



# Die Ermittlung des technologischen Fortschritts anhand von Unternehmensdaten

Der Einsatz der Malmquist-Methode im deutschen Regulierungsrahmen

Studie im Auftrag von Netze BW GmbH

## Externe Fassung



## **Die Ermittlung des technologischen Fortschritts anhand von Unternehmensdaten - Der Einsatz der Malmquist-Methode im deutschen Regulierungsrahmen**

### **Autoren**

Dr. Stephan Vaterlaus, Polynomics

Dr. Yves Schneider, Polynomics

George Elias, Polynomics

Prof. Dr. Gert Brunekreeft, Jacobs University Bremen

Dr. Roland Meyer, Jacobs University Bremen

### **Danksagung**

Die vorliegende Untersuchung wurde im Auftrag der Netze BW durchgeführt. Frau Sabine Streb, Frau Dr. Eva Deuchert und Herr Mathias Gabel von Netze BW haben aufgrund ihrer engagierten Mitarbeit ebenfalls zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Wir möchten uns an dieser Stelle für die wertvollen Inputs bedanken.

Stand: 24. August 2016

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>16</b>
2.1	Zielsetzungen der Untersuchung .....	16
2.2	Aufbau des Berichts.....	17
<b>3</b>	<b>Ausgangslage .....</b>	<b>19</b>
3.1	Die ARegV und die VPI-X-Regulierung.....	19
3.2	Methoden zur Bestimmung des sektoralen technologischen Fortschritts.....	21
3.2.1	Törnquist (Indexmethode) .....	22
3.2.2	Malmquist.....	23
3.2.3	Direkte Ermittlung mittels Regressionsansatz.....	23
3.3	Konzepte zur Bestimmung des sektoralen Produktivitätsfortschritts mittels Malmquistindex .....	24
3.4	Auswirkungen der einzelnen Konzepte in Bezug auf die Überführung in die Erlösbergrenze .....	25
3.5	Fazit .....	26
<b>4</b>	<b>Bedeutung der Faktorpreise für die Malmquist-Methode zur Umsetzung von <math>X_{GEN}</math>.....</b>	<b>28</b>
4.1	Einleitung .....	28
4.2	Unterschied zwischen Produktions- und Kostenfunktion.....	28
4.3	Möglichkeiten der Malmquist-Methode .....	29
4.3.1	Grundsätzliche Funktionsweise .....	30
4.3.2	Zerlegung des Produktions-Malmquist-Index (PMI) .....	33
4.3.3	Zerlegung des Kosten-Malmquist .....	34
4.3.4	Zerlegung des TOTEX-Malmquist.....	37
4.4	Fazit .....	38
<b>5</b>	<b>Der Einfluss der Faktorpreise.....</b>	<b>40</b>
5.1	Einleitung .....	40
5.2	Erstellung des Datensatzes .....	40
5.2.1	Grundsätzliche Vorgehensweise.....	40
5.2.2	Der Basisdatensatz.....	41
5.3	Szenario 1: Absolute Faktorpreisänderung über die Zeit .....	44
5.4	Szenario 2: Relative Faktorpreisänderung über die Zeit .....	44

5.5	Szenario 3: Unterschiedliche Faktorpreise für zwei Gruppen von Unternehmen ....	45
5.6	Szenario 4: Vorhandensein allokativer Ineffizienz.....	46
5.7	Szenario 5: Gemischtes Szenario .....	50
5.8	Szenario 6: Unterschiedliche Faktorpreisentwicklung in den Gruppen .....	51
5.9	Fazit.....	52
<b>6</b>	<b>Malmquist- versus Regressionsmethoden.....</b>	<b>55</b>
6.1	Einleitung .....	55
6.2	Methodenbeschreibung.....	55
6.2.1	DEA.....	55
6.2.2	SFA.....	56
6.3	Basisdatensatz und Monte-Carlo-Simulation .....	57
6.4	Szenario 7: SFA-Malmquist-Index.....	58
6.5	Szenario 8: Der Einfluss von Messfehlern .....	60
6.6	Szenario 9: Technologiegrenze mit/ohne effiziente Unternehmen und mit/ohne Aufholeffekte der übrigen Unternehmen.....	62
6.6.1	Fall 1 – mit effizienten Unternehmen ohne Aufholeffekt.....	63
6.6.2	Fall 2 – mit effizienten Unternehmen mit Aufholeffekt.....	64
6.6.3	Fall 3 – ohne effiziente Unternehmen ohne Aufholeffekt .....	65
6.6.4	Fall 4 – ohne effiziente Unternehmen mit Aufholeffekt.....	66
6.7	Szenario 10: Veränderung der Datendefinition .....	68
6.8	Szenario 11: Analyse Einfluss der Stichprobe.....	70
6.9	Szenario 12: Kombinierte Effekte .....	71
6.10	Fazit.....	73
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>77</b>
<b>8</b>	<b>Technischer Anhang .....</b>	<b>81</b>
8.1	Herleitung der Erlösobergrenzen-Formel nach Maßgabe der ARegV .....	81
8.2	Äquivalenz Bernstein & Sappington und Malmquist.....	83
8.3	Zusammenhang zwischen $X_{GEN}$ -Berechnung auf Basis von ECC und der ARegV- Vorgabe .....	83
8.4	Herleitung und Untersuchung von $X_{GEN}$ im Fall einer Cobb-Douglas-Funktion ....	84
8.4.1	Formale Herleitung der Cobb-Douglas Produktions- und Kostenfunktion .....	84
8.4.2	Technologischer Fortschritt auf Basis einer Cobb-Douglas- Produktionsfunktion .....	86
8.4.3	Effiziente Kostenverschiebung (ECC) auf Basis einer Cobb-Douglas- Kostenfunktion .....	86

8.5	Kostenverschiebung und Produktivitätsfortschritt im Malmquist-Index.....	87
8.5.1	Zerlegung des Produktions-Malmquistindex (PMI).....	87
8.5.2	Zerlegung des Kosten-Malmquistindex (KMI) .....	87
8.5.3	Berechnung der effizienten Kostenverschiebung (ECC) im Rahmen eines Kosten-Malmquist .....	90
8.5.4	Approximation der effizienten Kostenverschiebung im Rahmen des TOTEX-Malmquist .....	92
8.6	DEA-Optimierungsalgorithmen .....	95
8.6.1	DEA-Grundlagen zur Bestimmung des TC .....	96
8.6.2	DEA-Grundlagen zur Bestimmung des $TCC^{NOM}$ .....	96
8.6.3	DEA-Grundlagen zur Bestimmung des ECC .....	96
8.7	Data Generating Process (DGP) .....	97
<b>9</b>	<b>Anhang: Quellenverzeichnis .....</b>	<b>101</b>

# 1 Zusammenfassung

## Ausgangslage und Fragestellung

In der deutschen Anreizregulierung wird die Erlösobergrenze von Energienetzbetreibern für die Dauer einer Regulierungsperiode vorgegeben. Ausgehend von den Kosten des Basisjahres erfolgt eine Entkoppelung zwischen der Kosten- und der vorgegebenen Erlösentwicklung. Durch die Regulierung soll eine Situation des „als-ob-Wettbewerbs« geschaffen werden.

Unter der Annahme des vollkommenen Wettbewerbs entspricht die Veränderung der Outputpreise (im Fall der Energienetze sind dies die regulierten Netzentgelte) der Inputpreisentwicklung, korrigiert um den technologischen Fortschritt der betrachteten Branche. Weil jedoch die jährliche Inputpreisentwicklung und der jährliche sektorale Produktivitätsfortschritt in der Praxis schwierig zu ermitteln sind, wird in der Praxis oft ein Umweg gewählt. Anstelle der sektoralen Inputpreise wird die allgemeine gesamtwirtschaftliche Inflation (VPI; Verbraucherpreisindex) eingesetzt. So auch in der deutschen Regulierungsformel:

$$EOG_t = C_0 \cdot ((VPI_t/VPI_0) - X_{GEN}).$$

Mit:

$EOG_t$	Erlösobergrenze in Periode $t_1$ ,
$C_0$	Effiziente Kosten im Basisjahr 0,
$VPI_t/VPI_0$	Verbraucherpreisindex in Periode $t$ (relativ zum Basisjahr 0),
$X_{GEN}$	genereller X-Faktor.

Wird jedoch der VPI als Annäherung für die sektorale Inputpreisentwicklung eingesetzt, muss auf Grund der in der Regel abweichenden Entwicklung zwischen der sektoralen Inputpreisentwicklung und dem VPI eine Korrektur um diese Abweichung vorgenommen werden. Dies erfolgt, indem bei der Bestimmung des  $X_{GEN}$  die sektorale um die gesamtwirtschaftliche Entwicklung bezüglich Produktivität und Inputpreisentwicklung korrigiert wird.

$$X_{GEN} = (\Delta TFP^{EN} - \Delta TFP^{GW}) + (\Delta w^{GW} - \Delta w^{EN}).$$

Mit

$\Delta TFP^{EN}$	realer sektoraler Produktivitätsfortschritt der Energienetze,
$\Delta TFP^{GW}$	der reale Produktivitätsfortschritt der Gesamtwirtschaft,
$\Delta w^{EN}$	die sektorale Inputpreisänderung der Energienetze,
$\Delta w^{GW}$	die Inputpreisänderung der Gesamtwirtschaft.

Diese Abweichung wird nicht jährlich aktuell bestimmt, sondern basiert auf langfristigen Trends der Vergangenheit. Die Bestimmung des  $X_{GEN}$  hat in der Vergangenheit nicht nur in Deutschland zu intensiven Diskussionen geführt. Hintergrund ist die Tatsache, dass sich ein  $X_{GEN}$  für die Zukunft nicht beobachten lässt, sondern lediglich auf Basis von vergangenen Daten prognostiziert werden kann.

Die Anreizregulierungsverordnung (ARegV) schreibt vor, dass bei der Bestimmung des  $X_{GEN}$  der Stand der Wissenschaft zu berücksichtigen ist. Zudem lässt die Verordnung auch die Verwendung von Unternehmensdaten zu, was in der Regel mit der Malmquist-Methode in Verbindung gebracht wird.

Im Hinblick auf die Bestimmung des  $X_{\text{GEN}}$  für die dritte Regulierungsperiode hat die Netze BW GmbH Polynomics und die Jacobs University beauftragt, auf Basis eines wissenschaftlich fundierten Gutachtens die folgenden beiden Fragestellungen zu untersuchen. Dabei soll insbesondere der Einsatz der Malmquist-Methode im deutschen Regulierungsrahmen besonders analysiert werden:

1. Welche Konzepte, basierend auf dem Malmquist-Index, können eingesetzt werden, um den Produktivitätsfortschritt zu messen?
2. Alternativ zu der indirekten Malmquist-Methode könnte der technologische Fortschritt auch direkt mit der Regressionsmethode OLS (*Ordinary Least Squares*) gemessen werden. Welche dieser beiden Methoden ist für welche Datenkonstellationen geeignet, um den technologischen Fortschritt zu messen?

Nicht Bestandteil des Gutachtens sind die Analyse der Törnquist-Methode sowie die Untersuchung der grundsätzlichen Eignung der verschiedenen Benchmarkingmethoden zur richtigen Messung der Effizienz von Netzbetreibern in der Realität. Ebenfalls nicht Gegenstand der Analyse sind die Herausforderungen, die bei der Ermittlung eines zukünftigen technologischen Fortschritts auf Basis von vergangenen Daten entstehen.

### Methodische Vorgehensweise ...

Die Studie basiert auf zwei Säulen: Zum einen werden formal theoretische Überlegungen durchgeführt und es wird gezeigt, welche Bestandteile des  $X_{\text{GEN}}$  auf Basis von vorliegenden Unternehmensdaten bestimmbar sind und welche Verzerrungen möglicherweise auftreten. Zum anderen wird eine empirische Untersuchung auf Basis eines synthetischen Datensatzes durchgeführt. Der synthetisch erzeugte Datensatz erlaubt vollständige Kontrolle über die Eigenheiten der Daten. Der Einfluss einzelner Variationen im Datensatz auf die Methoden zur Bestimmung des sektoralen technologischen Fortschritts über die Zeit kann somit systematisch untersucht werden.

