Analysis (Charnes et al. 1985)	Investitionen in die Behandlung industrieller Schadstoffe, Haushaltsabwasser und Müll, Menge industrieller fester Abfälle, Menge eingeleiteten Industrieabwassers, Menge eingeleiteten Siedlungsabwassers, Industrielle Gasemissionen, Gesamtinvestitionen in städtische Umweltinfrastruktur,	Menge genutzter Industrieabfälle; Menge recyceltes Industrie- und Haushaltsabwasser, Erlöse aus dem Verkauf von Verwertungsobjekten, Menge entsorgter fester Industrieabfälle, Menge Industrieabwasser, das Einleitungsnormen entspricht; Industrielle Gasemissionen, die Umweltrichtlinien entsprechen; behandelter Haushaltsabfall; behandeltes Abwasser aus Haushalten	

Anhang C: Literaturangaben zu „Sonstigen Modellen“

- Andersen, P./Petersen, N. C.: A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis, in: *Management Science* 39 (10) 1993, S. 1261–1264.
- Banker, R. D./Morey, R. C.: Efficiency Analysis for Exogenously Fixed Inputs and Outputs, in: *Operations Research* 34 1986, S. 513–521.
- Despotis, D.: A Reassessment of the Human Development Index via Data Envelopment Analysis, in: *Journal of the Operational Research Society* 56 2005, S. 969–980.
- Färe, R./Grosskopf, S./Lowell, C. A. K.: *Production Frontiers*, Cambridge 1994.
- Färe, R./Lovell, C. A. K.: Measuring the Technical Efficiency of Production, in: *Journal of Economic Theory* 19 1978, S. 150–162.
- Fried, H. O./Schmidt, S. S./Yaisawarng, S.: Incorporating the Operating Environment into a Non-parametric Measure of Technical Efficiency, in: *Journal of Productivity Analysis* 12 (3) 1999, S. 249–267.
- Melyn, W./Moesen, W.: Towards a Synthetic Indicator of Macroeconomic Performance: Unequal Weighting when Limited Information is Available, in: *Public Research Papers* 17, CES, KU Leuven 1991.
- Ramanathan, R.: Data Envelopment Analysis for Weight Derivation and Aggregation in the Analytic Hierarchy Process, in: *Computers & Operations research* 33 2006, S. 1289–1307.
- Saaty, T. L.: *The Analytic Hierarchy Process*, New York 1980.
- Simar, L./Wilson, P. W.: Estimation and Inference in Two-stage, Semi-parametric Models of Production Processes, in: *Journal of Econometrics* 136 2007, S. 31–64.
- Simar, L./Wilson, P., 1998. Sensitivity Analysis of Efficiency Scores: How to Bootstrap in Nonparametric Models, in: *Management Science* 44 (1) 1998, S. 46–61.
- Simar, L./Wilson, P. W.: Non-parametric Test of Returns to Scale, in: *European Journal of Operational Research* 139 2002, S. 115–132
- Simar, L.: Detecting Outliers in Frontier Models: A Simple Approach, in *Journal of Productivity Analysis* 20 2003, S. 391–424.
- Tone, K.: A Slacks-based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis, in: *European Journal of Operational Research* 130 2001, S. 498–509.

