

Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement

Universität Duisburg-Essen / Campus Essen
Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
Universitätsstraße 9, 45141 Essen
Tel.: + 49 (0) 201 / 183 - 4007
Fax: + 49 (0) 201 / 183 - 4017

Arbeitsbericht Nr. 44

Adaption der Efficiency Analysis Technique With Input and Output Satisficing (EATWIOS) zur Berücksichtigung von unteren und oberen Satisfizierungsgrenzen

Adapting the Efficiency Analysis Technique
With Input and Output Satisficing (EATWIOS)
for the consideration of lower and upper satisficing levels

Malte L. Peters*, Stephan Zelewski



post@malte-peters.de; stephan.zelewski@pim.uni-due.de

Internet: <http://www.pim.wiwi.uni-due.de>

ISSN 1614-0842

Essen 2018
Alle Rechte vorbehalten.

Zusammenfassung

Die Efficiency Analysis Technique With Input and Output Satisficing (EATWIOS) ermöglicht bislang die Einbeziehung von unteren Satisfizierungsgrenzen für Inputs und von oberen Satisfizierungsgrenzen für Outputs in Effizienzanalysen. Obere Satisfizierungsgrenzen für Inputs sowie untere Satisfizierungsgrenzen für Outputs konnten bisher nur berücksichtigt werden, indem die Formeln für die Output-Satisfizierung auf Inputs bzw. die Formeln für die Input-Satisfizierung auf Outputs angewandt wurden. Im vorliegenden Arbeitsbericht wird ein adaptiertes EATWIOS-Modell vorgestellt, das es ermöglicht, für jeden Input und für jeden Output jeweils sowohl eine untere als auch eine obere Satisfizierungsgrenze zu berücksichtigen. Zu diesem Zweck wird ein Datentransformationsansatz entwickelt, der auch für andere Effizienzanalysetechniken verwendet werden kann.

Abstract

The Efficiency Analysis Technique With Input and Output Satisficing (EATWIOS) offers the opportunity to consider lower satisficing levels for inputs as well as upper satisficing levels for outputs. So far, upper satisficing levels for inputs and lower satisficing levels for outputs can be considered by applying the formulas for output satisficing to inputs and the formulas for input satisficing to outputs, respectively. In the working paper at hand, an adapted EATWIOS model is presented, which makes it possible to incorporate both lower and upper satisficing levels for each input and for each output. For this purpose, a data transformation approach is proposed, which can also be utilized for other efficiency analysis techniques.

Inhaltsüberblick

Abkürzungs- und Akronymverzeichnis III

Symbolverzeichnis V

1 State of the Art zu EATW(I)OS und Problemstellung 1

2 Adaptiertes EATWIOS-Modell 4

3 Fazit 17

Literatur 19

Abkürzungs- und Akronymverzeichnis

AHP	Analytic Hierarchy Process
Aufl.	Auflage
bzw.	beziehungsweise
CD-ROM	Compact Disc-Read Only Memory
DEA	Data Envelopment Analysis
DMU	Decision Making Unit
EATWIOS	Efficiency Analysis Technique With Input and Output Satisficing
EATWOS	Efficiency Analysis Technique With Output Satisficing
et al.	et alii
f.	folgende
ff.	fortfolgende
Hrsg.	Herausgeber
IPL	Indian Premier League
ISSN	International Standard Serial Number
Jg.	Jahrgang
KMU	kleine und mittelgroße Unternehmen
NGO	Non-Governmental Organization
No.	Number
Nr.	Nummer
o. O.	ohne Ort
o. V.	ohne Verfasser
OCRA	Operational Competitiveness Rating
PET	Polyethylenterephthalat
ProKoLog	Produktivität in der Kontraktlogistik
S.	Seite
SERVQUAL	Service Quality
Tel.	Telefon
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
u. a.	unter anderem

US	United States
USA	United States of America
vgl.	vergleiche
Vol.	Volume
z. B.	zum Beispiel

Symbolverzeichnis

$a_{i,j}$	transformierte Outputquantität für Output j von Entscheidungseinheit i
$c_{i,k}$	transformierte Inputquantität für Input k von Entscheidungseinheit i
E_i	Effizienzwert von Entscheidungseinheit i
i	Entscheidungseinheit $i = 1, \dots, I$
$ip_{i,k}$	Input-Abstandsmaß der Entscheidungseinheit i für Input k
j	Output $j = 1, \dots, J$
k	Input $k = 1, \dots, K$
$op_{i,j}$	Output-Abstandsmaß der Entscheidungseinheit i für Output j
qil_k	binäre Entscheidungsvariable zur Berücksichtigung oder Nicht-Berücksichtigung unterer Input-Satisfizierungsgrenzen $SLIL_k$
qiu_k	binäre Entscheidungsvariable zur Berücksichtigung oder Nicht-Berücksichtigung oberer Input-Satisfizierungsgrenzen $SLIU_k$
qol_j	binäre Entscheidungsvariable zur Berücksichtigung oder Nicht-Berücksichtigung unterer Output-Satisfizierungsgrenzen $SLOL_j$
qou_j	binäre Entscheidungsvariable zur Berücksichtigung oder Nicht-Berücksichtigung oberer Output-Satisfizierungsgrenzen $SLOU_j$
$r_{i,j}$	transformierte normalisierte Outputquantität für Output j von Entscheidungseinheit i
r_j^*	maximale transformierte normalisierte Outputquantität von Output j
$s_{i,k}$	transformierte normalisierte Inputquantität für Input k von Entscheidungseinheit i
s_k^*	minimale transformierte normalisierte Inputquantität von Input k
$SLIL_k$	untere Input-Satisfizierungsgrenze für Input k
$SLIU_k$	obere Input-Satisfizierungsgrenze für Input k
$SLOL_j$	untere Output-Satisfizierungsgrenze für Output j
$SLOU_j$	obere Output-Satisfizierungsgrenze für Output j
v_j	relatives Bedeutungsgewicht für Output j

w_k	relatives Bedeutungsgewicht für Input k
$x_{i,k}$	Inputquantität für Input k von Entscheidungseinheit i
$y_{i,j}$	Outputquantität für Output j von Entscheidungseinheit i
$z^i_{1.i.k}, z^i_{2.i.k}$	binäre Variablen für obere Input-Satisfizierungsgrenzen $SLIU_k$
$z^i_{3.i.k}, z^i_{4.i.k}$	binäre Variablen für untere Input-Satisfizierungsgrenzen $SLIL_k$
$z^o_{1.i.j}, z^o_{2.i.j}$	binäre Variablen für obere Output-Satisfizierungsgrenzen $SLOU_j$
$z^o_{3.i.j}, z^o_{4.i.j}$	binäre Variablen für untere Output-Satisfizierungsgrenzen $SLOL_j$

1 State of the Art zu EATW(I)OS und Problemstellung

Bei der Efficiency Analysis Technique With Output Satisficing (EATWOS)¹⁾ sowie ihrer Erweiterung der Efficiency Analysis Technique With Input and Output Satisficing (EATWIOS)²⁾ wird die relative Effizienz³⁾ sogenannter Entscheidungseinheiten („Decision Making Units (DMUs)“)⁴⁾ analysiert. Entscheidungseinheiten sind (Organisations-)Einheiten, die die gleichen Inputarten („Inputs“) einsetzen, um die gleichen Outputarten („Outputs“) zu produzieren⁵⁾. Im Rahmen einer Anwendung von EATWOS oder EATWIOS wird für jede Entscheidungseinheit ein Effizienzwert berechnet. Ein hoher (geringer) Effizienzwert steht für eine hohe (geringe) relative Effizienz. Zur Berechnung der Effizienzwerte sind insbesondere die in einer Betrachtungsperiode von den Entscheidungseinheiten eingesetzten Inputquantitäten und die von diesen produzierten Outputquantitäten zu ermitteln sowie Bedeutungsgewichte für die Inputs und für die Outputs vorzugeben.

Nach den ersten Publikationen⁶⁾ ist EATWOS in der Fachliteratur aufgegriffen worden⁷⁾. Insbesondere sind einige praktische Anwendungen von EATWOS dokumentiert worden: So haben BANSAL et al. mit EATWOS die Effizienz von Lieferanten analysiert, die PET-Formteile zur Herstellung von Wasserflaschen an ein Unternehmen liefern, das Flaschen mit Trinkwasser herstellt und vertreibt⁸⁾. ÖZBEK hat EATWOS zur Analyse der Effizienz von Unternehmen angewendet, die Produkte für die private Altersvorsorge anbieten⁹⁾. Darüber hinaus hat ÖZBEK die Effizienz von Nichtregierungsorganisationen („Non-Governmental Organizations (NGOs)“) sowohl mit EATWOS als auch mit der Data Envelopment Analysis

1) Vgl. PETERS/ZELEWSKI (2006a); PETERS/ZELEWSKI (2006b); PETERS/ZELEWSKI (2007).

2) Vgl. PETERS/ZELEWSKI (2012); PETERS/ZELEWSKI/BRUNS (2012).

3) Vgl. zu relativer Effizienz z. B. DYCKHOFF/ALLEN (1999), S. 415; PETERS (2008), S. 707; PETERS (2017), S. 47 f.; PETERS/ZELEWSKI (2006b), S. 3.

4) Die Bezeichnung „Decision Making Units (DMUs)“ haben CHARNES/COOPER/RHODES eingeführt; vgl. CHARNES/COOPER/RHODES (1978), S. 429.

5) Vgl. z. B. COOPER/SEIFORD/TONE (2006), S. 14 und 22; COOPER/SEIFORD/TONE (2007), S. 14 und 22.

6) Vgl. PETERS/ZELEWSKI (2006a); PETERS/ZELEWSKI (2006b); PETERS/ZELEWSKI (2007).

7) Vgl. z. B. BANSAL et al. (2014); BERBIG (2015), S. 209-215; KUMAR et al. (2016); o. V. (2015), S. 145; ÖZBEK (2015a); ÖZBEK (2015b); ÖZBEK (2015c); ÖZBEK (2016); PETERS (2008), S. 450 f.; PETERS/HÜGENS/ZELEWSKI (2007), S. 659-661, 666 und 669; PETERS/ZELEWSKI (2016a), S. 196-198; PETERS/ZELEWSKI (2016b), S. 95 f.; PETERS/ZELEWSKI (2018), S. 65-68; SONI/SINGH/BANWET (2016), S. 118 und 135.