Der Basisdatensatz enthält 100 Unternehmen, die aus Kapital und Arbeit bei konstanten Skalenerträgen einen Output erzielen. Die Faktorpreise für Arbeit und Kapital sind für alle Unternehmen identisch gleich eins und konstant über die Zeit. Sämtliche Unternehmen sind allokativ effizient. 80% der Unternehmen weisen eine produktive Ineffizienz auf. Die restlichen 20% der Firmen produzieren technisch effizient. Damit wird sichergestellt, dass die Daten die Ermittlung der „korrekten“ Technologiegrenze ermöglichen. Der sektorale technologische Fortschritt zwischen den beiden Perioden 0 und 1 wird mit 10% festgelegt. Dieser Basisdatensatz wird anschließend sukzessive verändert und es wird untersucht, inwieweit der sektorale technologische Fortschritt unter diesen Veränderungen noch richtig gemessen werden kann.

Die Analyse umfasst zwei Blöcke. Ein Block konzentriert sich auf den Einfluss der Faktorpreise und auf mögliche Verzerrungen, die entstehen, wenn Daten zu den Faktorpreisen fehlen. Der zweite Block untersucht und vergleicht die Güte (insb. Robustheit) der verschiedenen Schätzmethoden, insbesondere der Malmquist-Methode auf Basis der *Data Envelopment Analysis* (DEA) versus der Regressionsmethode OLS. Insgesamt wird hiermit eine Aussage getroffen, ob und inwiefern die Malmquist-Methode grundsätzlich geeignet ist, den Produktivitätsfortschritt zu messen.

### ... zur Analyse der Konzepte ...

Bei der Frage, welche Konzepte existieren und welche Komponenten des  $X_{\text{GEN}}$  bestimmt werden, werden die folgenden Konzepte unterschieden:

- **Technologischer Fortschritt (TC; *Technological Change*):** Grundlage dieses Konzepts ist eine Produktionsbetrachtung. Der technische Fortschritt setzt Faktoreinsatz- und Outputmengen zueinander ins Verhältnis. Technologischer Fortschritt liegt vor, wenn mit denselben Faktormengen ein höherer Output produziert werden kann. Zu Ermittlung des technologischen Fortschritts müssen nur Daten zu den Output- und Faktormengen vorliegen, jedoch keine Informationen zu den Faktorpreisen. Auf dieser Basis kann der reale sektorale Produktivitätsfortschritt bestimmt werden. Somit entspricht der TC dem  $\Delta\text{TFP}^{\text{EN}}$  aus der Regulierungsformel.
- **Effiziente Kostenverschiebung (ECC; *Efficient Cost Change*):** Grundlage dieses Konzepts ist eine Kostenbetrachtung. Hier liegen Informationen zu den Outputmengen, den benötigten Inputmengen (Arbeit, Kapital) sowie den dazugehörigen Faktorpreisen (zum Beispiel Löhne, Zinsen) vor. Liegen diese Daten vor, kann die nominale sektorale **effiziente Kostenverschiebung** bestimmt werden. ECC entspricht somit der (positiven oder negativen) Differenz aus dem technischen Fortschritt und der Inputpreisentwicklung, also der Differenz aus  $\Delta\text{TFP}^{\text{EN}}$  (= TC) und  $\Delta w^{\text{EN}}$  (= sektoraler Inputpreiseffekt) aus der Regulierungsformel.
- **Nominale TOTEX-Verschiebung ( $\text{TCC}^{\text{NOM}}$ ; *Nominal Total Cost Change*):**  $\text{TCC}^{\text{NOM}}$  ist eine Approximation des ECC. Grundlage dieses Konzepts sind die Outputmengen sowie die Gesamtkosten (TOTEX), wie sie der Bundesnetzagentur für die Netzbetreiber vorliegen. Das bedeutet, dass keine separaten Daten für Inputmengen (zum Beispiel Arbeit, Kapital) sowie Inputpreise (zum Beispiel Löhne, Zinsen) bekannt sind, sondern lediglich das Produkt dieser Größen in Form von Gesamtkosten. Im Gegensatz zum ECC kann  $\text{TCC}^{\text{NOM}}$  durch das Fehlen der Daten zu Faktorpreisen Preiseffekte nicht aus dem Frontier-Shift isolieren, so dass es zu Abweichungen zwischen ECC und TCC kommt.
- **Reale TOTEX-Verschiebung ( $\text{TCC}^{\text{REAL}}$ ; *Real Total Cost Change*):**  $\text{TCC}^{\text{REAL}}$  ist eine Approximation von TC. Grundlage dieses Konzepts ist wie beim  $\text{TCC}^{\text{NOM}}$  die Outputmengen sowie die Gesamtkosten (TOTEX) wie sie der Bundesnetzagentur für die Netzbetreiber vorliegen. Allerdings werden bei diesem Konzept die Gesamtkosten im Gegensatz zum  $\text{TCC}^{\text{NOM}}$  vor der Bestimmung des Produktivitätsfortschritts mit einem Preisindex deflatiert.

Die nachfolgende Tabelle 1 fasst die für diese Studie zentralen Konzepte zusammen.



**Tabelle 1 Zusammenfassung der Produktivitäts- und Kostenbegriffe**

Begriff	Abkürzung Malmquist- Terminologie	Entsprechung ARegV-Terminologie	Erläuterung	Inputdaten
Technologischer Fortschritt	TC	$\Delta TC = \Delta TFP^{EN}$	Reale sektorale Produktivitätsänderung der Energienetze	Daten zu Inputmengen
Effiziente Kostenverschiebung	ECC	$\Delta ECC = \Delta TFP^{EN} - \Delta w^{EN}$	Nominale effiziente Kosten der Energienetze	Daten zu Inputmengen und Inputpreisen
Reale TOTEX-Verschiebung	$TCC^{REAL}$	$\Delta TCC^{REAL} \approx \Delta TFP^{EN}$	Approximation von $\Delta TFP^{EN}$ auf Basis des TOTEX-Malmquist	Nur aggregierte TOTEX-Daten
Nominale TOTEX-Verschiebung	$TCC^{NOM}$	$\Delta TCC^{NOM} \approx \Delta TFP^{EN} - \Delta w^{EN}$	Approximation von $(\Delta TFP^{EN} - \Delta w^{EN})$ auf Basis des TOTEX-Malmquist	Nur aggregierte TOTEX-Daten

*In der Tabelle werden die in dieser Studie verwendeten Begriffe und Abkürzungen zu den Produktivitätsfortschritten und Kostenverschiebungen zusammengefasst und erläutert.*

Quelle: Polynomcis / Jacobs University.

Im Rahmen der ersten Untersuchungsfragestellung steht die Analyse, welche dieser Konzepte bei unterschiedlichen Szenarien zu den Faktorpreisen in der Lage sind, den vorgegebenen technologischen Fortschritt von 10% und gegebenenfalls die sektorale Inputpreisänderung der Energienetze richtig zu messen. Hierzu wird die Malmquist-Methode auf Basis von DEA-Effizienzwerten angewendet.

### ... und zur Analyse der Methoden

Bei der zweiten Fragestellung geht es um den Vergleich alternativer Methoden zur Bestimmung des sektoralen Produktivitätsfortschritts auf Basis von Unternehmensdaten. Grundsätzlich können dabei zwei Vorgehensweisen unterschieden werden. Zum einen kann der sektorale Produktivitätsfortschritt auf Basis der Malmquist-Methode berechnet werden. Hierzu sind Effizienzanalysen durchzuführen, wobei diesbezüglich verschiedene Benchmarkingmethoden eingesetzt werden können. Alternativ lässt sich der sektorale technologische Fortschritt aber auch auf Basis von regressionsbasierten Methoden wie der OLS direkt und ohne vorherige Ermittlung von Effizienzwerten berechnen. Hierzu wird in der Schätzgleichung ein sogenannter Zeit-Dummy eingeführt.

Ziel der zweiten Untersuchungsfragestellung ist die Analyse, welche der Methoden besser geeignet ist, um mit unterschiedlichen Herausforderungen in den vorliegenden Unternehmensdaten umzugehen. Hierzu wird jeweils der Datensatz bezüglich einer definierten Herausforderung (z. B. Selektionseffekte, Aufholeffekte) geändert und sogenannte Monte-Carlo-Simulationen durchgeführt. Das bedeutet, dass für jedes Szenario anhand von 1.000 Realisationen der jeweilige reale sektorale technologische Fortschritt (TC) berechnet wird. Somit kann die Eignung un-

terschiedlicher empirischer Methoden bezüglich verschiedener Datenherausforderungen hinsichtlich der Erwartungstreue (ist die Methode im Durchschnitt in der Lage, den vorgegebene sektoralen technologischen Fortschritt zu berechnen) und der Streuung der Ergebnisse (wie stark weichen die Ergebnisse vom Durchschnittswert ab) beurteilt werden.

### Konzepte zur Bestimmung des $\Delta TFP^{EN}$ und des $\Delta w^{EN}$

Die oben eingeführten Konzepte TC, ECC,  $TCC^{NOM}$  und  $TCC^{REAL}$  unterscheiden sich vorwiegend dadurch, ob Daten zu den Faktoreinsatzmengen und -preisen für die Unternehmen vorliegen. Dabei können sich Faktorpreise über die Zeit von Periode 0 zu Periode 1 verändern, oder sie können für verschiedene Unternehmen unterschiedlich hoch ausfallen. Von besonderem Interesse im Hinblick auf die deutsche Anreizregulierung ist dabei, inwieweit der  $TCC^{NOM}$  in der Lage ist, bei den unterschiedlichen Faktorpreisszenarien den „wahren“ technologischen Fortschritt richtig zu messen. Dies ist deshalb wichtig, weil in Deutschland keine separaten Informationen zu den Inputmengen und den Faktorpreisen vorliegen. Aufgrund der unvollständigen Datenverfügbarkeit kann daher nur der  $TCC^{NOM}$  auf Basis eines TOTEX-Benchmarkings berechnet werden. Als Szenarien untersuchen wir

- den Einfluss von Veränderungen aller Faktorpreise für alle Unternehmen respektive Veränderungen von nur einem Faktorpreis über die Zeit,
- unterschiedliche Faktorpreise für verschiedene Unternehmen (2 Gruppen),
- Vorhandensein von allokativer Ineffizienz, die über die Zeit konstant bleibt bzw. die zwischen Periode 0 und 1 auf- bzw. abgebaut wird,
- unterschiedliche Faktorpreise für verschiedene Unternehmen (2 Gruppen), wobei sich die Faktorpreise prozentual für beide Gruppen gleich bzw. nur für eine Gruppe verändern.

In der Tabelle 2 sind die Ergebnisse zusammengefasst. Dabei zeigt sich, dass der  $TCC^{NOM}$  auf Basis eines TOTEX-Benchmarkings in zwei Fällen die korrekte Verschiebung der effizienten Kosten nicht adäquat ermitteln kann: erstens wenn die Unternehmen über die Zeit allokativen Ineffizienzen auf- bzw. abbauen und zweitens, wenn sich die Faktorpreise, wie zum Beispiel die Löhne, für die beiden Gruppen unterschiedlich entwickeln. In allen anderen untersuchten Fällen misst  $TCC^{NOM}$  genau den richtigen Wert. Sobald jedoch der Datensatz Unternehmen enthält, die sowohl allokativ als auch technisch effizient sind, kann der  $TCC^{NOM}$  auch dann die korrekte Verschiebung der effizienten Kosten messen, wenn bei den übrigen Unternehmen sich die allokativen Ineffizienz verändert.

**Tabelle 2 Übersicht über die Ergebnisse zu den Faktorpreisszenarien**

Szenarienwirkung	Technologischer Fortschritt (TC) basierende auf einem Produktions-Malmquist	Effiziente Kostenverschiebung (ECC) basierend auf einem Kosten-Malmquist	Nominale TOTEX-Verschiebung ( $TCC^{NOM}$ ) basierend auf einem TOTEX-Malmquist
Gleiche Faktorpreise für alle Unternehmen und gleiche absolute Veränderung aller Faktorpreise für alle Unternehmen (Szenario 1)	✓	✓	✓
Gleiche Faktorpreise für alle Unternehmen Veränderung nur eines Faktorpreises für alle Unternehmen (Szenario 2)	✓	✓	✓
Unterschiedliche Faktorpreise für zwei Gruppen von Unternehmen, ohne Veränderung der Faktorpreise über die Zeit (Szenario 3)	✓	✓	✓
Gleiche Faktorpreise für alle Unternehmen ohne Veränderung der Faktorpreise über die Zeit und allokativen Ineffizienz (konstant über die Zeit) (Szenario 4)	✓	✓	✓
Gleiche Faktorpreise für alle Unternehmen ohne Veränderung der Faktorpreise über die Zeit und allokativen Ineffizienz (Veränderung über die Zeit) (Szenarien 4 a/b)	X	✓	X
2 Gruppen mit unterschiedlichen Faktorpreisen und Veränderung eines Faktorpreises für 1 Gruppe sowie konstante allokativen Ineffizienz (Szenario 5)	✓	✓	✓
2 Gruppen mit unterschiedlichen Faktorpreisen und Veränderung aller Faktorpreise für eine Gruppe sowie konstante allokativen Ineffizienz (Szenario 6)	✓	✓	X

*Falls eine Veränderung der allokativen Ineffizienz über die Zeit vorliegt kann der TOTEX-Malmquist falsche Resultate liefern. Falls sich die Faktorpreise für unterschiedliche Unternehmensgruppen unterschiedlich entwickeln, liefert der TOTEX-Malmquist falsche Resultate. Die nominale TOTEX-Verschiebung ( $TCC^{NOM}$ ) entspricht in diesen Fällen nicht der effizienten Kostenverschiebung (ECC). Diese Fälle sind in der Tabelle mit „X“ markiert.*

Quelle: Polynomcis / Jacobs University.