Literaturverzeichnis

- Ahn, H./Blattner, J./Neumann, L.: Unterstützung der DEA-Modellauswahl – Ein pragmatisches Konzept und MS Excel Tool, in: *Wirtschaftswissenschaftliches Studium*, 43. Jahrgang (2) 2014, S. 111–115.
- Allen, K.: *Messung ökologischer Effizienz mittels Data Envelopment Analysis*, Wiesbaden 2002.
- Banker, R. D./Charnes, A./Cooper, W. W.: Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis, in: *Management Science* 30 (9) 1984, S. 1078–1092.
- Banker, R. D./Morey, R. C.: Efficiency Analysis for Exogenously Fixed Inputs and Outputs, in: *Operations Research* 34 (4) 1986, S. 513–521.
- Banker, R.: Estimating Most Productive Scale Size Using DEA, in: *European Journal of Operational Research* 17 1984, S. 35–44.
- Becker, J./Algermissen, L./Falk, T.: *Prozessorientierte Verwaltungsmodernisierung*, Berlin Heidelberg 2007.
- Bilitewski, B./Härdtle, G./Marek, K.: *Abfallwirtschaft – Handbuch für Praxis und Lehre*, Berlin Heidelberg 2000.
- Bilitewski, B./Härdtle, G.: *Abfallwirtschaft – Handbuch für Praxis und Lehre*, 4. Auflage, Berlin Heidelberg 2013.
- Budäus, D.: Von der bürokratischen Steuerung zum New Public Management – Eine Einführung, in: Budäus, D./Conrad, P./Schreyögg, G. (Hrsg.): *New Public Management*, Berlin New York 1998.
- Cantner, J.: *Die Kostenrechnung als Instrument der staatlichen Preisregulierung in der Abfallwirtschaft*, Heidelberg 1997.
- Charnes, A./Cooper, W. W./Lewin, A. Y./Seiford, L.M.: *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Application*, New York 1994.
- Charnes, A./Cooper, W. W./Rhodes, E.: Measuring the Efficiency of Decision Making Units, in: *European Journal of Operational Research* (2) 1978, S. 429–444.
- Charnes, A./Cooper, W.W./Golany, B./Seiford, L./Stutz, J.: Foundations of Data Envelopment Analysis for Pareto-koopmans Efficient Empirical Production Functions, in: *Journal of Econometrics* (30) 1984, S. 91–107.
- Clermont, M./Schmitz, C.: Erfassung betriebswirtschaftlich relevanter Zeitschriften in den ISI-Datenbanken sowie der Scopus-Datenbank, in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* 78 2008, S. 987–1010.
- Coelli, T. J. et al.: *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, 2. Auflage, New York 2005.
- Cooper, W. W./Seiford, L. M./Tone, K.: *Data Envelopment Analysis – A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, 2. Auflage, New York 2007.
- Corsten, H./Gössinger, R.: *Produktionswirtschaft – Einführung in das industrielle Produktionsmanagement*, 12. Auflage, München 2009.
- Dyckhoff, H./Ahn, H.: Sicherstellung der Effektivität und Effizienz der Führung als Kernfunktion des Controlling, in: *Kostenrechnungspraxis* 45(2) 2001, S. 111–121.
- Dyckhoff, H./Spengler, T. S.: *Produktionswirtschaft – Eine Einführung*, 3. Auflage, Berlin Heidelberg 2010.