8) Vgl. BANSAL et al. (2014).

9) Vgl. ÖZBEK (2015a).

(DEA)¹⁰⁾ sowie mit dem Operational Competitiveness Rating (OCRA)¹¹⁾ analysiert¹²⁾. Ebenso mit EATWOS, DEA und OCRA hat ÖZBEK die Entwicklung der Effizienz des Türkischen Roten Halbmondes über mehrere Jahre untersucht¹³⁾. Des Weiteren hat ÖZBEK mit EATWOS die Effizienz von Goldförderunternehmen über mehrere Jahre gemessen¹⁴⁾. KUMAR et al. haben mithilfe von EATWOS für Cricket-Spieler der Indian Premier League (IPL) Effizienzwerte berechnet und auf Basis dieser Effizienzwerte eine Rangliste der Cricket-Spieler erstellt¹⁵⁾.

Die Besonderheit von EATWOS und EATWIOS besteht in der Möglichkeit, sogenannte Satisfizierungsgrenzen („satisficing levels“) für Outputs bzw. für Inputs und für Outputs zu berücksichtigen¹⁶⁾. Wenn eine Satisfizierungsgrenze für einen Output festgelegt wird, bedeutet dies, dass eine Outputquantität, die gleich dieser Satisfizierungsgrenze ist, als genauso gut angesehen wird wie eine Outputquantität, die höher ist als diese Satisfizierungsgrenze¹⁷⁾. Falls eine Satisfizierungsgrenze für einen Input vorgegeben wird, heißt dies, dass eine Inputquantität, die gleich dieser Satisfizierungsgrenze ist, als genauso gut erachtet wird wie eine Inputquantität, die niedriger ist als diese Satisfizierungsgrenze¹⁸⁾.

EATWIOS¹⁹⁾ bietet bislang also zum einen die Möglichkeit, für Outputs „obere Satisfizierungsgrenzen“ zu setzen. Das bedeutet, dass sich ein Überschreiten dieser Output-Satisfizierungsgrenze nicht positiv auf den Effizienzwert einer Entscheidungseinheit auswirkt. Zum anderen können in EATWIOS bisher „untere Satisfizierungsgrenzen“ für Inputs festgelegt

10) Vgl. zur DEA z. B. CHARNES/COOPER/RHODES (1978); COOK/SEIFORD (2009); COOPER/SEIFORD/TONE (2006); COOPER/SEIFORD/TONE (2007); COOPER/SEIFORD/ZHU (2011); DYCKHOFF/ALLEN (1999); KHEZRIMOTLAGH/CHEN (2018), S. 217-302; PETERS (2017); ZHU (2014); ZHU (2016).

11) Vgl. zu OCRA z. B. JAYANTHI/KOCHA/SINHA (1999); PARKAN (1994); PARKAN (2002); PARKAN (2004); PARKAN (2005); PARKAN/WU (1999a); PARKAN/WU (1999b), S. 505-507 und 512-522.

12) Vgl. ÖZBEK (2015b).

13) Vgl. ÖZBEK (2015c).

14) Vgl. ÖZBEK (2016).

15) Vgl. KUMAR et al. (2016).

16) Mithilfe von Satisfizierungsgrenzen wird der Grundgedanke des Konzepts der *Satisfizierung* von SIMON aufgegriffen, dass Handlungen, die einem bestimmten Anspruchsniveau genügen, als zufriedenstellend betrachtet werden können. Vgl. zum Konzept der Satisfizierung: SIMON (1956), S. 129; SIMON (1972), S. 168; SIMON (1990), S. 9-12; SIMON (1997), S. 118 f. In der Fachliteratur zur Effizienzanalyse ist das Konzept der Satisfizierung vor allem im Rahmen der DEA in sogenannten Satisficing-DEA-Modellen aufgegriffen worden; vgl. CHARLES/KUMAR (2014); COOPER/HUANG/LI (1996); COOPER/HUANG/LI (2011), S. 231-237; COOPER/SEIFORD/TONE (2006), S. 286-292; COOPER/SEIFORD/TONE (2007), S. 298-304; UDHAYAKUMAR/CHARLES/KUMAR (2011).

17) Vgl. PETERS/ZELEWSKI (2012), S. 1 f.; PETERS/ZELEWSKI/BRUNS (2012), S. 305 f.

18) Vgl. PETERS/ZELEWSKI (2012), S. 1 f.; PETERS/ZELEWSKI/BRUNS (2012), S. 305 f.

19) An dieser Stelle und im Folgenden wird nur noch EATWIOS als „erweiterte Technik“ und nicht mehr EATWOS explizit genannt.

werden. Das heißt, dass sich ein Unterschreiten einer Input-Satisfizierungsgrenze nicht positiv auf den Effizienzwert einer Entscheidungseinheit auswirkt.

In Effizienzanalysen kann es jedoch wünschenswert sein, für Outputs untere Satisfizierungsgrenzen und für Inputs obere Satisfizierungsgrenzen zu berücksichtigen. Wenn beispielsweise „unverschuldete Minderleistungen“ von Entscheidungseinheiten aufgrund von Lieferausfällen oder schlechten Wetterbedingungen sich nicht auf die Effizienzwerte dieser Entscheidungseinheiten auswirken sollen, kann eine untere Output-Satisfizierungsgrenze gesetzt werden. Ebenso kann beispielsweise im Fall eines „unverschuldeten Mehrverbrauchs“ von Entscheidungseinheiten eine obere Input-Satisfizierungsgrenze festgelegt werden.

Ein einfacher Ansatz zur Berücksichtigung unterer Output-Satisfizierungsgrenzen und oberer Input-Satisfizierungsgrenzen kann darin bestehen, die Formeln für die Input-Satisfizierung²⁰⁾ auf Outputs bzw. die Formeln für die Output-Satisfizierung²¹⁾ auf Inputs anzuwenden. Jedoch muss bei diesem Ansatz entschieden werden, ob für einen Output oder Input entweder eine untere oder eine obere Output-Satisfizierungsgrenze bzw. Input-Satisfizierungsgrenze gesetzt wird. Eine simultane Festlegung einer unteren und einer oberen Satisfizierungsgrenze für einen Output oder für einen Input ist bei diesem Ansatz nicht möglich. Daher wird im vorliegenden Arbeitsbericht ein neues EATWIOS-Modell vorgestellt, das es ermöglicht, für jeden Output sowohl eine untere als auch eine obere (Output-)Satisfizierungsgrenze und ebenso für jeden Input sowohl eine untere als auch eine obere (Input-)Satisfizierungsgrenze festzulegen.

20) Vgl. z. B. PETERS/ZELEWSKI (2006a), S. 7.

21) Vgl. z. B. PETERS/ZELEWSKI (2012), S. 9.

2 Adaptiertes EATWIOS-Modell

Das adaptierte EATWIOS-Modell besteht aus den nachstehenden Formeln (1) bis (27). Eine Anwendung dieses EATWIOS-Modells erfordert, dass für alle Entscheidungseinheiten i mit $i = 1, \dots, I$ die Outputquantitäten $y_{i,j}$ für die Outputs j mit $j = 1, \dots, J$ sowie die Inputquantitäten $x_{i,k}$ für die Inputs k mit $k = 1, \dots, K$ ermittelt werden. Sämtliche Output- und sämtliche Inputquantitäten müssen positiv sein ($y_{i,j}, x_{i,k} > 0$), um in den Formeln (3), (4), (5), (13), (14) und (15) eine mathematisch unzulässige Division durch null auszuschließen. Ebenso müssen positive relative Bedeutungsgewichte v_j für alle Outputs und w_k für alle Inputs – beispielsweise mit dem *Analytic Hierarchy Process (AHP)*²²⁾ – bestimmt werden.

Des Weiteren müssen für die oberen Output-Satisfizierungsgrenzen $SLOU_j$ und für die unteren Output-Satisfizierungsgrenzen $SLOL_j$ sowie für die oberen Input-Satisfizierungsgrenzen $SLIU_k$ und für die unteren Input-Satisfizierungsgrenzen $SLIL_k$ Werte vorgegeben werden. Diese Werte müssen positiv sein ($SLOU_j, SLOL_j, SLIU_k, SLIL_k > 0$), um in den Formeln (1) bis (4) sowie (11) bis (14) eine Division durch null auszuschließen. Zudem ist zu beachten, dass bei jedem Output j die obere Output-Satisfizierungsgrenze größer ist als die untere Output-Satisfizierungsgrenze ($SLOU_j > SLOL_j$). Ebenso muss für jeden Input k jeweils die obere Input-Satisfizierungsgrenze größer sein als die untere Input-Satisfizierungsgrenze ($SLIU_k > SLIL_k$). Schließlich muss für jede Anwendung des EATWIOS-Modells festgelegt werden, welche der Satisfizierungsgrenzen berücksichtigt werden sollen. Dies erfolgt mit den binären Entscheidungsvariablen qou_j für obere Output-Satisfizierungsgrenzen, qol_j für untere Output-Satisfizierungsgrenzen, qiu_k für obere Input-Satisfizierungsgrenzen und qil_k für untere Input-Satisfizierungsgrenzen. Wenn eine Satisfizierungsgrenze berücksichtigt werden soll, muss der korrespondierenden binären Entscheidungsvariable der Wert eins zugeordnet werden. Falls sich eine Satisfizierungsgrenze nicht auswirken soll, wird der korrespondierenden binären Entscheidungsvariable der Wert null zugewiesen.

$$\frac{SLOU_j - y_{i,j}}{SLOU_j} + zo_{1,i,j} \leq 1 \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (1)$$

$$\frac{SLOU_j - y_{i,j}}{SLOU_j} * zo_{2,i,j} \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (2)$$

22) Vgl. zum AHP z. B. SAATY (1994); SAATY (2004); SAATY (2008); SAATY/VARGAS/ZOFFER (2015); und ferner: PETERS (2008), S. 466-478.