### Fazit in Bezug auf die Überführung von $X_{GEN}$ in die Erlösobergrenze

Bezüglich der Bestimmung des sektoralen Produktivitätsfortschritts und der Überführung der Ergebnisse in den  $X_{GEN}$  und die Erlösobergrenze gemäß ARegV auf Basis der beiden Formeln

$$EOG_t = C_0 \cdot ((VPI_t/VPI_0) - X_{GEN}),$$

und

$$X_{GEN} = (\Delta TFP^{EN} - \Delta TFP^{GW}) + (\Delta w^{GW} - \Delta w^{EN})$$

lässt sich folgendes festhalten:

- Zielführend ist die Bestimmung des theoretisch korrekten ECC, welcher die beide Terme  $\Delta TFP^{EN}$  und  $\Delta w^{EN}$  beinhaltet. Wenn Daten zu Faktormengen und -preisen nicht vorliegen, kann dieser aber nur mit  $TCC^{NOM}$  approximiert werden.
- Wird der  $TCC^{NOM}$  berechnet, beinhaltet auch dieser Wert die beiden Terme  $\Delta TFP^{EN}$  und  $\Delta w^{EN}$ . Zur Bestimmung des  $X_{GEN}$  sind somit die sektoralen Faktorpreise nicht mehr zu berücksichtigen. Lediglich den Term  $(\Delta w^{GW} - \Delta TFP^{GW})$  gilt es noch zu bestimmen. Daraus folgt:

$$EOG_t = C_0 \cdot \left( (VPI_t/VPI_0) - \left( (\Delta w^{GW} - \Delta TFP^{GW}) + \Delta TCC^{NOM} \right) \right).$$

- Werden die nominalen TOTEX vor der Bestimmung des sektoralen Produktivitätsfortschritts deflationiert, resultiert mit dem  $TCC^{REAL}$  die reale TOTEX-verschiebung als Approximation von TC. Aufgrund der weiterhin fehlenden Daten zu den Faktormengen entspricht der  $TCC^{REAL}$  nicht exakt dem TC. Je grösser die Abweichung des verwendeten Deflators (z.B. VPI) von der sektoralen Faktorpreisentwicklung ( $\Delta w^{EN}$ ) ist, desto größer ist auch die Abweichung zwischen dem realen technologischen Fortschritt (TC) und  $TCC^{REAL}$ . Um Verzerrungen zu verhindern, ist in diesem Fall zwingend der gleiche Preisindex wie für die Deflationierung (z.B. VPI) als  $\Delta w^{EN}$  in der Formel für  $X_{GEN}$  einzusetzen.
- Zu berücksichtigen bei den Berechnungen ist die Tatsache, dass  $TCC^{NOM}$  den nominalen sektoralen Produktivitätsfortschritt verzerrt ermittelt, sobald sich die Faktorpreise (z.B. Löhne) nicht für alle Unternehmen zwischen zwei Perioden gleich verändern. Dies gilt auch für den Fall, dass sich die alloкатive Ineffizienz über die Zeit ändert.

### Methodenvergleich

Unabhängig von den bisherigen Ergebnissen stellt sich die Frage, auf Basis welcher Methode die Berechnung und Abschätzung bei Vorliegen verschiedener Herausforderungen hinsichtlich der empirischen Datengrundlage zu erfolgen hat. Bevor jedoch der Datensatz sukzessive verändert wird, wird untersucht, ob die Bestimmung des  $TCC^{NOM}$  auf Basis der Malmquist-Methode mit SFA-Effizienzwerten (SFA-Malmquist) zu ähnlich robusten Ergebnissen führt, wie dies mit DEA-Effizienzwerten (DEA-Malmquist) im Rahmen der Faktorpreisszenarien der Fall ist. Dabei zeigt sich, dass der SFA-Malmquist zu verzerrten und volatilen Ergebnissen führt: Bei der Anwendung der Malmquist-Methode sollte die SFA-Methode nicht benutzt werden. Aus diesem Grund wird für die verschiedenen Sensitivitätsanalysen auf die Berechnung des SFA-Malmquist verzichtet und lediglich die Methoden DEA-Malmquist und OLS miteinander verglichen.

Bezüglich der methodischen Herausforderungen wird der Datensatz dergestalt verändert, dass:

- bewusst Messfehler in den Datenbestand eingeführt werden,
- im Datensatz effiziente Unternehmen vorhanden sind und die ineffizienten Unternehmen ihre Ineffizienz über die Zeit abbauen bzw. in gleichem Ausmaß ineffizient bleiben,
- im Datensatz keine effizienten Unternehmen vorhanden sind und die ineffizienten Unternehmen ihre Ineffizienz über die Zeit abbauen bzw. in gleichem Ausmaß ineffizient bleiben,
- die Datendefinition sich zwischen den Perioden ändert,
- die Stichprobe sich zwischen den Perioden verändert (Selektionseffekt),

- verschiedene Effekte, wie sie vermutlich auch in den deutschen Netzbetreiberdaten vorliegen, kombiniert werden. Dazu gehören Messfehler, Abbau der Ineffizienz zwischen den Perioden und Veränderungen der Stichprobe.

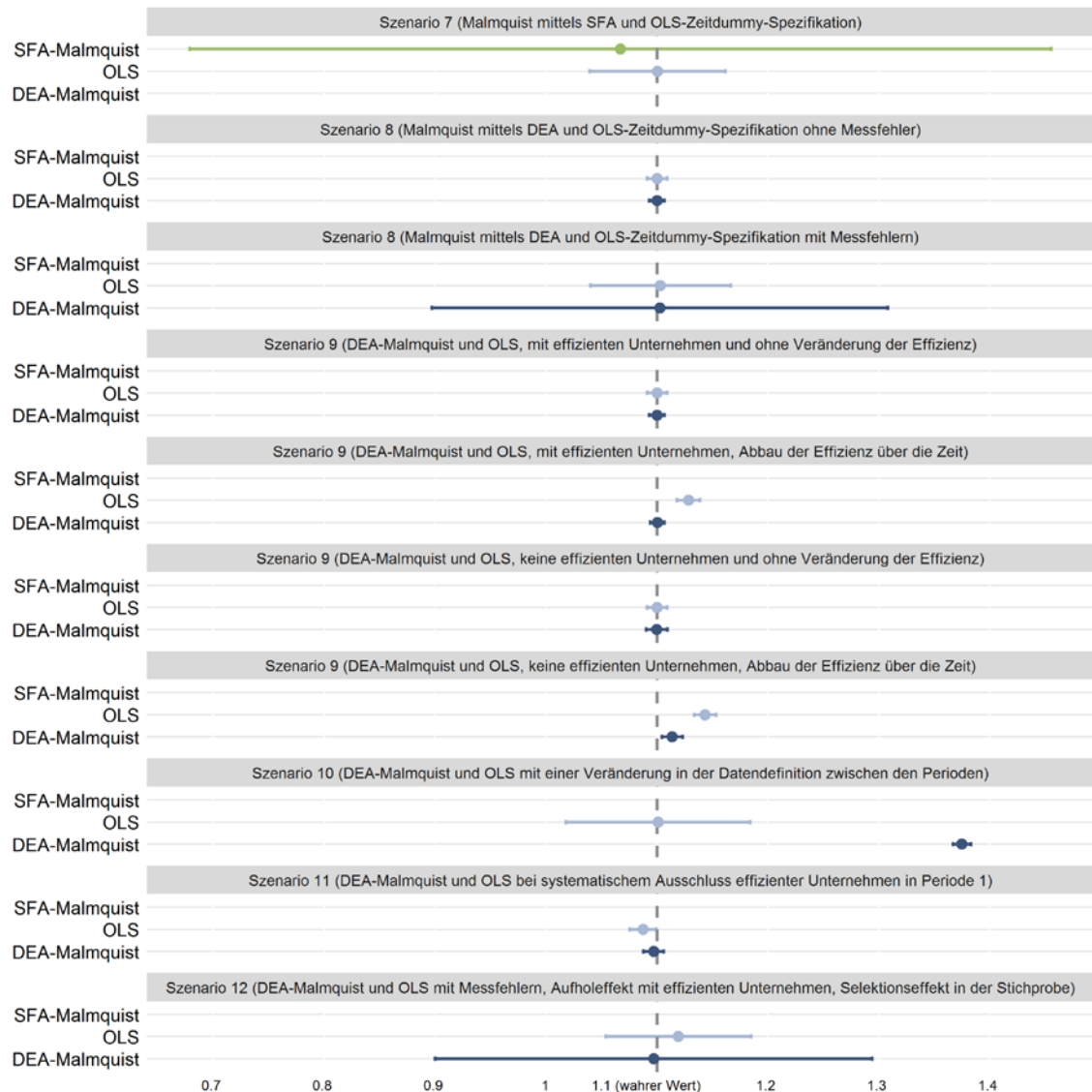
Die folgende Abbildung 1 fasst die Ergebnisse dieser Szenarienrechnungen zusammen. Dabei zeigt sich, dass im Durchschnitt die DEA-Malmquist-Methode bei zwei Szenarien den „wahren“ technologischen Fortschritt nicht adäquat bestimmen kann. Im Durchschnitt erfolgt eine Verzerrung, wenn im Datensatz keine effizienten Unternehmen vertreten sind und die ineffizienten Unternehmen ihre Ineffizienz zwischen den Perioden abbauen (Szenario 9). Ebenfalls verzerrt ist das Ergebnis der DEA-Malmquist-Methode, wenn sich die Stichprobe über die Zeit verändert und effiziente Unternehmen aus Periode 0 in der Periode 1 nicht mehr im Datensatz vorhanden sind (Szenario 11). Gänzlich ungeeignet ist die DEA-Malmquist-Methode, wenn sich die Definition der Parameter im Effizienzmodell zwischen den Perioden ändert.

Von praktischer Relevanz ist jedoch nicht nur eine Betrachtung von durchschnittlichen Ergebnissen, sondern auch deren Streuung. Die Streuung zeigt an, wie präzise der Wert geschätzt werden kann. Ist die Streuung hoch, kann der zu bestimmende Wert nicht mehr präzise bestimmt werden und sowohl Netzbetreiber als auch Netzkunden sind einem hohen regulatorischen Risiko ausgesetzt. Besonders auffallend ist, dass die Ergebnisse bei der DEA-Malmquist-Methode stark streuen, insbesondere dann, wenn in den Daten Messfehler zu verzeichnen sind.

Auch die OLS-Methode trifft den vorgegebenen technologischen Fortschritt im Durchschnitt recht gut. Wie bei der DEA-Malmquist-Methode erfolgt eine Verzerrung, wenn im Datensatz keine effizienten Unternehmen vertreten sind und die ineffizienten Unternehmen ihre Ineffizienz zwischen den Perioden abbauen (Szenario 9). Im Gegensatz zur DEA-Malmquist tritt diese Verzerrung auch auf, wenn effiziente Unternehmen im Datensatz vertreten sind und die ineffizienten Unternehmen ihre Ineffizienz abbauen. Ebenfalls analog zur DEA-Malmquist-Methode erfolgt bei der OLS-Methode eine leichte Verzerrung, wenn ein Selektionseffekt auftritt. Deutlich geringer fällt dagegen die Streuung der Ergebnisse aus, wenn Messfehler in den Daten vorkommen.