- Dyckhoff, H.: Aktivitätsanalyse, in: Handwörterbuch der Betriebswirtschaft, Teilband 1, 5. Auflage, Stuttgart 1993.
- Dyckhoff, H.: Produktionstheorie, Berlin Heidelberg New York 2006.
- Dyson, R. G./Allen, R./Camanho, A. S./Podinovski, V. V./Sarrico, C. S./Shale, E. A.: Pitfalls and Protocols in DEA, in: *European Journal of operational research* 132 2001, S. 245–259.
- Forsthoff, E.: Lehrbuch des Verwaltungsrechts, 10. Auflage, Nördlingen 1973.
- Golany, B./Roll, Y.: An Application Procedure for DEA, in: *OMEGA* 17(3) 1989, S. 237–250.
- Gutierrez, M.: Effizienzmessung in Hochschulen – Evaluation von Forschungs- und Lehrseinheiten mittels Data Envelopment Analysis, Wiesbaden 2005.
- Hopp, H./Göbel, A.: Management in der öffentlichen Verwaltung – Organisations- und Personalarbeit in der modernen Kommunalverwaltung, 2. Auflage, Stuttgart 2004.
- IW Köln Consult GmbH: INSM Abfallmonitor 2008, Köln, 2008.
- Kalb, A.: Public Sector Efficiency – Applications to Local Governments in Germany, Wiesbaden 2010.
- Kranert, M./Cord-Landwehr, K.: Einführung in die Abfallwirtschaft, 4. Auflage, Wiesbaden 2010.
- Miofsky, D./Souren, R.: Einflussfaktoren auf die Höhe der Hausmüllgebühren, Ilmenau 2010.
- Miofsky, D./Souren, R.: Sind Gebührenmaßstäbe ein zentraler Einflussfaktor auf die Höhe der Hausmüllgebühren? – Eine empirische Analyse der Abfallgebührensatzungen in Deutschland, in: *Müll und Abfall* 8 2011, S. 385–391.
- Miofsky, D.: Operatives Controlling kommunaler Abfallwirtschaftsbetriebe – Ziel- und Kennzahlensysteme zur Steigerung der Effektivität und Effizienz betrieblicher Entscheidungen, Hamburg, 2015.
- o. V.: Der politische Wille fehlt – Abwasser- und Abfallgebühren im BdSt-Vergleich 2014, Bund der Steuerzahler Nordrhein-Westfalen e.V., <http://www.steuerzahler-nrw.de/Der-politische-Wille-fehlt/61826c71624i1p352/index.html>, Abrufdatum: 02.03.2016.
- Portz, N.: Privatisierung, in: Ritter, E.-H. (Hrsg.): Handwörterbuch der Raumordnung, Hannover 2005.
- Scheel, H.: Effizienzmaße der Data Envelopment Analysis, Wiesbaden 2000.
- Schröter, E./Wollmann, H.: New Public Management, in: Blanke, B./von Bandemer, S./Nullmeier, F./Wewer, G. (Hrsg.): Handbuch zur Verwaltungsreform, Wiesbaden 1998.
- Seiford, L. M./Zhu, J.: An Investigation of Returns to Scale in Data Envelopment Analysis, in: *Omega* 27(1) 1999, S. 1–11.
- Simar, L./Wilson, P. W.: Estimation and Inference in Two-stage, Semi-parametric Models of Production Processes, in: *Journal of Econometrics* 136 2007, S. 31–64.
- Simões, P./de Witte, K./Marques, R. C.: Regulatory Structures and Operational environment in the Portuguese Waste Sector, in: *Waste Management* 30 2010, S. 1130–1137.
- Simões, P./Marques, R. C.: On the Economic Performance of the Waste Sector. A Literature Review, in: *Journal of Environmental Management* 106 2012, S. 40–47.
- Souren, R.: Hausmüllgebühren in Deutschland: Deskriptive Auswertung von Abfallgebührensatzungen und erste Ergebnisse einer Ursachenanalyse, Ilmenau 2009.
- Souren, R.: Theorie betrieblicher Reduktion – Grundlagen, Modellierung und Optimierungsansätze stofflicher Entsorgungsprozesse, Heidelberg 1996.

- Syrjänen, M. J.: Non-discretionary and Discretionary Factors and Scale in Data Envelopment Analysis, in: European Journal of Operational Research Vol. 80 1995, S. 588–607.
- Tobin, J.: Estimation of Relationships for Limited Dependent Variables, in: Econometrica 26(1) 1958, S. 24–36.
- Waldermann, A.: Bürger zahlen für Müllabfuhr Tausende Euro zu viel, in: Spiegel online, <http://www.spiegel.de/wirtschaft/grosse-vergleichstabelle-buerger-zahlen-fuer-muellabfuhr-tausende-euro-zu-viel-a-565423.html>, Erstellungsdatum: 17.07.2008, Abrufdatum: 17.03.2016.
- Wojcik, W./Dyckhoff, H./Gutgesell, S./Müser, M.: Übelinputs in der Data Envelopment Analysis, Juni 2015, unveröffentlichter Artikel. Abruf unter: http://www.lut.rwth-aachen.de/images/ÜBELINPUTS_IN_DER_DEA.pdf.
- Przybilla, R. P.: Benchmarking als Wettbewerbssurrogat in der öffentlichen Abfallwirtschaft, Lohmar, Köln 2002.

Ilmenauer Schriften zur Betriebswirtschaftslehre

**Institut für Betriebswirtschaftslehre der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
und Medien der Technischen Universität Ilmenau**

www.tu-ilmenau.de/is-ww

Herausgeber

Univ.-Prof. Dr. rer. pol. habil. Norbert Bach

Univ.-Prof. Dr. rer. pol. habil. Anja Geigenmüller

Univ.-Prof. Dr. rer. pol. habil. Michael Grüning

Univ.-Prof. Dr. rer. pol. Rainer Souren

ISSN 2192-4643

ISBN 978-3-940882-47-9

URN urn:nbn:de:gbv:ilm1-2016200077