$$\left(\frac{(y_{i,j} - SLOL_j): y_{i,j}}{SLOL_j}\right) + zO_{3,i,j} \leq 1 \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (3)$$

$$\left(\frac{(y_{i,j} - SLOL_j): y_{i,j}}{SLOL_j}\right) * zO_{4,i,j} \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (4)$$

$$SLOL_j \geq \frac{y_{i,j}}{y_{i,j} + 1} \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (5)$$

$$zO_{1,i,j}, zO_{2,i,j}, zO_{3,i,j}, zO_{4,i,j} \in \{0; 1\} \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (6)$$

$$zO_{1,i,j} + zO_{2,i,j} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (7)$$

$$zO_{3,i,j} + zO_{4,i,j} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (8)$$

$$qou_j, qol_j \in \{0; 1\} \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (9)$$

$$a_{i,j} = y_{i,j} * zO_{2,i,j} * zO_{4,i,j} + qou_j * SLOU_j * zO_{1,i,j} + qol_j * SLOL_j * zO_{3,i,j} \\ + (1 - qou_j) * (1 - zO_{2,i,j}) * y_{i,j} + (1 - qol_j) * (1 - zO_{4,i,j}) * y_{i,j} \quad (10) \\ \forall i = 1, \dots, I \quad \forall j = 1, \dots, J$$

$$\frac{SLIU_k - x_{i,k}}{SLIU_k} + zi_{1,i,k} \leq 1 \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (11)$$

$$\frac{SLIU_k - x_{i,k}}{SLIU_k} * zi_{2,i,k} \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (12)$$

$$\left(\frac{(x_{i,k} - SLIL_k): x_{i,k}}{SLIL_k}\right) + zi_{3,i,k} \leq 1 \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (13)$$

$$\left(\frac{(x_{i,k} - SLIL_k): x_{i,k}}{SLIL_k}\right) * zi_{4,i,k} \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (14)$$

$$SLIL_k \geq \frac{x_{i,k}}{x_{i,k} + 1} \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (15)$$

$$zi_{1,i,k}, zi_{2,i,k}, zi_{3,i,k}, zi_{4,i,k} \in \{0; 1\} \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (16)$$

$$zi_{1,i,k} + zi_{2,i,k} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (17)$$

$$zi_{3,i,k} + zi_{4,i,k} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (18)$$

$$qiu_k, qil_k \in \{0; 1\} \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (19)$$

$$c_{i,k} = x_{i,k} * zi_{2,i,k} * zi_{4,i,k} + qiu_k * SLIU_k * zi_{1,i,k} + qil_k * SLIL_k * zi_{3,i,k} \\ + (1 - qiu_k) * (1 - zi_{2,i,k}) * x_{i,k} + (1 - qil_k) * (1 - zi_{4,i,k}) * x_{i,k} \quad (20) \\ \forall i = 1, \dots, I \quad \forall k = 1, \dots, K$$

$$r_{i,j} = \frac{a_{i,j}}{\sqrt{\sum_{i=1}^I a_{i,j}^2}} \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (21)$$

$$r_j^* = \max_i \{r_{i,j}\} \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (22)$$

$$op_{i,j} = 1 + r_{i,j} - r_j^* \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall j = 1, \dots, J \quad (23)$$

$$s_{i,k} = \frac{c_{i,k}}{\sqrt{\sum_{i=1}^I c_{i,k}^2}} \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (24)$$

$$s_k^* = \min_i \{s_{i,k}\} \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (25)$$

$$ip_{i,k} = 1 + s_{i,k} - s_k^* \quad \forall i = 1, \dots, I \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (26)$$

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^J v_j * op_{i,j}}{\sum_{k=1}^K w_k * ip_{i,k}} \quad \forall i = 1, \dots, I \quad (27)$$

Mit den Formeln (1) bis (10) können die unteren und die oberen Output-Satisfizierungsgrenzen und mit den Formeln (11) bis (20) die unteren und die oberen Input-Satisfizierungsgrenzen berücksichtigt werden.

Die Formeln (1) bis (10) stellen sicher, dass die Outputquantitäten $y_{i,j}$ transformiert werden, wenn diese unterhalb der unteren Output-Satisfizierungsgrenzen $SLOL_j$ oder oberhalb der oberen Output-Satisfizierungsgrenzen $SLOU_j$ liegen und den binären Variablen qol_j bzw. qou_j der Wert eins für die Berücksichtigung der jeweils betroffenen Satisfizierungsgrenze zugewiesen worden ist. Wenn eine Outputquantität $y_{i,j}$ gleich einer der beiden Satisfizierungsgrenzen ist, zwischen den beiden Satisfizierungsgrenzen liegt, unterhalb der unteren Output-Satisfizierungsgrenze liegt und die binäre Variable qol_j gleich null gesetzt wurde (für die Nicht-Berücksichtigung der Satisfizierungsgrenze) oder einen Wert oberhalb der oberen Output-Satisfizierungsgrenze aufweist und der binären Variable qou_j der Wert null zugewiesen wurde (für die Nicht-Berücksichtigung der Satisfizierungsgrenze), dann ist die transformierte Outputquantität $a_{i,j}$ gleich der Outputquantität $y_{i,j}$.

Die Formeln (1) und (2) beschränken die möglichen Werte der Variablen $zO_{1,i,j}$ und $zO_{2,i,j}$ für die oberen Output-Satisfizierungsgrenzen, während die Formeln (3) und (4) die Werte

der Variablen $z_{0_{3.i.j}}$ und $z_{0_{4.i.j}}$ für die unteren Output-Satisfizierungsgrenzen begrenzen²³⁾. Da Formel (3) nicht erfüllbar wäre, wenn die Satisfizierungsgrenze $SLOL_j$ im Nenner des Bruchterms kleiner wäre als der Zähler ($y_{i.j} - SLOL_j$): $y_{i.j}$ des Bruchterms, beschränkt Formel (5) den zulässigen Wertebereich für die Satisfizierungsgrenze $SLOL_j$ ²⁴⁾. In Formel (6) werden die Variablen $z_{0_{1.i.j}}$, $z_{0_{2.i.j}}$, $z_{0_{3.i.j}}$ und $z_{0_{4.i.j}}$ als binäre Variablen definiert. Formel (6) stellt zusammen mit Formel (7) sicher, dass eine der binären Variablen $z_{0_{1.i.j}}$ und $z_{0_{2.i.j}}$ den Wert eins und die andere den Wert null annimmt. Ebenso ist durch Formel (6) und Formel (8) gewährleistet, dass eine der binären Variablen $z_{0_{3.i.j}}$ und $z_{0_{4.i.j}}$ den Wert eins und die andere den Wert null erhält. In Formel (9) werden die Entscheidungsvariablen q_{ou_j} und q_{ol_j} als binäre Variablen definiert.

Formel (10) dient der Bestimmung der transformierten Outputquantitäten $a_{i.j}$ zur Berücksichtigung der Output-Satisfizierungsgrenzen. Die möglichen Werte der binären Variablen $z_{0_{1.i.j}}$, $z_{0_{2.i.j}}$, $z_{0_{3.i.j}}$ und $z_{0_{4.i.j}}$ in Formel (10) werden durch die Formeln (1) bis (8) modellendogen ermittelt, während die Werte für die binären Variablen q_{ou_j} und q_{ol_j} modellexogen vorgegeben werden müssen.

In Abhängigkeit von den Werten der Outputquantitäten $y_{i.j}$ und der jeweiligen Output-Satisfizierungsgrenzen $SLOU_j$ und $SLOL_j$ ergeben sich die folgenden fünf Wertekombinationen:

○ Wertekombination 1:

Die Outputquantität $y_{i.j}$ ist kleiner als die untere Output-Satisfizierungsgrenze $SLOL_j$:
 $0 < y_{i.j} < SLOL_j < SLOU_j$

○ Wertekombination 2:

Die Outputquantität $y_{i.j}$ ist gleich der unteren Output-Satisfizierungsgrenze $SLOL_j$:
 $0 < y_{i.j} = SLOL_j < SLOU_j$

○ Wertekombination 3:

Die Outputquantität $y_{i.j}$ nimmt einen Wert zwischen der unteren Output-Satisfizierungsgrenze $SLOL_j$ und der oberen Output-Satisfizierungsgrenze $SLOU_j$ an:

$$0 < SLOL_j < y_{i.j} < SLOU_j$$

23) Bei den Formeln (1) und (2) handelt es sich um die bisher in EATWIOS verwendeten Formeln für die Output-Satisfizierung bei oberen Output-Satisfizierungsgrenzen; vgl. z. B. PETERS/ZELEWSKI (2012), S. 6. Die Formeln (3) und (4) basieren auf den bislang für untere Input-Satisfizierungsgrenzen verwendeten Formeln; vgl. z. B. PETERS/ZELEWSKI (2012), S. 9. Vgl. zur linearen Repräsentation von logischen Regeln: YAN/YU/CHENG (2003), S. 2143 f.

24) Vgl. z. B. PETERS/ZELEWSKI (2012), S. 10.

○ Wertekombination 4:

Die Outputquantität $y_{i,j}$ ist gleich der oberen Output-Satisfizierungsgrenze $SLOU_j$:

$$0 < SLOL_j < y_{i,j} = SLOU_j$$

○ Wertekombination 5:

Die Outputquantität $y_{i,j}$ ist größer als die obere Output-Satisfizierungsgrenze $SLOU_j$:

$$0 < SLOL_j < SLOU_j < y_{i,j}$$

Nachfolgend wird anhand der Formeln (1), (2), (3), (4) und (10) für diese fünf Wertekombinationen – in Abhängigkeit von den Werten der binären Entscheidungsvariablen qou_j und qol_j – gezeigt, welche Werte sich für die transformierte Outputquantität $a_{i,j}$ jeweils ergeben²⁵⁾.