Zusammenfassend kann somit festgehalten werden, dass die OLS-Methode Unzulänglichkeiten aufweist, wenn Aufholeffekte bei den Unternehmen vorliegen, da aufgrund der Durchschnittsbetrachtung ein Teil des Aufholeffekts als sektoraler Produktivitätsfortschritt gemessen wird, welcher dadurch überschätzt wird. Im Gegensatz hierzu hat die DEA als Frontiermethode dieses Problem nur in einem Szenario, wenn keine effizienten Unternehmen im Datensatz enthalten sind. Allerdings streut die Malmquist-Methode wesentlich stärker, insbesondere dann, wenn Messfehler eine Rolle spielen.

**Abbildung 1: Streuung der berechneten Frontier-Shifts (TC) in den Szenarien**



Die Abbildung zeigt die Ergebnisse der verschiedenen Szenarienrechnungen. Abgetragen ist jeweils je Szenario, welcher Erwartungswert (runder Punkt) je Methode resultiert und wie stark die Ergebnisse um den Erwartungswert streuen (Antennen). Aufgrund der starken Streuung der SFA-Malmquist-Methode wurden bereits schon bei einem unverzerrten Datensatz für die nachfolgenden Szenarien jeweils nur noch die OLS mit einem Zeit-Dummy und die Malmquist-Methode auf Basis von DEA-Effizienzwerten analysiert. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass zwar mit der DEA in vielen Fällen ein erwartungstreueres Ergebnis erzielt werden kann und die OLS teilweise leicht verzerrte Ergebnisse liefert. Sobald jedoch Messfehler in den Daten vorliegen, fällt die Streuung bei der DEA-Malmquist-Methode deutlich stärker aus als bei der OLS-Methode mit einem Zeit-Dummy.

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

### Fazit zum Methodenvergleich

- Wird die Malmquist-Methode eingesetzt, sind die Effizienzwerte auf Basis der DEA und nicht der SFA zu ermitteln. Der SFA-Malmquist führt zu verzerrten und stark volatilen Ergebnissen.

- Sowohl der DEA-Malmquist als auch die OLS-Methode können häufig zumindest im Durchschnitt den vorgegebenen technologischen Fortschritt richtig berechnen. Zu verzerrten Ergebnissen führen beide Methoden, wenn zwischen den beiden Stichproben effiziente Unternehmen aus der Stichprobe fallen (Selektionseffekt) respektive, wenn ein Aufholeffekt der ineffizienten Unternehmen erfolgt, im Datensatz aber die effizienten Unternehmen fehlen. Für die OLS gilt dies auch, wenn ein Aufholeffekt stattfindet und effiziente Unternehmen im Datensatz sind.
- Bei Vorliegen von Messfehlern treffen zwar beide Methoden den technologischen Fortschritt im Erwartungswert, die Ergebnisse der DEA-Malmquist-Methode streuen aber sehr stark.
- Bevor eine Entscheidung bezüglich der Malmquist- oder der OLS-Methode gefällt wird, ist deshalb der Datensatz auf die folgenden Aspekte zu prüfen:
  - **Abschätzung der Messfehler:** Sind diese stark ausgeprägt, eignet sich die DEA-Malmquist-Methode nicht.
  - **Abschätzung von Selektionseffekten:** Sind effiziente Unternehmen aus dem ersten Benchmarking im zweite Benchmarking der Bundesnetzagentur nicht mehr vertreten, wird der ermittelte technologische Fortschritt verzerrt ermittelt.
  - **Abschätzung von Aufholeffekten:** Finden Aufholeffekte von ineffizienten Unternehmen statt, besteht die Gefahr, dass der technologische Fortschritt verzerrt ermittelt wird.
  - **Veränderungen in der Datendefinition:** Haben sich die Datendefinitionen zwischen zwei Zeitpunkten geändert, führt die DEA-Malmquist-Methode zu einer verzerrten Messung des technologischen Fortschritts. Die OLS-Methode ist jedoch in dieser Hinsicht ebenfalls unzuverlässig.

## 2 Einleitung

In der deutschen Anreizregulierung wird die Erlösvorgabe eines Energienetzbetreibers während der Dauer der Regulierungsperiode von seiner eigenen Kostenentwicklung entkoppelt. Gleichwohl sollen jedoch exogene Kostenveränderungen abgebildet werden. Diese Kostenveränderungen können zum einen daraus resultieren, dass sich die Faktoreinsatzpreise im Netzbetrieb verändern und zum anderen aus der Tatsache entstehen, dass durch den Produktivitätsfortschritt weniger Faktoreinsatz zur Produktion des Gutes gebraucht wird. Die Anreizregulierungsverordnung stellt diese Effekte mit dem Verbraucherpreisindex (VPI) und dem sektoralen generellen Produktivitätsfortschritt ( $X_{GEN}$ ) dar.

Insbesondere die Bestimmung des  $X_{GEN}$  hat in der Vergangenheit immer wieder zu intensiven Diskussionen zwischen dem Regulator und den betroffenen Unternehmen geführt. Hintergrund ist die Tatsache, dass sich ein  $X_{GEN}$  für die Zukunft nicht beobachten lässt. Vielmehr muss auf Basis von vergangenen Daten und unter Verwendung spezifischer Methoden der  $X_{GEN}$  berechnet werden.

Aktuell hat die Bundesnetzagentur ein externes Gutachten in Auftrag gegeben, welches sich mit der Bestimmung des  $X_{GEN}$  beschäftigt. Damit sollen die Grundlagen für die Bestimmung des  $X_{GEN}$  für die dritte Regulierungsperiode gelegt werden. Dabei schreibt die Anreizregulierungsverordnung (ARegV) in § 9 Abs. 3 vor, dass bei der Bestimmung des  $X_{GEN}$  der Stand der Wissenschaft zu berücksichtigen ist. Zudem lässt die Verordnung die Verwendung von Unternehmensdaten zu.

Werden Daten der Energienetzbetreiber bei der Bestimmung des sektoralen Produktivitätsfortschritts berücksichtigt, wird dies in den Diskussionen in der Regel mit der Malmquist-Methode in Verbindung gebracht. Internationale Erfahrungen mit dem Einsatz dieser Methode im regulatorischen Kontext liegen jedoch nicht vor. Ebenfalls fehlt bisher eine systematische wissenschaftliche Analyse der Wirkungsweise der Methode inklusive deren Herausforderungen bei der konkreten Umsetzung.

### 2.1 Zielsetzungen der Untersuchung

Aus diesen Gründen hat Netze BW GmbH Polynomics und Jacobs University beauftragt, ein wissenschaftlich fundiertes Gutachten hinsichtlich der Bestimmung des sektoralen Produktivitätsfortschritts auf Basis von Unternehmensdaten und dessen Überführung in die Erlösbergrenzen-Regulierung der deutschen Netzbetreiber durchzuführen. Im Vordergrund standen die folgenden Fragen:

- Welcher Zusammenhang besteht zwischen den verschiedenen Methoden zur Bestimmung des sektoralen Produktivitätsfortschritts mit Unternehmensdaten und der Überführung der Ergebnisse in eine Anreizregulierung gemäß deutscher Ausgestaltung?
- Welche Methoden eignen sich unter welchen Bedingungen, um auf Basis von vergangenen Unternehmensdaten den sektoralen Produktivitätsfortschritt zu ermitteln?
- Welche Herausforderungen stellen sich bei der Berechnung des sektoralen Produktivitätsfortschritts auf Basis von Unternehmensdaten, wenn beispielsweise
  - unterschiedliche Annahmen bezüglich der Faktorpreise getroffen werden,



- nicht alle Unternehmen einer Branche bei der Berechnung des Produktivitätsfortschritts berücksichtigt werden, oder sich
- die Datenbasis zwischen den betrachteten Perioden aufgrund verschiedener Gründe verändert?

Nicht Gegenstand des Gutachtens ist die Frage, welche Probleme sich generell ergeben, wenn man mit Vergangenheitsdaten die Zukunft abbilden möchte. Ebenfalls nicht Bestandteil der Analysen ist eine Auseinandersetzung mit der Törnquist-Methode, die zur Bestimmung des  $X_{\text{GEN}}$  in den ersten beiden Regulierungsperioden in Deutschland zur Anwendung kam (vgl. Brunekreeft, 2006 und 2007, Plaut Economics, 2006).

## 2.2 Aufbau des Berichts

Um die Fragen zu beantworten, wird im Abschnitt 3 die Ausgangslage dargestellt. Ausgehend von der Regulierung der Erlösvorgabe in der deutschen Anreizregulierungsverordnung (ARegV) und dem damit verbundenen „VPI-X-Ansatz“ (Abschnitt 3.1) wird zuerst auf die für die Bestimmung des sektoralen Produktivitätsfortschritts notwendigen Konzepte (Abschnitt 3.3) und deren Auswirkungen auf die Überführung in die Erlösobergrenze eingegangen, bevor anschließend die möglichen Methoden zur Bestimmung des sektoralen Produktivitätsfortschritts auf Basis von Unternehmensdaten kurz beschreiben wird (Abschnitt 3.4).

Basierend darauf werden im Folgenden zwei grundsätzliche Fragestellungen unterschieden:

1. Welche Konzepte, basierend auf dem Malmquist-Index können eingesetzt werden, um den Produktivitätsfortschritt zu messen (Abschnitte 4 und 5)?
2. Welche der beiden Methoden Malmquist-Index und OLS sind für welche Datenkonstellationen geeignet, um den Produktivitätsfortschritt zu messen (Abschnitt 6)?

### Welche Konzepte lassen sich einsetzen?

Welche Konzepte sich mit der Malmquist-Methode bestimmen lassen und welche Komponenten des  $X_{\text{GEN}}$  berechnet werden, hängt davon ab, inwieweit Daten zu den Faktorpreisen und deren Entwicklung für die Analysen vorliegen. Je nachdem liegt der Malmquist-Berechnung eine Produktions- oder eine Kostenfunktion zu Grunde. In Abschnitt 4.2 werden deren Unterschiede verdeutlicht und anschließend diskutiert, welche Effekte sich auf Basis dieser Funktionen und unter Anwendung der entsprechenden Malmquist-Methoden theoretisch bestimmen lassen, sowie welche Konsequenzen dies für die Überführung der Ergebnisse in die Erlösobergrenze gemäß deutscher Anreizregulierung hat (Abschnitt 4.3). Diese theoretischen Überlegungen werden in Abschnitt 5 um quantitative Analysen ergänzt. Auf Basis eines synthetisch erstellten Datensatzes (Abschnitt 5.2) werden verschiedene Szenarienrechnungen zu Faktorpreisen durchgeführt (Abschnitte 5.3 bis 5.8). Dabei wird innerhalb der Szenarien untersucht, welche Konzepte unter welchen Konstellationen den tatsächlichen sektoralen Produktivitätsfortschritt am besten messen können.

### Welche Methoden eignen sich?

Neben der Malmquist-Methode stehen grundsätzlich auch regressionsbasierte Methoden wie die Ordinary Least Squares (OLS) zur Bestimmung des sektoralen Produktivitätsfortschritts zur Verfügung. In Abschnitt 6 wird untersucht, welche Methoden bei welchen Datenkonstellationen besser oder weniger gut geeignet sind, den tatsächlichen sektoralen Produktivitätsfortschritt zu messen. Im Fokus der Analysen steht zum einen die Bestimmung des Malmquist Indexes auf

Basis von Effizienzwerten, die mit der Data Envelopment Analysis (DEA) oder alternativ mit der Stochastic Frontier Analysis (SFA) ermittelt wurden (Abschnitt 6.4). Der Fokus liegt hierbei auf der DEA-Methode. Zum anderen wird untersucht, wie die Malmquist- und die OLS-Methode mit Messfehlern umgehen (Abschnitt 6.5) können, welche Auswirkungen zu verzeichnen sind, wenn die effizienten Unternehmen im Datensatz fehlen (Abschnitt 6.6) oder wenn sich die Modellparameterdefinition zwischen den Perioden ändert (Abschnitt 6.7), sich die Unternehmensstichprobe über die Zeit verändert (Abschnitt 6.8) und was passiert, wenn verschiedene dieser Effekte kombiniert auftreten (Abschnitt 6.9).

In Abschnitt 7 werden die die Ergebnisse der verschiedenen Analysen zusammengefasst. Wichtige technische Hintergrundinformationen findet der Leser in Abschnitt 8. Abschnitt 9 listet schließlich die für die Arbeiten verwendeten Literaturquellen auf.

### 3 Ausgangslage

Die Regulierungsformel in Deutschland auf Basis der ARegV verlangt, dass die effizienten Kosten eines Basisjahres die Grundlage für die Erlöse darstellen. Die Erlöse wiederum werden im Verlauf der Regulierungsperiode unter anderem um exogene Kostensteigerungen (abgebildet durch den VPI) und den  $X_{GEN}$  angepasst.

Im Abschnitt 3.1 wird diese Ausgangslage und die bisherige Vorgehensweise für die beiden ersten Regulierungsperioden kurz dargestellt. Darauf aufbauend werden die relevanten Konzepte definiert, die für die Bestimmung des sektoralen technologischen Fortschritts und dessen Überführung in die Regulierung der Erlösobergrenze benötigt werden. In den Abschnitten 3.3 und 3.4 werden Konzepte eingeführt und in den Kontext der Regulierung in Deutschland eingesetzt. Die Grundlage der Konzepte bilden die verschiedenen Möglichkeiten zur Bestimmung des sektoralen technologischen Fortschritts. Diese Möglichkeiten werden in Abschnitt 3.4 erläutert. Damit werden die Grundlagen gelegt, um in den folgenden Abschnitten 4, 5 und 6 die verschiedenen Herausforderungen bei der Bestimmung des sektoralen technologischen Fortschritts und dessen Überführung in die Regulierung sowohl theoretisch als auch quantitativ zu diskutieren.

#### 3.1 Die ARegV und die VPI-X-Regulierung

Die ARegV schreibt in § 2 die Regulierung als „Erlösobergrenzenregulierung“ vor und definiert diese in § 7 bzw. Anlage 1 ARegV. Der für den allgemeinen Produktivitätsfortschritt relevante Teil der Regulierungsformel lässt sich wie folgt darstellen:

$$EOG_t = C_0 \cdot ((VPI_t/VPI_0) - X_{GEN}). \quad (1)$$

Mit:

$EOG_t$	Erlösobergrenze im Jahr t,
$C_0$	effiziente Kosten im Basisjahr 0,
$VPI_t/VPI_0$	Verbraucherpreisindex im Jahr t (relativ zum Basisjahr 0),
$X_{GEN}$	genereller X-Faktor.

Diese Art Regulierung ist in der allgemeinen regulierungsökonomischen Literatur (z.B. Knieps, 2001, Brunekreeft & Meyer, 2016) als „VPI-X“ bekannt geworden und kennt in der Umsetzung mehrere Ausprägungen. Die ARegV definiert in § 9 Absatz 1 den  $X_{GEN}$  wie folgt:

$$X_{GEN} = (\Delta TFP^{EN} - \Delta TFP^{GW}) + (\Delta w^{GW} - \Delta w^{EN}). \quad (2)$$

Mit

$\Delta TFP^{EN}$	der reale sektorale Produktivitätsfortschritt oder der reale sektorale technologische Fortschritt der Energienetze,
$\Delta TFP^{GW}$	der reale Produktivitätsfortschritt der Gesamtwirtschaft,
$\Delta w^{EN}$	die sektorale Inputpreisänderung der Energienetze,
$\Delta w^{GW}$	die Inputpreisänderung der Gesamtwirtschaft.

Für dieses Gutachten von primärer Bedeutung ist der Term  $\Delta TFP^{EN}$  in Verbindung mit dem Term  $\Delta w^{EN}$ : Der reale sektorale Produktivitätsfortschritt und die Inputpreisentwicklung bei den Energienetzen. Gegenstand dieser Studie ist unter anderem, wie  $\Delta TFP^{EN}$  und  $\Delta w^{EN}$  mittels des

Malmquist-Index respektive auf Basis von regressionsbasierten Methoden bestimmt werden können und wie die Ergebnisse in die Erlösobergrenze überführt werden können.

Die Gleichung (2) oben zeigt die Berechnungsweise des  $X_{\text{GEN}}$  wie in der ARegV vorgeschrieben. Die Formel verdeutlicht, dass zur Bestimmung vier separate Komponenten notwendig sind. Obwohl eigentlich lediglich die Terme  $\Delta\text{TFP}^{\text{EN}}$  und  $\Delta w^{\text{EN}}$  gesucht werden, sind die übrigen Terme in der Gleichung (2) deshalb notwendig, weil damit die Tatsache korrigiert wird, dass die Erlösobergrenze mittels des allgemeinen Verbraucherindex (VPI), anstatt mit der sektoralen, also netzbetreiberspezifischen, Inputpreisentwicklung ( $\Delta w^{\text{EN}}$ ), inflationiert wird (Quinn & Makhholm, 1997; Bernstein & Sappington, 1999; und Schmitt & Stronzik, 2015). Die Berechnungsmethode, welche in Gleichung (2) dargestellt ist, ist als Korrektur für den VPI zu verstehen. Die direkte und theoretisch korrekte (jährliche) Anpassung der sektoralen Outputpreise (im Kontext der deutschen Regulierung der Netzbetreiber entspricht dies der Veränderung der regulierten Erlösobergrenze),  $\Delta p^{\text{EN}}$ , ist:

$$\Delta p^{\text{EN}} = \Delta w^{\text{EN}} - \Delta\text{TFP}^{\text{EN}}. \quad (3)$$

Hierbei stellt „ $\Delta$ “ die prozentuale Änderung der jeweiligen Größen dar. In Worten bedeutet dies, dass die regulierte inflationsbereinigte Steigung der sektoralen Outputpreise der Steigung der sektoralen Inputpreise abzüglich des realen sektoralen Produktivitätsfortschritts entspricht. Die Idee dabei ist, dass nach der Regulierungslogik die Inputpreissteigerungen und die Produktivitätsverbesserungen an die Endkunden weitergereicht werden dürfen bzw. müssen. Somit stellt  $\Delta p^{\text{EN}}$  das Äquivalent zum gesamtwirtschaftlichen VPI dar, der unter Wettbewerbsbedingungen ebenfalls die Differenz zwischen Inputpreissteigerung und Produktivitätsentwicklung zum Ausdruck bringt.

In der Praxis wird der theoretisch korrekte Weg mit den sektoralen Inputpreisen wie in Gleichung (3) üblicherweise nicht verwendet. Dies ist auf zwei Ursachen zurückzuführen. Zum einen kann ein Datenproblem vorliegen, wenn beispielsweise keine Informationen zur sektoralen Inputpreisänderung vorliegen oder wenn sich in den Angaben der statistischen Ämter keine Informationen zur Outputentwicklung der Energienetze finden. Zum anderen ist zu beachten, dass sich die Anreizwirkung zur Effizienzverbesserung verringert, wenn eine regulierte Firma die „eigenen“, gestiegenen Inputpreise direkt weiterleiten darf (Bernstein & Sappington, 1999). Aus diesen Gründen wird in der Praxis ein Umweg gewählt, indem die allgemeine gesamtwirtschaftliche Inflation gemessen durch den Verbraucherpreisindex (VPI) stellvertretend für die sektorale Inputpreisänderung ( $\Delta w^{\text{EN}}$ ) verwendet wird. Weil jedoch die gesamtwirtschaftliche Inflation nicht der sektoralen Inputpreisentwicklung entspricht und zudem den gesamtwirtschaftlichen Produktivitätsfortschritt enthält, erfordert dieses Vorgehen eine Korrektur um die gesamtwirtschaftlichen Terme. Somit wird aus dem direkten Weg aus Gleichung (4), der indirekte Weg aus Gleichung (2). Die Ableitung, die demnach zur Erlösobergrenze, wie in Gleichung (1) oben führt, ist im Anhang (Abschnitt 8.1) dargestellt.

Für die ersten beiden Regulierungsperioden wurde der  $X_{\text{GEN}}$  mit der index-basierten Törnquist-Methode berechnet; im Abschnitt 3.2.1 wird die Methode ausführlicher dargestellt. Die Entscheidung in 2006 zu Gunsten der Törnquist-Methode und gegen eine Methode, welche auf netzbetreiberspezifische Unternehmensdaten abstellt, wurde unter anderem aufgrund der Datelage getroffen. Die Malmquist-Methode aber auch regressionsbasierte Ansätze beruhen auf unternehmensspezifischen Daten aus mindestens zwei Zeitpunkten. Die Eingangsdaten zur Anwendung solcher Methoden standen damals noch nicht zur Verfügung. Erst jetzt liegen diese vor (und mit Basis 2016 sogar für 3 Perioden), so dass Methoden basierend auf Unternehmens-

daten für Deutschland überhaupt erst jetzt in Frage kämen; jedoch muss festgehalten werden, dass auch jetzt noch gilt, dass eine Trendberechnung auf Basis von lediglich zwei oder drei Datenpunkten statistisch eher problematisch ist. Nach langer und kontroverser Diskussion zu den genauen Törnquist-Berechnungen (Brunekreeft, 2007) wurde vom Bundesrat zuletzt entschieden, dass als  $X_{\text{GEN}}$  für die erste Regulierungsperiode 1,25% jährlich und für die zweite Regulierungsperiode 1,5% anzusetzen sei (§9, ARegV.).

Derzeit steht die Berechnung des  $X_{\text{GEN}}$  für die nächste Regulierungsperiode bevor, die für die Gasverteilnetzbetreiber im Jahr 2018 und für Stromverteilnetzbetreiber im Jahr 2019 beginnt. Gemäß § 9 Abs. 3 ARegV ist vorgeschrieben, dass die Berechnung „nach Maßgabe von Methoden, die dem Stand der Wissenschaft entsprechen, zu ermitteln (sei). Die Ermittlung hat unter Einbeziehung der Daten von Netzbetreibern aus dem gesamten Bundesgebiet für einen Zeitraum von mindestens vier Jahren zu erfolgen. Die Bundesnetzagentur kann jeweils einen Wert für Stromversorgungsnetze und für Gasversorgungsnetze ermitteln“. Es wird hier keine Methode explizit genannt, schließt aber die Malmquist-Methode oder regressionsbasierte Ansätze nicht aus. Der Evaluierungsbericht der Bundesnetzagentur (BNetzA, 2015, S. 273-277) spricht die Wahl zwischen Törnquist und Malmquist an, ist aber ergebnisoffen. Im Januar 2016 hat die Bundesnetzagentur ein Gutachten zur Bestimmung des  $X_{\text{GEN}}$  ausgeschrieben (BNetzA, 2016). Im Ausschreibungstext fordert die Bundesnetzagentur die Berechnung des  $X_{\text{GEN}}$  sowohl nach der Törnquist- als auch der Malmquist-Methode und eine Darlegung der entsprechenden Begründungen.

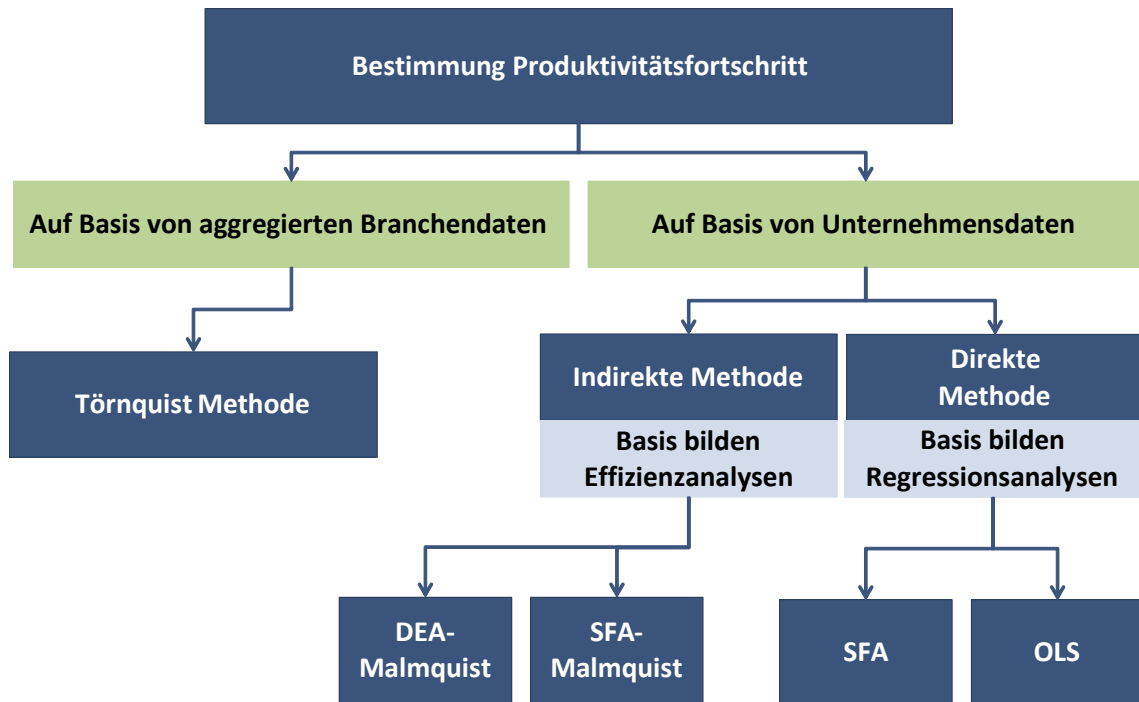
### 3.2 Methoden zur Bestimmung des sektoralen technologischen Fortschritts

Um den sektoralen Produktivitätsfortschritt zu bestimmen, stehen verschiedene Methoden zur Auswahl. Im Grunde lassen sich drei Methoden unterscheiden:

1. Die Törnquist-Methode,
2. Die Malmquist-Methode (Indirekte Methode),
3. Die direkte ökonomische Methode, auf Basis von Regressionsanalysen.