○ **Wertekombination 1 ($0 < y_{i,j} < SLOL_j < SLOU_j$):**

$$\frac{SLOU_j - y_{i,j}}{SLOU_j} + zo_{1.i,j} \leq 1 \quad (1)$$

$$\Rightarrow]0; 1[+ zo_{1.i,j} \leq 1$$

$$\Rightarrow zo_{1.i,j} = 0$$

$$\Rightarrow zo_{2.i,j} = 1 \quad \text{wegen } zo_{1.i,j} + zo_{2.i,j} = 1$$

$$\frac{SLOU_j - y_{i,j}}{SLOU_j} * zo_{2.i,j} \geq 0 \quad (2)$$

$$\Rightarrow]0; 1[* 1 \geq 0$$

$$\left(\frac{(y_{i,j} - SLOL_j): y_{i,j}}{SLOL_j} \right) + zo_{3.i,j} \leq 1 \quad (3)$$

$$\Rightarrow]-\infty; 0[+ zo_{3.i,j} \leq 1$$

$$\Rightarrow zo_{3.i,j} = 0 \vee zo_{3.i,j} = 1 \quad \text{wegen } zo_{3.i,j} \in \{0; 1\}$$

$$\left(\frac{(y_{i,j} - SLOL_j): y_{i,j}}{SLOL_j} \right) * zo_{4.i,j} \geq 0 \quad (4)$$

$$\Rightarrow]-\infty; 0[* zo_{4.i,j} \geq 0$$

$$\Rightarrow zo_{4.i,j} = 0 \quad \text{wegen } zo_{4.i,j} \in \{0; 1\}$$

25) Vgl. zu diesem Vorgehen auch: PETERS/ZELEWSKI (2006a), S. 7-9; PETERS/ZELEWSKI (2006b), S. 11-13; PETERS/ZELEWSKI (2012), S. 10-12.

$$\begin{aligned}
&\Rightarrow z_{03.i.j} = 1 && \text{wegen of } z_{03.i.j} + z_{04.i.j} = 1 \\
a_{i.j} &= y_{i.j} * z_{02.i.j} * z_{04.i.j} + q_{ou.j} * SLOU_j * z_{01.i.j} + q_{ol.j} * SLOL_j * z_{03.i.j} \\
&\quad + (1 - q_{ou.j}) * (1 - z_{02.i.j}) * y_{i.j} + (1 - q_{ol.j}) * (1 - z_{04.i.j}) * y_{i.j} \\
&\Rightarrow a_{i.j} = y_{i.j} * 1 * 0 + q_{ou.j} * SLOU_j * 0 + q_{ol.j} * SLOL_j * 1 \\
&\quad + (1 - q_{ou.j}) * (1 - 1) * y_{i.j} + (1 - q_{ol.j}) * (1 - 0) * y_{i.j} \\
&\Rightarrow a_{i.j} = q_{ol.j} * SLOL_j + (1 - q_{ol.j}) * y_{i.j}
\end{aligned} \tag{10}$$

$q_{ol.j} = 0$ (keine Berücksichtigung von $SLOL_j$):

$$\begin{aligned}
a_{i.j} &= 0 * SLOL_j + (1 - 0) * y_{i.j} \\
&\Rightarrow a_{i.j} = y_{i.j}
\end{aligned}$$

Die transformierte Outputquantität $a_{i.j}$ ist gleich der Outputquantität $y_{i.j}$, wenn die untere Output-Satisfizierungsgrenze $SLOL_j$ nicht berücksichtigt werden soll.

$q_{ol.j} = 1$ (Berücksichtigung von $SLOL_j$):

$$\begin{aligned}
a_{i.j} &= 1 * SLOL_j + (1 - 1) * y_{i.j} \\
&\Rightarrow a_{i.j} = SLOL_j
\end{aligned}$$

Die transformierte Outputquantität $a_{i.j}$ ist gleich der unteren Output-Satisfizierungsgrenze $SLOL_j$, falls diese Output-Satisfizierungsgrenze berücksichtigt werden soll.

○ **Wertekombination 2** ($0 < y_{i.j} = SLOL_j < SLOU_j$):

$$\begin{aligned}
&\frac{SLOU_j - y_{i.j}}{SLOU_j} + z_{01.i.j} \leq 1 && (1) \\
&\Rightarrow]0; 1[+ z_{01.i.j} \leq 1 \\
&\Rightarrow z_{01.i.j} = 0 \\
&\Rightarrow z_{02.i.j} = 1 && \text{wegen } z_{01.i.j} + z_{02.i.j} = 1
\end{aligned}$$

$$\frac{SLOU_j - y_{i,j}}{SLOU_j} * zo_{2,i,j} \geq 0 \quad (2)$$

$$\Rightarrow]0; 1[* 1 \geq 0$$

$$\left(\frac{(y_{i,j} - SLOL_j) : y_{i,j}}{SLOL_j} \right) + zo_{3,i,j} \leq 1 \quad (3)$$

$$\Rightarrow 0 + zo_{3,i,j} \leq 1$$

$$\Rightarrow zo_{3,i,j} = 0 \vee zo_{3,i,j} = 1 \quad \text{wegen } zo_{3,i,j} \in \{0; 1\}$$

$$\left(\frac{(y_{i,j} - SLOL_j) : y_{i,j}}{SLOL_j} \right) * zo_{4,i,j} \geq 0 \quad (4)$$

$$\Rightarrow 0 * zo_{4,i,j} \geq 0$$

$$\Rightarrow zo_{4,i,j} = 0 \vee zo_{4,i,j} = 1 \quad \text{wegen } zo_{4,i,j} \in \{0; 1\}$$

Im Rahmen der Wertekombination 2 sind die Gleichungen (1), (2), (3), (4) und (10) konsistent zu zwei alternativen Fällen A) und B), die beide zum gleichen Wert der transformierten Outputquantität $a_{i,j}$ führen:

$$A) \quad zo_{3,i,j} = 0 \wedge zo_{4,i,j} = 1$$

$$a_{i,j} = y_{i,j} * zo_{2,i,j} * zo_{4,i,j} + qou_j * SLOU_j * zo_{1,i,j} + qol_j * SLOL_j * zo_{3,i,j} \quad (10)$$

$$+ (1 - qou_j) * (1 - zo_{2,i,j}) * y_{i,j} + (1 - qol_j) * (1 - zo_{4,i,j}) * y_{i,j}$$

$$\Rightarrow a_{i,j} = y_{i,j} * 1 * 1 + qou_j * SLOU_j * 0 + qol_j * SLOL_j * 0$$

$$+ (1 - qou_j) * (1 - 1) * y_{i,j} + (1 - qol_j) * (1 - 1) * y_{i,j}$$

$$\Rightarrow a_{i,j} = y_{i,j}$$

$$\Rightarrow a_{i,j} = SLOL_j \quad \text{wegen } y_{i,j} = SLOL_j$$

$$B) \quad zo_{3,i,j} = 1 \wedge zo_{4,i,j} = 0$$

$$a_{i,j} = y_{i,j} * zo_{2,i,j} * zo_{4,i,j} + qou_j * SLOU_j * zo_{1,i,j} + qol_j * SLOL_j * zo_{3,i,j} \quad (10)$$

$$+ (1 - qou_j) * (1 - zo_{2,i,j}) * y_{i,j} + (1 - qol_j) * (1 - zo_{4,i,j}) * y_{i,j}$$

$$\Rightarrow a_{i,j} = y_{i,j} * 1 * 0 + qou_j * SLOU_j * 0 + qol_j * SLOL_j * 1$$

$$+ (1 - qou_j) * (1 - 1) * y_{i,j} + (1 - qol_j) * (1 - 0) * y_{i,j}$$

$$\Rightarrow a_{i,j} = qol_j * SLOL_j + (1 - qol_j) * y_{i,j}$$

$qol_j = 0$ (keine Berücksichtigung von $SLOL_j$):

$$a_{i,j} = 0 * SLOL_j + (1 - 0) * y_{i,j}$$

$$\Rightarrow a_{i,j} = y_{i,j}$$

$qol_j = 1$ (Berücksichtigung von $SLOL_j$):

$$a_{i,j} = 1 * SLOL_j + (1 - 1) * y_{i,j}$$

$$\Rightarrow a_{i,j} = SLOL_j$$

$$\Rightarrow a_{i,j} = y_{i,j} \text{ wegen } y_{i,j} = SLOL_j$$

○ **Wertekombination 3** ($0 < SLOL_j < y_{i,j} < SLOU_j$):

$$\frac{SLOU_j - y_{i,j}}{SLOU_j} + zo_{1,i,j} \leq 1 \quad (1)$$

$$\Rightarrow]0; 1[+ zo_{1,i,j} \leq 1$$

$$\Rightarrow zo_{1,i,j} = 0$$

$$\Rightarrow zo_{2,i,j} = 1$$

wegen $zo_{1,i,j} + zo_{2,i,j} = 1$

$$\frac{SLOU_j - y_{i,j}}{SLOU_j} * zo_{2,i,j} \geq 0 \quad (2)$$

$$\Rightarrow]0; 1[* 1 \geq 0$$

$$\left(\frac{(y_{i,j} - SLOL_j) : y_{i,j}}{SLOL_j} \right) + zo_{3,i,j} \leq 1 \quad (3)$$

$$\Rightarrow]0; 1] + zo_{3,i,j} \leq 1$$

wegen $SLOL_j < y_{i,j}$ und $SLOL_j \geq \frac{y_{i,j}}{y_{i,j}+1}$

$$\Rightarrow zo_{3,i,j} = 0$$

wegen $zo_{3,i,j} \in \{0; 1\}$

$$\left(\frac{(y_{i,j} - SLOL_j) : y_{i,j}}{SLOL_j} \right) * zo_{4,i,j} \geq 0 \quad (4)$$

$$\Rightarrow]0; 1] * zo_{4,i,j} \geq 0$$

$$\Rightarrow zo_{4,i,j} = 0 \vee zo_{4,i,j} = 1$$

wegen $zo_{4,i,j} \in \{0; 1\}$

$$\begin{aligned}
&\Rightarrow z_{04.i.j} = 1 && \text{wegen } z_{03.i.j} + z_{04.i.j} = 1 \\
a_{i.j} &= y_{i.j} * z_{02.i.j} * z_{04.i.j} + q_{ou.j} * SLOU_j * z_{01.i.j} + q_{ol.j} * SLOL_j * z_{03.i.j} && (10) \\
&\quad + (1 - q_{ou.j}) * (1 - z_{02.i.j}) * y_{i.j} + (1 - q_{ol.j}) * (1 - z_{04.i.j}) * y_{i.j} \\
&\Rightarrow a_{i.j} = y_{i.j} * 1 * 1 + q_{ou.j} * SLOU_j * 0 + q_{ol.j} * SLOL_j * 0 \\
&\quad + (1 - q_{ou.j}) * (1 - 1) * y_{i.j} + (1 - q_{ol.j}) * (1 - 1) * y_{i.j} \\
&\Rightarrow a_{i.j} = y_{i.j}
\end{aligned}$$