Die zentrale Annahme aller Methoden ist das Prinzip, dass sich der erwartete, zukünftige Produktivitätsfortschritt aus der Vergangenheit ableiten lässt und sich in naher Zukunft fortsetzt. Die Methoden sind folglich immer vergangenheitsorientiert.

Abbildung 2 Methoden zur Bestimmung des sektoralen technologischen Fortschritts



In der Abbildung sind die verschiedenen Methoden abgetragen, auf deren Basis der sektorale Produktivitätsfortschritt ermittelt werden kann. Grundsätzlich kann unterschieden werden, ob hierfür branchenaggregierte oder unternehmensindividuelle Daten verwendet werden. Im Fokus dieses Gutachtens stehen die Methoden auf Basis von unternehmensindividuellen Daten. Hier kann zwischen den indirekten Methoden, welche den sektoralen Produktivitätsfortschritt auf Basis von Effizienzanalysen ermitteln und direkten Methoden unterschieden werden, welche den sektoralen Produktivitätsfortschritt im Rahmen einer Regressionsanalyse bestimmen.

Quelle: Polynomics / Jacobs University

### 3.2.1 Törnquist (Indexmethode)

Der Törnquist-Index ist formal ein gewichtetes geometrisches Mittel einzelner Wachstumsraten (Coelli, et al., 2005, S. 119). Die Methodik ist einfach und intuitiv, erfordert jedoch grundsätzlich sehr detailliert abgegrenzte Branchendaten über ein bestimmtes Zeitintervall. Liegen die Daten entweder nicht in der notwendigen Disaggregation oder nur über einen kurzen Zeitraum vor, ist die Methode sehr sensitiv (vgl. Brunekreeft, 2007). Die Methodik definiert:

$$\Delta TFP = \frac{\text{Törnquist – Index Output}}{\text{Törnquist – Index Input}} \quad (4)$$

Sie misst im Grunde das Verhältnis der Outputänderung zur Inputänderung, was definitionsgemäß der Änderung der totalen Faktorproduktivität entspricht.

Diese Methode bildete die Grundlage für die Bestimmung des  $X_{GEN}$  für die erste und zweite Regulierungsperiode in Deutschland. Die Herausforderungen bei den Berechnungen sind jedoch beträchtlich (vgl. BNetzA, 2006). Auf Grund der Objektivität und Vergleichbarkeit der Daten bezog sich die Bundesnetzagentur auf Informationen des Statistischen Bundesamts. Diese umfassen jedoch die gesamte Wertschöpfungskette und bilden somit nicht nur die Wertschöpfungsstufe Energieverteilung ab. Als Output wurde der Bruttoproduktionswert verwendet und als

Input Kapital (Bruttoanlagevermögen) und Arbeit (Anzahl Arbeitsstunden), wobei die monetären Werte deflationiert wurden. Ein zweites Problem war die Bezugsperiode von 1977 bis 1998, die in zwei Perioden aufgeteilt wurde, um den durch die Wiedervereinigung im Jahr 1991 bedingten Strukturbruch in den Daten zu umgehen. Wie sich herausstellte, war bzw. ist das größte Problem bei der Törnquist-Methodik die hohe Sensitivität bzgl. der gewählten Datenreihen<sup>1</sup> und Bezugsperiode (Brunekreeft, 2007 und Brunekreeft & Müller, 2006). Im weiteren Verlauf des Gutachtens wird auf diese Methode nicht mehr eingegangen.

### 3.2.2 Malmquist

Der Malmquist-Index, benannt nach Malmquist (1953), wird primär im Kontext der Produktivitätsänderungen im globalen Ländervergleich eingesetzt und als solcher gerne von Institutionen wie OECD und Weltbank verwendet (Färe et al., 1994). Der Malmquist-Index benutzt Effizienzwerte (meistens aus Benchmarkingmethoden abgeleitet) in unterschiedlichen Perioden und vergleicht die Änderungen, um zu einer Aussage bezüglich des technologischen Fortschritts zu gelangen. Der Malmquist-Index vergleicht die erforderlichen Inputs aus Periode 1, um bei gegebener Technologie mindestens den Output aus Periode 0 produzieren zu können. Caves, Christensen & Diewert (1982) ermöglichen mit einer schlichten Erweiterung die Verwendung der Malmquist-Methode für Produktivitätsanalysen. Im ursprünglichen Ansatz von Malmquist bleibt unklar, ob Periode 0 oder 1 die Referenzperiode für die Technologie sein soll. Caves et al. definieren den Malmquist-Index als geometrisches Mittel der Perioden 0 und 1 und zeigen, dass dieser dem Törnquist-Index äquivalent ist. Sie schaffen damit die Basis für die Zerlegung des Malmquist-Index, die die Basis für dieses Gutachten darstellt. Wie in Kapitel 4 ausführlich gezeigt wird, kann der Malmquist-Index zerlegt werden in:

- einen Term der Aufholeffekte darstellt (*Catch-up-Faktor*) und
- einen Term der den *Frontier-Shift* darstellt.

Dieser Schritt geht vor allem auf Färe et al. (1989) zurück. Der Aufholeffekt (*Catch-up-Faktor*) zeigt, wie einzelne Akteure (Firmen oder Länder) sich relativ zur Produktivitätsgrenze (*Frontier*) entwickelt haben, und der *Frontier-Shift* zeigt die Änderung der Produktivitätsgrenze an sich. Der *Frontier-Shift* ist der Fokus des Gutachtens und bildet in einem Malmquist-Verfahren die Basis für die Berechnung des sektoralen Produktivitätsfortschritts im  $X_{GEN}$ .

### 3.2.3 Direkte Ermittlung mittels Regressionsansatz

Parametrische Methoden wie die SFA oder OLS erlauben eine direkte Abbildung von Produktions- bzw. Kostenfunktionen. Diese Tatsache erlaubt auch eine explizite Modellierung eines sektoralen Produktivitätsfortschritts ohne Umweg über den Malmquist-Index und die dafür notwendigen Einzeleffizienzwerte. Hierzu wird auf Basis eines Paneldatensatzes (Daten zu verschiedenen Unternehmen und unterschiedlichen Zeitpunkten) ein sogenannter „Zeit-Dummy“ in der Schätzung eingesetzt. Der für den Zeit-Dummy ermittelte Koeffizient entspricht direkt der Veränderung des sektoralen Produktivitätsfortschritts. Ein „Umweg“ über die Bestimmung individueller Effizienzwerte, wie bei der Malmquist-Methode, wäre somit nicht notwendig.

---

<sup>1</sup> Insbesondere die Wahl zwischen Bruttoproduktionswert, Nettoproduktionswert oder Bruttowertschöpfung als Output stellt sich als äußerst problematisch dar, da diese seit einiger Zeit deutlich auseinanderklaffen.

### 3.3 Konzepte zur Bestimmung des sektoralen Produktivitätsfortschritts mittels Malmquistindex

Wie oben erwähnt, konzentrieren sich die folgenden Analysen auf die Bestimmung der Terme  $\Delta TFP^{EN}$  und  $\Delta w^{EN}$ . Die Basis der theoretischen und quantitativen Überlegungen bilden dabei die folgenden grundsätzlichen Konzepte:

- **Produktionsbetrachtung:** Falls Daten zu Mengen (Output sowie Input) vorliegen, kann direkt eine Produktionsbetrachtung angewendet werden. Auf dieser Basis kann der reale sektorale technologische Fortschritt bestimmt werden. Im Rahmen der Analysen wird dieser mit dem in der Literatur verbreiteten Begriff des **technologischen Fortschritts (TC; *Technological Change*)** beschrieben.
- **Kostenbetrachtung:** Hier liegen Informationen zu den benötigten Inputmengen (Arbeit, Kapital) sowie den dazugehörigen Faktorpreisen (Löhne, Zinsen) vor. Im Rahmen der Analysen wird diese Größe die **effiziente Kostenverschiebung (ECC; *Efficient Cost Change*)**<sup>2</sup> genannt. Der ECC wiederum kann dabei in den realen technologischen Fortschritt (TC) und einen Preisänderungseffekt (Inputpreisindex PI) unterteilt werden. Damit lässt sich der ECC direkt als theoretisch korrekte Vorgabe für die Erlösänderung der Unternehmen auf Grund des X-Faktors umsetzen, die sowohl den technologischen Fortschritt als auch die Veränderung der Inputpreise enthält.
- **TOTEX-Betrachtung:** Hier liegen keine separaten Daten für Inputmengen (Arbeit, Kapital) sowie Inputpreise (Löhne, Zinsen) vor, sondern nur das Aggregat dieser beiden in Form von Gesamtkosten (TOTEX). Auf dieser Basis können zwei Konzepte definiert werden
  - **Nominale TOTEX-Verschiebung ( $TCC^{NOM}$ ; *Nominal Total Cost Change*):** Im Unterschied zum ECC kann dabei keine Trennung in einen realen sektoralen technologischen Fortschritt (TC) und einen Inputpreisindex (PI) vorgenommen werden, weil Daten zu den Inputpreisen und -mengen nicht vorliegen. Wie in Abschnitt 4.4 gezeigt wird, approximiert der  $TCC^{NOM}$  unter gewissen Annahmen zur Entwicklung der Inputpreise den ECC.
  - **Reale TOTEX-Verschiebung ( $TCC^{REAL}$ ; *Real Total Cost Change*):** Der  $TCC^{REAL}$  entspricht den Gesamtkosten (TOTEX) wie sie der Bundesnetzagentur für die Netzbetreiber vorliegen, wobei diese Gesamtkosten (TOTEX) jedoch vor der Bestimmung des Produktivitätsfortschritts mit einem Preisindex deflationiert werden. Auf dieser Basis kann eine Approximation des realen sektoralen Produktivitätsfortschritts bestimmt werden. Aufgrund der weiterhin fehlenden Daten zu den Faktormengen entspricht der  $TCC^{REAL}$  aber nicht dem TC, sondern ist lediglich eine Approximation. Bei diesem Konzept sind bei der Überführung der Ergebnisse in die Erlösbergrenze zudem spezifische Vorgaben hinsichtlich der Inputpreisentwicklung der Branche zu beachten. Wird der VPI zur Deflationierung der TOTEX und somit stellvertretend für die sektoralen Inputpreise verwendet, entspricht der  $TCC^{REAL}$  dem  $X_{GEN}$  aus der Formel (2) und somit dem  $X_{GEN}$  aus der ARegV.

Tabelle 3 fasst die Begriffe zusammen:

<sup>2</sup> Vgl. hierzu die formale Herleitung im Anhang, Abschnitt 8.3



**Tabelle 3 Zusammenfassung der Produktivitäts- und Kostenbegriffe**

Begriff	Abkürzung Malmquist- Terminologie	Entsprechung ARegV-Terminologie	Erläuterung	Inputdaten
Technologischer Fortschritt	TC	$\Delta TC = \Delta TFP^{EN}$	Reale sektorale Produktivitätsänderung der Energienetze	Daten zu Inputmengen
Effiziente Kostenverschiebung	ECC	$\Delta ECC = \Delta TFP^{EN} - \Delta w^{EN}$	Nominale effiziente Kosten der Energienetze	Daten zu Inputmengen und Inputpreisen
Reale TOTEX-Verschiebung	$TCC^{REAL}$	$\Delta TCC^{REAL} \approx \Delta TFP^{EN}$	Approximation von $\Delta TFP^{EN}$ auf Basis des TOTEX-Malmquist	Nur aggregierte TOTEX-Daten
Nominale TOTEX-Verschiebung	$TCC^{NOM}$	$\Delta TCC^{NOM} \approx \Delta TFP^{EN} - \Delta w^{EN}$	Approximation von $(\Delta TFP^{EN} - \Delta w^{EN})$ auf Basis des TOTEX-Malmquist	Nur aggregierte TOTEX-Daten

*In der Tabelle werden die in dieser Studie verwendeten Begriffe und Abkürzungen zu den Produktivitätsfortschritten und Kostenverschiebungen zusammengefasst und erläutert.*

Quelle: Polynomics / Jacobs University

### 3.4 Auswirkungen der einzelnen Konzepte in Bezug auf die Überführung in die Erlösobergrenze

Je nachdem, mit welchen der genannten Konzepte der sektorale Produktivitätsfortschritt bestimmt wird, hat dies Auswirkungen auf die Überführung der Ergebnisse in die Erlösobergrenze gemäß ARegV. Dabei gibt es zwei grundlegende Vorgehensweisen, abhängig davon, ob eine reale oder nominale Betrachtung erfolgt.