○ Wertekombination 4 ($0 < SLOL_j < y_{i.j} = SLOU_j$):

$$\frac{SLOU_j - y_{i.j}}{SLOU_j} + z_{01.i.j} \leq 1 \quad (1)$$

$$\Rightarrow 0 + z_{01.i.j} \leq 1$$

$$\Rightarrow z_{01.i.j} = 0 \vee z_{01.i.j} = 1 \quad \text{wegen } z_{01.i.j} \in \{0; 1\}$$

$$\frac{SLOU_j - y_{i.j}}{SLOU_j} * z_{02.i.j} \geq 0 \quad (2)$$

$$\Rightarrow 0 * z_{02.i.j} \geq 0$$

$$\Rightarrow z_{02.i.j} = 0 \vee z_{02.i.j} = 1 \quad \text{wegen } z_{02.i.j} \in \{0; 1\}$$

$$\left(\frac{(y_{i.j} - SLOL_j) : y_{i.j}}{SLOL_j} \right) + z_{03.i.j} \leq 1 \quad (3)$$

$$\Rightarrow]0; 1] + z_{03.i.j} \leq 1 \quad \text{wegen } SLOL_j < y_{i.j} \text{ und } SLOL_j \geq \frac{y_{i.j}}{y_{i.j}+1}$$

$$\Rightarrow z_{03.i.j} = 0 \quad \text{wegen } z_{03.i.j} \in \{0; 1\}$$

$$\left(\frac{(y_{i.j} - SLOL_j) : y_{i.j}}{SLOL_j} \right) * z_{04.i.j} \geq 0 \quad (4)$$

$$\Rightarrow]0; 1] * z_{04.i.j} \geq 0$$

$$\Rightarrow z_{04.i.j} = 0 \vee z_{04.i.j} = 1 \quad \text{wegen } z_{04.i.j} \in \{0; 1\}$$

$$\Rightarrow z_{04.i.j} = 1 \quad \text{wegen } z_{03.i.j} + z_{04.i.j} = 1$$

In Wertekombination 4 sind die Gleichungen (1), (2), (3), (4) und (10) konsistent zu zwei alternativen Fällen A) und B), die beide zum gleichen Wert der transformierten Outputquantität $a_{i.j}$ führen:

$$A) z_{o_{1.i.j}} = 0 \wedge z_{o_{2.i.j}} = 1$$

$$a_{i.j} = y_{i.j} * z_{o_{2.i.j}} * z_{o_{4.i.j}} + q_{ou_j} * SLOU_j * z_{o_{1.i.j}} + q_{ol_j} * SLOL_j * z_{o_{3.i.j}} \quad (10)$$

$$+ (1 - q_{ou_j}) * (1 - z_{o_{2.i.j}}) * y_{i.j} + (1 - q_{ol_j}) * (1 - z_{o_{4.i.j}}) * y_{i.j}$$

$$\Rightarrow a_{i.j} = y_{i.j} * 1 * 1 + q_{ou_j} * SLOU_j * 0 + q_{ol_j} * SLOL_j * 0$$

$$+ (1 - q_{ou_j}) * (1 - 1) * y_{i.j} + (1 - q_{ol_j}) * (1 - 1) * y_{i.j}$$

$$\Rightarrow a_{i.j} = y_{i.j}$$

$$B) z_{o_{1.i.j}} = 1 \wedge z_{o_{2.i.j}} = 0$$

$$a_{i.j} = y_{i.j} * z_{o_{2.i.j}} * z_{o_{4.i.j}} + q_{ou_j} * SLOU_j * z_{o_{1.i.j}} + q_{ol_j} * SLOL_j * z_{o_{3.i.j}} \quad (10)$$

$$+ (1 - q_{ou_j}) * (1 - z_{o_{2.i.j}}) * y_{i.j} + (1 - q_{ol_j}) * (1 - z_{o_{4.i.j}}) * y_{i.j}$$

$$\Rightarrow a_{i.j} = y_{i.j} * 0 * 1 + q_{ou_j} * SLOU_j * 1 + q_{ol_j} * SLOL_j * 0$$

$$+ (1 - q_{ou_j}) * (1 - 0) * y_{i.j} + (1 - q_{ol_j}) * (1 - 1) * y_{i.j}$$

$$\Rightarrow a_{i.j} = q_{ou_j} * SLOU_j + (1 - q_{ou_j}) * y_{i.j}$$

$q_{ou_j} = 0$ (keine Berücksichtigung von $SLOU_j$):

$$a_{i.j} = 0 * SLOU_j + (1 - 0) * y_{i.j}$$

$$\Rightarrow a_{i.j} = y_{i.j}$$

$q_{ou_j} = 1$ (Berücksichtigung von $SLOU_j$):

$$a_{i.j} = 1 * SLOU_j + (1 - 1) * y_{i.j}$$

$$\Rightarrow a_{i.j} = SLOU_j$$

$$\Rightarrow a_{i.j} = y_{i.j} \text{ wegen } y_{i.j} = SLOU_j$$

○ Wertekombination 5 ($0 < SLOL_j < SLOU_j < y_{i,j}$):

$$\frac{SLOU_j - y_{i,j}}{SLOU_j} + zo_{1,i,j} \leq 1 \quad (1)$$

$$\Rightarrow]-\infty; 0[+ zo_{1,i,j} \leq 1$$

$$\Rightarrow zo_{1,i,j} = 0 \vee zo_{1,i,j} = 1 \quad \text{wegen } zo_{1,i,j} \in \{0; 1\}$$

$$\frac{SLOU_j - y_{i,j}}{SLOU_j} * zo_{2,i,j} \geq 0 \quad (2)$$

$$\Rightarrow]-\infty; 0[* zo_{2,i,j} \geq 0$$

$$\Rightarrow zo_{2,i,j} = 0 \quad \text{wegen } zo_{2,i,j} \in \{0; 1\}$$

$$\Rightarrow zo_{1,i,j} = 1 \quad \text{wegen } zo_{1,i,j} + zo_{2,i,j} = 1$$

$$\left(\frac{(y_{i,j} - SLOL_j) : y_{i,j}}{SLOL_j} \right) + zo_{3,i,j} \leq 1 \quad (3)$$

$$\Rightarrow]0; 1[+ zo_{3,i,j} \leq 1$$

$$\text{wegen } SLOL_j < y_{i,j} \text{ und } SLOL_j \geq \frac{y_{i,j}}{y_{i,j}+1}$$

$$\Rightarrow zo_{3,i,j} = 0 \quad \text{wegen } zo_{3,i,j} \in \{0; 1\}$$

$$\left(\frac{(y_{i,j} - SLOL_j) : y_{i,j}}{SLOL_j} \right) * zo_{4,i,j} \geq 0 \quad (4)$$

$$\Rightarrow]0; 1[* zo_{4,i,j} \geq 0$$

$$\Rightarrow zo_{4,i,j} = 0 \vee zo_{4,i,j} = 1 \quad \text{wegen } zo_{4,i,j} \in \{0; 1\}$$

$$\Rightarrow zo_{4,i,j} = 1 \quad \text{wegen } zo_{3,i,j} + zo_{4,i,j} = 1$$

$$a_{i,j} = y_{i,j} * zo_{2,i,j} * zo_{4,i,j} + qou_j * SLOU_j * zo_{1,i,j} + qol_j * SLOL_j * zo_{3,i,j} \quad (10)$$

$$+ (1 - qou_j) * (1 - zo_{2,i,j}) * y_{i,j} + (1 - qol_j) * (1 - zo_{4,i,j}) * y_{i,j}$$

$$\Rightarrow a_{i,j} = y_{i,j} * 0 * 1 + qou_j * SLOU_j * 1 + qol_j * SLOL_j * 0$$

$$+ (1 - qou_j) * (1 - 0) * y_{i,j} + (1 - qol_j) * (1 - 1) * y_{i,j}$$

$$\Rightarrow a_{i,j} = qou_j * SLOU_j + (1 - qou_j) * y_{i,j}$$

$qou_j = 0$ (keine Berücksichtigung von $SLOU_j$):

$$a_{i,j} = 0 * SLOU_j + (1 - 0) * y_{i,j}$$

$$\Rightarrow a_{i,j} = y_{i,j}$$

Die transformierte Outputquantität $a_{i,j}$ ist gleich der Outputquantität $y_{i,j}$, falls die obere Output-Satisfizierungsgrenze $SLOU_j$ nicht berücksichtigt werden soll.

$qou_j = 1$ (Berücksichtigung von $SLOU_j$):

$$a_{i,j} = 1 * SLOU_j + (1 - 1) * y_{i,j}$$

$$\Rightarrow a_{i,j} = SLOU_j$$

Die transformierte Outputquantität $a_{i,j}$ ist gleich der oberen Output-Satisfizierungsgrenze $SLOU_j$, wenn diese Output-Satisfizierungsgrenze berücksichtigt werden soll.

Analog zu den Formeln (1) bis (10) werden mit den Formeln (11) bis (20) aus den Inputquantitäten $x_{i,k}$ sowie aus den vom Anwender modellexogen vorgegebenen Werten für die unteren Input-Satisfizierungsgrenzen $SLIL_k$, für die oberen Input-Satisfizierungsgrenzen $SLIU_k$ sowie für die binären Variablen qil_k und qiu_k die transformierten Inputquantitäten $c_{i,k}$ ermittelt. Die Werte der binären Variablen $zi_{1.i.k}$, $zi_{2.i.k}$, $zi_{3.i.k}$ und $zi_{4.i.k}$ werden hierbei modellendogen bestimmt.

Die Formeln (1) bis (20) können, um Satisfizierungsgrenzen in anderen Effizienzanalyse-techniken – wie insbesondere der DEA – zu berücksichtigen, zur Transformation der Inputquantitäten und der Outputquantitäten verwendet werden²⁶⁾. In diesem Fall werden die trans-

26) Vgl. zum Ansatz, Satisfizierungsgrenzen durch Änderung der Input- und Outputquantitäten in Effizienzanalysen zu berücksichtigen: PETERS/ZELEWSKI (2018), S. 66-68. In Anlehnung an SCHEEL wird dieser Ansatz als indirekter Ansatz zur Berücksichtigung von Satisfizierungsgrenzen eingestuft. SCHEEL unterscheidet bei der Berücksichtigung von unerwünschten Outputs („undesirable outputs“) im Rahmen der DEA zwischen indirekten und direkten Ansätzen. Bei indirekten Ansätzen werden die Outputquantitäten unerwünschter Outputs mithilfe einer (streng) monoton fallenden Funktion so transformiert, dass sie als normale Inputs – z. B. nach Multiplikation der Outputquantitäten mit dem Wert „-1“ – oder als normale, wünschenswerte Outputs – z. B. nach Berechnung des (weiterhin positiven) Kehrwerts der Outputquantitäten – in unveränderten DEA-Modellen berücksichtigt werden können. Vgl. SCHEEL (2001), S. 401 f. Hingegen werden bei den direkten Ansätzen die Outputquantitäten unverändert übernommen, aber die DEA-Modelle zwecks Berücksichtigung unerwünschter Outputs modifiziert. Vgl. SCHEEL (2001), S. 401 und 402 f. Vgl. darüber hinaus zur Berücksichtigung unerwünschter Inputs und Outputs in DEA-Modellen: DYCKHOFF (2018).

formierten Outputquantitäten $a_{i,j}$ und die transformierten Inputquantitäten $c_{i,k}$ in die jeweilige Effizienzanalysetechnik – also beispielweise in ein DEA-Modell – übernommen²⁷⁾. Andernfalls werden die Formeln (21) bis (27) angewandt, die aus dem bislang bekannten EATWIOS-Modell stammen²⁸⁾.

Mit Formel (21) werden aus den transformierten Outputquantitäten $a_{i,j}$ die (transformierten) normalisierten Outputquantitäten $r_{i,j}$ berechnet²⁹⁾. Formel (22) dient der Bestimmung der maximalen normalisierten Outputquantitäten r_j^* für jeden Output j . Anschließend werden mit Formel (23) die Outputabstandsmaße $op_{i,j}$ für jede Entscheidungseinheit i und für jeden Output j ermittelt.

Analog zu Formel (21) werden mit Formel (24) aus den transformierten Inputquantitäten $c_{i,k}$ die (transformierten) normalisierten Inputquantitäten $s_{i,k}$ berechnet. In Formel (25) werden die minimalen normalisierten Inputquantitäten s_k^* für jeden Input k ermittelt. Alsdann werden mit Formel (26) die Inputabstandsmaße $ip_{i,k}$ bestimmt.

Abschließend wird in Formel (27) mit den Outputabstandsmaßen $op_{i,j}$ und den Inputabstandsmaßen $ip_{i,k}$ sowie den zugehörigen relativen Bedeutungsgewichten v_j bzw. w_k für jede Entscheidungseinheit i ein Effizienzwert E_i berechnet.

27) Durch die Formeln (1) bis (20) werden „schlichte Datentransformationen“ vorgenommen, die auch „manuell“ oder mithilfe simpler Formeln in Tabellenkalkulationssoftware durchgeführt werden können. Durch die hier dargestellten Formeln ist jedoch eine Implementierung in Optimierungs- oder Operations-Research-Software – wie beispielsweise *Lingo* (vgl. www.lindo.com) – möglich. Eine solche *Lingo*-Implementierung wurde von den Verfassern durchgeführt und anhand exemplarischer Beispiele getestet.

28) Vgl. z. B. PETERS/ZELEWSKI (2012), S. 4 f.

29) Die Normalisierungen erfolgen in EATW(I)OS mit dem Ansatz aus der *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)*. Vgl. zur Normalisierung in TOPSIS: HWANG/YOON (1981), S. 130 f.

3 Fazit

Mit dem vorgestellten EATWIOS-Modell ist es möglich, Effizienzwerte für Entscheidungseinheiten unter Berücksichtigung von unteren und oberen Output-Satisfizierungsgrenzen sowie von unteren und oberen Input-Satisfizierungsgrenzen zu berechnen. Durch die Wahl der Werte für binäre Entscheidungsvariablen wird festgelegt, welche der Satisfizierungsgrenzen bei der Berechnung der Effizienzwerte einbezogen werden sollen.

Falls über die Berechnung der Effizienzwerte unter Berücksichtigung der Satisfizierungsgrenzen hinaus eine weitergehende Analyse zur Identifizierung von Effizienzsteigerungspotenzialen intendiert ist, empfiehlt es sich, für alle Entscheidungseinheiten einerseits die Effizienzwerte ohne Berücksichtigung von Satisfizierungsgrenzen sowie andererseits die Effizienzwerte, bei denen jeweils genau eine Satisfizierungsgrenze berücksichtigt worden ist, zu berechnen. Durch einen Vergleich des resultierenden Effizienzwert-Tupels, das die Effizienzwerte ohne Berücksichtigung von Satisfizierungsgrenzen umfasst, mit jeweils einem Effizienzwert-Tupel mit Effizienzwerten, bei deren Berechnung genau eine Satisfizierungsgrenze einbezogen wurde, kann eruiert werden, welche Entscheidungseinheiten von der Berücksichtigung der jeweiligen Satisfizierungsgrenze „profitiert“ haben. Profitieren meint, dass die Entscheidungseinheiten in Relation zu den anderen Entscheidungseinheiten „besser“ abschneiden, da beispielsweise andere Entscheidungseinheiten durch die Berücksichtigung der Satisfizierungsgrenze einen geringeren Effizienzwert erreichen.

Wenn eine Entscheidungseinheit von der Berücksichtigung einer Satisfizierungsgrenze profitiert, ist dies ein Indikator dafür, dass sich die Effizienz dieser Entscheidungseinheit in Bezug auf die jeweils betrachtete Satisfizierungsgrenze eventuell steigern lässt³⁰⁾. Eine solche *spezifische* Erkenntnismöglichkeit von potenziellen Ineffizienzen in Bezug auf *einzelne Satisfizierungsgrenzen* besteht bei anderen Techniken der Effizienzanalyse, wie z. B. der DEA, nicht. Diese spezifische, auf Satisfizierungsgrenzen bezogene Erkenntnismöglichkeit erweist sich vor dem Hintergrund aktueller ökonomischer Diskussionen als besonders interessant. Diese Diskussionen erstrecken sich u. a. darauf, dass im Rahmen des Konzepts eingeschränkter Rationalität Satisfizierungsgrenzen oder -niveaus für „realistisches“ Verhalten von Entscheidungsträgern in betriebs- oder volkswirtschaftlichen Entscheidungskontexten bereits seit geraumer Zeit, vor allem im Zusammenhang mit der „modernen“ empirischen

30) Vgl. zur Analyse von Effizienzsteigerungspotenzialen mit EATW(I)OS: PETERS/ZELEWSKI (2006a), S. 10 f. und 17; PETERS/ZELEWSKI (2006b), S. 14-17 und 29 f.; PETERS/ZELEWSKI (2007), S. 79 f.; PETERS/ZELEWSKI (2012), S. 8 und 14; PETERS/ZELEWSKI/BRUNS (2012), S. 313 und 315.

Verhaltensökonomie, zunehmend an Beachtung gewinnen³¹⁾. Daher wäre es wissenschaftlich reizvoll, in zukünftigen Beiträgen näher zu untersuchen, ob die Berücksichtigung von Satisfizierungsgrenzen oder -niveaus in Modellen zur Effizienzanalyse, wie z. B. im hier vorgestellten EATWIOS-Modell, Einblicke vermitteln können, ob und – im positiven Fall – in welchem Umfang solche Satisfizierungsgrenzen oder -niveaus zu der nicht-intendierten „Nebenwirkung“ von Ineffizienzen betroffener Entscheidungseinheiten verleiten können.

31) Vgl. zur Berücksichtigung von Satisfizierungsgrenzen oder -niveaus im Rahmen des Konzepts eingeschränkter Rationalität beispielsweise SIMON (1990), S. 9 ff. und 17; KAO/VELUPILLAI (2015), S. 238, 240, 241, 244, 252, 257 ff., 263 und 267.

Literatur

BANSAL et al. (2014)

Bansal, A.; Singh, R. K.; Issar, S.; Varkey, J.: Evaluation of vendors ranking by EATWOS approach. In: Journal of Advances in Management Research, Vol. 11 (2014), No. 3, S. 290-311.

BERBIG (2015)

Berbig, D.: Entwicklung eines Kosten und Nutzen umfassenden Modells zur Wahl des optimalen Behälters. Dissertation am Karlsruher Institut für Technologie 2014, Karlsruhe 2015.

CHARLES/KUMAR (2014)

Charles, V.; Kumar, M.: Satisficing data envelopment analysis: An application to SERVQUAL efficiency. In: Measurement, Vol. 51 (2014), S. 71-80.

CHARNES/COOPER/RHODES (1978)

Charnes, A.; Cooper, W.; Rhodes, E.: Measuring the efficiency of decision making units. In: European Journal of Operational Research, Vol. 2 (1978), No. 6, S. 429-444.

COOK/SEIFORD (2009)

Cook, W. D.; Seiford, L. M.: Data envelopment analysis (DEA) – Thirty years on. In: European Journal of Operational Research, Vol. 192 (2009), No. 1, S. 1-17.

COOPER/HUANG/LI (1996)

Cooper, W. W.; Huang, Z.; Li, S. X.: Satisficing DEA models under chance constraints. In: Annals of Operations Research, Vol. 66 (1996), No. 4, S. 279-295.

COOPER/HUANG/LI (2011)

Cooper, W. W.; Huang, Z.; Li, S. X.: Chance-Constrained DEA. In: Cooper, W. W.; Seiford, L. M.; Zhu, J. (Hrsg.): Handbook on Data Envelopment Analysis. 2. Aufl., New York – Dordrecht – Heidelberg et al. 2011, S. 211-240.