#### Überführung des technologischen Fortschritts

Eine Möglichkeit ist die Bestimmung des realen technologischen Fortschritts. Je nach Datenlage wird als Äquivalent zu  $\Delta TFP^{EN}$  entweder TC oder  $TCC^{REAL}$  in  $X_{GEN}$  eingesetzt. Die verbleibenden drei Komponenten der  $X_{GEN}$ -Formel (2) müssen dann anderweitig bestimmt werden. Für die Berechnung der Erlösobergrenze in Periode 1 gilt dann:

$$EOG_1 = C_0 \cdot \left( (VPI_t / VPI_0) - [(\Delta TCC^{REAL} - \Delta TFP^{GW}) + (\Delta w^{GW} - \Delta w^{EN})] \right). \quad (5)$$

Wird der VPI zur Deflationierung der TOTEX und somit stellvertretend für die sektoralen Inputpreise verwendet, entspricht der  $TCC^{REAL}$  dem  $X_{GEN}$  aus der Formel (2) und somit dem  $X_{GEN}$  aus der ARegV.

Ein analoges Vorgehen gilt für TC.

### Überführung der Kostenverschiebung

Zum anderen kann die Überführung auf der Berechnung der nominalen Kostenverschiebung beruhen, die neben  $\Delta TFP^{EN}$  auch die Inputpreisänderung  $\Delta w^{EN}$  in Form eines Inputpreisindex PI erfasst. Dabei verbleiben in Formel (2) noch die gesamtwirtschaftlichen Terme zwecks Umsetzung in  $X_{GEN}$ . Je nach Datenverfügbarkeit läuft diese Vorgehensweise auf eine Kostenbetrachtung (ECC) oder TOTEX-Betrachtung ( $TCC^{NOM}$ ) hinaus.

Die nominale effiziente Kostenverschiebung (ECC) und die nominale TOTEX-Verschiebung ( $TCC^{NOM}$ ) berücksichtigen bereits implizit eine Korrektur um die Inputpreisänderung  $\Delta w^{EN}$ . Folglich muss und darf der sektorale Preisindex in der Berechnung von  $X_{GEN}$  nicht nochmal berücksichtigt werden. Für die nominale Variante,  $TCC^{NOM}$ , wird  $X_{GEN}$  wie folgt berechnet:

$$EOG_1 = C_0 \cdot ((VPI_t/VPI_0) - [\Delta w^{GW} - \Delta TFP^{GW} + \Delta TCC^{NOM}]). \quad (6)$$

Ein analoges Vorgehen gilt für ECC.

Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass sich in der nominalen Variante mit ECC die zweifache Berücksichtigung der Inputpreisänderung herauskürzt. Folglich kann ECC direkt in die Berechnung von  $X_{GEN}$  umgesetzt werden, ohne dass hierfür ein separater Inputpreisindex benötigt wird. Liegen keine Faktorpreise vor und wird die Bestimmung auf den nominalen Gesamtkosten durchgeführt, resultiert als Ergebnis  $TCC^{NOM}$ .

### Zusammenhang zwischen realem sektoralem technologischen Fortschritt und nominaler effizienter Kostenverschiebung

Die nominale effiziente Kostenverschiebung (ECC) kann durch Deflationierung in den realen sektoralen technologischen Fortschritt (TC) überführt werden. Wie im Anhang, Abschnitt 8.3 gezeigt wird, gilt grundsätzlich der Zusammenhang

$$TC = ECC \cdot PI \quad (7)$$

bzw.

$$\Delta EEC = \Delta TC - \Delta PI.$$

Der durch Deflationierung der Kosten indirekt ermittelte Wert für TC entspricht dem korrekten TC aus der Produktionsbetrachtung, wenn als Deflator der korrekte, sektorale Input-Preisindex PI eingesetzt wird. Wird dagegen zur Deflationierung nicht PI eingesetzt, sondern beispielsweise der allgemeine Verbraucherpreisindex VPI, muss bei der Überführung der Ergebnisse in die Erlösbergrenze sichergestellt werden, dass derselbe Preisindex anschließend auch als Veränderung der sektoralen Inputpreise verwendet wird. Anders formuliert, der Deflationierungsfaktor muss dem Term für die Inputpreisentwicklung in der  $X_{GEN}$ -Formel entsprechen. Auf die Bedeutung der Faktorpreise wird im folgenden Abschnitt 4 noch näher eingegangen.

## 3.5 Fazit

Zur Bestimmung des sektoralen Produktivitätsfortschritts existieren verschiedene Methoden. Die Törnquist-Methode basiert auf Branchen-Zeitreihen. Die Aussagekraft hängt davon ab, inwiefern die Daten, insbesondere zur sektoralen Inputpreisentwicklung, für das notwendige Aggregationsniveau vorliegen. Die Malmquist-Methode basiert auf Unternehmensdaten und erfordert entsprechende Effizienzberechnungen, auf Basis derer man anschließend den sektoralen Produktivitätsfortschritt bestimmen kann. Die direkte Abbildung des sektoralen technologischen

Fortschritts mittels ökonomischer Methoden erfordert ebenfalls Unternehmensdaten, ist aber nicht auf vorab durchgeführte Effizienzvergleiche angewiesen.

Im Rahmen des Gutachtens erfolgt eine Fokussierung bei der Bestimmung des  $X_{\text{GEN}}$  auf die Berechnung des sektoralen Produktivitätsfortschritts. Je nach Datenlage wird für die Malmquist-Methode hierzu folgende Herangehensweisen unterschieden:

- **Produktionsbetrachtung:** Falls Daten zu Mengen (Output sowie Input) vorliegen, kann ein klassischer Produktions-Malmquist angewendet werden. Auf dieser Basis kann der reale sektorale Produktivitätsfortschritt ( $\Delta\text{TFP}^{\text{EN}}$ ) bestimmt werden. Im Rahmen der Analysen wird dieser mit dem in der Literatur verbreiteten Begriff des technologischen Fortschritts (TC) beschrieben.<sup>3</sup>
- **Kostenbetrachtung:** Hier liegen Informationen zu den benötigten Inputmengen (Arbeit, Kapital) sowie den dazugehörigen Faktorpreisen (Löhne, Zinsen) vor. Auf dieser Basis kann der nominale sektorale Produktivitätsfortschritt bestimmt werden. Im Rahmen der Analysen wird diese Größe als die effiziente Kostenverschiebung (ECC) bezeichnet.
- **TOTEX-Betrachtung:** Hier liegen keine separaten Daten für Inputmengen (Arbeit, Kapital) sowie Inputpreise (Löhne, Zinsen) vor, sondern nur das Aggregat dieser beiden in Form von Gesamtkosten (TOTEX). Hierbei wird folgende Unterscheidung vorgenommen:
  - **Nominale TOTEX-Verschiebung ( $\text{TCC}^{\text{NOM}}$ ):** Im Unterschied zum ECC kann dabei keine Trennung in einen realen sektoralen technologischen Fortschritt (TC) und einen Inputpreisindex (PI) vorgenommen werden, weil Daten zu den Inputpreisen und -mengen nicht vorliegen.
  - **Reale TOTEX-Verschiebung ( $\text{TCC}^{\text{REAL}}$ ):** Der  $\text{TCC}^{\text{REAL}}$  entspricht der Berechnung auf Basis der Gesamtkosten (TOTEX), wie sie der Bundesnetzagentur für die Netzbetreiber vorliegen, wobei diese Gesamtkosten jedoch vor der Bestimmung des Produktivitätsfortschritts mit einem Preisindex deflationiert werden.

In der deutschen Regulierungspraxis wird vor allem die dritte Methode der TOTEX-Betrachtung wichtig sein, weil die Inputdaten in aller Regel derzeit nicht vorliegen. Es ist wichtig zu betonen, dass die TOTEX-Methode mittels  $\text{TCC}^{\text{NOM}}$  und  $\text{TCC}^{\text{REAL}}$  lediglich eine Approximation der Werte für ECC bzw. TC darstellen. Die weitere Analyse fokussiert dementsprechend auf die Effektivität und Genauigkeit dieser Approximationen für den korrekten technischen Fortschritt bzw. die effiziente Kostenveränderung für den  $X_{\text{GEN}}$ .

Wichtig bei der Überführung im Rahmen der Erlösobergrenze ist dabei, dass bei Vorliegen eines realen technologischen Fortschritts (TC oder  $\text{TCC}^{\text{REAL}}$ ) die sektorale Inputpreisentwicklung ( $\Delta w^{\text{EN}}$ ) berücksichtigt werden muss. Dies kann entfallen, wenn direkt die (nominale) Kostenverschiebung (ECC oder  $\text{TCC}^{\text{NOM}}$ ) ermittelt wird. Konkret: Bei Verwendung des  $\text{TCC}^{\text{NOM}}$  ist die Bestimmung des  $\Delta w^{\text{EN}}$  gänzlich überflüssig.

Wird der VPI zur Deflationierung der TOTEX und somit stellvertretend für die sektoralen Inputpreise verwendet, entspricht der  $\text{TCC}^{\text{REAL}}$  dem  $X_{\text{GEN}}$  aus der Formel (2) und somit dem  $X_{\text{GEN}}$  aus der ARegV.

<sup>3</sup> Im Anhang, Abschnitt 8.2 wird formal die Äquivalenz der Berechnung von TC auf Basis der Malmquist-Methode und der Berechnung von  $\Delta\text{TFP}^{\text{EN}}$  nach Bernstein & Sappington (1999) dargestellt.

## 4 Bedeutung der Faktorpreise für die Malmquist-Methode zur Umsetzung von $X_{GEN}$

### 4.1 Einleitung

Wie in Abschnitt 3 diskutiert, kann die Bestimmung des sektoralen Produktivitätsfortschritts im Sinne des  $X_{GEN}$  entweder auf realer oder nominaler Basis erfolgen. Wie in Abschnitt 4.2 gezeigt wird, liegen den beiden Effekten unterschiedliche Konzepte zu Grunde. Benötigt man für den realen sektoralen Produktivitätsfortschritt eine entsprechende Produktionsfunktion, basiert der nominale sektoraler Produktivitätsfortschritt auf einer Kostenfunktion. Der Unterschied liegt dabei nicht zuletzt in der zur Verfügung stehenden Datenbasis. Insbesondere sind für die Kostenfunktion Faktorpreise und Inputmengen notwendig.

Im Abschnitt 4.3 wird die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Bestimmung des sektoralen Produktivitätsfortschritts auf Basis der Malmquist-Methode gezeigt, bevor auf die entsprechenden Zerlegungen des Produktions-, Kosten- und TOTEX-Malmquist eingegangen wird.