COOPER/SEIFORD/TONE (2006)

Cooper, W. W.; Seiford, L. M.; Tone, K.: Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses – With DEA-Solver Software and References. New York 2006.

COOPER/SEIFORD/TONE (2007)

Cooper, W. W.; Seiford, L. M.; Tone, K.: Data Envelopment Analysis – A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software. 2. Aufl., New York 2007.

COOPER/SEIFORD/ZHU (2011)

Cooper, W. W.; Seiford, L. M.; Zhu, J.: Data Envelopment Analysis: History, Models, and Interpretations. In: Cooper, W. W.; Seiford, L. M.; Zhu, J. (Hrsg.): Handbook on Data Envelopment Analysis. 2. Aufl., New York – Dordrecht – Heidelberg et al. 2011, S. 1-39.

DYCKHOFF/ALLEN (1999)

Dyckhoff, H.; Allen, K.: Theoretische Begründung einer Effizienzanalyse mittels Data Envelopment Analysis (DEA). In: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 51. Jg. (1999), Heft 5, S. 411-436.

DYCKHOFF (2018)

Dyckhoff, H.: Multi-criteria production theory: foundation of non-financial and sustainability performance evaluation. In: Journal of Business Economics, Vol. 88 (2018), No. 7-8, S. 851-882.

HWANG/YOON (1981)

Hwang, C.-L.; Yoon, K.: Multiple Attribute Decision Making – Methods and Applications – A State-of-the-Art Survey. Berlin – Heidelberg – New York 1981.

JAYANTHI/KOCHA/SINHA (1999)

Jayanthi, S.; Kocha, B.; Sinha, K. K.: Competitive analysis of manufacturing plants: An application to the US processed food industry. In: European Journal of Operational Research, Vol. 118 (1999), No. 2, S. 217-234.

KAO/VELUPILLAI (2015)

Kao, Y.-F.; Velupillai, K. V.: Behavioural economics: Classical and modern. In: The European Journal of the History of Economic Thought, Vol. 22 (2015), No. 2, S. 236-271.

KHEZRIMOTLAGH/CHEN (2018)

Khezrimotlagh, D.; Chen, Y.: Decision Making and Performance Evaluation Using Data Envelopment Analysis. Cham 2018.

KUMAR et al. (2016)

Kumar, N.; Singh, A.; Verma, A.; Sonal, T.: Measuring Efficiency of IPL Players Using EATWOS. In: International Journal of Advanced Production and Industrial Engineering, Vol. 1 (2016), No. 2, S. 13-16.

o. V. (2015)

o. V.: Entwicklung und Implementierung eines praxistauglichen Instrumentariums zur Produktivitätsmessung und Wertdarstellung für Dienstleister in der Kontraktlogistik – Schlussbericht des Verbundprojektes ProKoLog. o. O. 2015. [Im Internet unter der URL: https://prokolog.files.wordpress.com/2015/01/prokolog_schlussbericht.pdf, Datum des Zugriffs: 08.09.2018].

ÖZBEK (2015a)

Özbek, A.: Analysis of Private Pension Companies in Turkey by EATWOS. In: European Journal of Business and Management, Vol. 7 (2015), No. 26, S. 31-43.

ÖZBEK (2015b)

Özbek, A.: Efficiency Analysis of Non-Governmental Organizations Based in Turkey. In: International Business Research, Vol. 8 (2015), No. 9, S. 95-104.

ÖZBEK (2015c)

Özbek, A.: Efficiency Analysis of the Turkish Red Crescent between 2012 and 2014. In: International Journal of Economics and Finance, Vol. 7 (2015), No. 9, S. 322-334.

ÖZBEK (2016)

Özbek, A.: Efficiency Analysis of Gold Mining Companies through Financial Statements. In: International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences, Vol. 6 (2016), No. 10, S. 273-290.

PARKAN (1994)

Parkan, C.: Operational Competitiveness Ratings of Production Units. In: Managerial and Decision Economics, Vol. 15 (1994), No. 3, S. 201-221.

PARKAN (2002)

Parkan, C.: Measuring the operational performance of a public transit company. In: International Journal of Operations & Production Management, Vol. 22 (2002), No. 6, S. 693-720.

PARKAN (2004)

Parkan, C.: Gauging and Comparing the Performances of Dissimilar Entities. In: The Journal of the Operational Research Society, Vol. 55 (2004), No. 1, S. 82-89.

PARKAN (2005)

Parkan, C.: Benchmarking operational performance: the case of two hotels. In: International Journal of Productivity and Performance Management, Vol. 54 (2005), No. 8, S. 679-696.

PARKAN/WU (1999a)

Parkan, C.; Wu, M.-L.: Measurement of the performance of an investment bank using the operational competitiveness rating procedure. In: Omega – The International Journal of Management Science, Vol. 27 (1999), No. 2, S. 201-217.

PARKAN/WU (1999b)

Parkan, C.; Wu, M.-L.: Decision-making and performance measurement models with applications to robot selection. In: Computers & Industrial Engineering, Vol. 36 (1999), No. 3, S. 503-523.

PETERS (2008)

Peters, M. L.: Vertrauen in Wertschöpfungspartnerschaften zum Transfer von retentivem Wissen – Eine Analyse auf Basis realwissenschaftlicher Theorien und Operationalisierung mithilfe des Fuzzy Analytic Network Process und der Data Envelopment Analysis. Dissertation an der Universität Duisburg-Essen (Campus Essen) 2008, Wiesbaden 2008.

PETERS (2017)

Peters, M. L.: Grundlagen der Data Envelopment Analysis. In: Zelewski, S.; Klumpp, M.; Akca, N. (Hrsg.): Hochschuleffizienz – Konzeptionelle Herausforderungen und Lösungsansätze aus Sicht der betriebswirtschaftlichen Forschung. Berlin 2017, S. 37-123.

PETERS/HÜGENS/ZELEWSKI (2007)

Peters, M. L.; Hügens, T.; Zelewski, S.: Betriebswirtschaftliche Bewertungstechniken: ein softwaregestützter Integrationsansatz für KMU. In: Letmathe, P.; Eigler, J.; Welter, F.; Kathan, D.; Heupel, T. (Hrsg.): Management kleiner und mittlerer Unternehmen – Stand und Perspektiven der KMU-Forschung. Wiesbaden 2007, S. 657-672.

PETERS/ZELEWSKI (2006a)

Peters, M. L.; Zelewski, S.: Efficiency Analysis under Consideration of Satisficing Levels for Output Quantities. In: o. V.: Proceedings of the 17th Annual Conference of the Production and Operations Management Society – Operations Management in the New World Uncertainties, CD-ROM-Proceedings, Boston, USA, April 28-May 1. o. O. 2006.

PETERS/ZELEWSKI (2006b)

Peters, M. L.; Zelewski, S.: Effizienz-Analyse unter Berücksichtigung von Satisfizierungsgrenzen für Outputs – Die Effizienz-Analysetechnik EATWOS. Arbeitsbericht Nr. 33, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen, Essen 2006.

PETERS/ZELEWSKI (2007)

Peters, M. L.; Zelewski, S.: Effizienz-Analyse mit EATWOS – Eine Anwendung auf Wärmebehandlungsöfen. In: Controlling, 19. Jg. (2007), Heft 2, S. 75-81.

PETERS/ZELEWSKI (2012)

Peters, M. L.; Zelewski, S.: Erweiterung von EATWOS um die Berücksichtigung von Satisfizierungsgrenzen für Inputs. Arbeitsbericht Nr. 38, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen, Essen 2012.

PETERS/ZELEWSKI (2016a)

Peters, M. L.; Zelewski, S.: Chancen und Risiken von Satisfizierungsgrenzen in Effizienzanalysen aus Perspektive nachhaltiger Entwicklung. In: UmweltWirtschaftsForum, 24. Jg. (2016), Heft 2-3, S. 195-199.

PETERS/ZELEWSKI (2016b)

Peters, M. L.; Zelewski, S.: Benefits and Risks of Satisficing Levels for Input and Output Quantities in Efficiency Analyses from a Corporate Social Responsibility Perspective. In: International Journal of Management and Sustainability, Vol. 5 (2016), No. 12, S. 94-101.

PETERS/ZELEWSKI (2018)

Peters, M. L.; Zelewski, S.: Some Thoughts on Operationalizing the Concept of Sufficiency in Efficiency Analysis. In: International Journal of Management and Sustainability, Vol. 7 (2018), No. 1, S. 63-71.

PETERS/ZELEWSKI/BRUNS (2012)

Peters, M. L.; Zelewski, S.; Bruns, A. S.: Extended Version of EATWOS concerning Satisficing Levels for Input Quantities. In: Blecker, T.; Kersten, W.; Ringle, C. M. (Hrsg.): Pioneering Supply Chain Design – A Comprehensive Insight into Emerging Trends, Technologies and Applications. Lohmar – Köln 2012, S. 303-318.

SAATY (1994)

Saaty, T. L.: How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. In: Interfaces, Vol. 24 (1994), No. 6, S. 19-43.

SAATY (2004)

Saaty, T. L.: Decision Making – The Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). In: Journal of Systems Science and Systems Engineering, Vol. 13 (2004), No. 1, S. 1-35.

SAATY (2008)

Saaty, T. L.: Decision Making for Leaders – The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World. Pittsburgh 2008.

SAATY/VARGAS/ZOFFER (2015)

Saaty, T. L.; Vargas, L. G.; Zoffer, H. J.: A structured scientific solution to the Israeli–Palestinian conflict: the analytic hierarchy process approach. In: Decision Analytics, Vol. 2 (2015), Article 7 (S. 1-53).

SCHEEL (2001)

Scheel, H.: Undesirable outputs in efficiency valuations. In: European Journal of Operational Research, Vol. 132 (2001), No. 2, S. 400-410.

SIMON (1956)

Simon, H. A.: Rational Choice and the Structure of the Environment. In: Psychological Review, Vol. 63 (1956), No. 2, S. 129-138.

SIMON (1972)

Simon, H. A.: Theories of Bounded Rationality. In: McGuire, C. B.; Radner, R. (Hrsg.): Decision and Organization. Amsterdam – London 1972, S. 161-176.

SIMON (1990)

Simon, H. A.: Invariants of Human Behavior. In: Annual Review of Psychology, Vol. 41 (1990), S. 1-19.

SIMON (1997)

Simon, H. A.: Administrative Behavior – A Study of Decision-Making Processes in Administrative Organizations. 4. Aufl., New York 1997.

SONI/SINGH/BANWET (2016)

Soni, V.; Singh, S. P.; Banwet, D. K.: Precise decisions in Indian energy sector by imprecise evaluation. In: International Journal of Energy Sector Management, Vol. 10 (2016), No. 1, S. 118-142.

UDHAYAKUMAR/CHARLES/KUMAR (2011)

Udhayakumar, A.; Charles, V.; Kumar, M.: Stochastic simulation based genetic algorithm for chance constrained data envelopment analysis problems. In: Omega, Vol. 39 (2011), S. 387-397.

YAN/YU/CHENG (2003)

Yan, H.; Yu, Z.; Cheng, T. C. E.: A strategic model for supply chain design with logical constraints: formulation and solution. In: Computers & Operations Research, Vol. 30 (2003), No. 14, S. 2135-2155.

ZHU (2014)

Zhu, J.: Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking – Data Envelopment Analysis with Spreadsheets. 3. Aufl., Cham – Heidelberg – New York et al. 2014.

ZHU (2016)

Zhu, J. (Hrsg.): Data Envelopment Analysis – A Handbook of Empirical Studies and Applications. New York 2016.

**Institut für Produktion und
Industrielles Informationsmanagement
Universität Duisburg-Essen / Campus Essen**

**Verzeichnis der Arbeitsberichte
(ISSN 1614-0842)**

- Nr. 1: Zelewski, S.: Stickels theoretische Begründung des Produktivitätsparadoxons der Informationstechnik. Universität Essen, Essen 1999.
- Nr. 2: Zelewski, S.: Flexibilitätsorientierte Koordinierung von Produktionsprozessen. Universität Essen, Essen 1999.
- Nr. 3: Zelewski, S.: Ontologien zur Strukturierung von Domänenwissen. Universität Essen, Essen 1999.
- Nr. 4: Siedentopf, J.; Schütte, R.; Zelewski, S.: Wirtschaftsinformatik und Wissenschaftstheorie. Universität Essen, Essen 1999.
- Nr. 5: Fischer, K.; Zelewski, S.: Ontologiebasierte Koordination von Anpassungsplanungen in Produktions- und Logistiknetzwerken mit Multi-Agenten-Systemen. Universität Essen, Essen 1999.
- Nr. 6: Weihermann, A. E.; Wöhlert, K.: Gentechnikakzeptanz und Kommunikationsmaßnahmen in der Lebensmittelindustrie. Universität Essen, Essen 1999.
- Nr. 7: Schütte, R.: Zum Realitätsbezug von Informationsmodellen. Universität Essen, Essen 2000.
- Nr. 8: Zelewski, S.: Erweiterungen eines Losgrößenmodells für betriebliche Entsorgungsprobleme. Universität Essen, Essen 2000.
- Nr. 9: Schütte, R.: Wissen, Zeichen, Information, Daten. Universität Essen, Essen 2000.
- Nr. 10: Hemmert, M.: The Impact of Internationalization and Externalization on the Technology Acquisition Performance of High-Tech Firms. Universität Essen, Essen 2001.
- Nr. 11: Hemmert, M.: Erfolgswirkungen der internationalen Organisation von Technologiegewinnungsaktivitäten. Universität Essen, Essen 2001.
- Nr. 12: Hemmert, M.: Erfolgsfaktoren der Technologiegewinnung von F&E-intensiven Großunternehmen. Universität Essen, Essen 2001.

- Nr. 13: Schütte, R.; Zelewski, S.: Epistemological Problems in Working with Ontologies. Universität Essen, Essen 2001.
- Nr. 14: Peters, M. L.; Zelewski, S.: Analytical Hierarchy Process (AHP) – dargestellt am Beispiel der Auswahl von Projektmanagement-Software zum Multiprojektmanagement. Universität Essen, Essen 2002.
- Nr. 15: Zelewski, S.: Wissensmanagement mit Ontologien. Universität Essen, Essen 2002.
- Nr. 16: Klumpp, M.; Krol, B.; Zug, S.: Management von Kompetenzprofilen im Gesundheitswesen. Universität Essen, Essen 2002.
- Nr. 17: Zelewski, S.: Der „non statement view“ – eine Herausforderung für die (Re-) Konstruktion wirtschaftswissenschaftlicher Theorien –. Universität Essen, Essen 2002.
- Nr. 18: Peters, M. L.; Zelewski, S.: A heuristic algorithm to improve the consistency of judgments in the Analytical Hierarchy Process (AHP). Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2003.
- Nr. 19: Peters, M. L.; Zelewski, S.: Fallstudie zur Lösung eines Standortplanungsproblems mit Hilfe des Analytical Hierarchy Process (AHP). Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2003.
- Nr. 20: Zelewski, S.: Konventionelle versus strukturalistische Produktionstheorie. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2003.
- Nr. 21: Alparslan, A.; Zelewski, S.: Moral Hazard in JIT Production Settings. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2004.
- Nr. 22: Dittmann, L.: Ontology-based Skills Management. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2004.
- Nr. 23: Peters, M. L.; Zelewski, S.: Ein Modell zur Auswahl von Produktionsaufträgen unter Berücksichtigung von Synergien. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2004.
- Nr. 24: Peters, M. L.; Zelewski, S.: Ein Modell zur Zuordnung ähnlicher Kundenbetreuer zu Kunden. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2004.
- Nr. 25: Zelewski, S.: Kooperatives Wissensmanagement in Engineering-Netzwerken – (Vorläufiger) Abschlussbericht zum Verbundprojekt KOWIEN. Zugleich KOWIEN-Projektbericht 10/2004. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2004.
- Nr. 26: Siemens, F.: Vorgehensmodell zur Auswahl einer Variante der Data Envelopment Analysis. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2005.
- Nr. 27: Alan, Y.: Integrative Modellierung kooperativer Informationssysteme – Ein Konzept auf der Basis von Ontologien und Petri-Netzen. Dissertation, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2005.
- Nr. 28: Akca, N.; Ilas, A.: Produktionsstrategien – Überblick und Systematisierung. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2005.

- Nr. 29: Zelewski, S.: Relativer Fortschritt von Theorien – ein strukturalistisches Rahmenkonzept zur Beurteilung der Fortschrittlichkeit wirtschaftswissenschaftlicher Theorien (Langfassung). Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2005.
- Nr. 30: Peters, M. L.; Schütte, R.; Zelewski, S.: Erweiterte Wirtschaftlichkeitsanalyse mithilfe des Analytic Hierarchy Process (AHP) unter Berücksichtigung des Wissensmanagements zur Beurteilung von Filialen eines Handelsunternehmens. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2006.
- Nr. 31: Zelewski, S.: Beurteilung betriebswirtschaftlichen Fortschritts – ein metatheoretischer Ansatz auf Basis des „non statement view“ (Langfassung). Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2006.
- Nr. 32: Kijewski, F.; Moog, M.; Niehammer, M.; Schmidt, H. ; Schröder, K.: Gestaltung eines Vorgehensmodells für die Durchführung eines Promotionsprojekts am Fachbereich Wirtschaftswissenschaften der Universität Duisburg-Essen, Campus Essen, zum Erwerb des „Dr. rer. pol.“ mithilfe von PETRI-Netzen. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2006.
- Nr. 33: Peters, M. L.; Zelewski, S.: Effizienz-Analyse unter Berücksichtigung von Satisfizierungsgrenzen für Outputs – Die Effizienz-Analysetechnik EATWOS. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2006.
- Nr. 34: Häselhoff, I.; Meves, Y.; Munsch, D.; Munsch, S.; Schulte-Euler, D.; Thorant, C.: Anforderung an eine verbesserte Lehrqualität – Qualitätsplanung mittels House of Quality. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2007.
- Nr. 35: Zelewski, S.: Das ADL-Modell der Prinzipal-Agent-Theorie für die Just-in-Time-Produktionssteuerung – Darstellung, Analyse und Kritik. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2008.
- Nr. 36: Peters, M. L.; Zelewski, S.: Analyse der Effizienzentwicklung von Bankfilialen mithilfe des Operational Competitiveness Ratings (OCRA). Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2010.
- Nr. 37: Peters, M. L.; Zelewski, S.: Fallstudie zu PORTERS generischen Wettbewerbsstrategien im Kontext nachhaltigen Wirtschaftens. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2010.
- Nr. 38: Peters, M. L.; Zelewski, S.: Erweiterung von EATWOS um die Berücksichtigung von Satisfizierungsgrenzen für Inputs. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2012.
- Nr. 39: Bergenrodt, D.; Jene, S.; Zelewski, S.: Implementierung des Tau-Werts. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2013.
- Nr. 40: Millán-Torres, J.; Arndt, C.: Erstellung eines Businessplans zur Existenzgründung des Unternehmens Cowdy! – Anwendung des „Fast-Casual“-Konzepts auf ein systemgastronomisch organisiertes Restaurant mit dem Schwerpunkt der Steakzubereitung. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2014.

- Nr. 41: Klumpp, M.; Oeben, M.; Zelewski, S.: Evaluation internationaler Bildungstransfer – Konzeptioneller Rahmen und Diskurs zur wissenschaftlichen Bewertung im Forschungs- und Transferprojekt OpporTUNItY. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2018.
- Nr. 42: Oeben, M.; Gerlach, A.-T.; Akdogan, D.; Arabaci, T.; Bagbasi, F.; Gudieva, A.; Klumpp, M.: Evaluation von Bildungsleistungen in Deutschland und Tunesien – das Beispiel des Hochschulsektors. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2018.
- Nr. 43: Oeben, M.; Klumpp, M.: Die Berufsschulsysteme in Tunesien und Deutschland – Ein systematischer Vergleich im Rahmen der wissenschaftlichen Evaluation des Projektes OpporTUNItY –. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2018.
- Nr. 44: Peters, M. L.; Zelewski, S.: Adaption der Efficiency Analysis Technique With Input and Output Satisficing (EATWIOS) zur Berücksichtigung von unteren und oberen Satisfizierungsgrenzen. Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen 2018.