### 4.2 Unterschied zwischen Produktions- und Kostenfunktion

Wie in Abschnitt 3.3 dargestellt wurde, kann die Ermittlung von  $X_{GEN}$  auf Basis eines realen oder eines nominalen Frontier-Shifts erfolgen, also auf einer Verschiebung der Produktions- oder einer Verschiebung der Kosteneffizienzgrenze. Entsprechend ist auch die Unterscheidung zwischen der Betrachtung einer Produktionsfunktion und einer Kostenfunktion zu treffen, um die Ergebnisse konsistent in die Formel der Erlösobergrenze umzusetzen. Um dies zu illustrieren, wird im Folgenden von einer Cobb-Douglas-Produktionsfunktion ausgegangen, wie sie auch den Simulationen in den Abschnitten 5 und 6 zu Grunde liegt.<sup>4</sup> Diese Produktionsfunktion hat die Form

$$\bar{y} = A_t L_t^\alpha K_t^\beta. \quad (8)$$

Dabei sind  $L_t$  und  $K_t$  die Inputfaktoren Arbeit und Kapital (in einer Periode  $t$ ), mit denen ein gegebener Output  $\bar{y}$  produziert wird. Die Veränderung des Parameter  $A_t$  misst den technologischen Fortschritt. Die Produktionsfunktion stellt nur die technischen Produktionsbedingungen dar, während Inputpreise nicht betrachtet werden. Im Falle einer realen Betrachtung lässt sich der technologische Fortschritt dabei direkt als relative Veränderung der Produktivitätsparameter  $A$  in den beiden Perioden darstellen (vgl. Anhang, Abschnitt 8.4.2):

$$TC = \frac{A_1}{A_0}. \quad (9)$$

Im Fall  $A_1 > A_0$  liegt folglich ein Produktivitätsfortschritt vor. Während die Produktionsfunktion selbst nicht bekannt ist, kommen zur empirischen Ermittlung von  $TC$  die drei in Abschnitt 3.3 genannten Methoden in Frage. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Inputmengen bekannt sind.

<sup>4</sup> Die formale Darstellung der Cobb-Douglas-Funktionen findet sich im Anhang, Abschnitt 8.4.1.

Im Fall einer Bestimmung der (nominalen) Kostenbetrachtung müssen die Inputpreise einbezogen werden. Die Kostenminimierung bei normierter Outputmenge  $\bar{y}$  und Inputpreisen ergibt folgende Kostenfunktion<sup>5</sup>:

$$C_t(w_t, A_t, \bar{y}) = \delta \cdot w_{L,t}^{\frac{\alpha}{\alpha+\beta}} w_{K,t}^{\frac{\beta}{\alpha+\beta}} \cdot \left(\frac{\bar{y}}{A_t}\right)^{\frac{1}{\alpha+\beta}} \quad (10)$$

Die im Abschnitt 3.4 dargestellte nominale effiziente Kostenverschiebung ECC ergibt im Cobb-Douglas-Fall (vgl. Anhang, Abschnitt 8.4.3):<sup>6</sup>

$$CC = \frac{C(w_0, A_0, \bar{y})}{C(w_1, A_1, \bar{y})} = \frac{A_t}{\underbrace{A_0}_{TC}} \bigg/ \frac{w_{L,1}^{\alpha} w_{K,1}^{\beta}}{\underbrace{w_{L,0}^{\alpha} w_{K,0}^{\beta}}_{PI}} \quad (11)$$

bzw.

$$ECC = TC/PI. \quad (12)$$

Im Unterschied zur Produktionsbetrachtung wird bei der Kostenbetrachtung das reziproke Kostenverhältnis  $t_0$  und  $t_1$  betrachtet, so dass in Analogie zum technologischen Fortschritt eine Kostensenkung mit  $ECC > 1$  einhergeht. Die effizienten Kosten sinken, wenn das Wachstum des technologischen Fortschritts größer ist als die Veränderungsrate der Inputpreise.

Folglich lässt sich aus der Kostenbetrachtung sowohl die effiziente Kostenverschiebung ECC als auch der, aus der Produktionsbetrachtung resultierende, reale technologische Fortschritt TC ableiten. Voraussetzung ist allerdings, dass die Informationen zu den Inputpreisen vorliegen.

Zur empirischen Bestimmung von ECC und TC ergeben sich je nach Datenverfügbarkeit die zuvor dargestellten Vorgehensweisen. Im folgenden Abschnitt wird der Malmquist-Index als eine Methode zur Berechnung der Kostenverschiebung dargestellt.

### 4.3 Möglichkeiten der Malmquist-Methode

Für die Ermittlung des sektoralen technologischen Fortschritts ist der sogenannte Frontier-Shift und der individuelle Aufholeffekt der Unternehmen (Catch-up) relevant. Die unterschiedlichen Effekte lassen sich durch eine Zerlegung des Malmquist-Index isolieren. Nach der Darstellung der grundsätzlichen Vorgehensweise bei der Zerlegung der Malmquist-Methode (Abschnitt 4.3.1) wird der klassische Produktions-Malmquistindex (PMI) (Abschnitt 4.3.2) betrachtet, aus dessen Zerlegung nach Färe et al. (1989) der reale sektorale technologische Fortschritt ermittelt werden kann. Sind neben den Inputmengen auch die Inputpreise bekannt, kann ein Kosten-Malmquistindex (KMI) berechnet werden (Abschnitt 4.3.3). Maniadakis & Thanassoulis (2004) entwickeln für den Kosten-Malmquist eine Zerlegung, die auch die allokativen Effekte auf Grund von Inputpreisänderungen beinhaltet. In diesem Fall lässt sich sowohl der reale technologische Fortschritt (wie beim Produktions-Malmquist) ermitteln, als auch die nominale Kostenverschiebung, die den Inputpreiseffekt erfasst. Anschließend wird auf den Fall des TOTEX-Malmquist eingegangen (Abschnitt 4.3.4).

<sup>5</sup> Die Herleitung der Kostenfunktion findet sich im Anhang, Abschnitt 8.4.1.

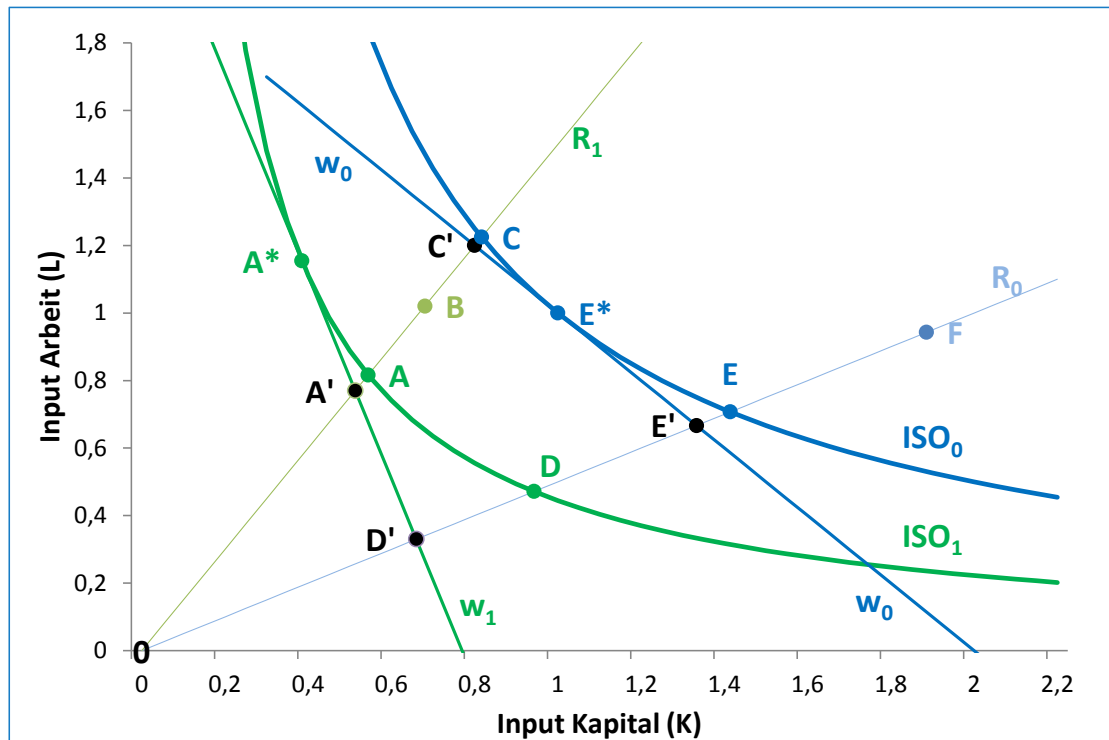
<sup>6</sup> Dabei wird wie im Folgenden auch von konstanten Skalenerträgen ausgegangen ( $\alpha+\beta=1$ ). Der TC aus dem Kosten-Malmquist entspricht damit auch dem TC aus dem Produktions-Malmquist.

Alle drei Malmquist-Varianten (Produktions-, Kosten- und TOTEX-Betrachtung) werden in dieser Studie angewendet und diskutiert. Aus Sicht der (deutschen) Regulierungspraxis ist jedoch insbesondere der TOTEX-Malmquist relevant. Wie bereits zuvor erläutert wurde, ist die Bestimmung der Inputpreise für Energienetze eine große Herausforderung. Die Effizienzwerte, die auf Grund der ARegV bereits zur Bestimmung der individuellen X-Faktoren ( $X_i$ ) ermittelt werden, basieren auf einem TOTEX-Benchmarking, bei dem keine Unterteilung der Kosten in Mengen und Preise erfolgt. Da die anstehende ARegV-Novelle aller Voraussicht nach weiterhin der Methode des TOTEX-Benchmarkings folgt, ist es naheliegend, dass auch eine Malmquist-Berechnung zur Bestimmung des sektoralen Produktivitätsfortschritts sich lediglich auf Gesamtkosten stützen wird bzw. stützen kann.

#### 4.3.1 Grundsätzliche Funktionsweise

Die folgende Abbildung 3 illustriert die Berechnung des Malmquist-Index anhand der Effizienzgrenzen in den betrachteten Perioden 0 und 1. Bei dieser Darstellung wird ein auf eins normierter Output  $Y$  angenommen, der mit unterschiedlichen Kombinationen von zwei Inputs, Arbeit ( $L$ ) und Kapital ( $K$ ), produziert werden kann. Anhand von Abbildung 3 kann sowohl der Produktions-Malmquist als auch den Kosten- und TOTEX-Malmquist illustriert werden.

Abbildung 3 Darstellung des Malmquist-Index für normierten Output



Die Abbildung illustriert die Ermittlung des Frontier-Shifts und des Catch-up-Effekts zwischen zwei Zeitpunkten  $t_0$  und  $t_1$  mittels Malmquist-Index. Im Falle eines „Produktions-Malmquist“ werden nur die technologischen Effizienzgrenzen (Isoquanten, ISO) bezüglich der Inputfaktoren Arbeit (L) und Kapital (K) betrachtet. Bei einem „Kosten-Malmquist“ werden dagegen die Kosten herangezogen, die sich aus Multiplikation der Faktormengen mit den Faktorpreisen ergeben. Die Referenz für den Produktivitätsvergleich bilden damit die Isokostenlinien ( $w$ ), die die jeweils gleichen Kosten bei einem gegebenen Verhältnis der Inputpreise darstellen.

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

In der Basisperiode  $t_0$  werden die möglichen Faktorkombinationen anhand der Isoquante  $ISO_0$  (blau) dargestellt. In der Vergleichsperiode  $t_1$  kann der Output im Fall eines technologischen Fortschritts mit geringerem Faktoreinsatz hergestellt werden, so dass die Isoquante  $ISO_1$  (grün) gegenüber  $ISO_0$  nach links unten verschoben ist. Alle Unternehmen, die technisch effizient sind, liegen mit ihrem Faktoreinsatz auf der jeweiligen Isoquante; z. B. Punkt „E“ in  $t_0$  und „D“ in  $t_1$ . Für den Produktions-Malmquist werden ausschließlich diese Mengenwerte herangezogen.

Soll zusätzlich zu der technischen Effizienz auch die allokativen Effizienz beurteilt werden, spricht man von Kosteneffizienz. Diese kann auf Basis eines Kosten-Malmquist ermittelt werden, wenn neben den Inputmengen auch die Inputpreise für Kapital ( $w_K$ ) und Arbeit ( $w_L$ ) einbezogen werden. Kosteneffizienz ist bei kostenminimaler Faktorkombination gegeben, die vom Verhältnis der Inputpreise  $w_0$  und  $w_1$  abhängt. Alle Faktorkombinationen, die zu dem gleichen Kostenniveau führen, werden durch die Isokostenlinien dargestellt. Die ökonomisch effiziente Produktion liegt auf der niedrigsten Isokostenlinie an dem Punkt, der gerade noch auf der Isoquante liegt. In Abbildung 3 sind dies die Punkte  $E^*$  in  $t_0$  und  $A^*$  in  $t_1$ .

Der klassische Produktions-Malmquist-Index (PMI) ist mengenbasiert und beurteilt nur die Veränderung der technischen Effizienz. Betrachtet wird ein Unternehmen mit den Faktoreinsät-

zen F (in  $t_0$ ) und B (in  $t_1$ ). Das Unternehmen ist folglich in beiden Perioden technisch ineffizient, da es seinen Faktoreinsatz bei gleichem Output auf E bzw. A reduzieren könnte. Der PMI berechnet die technische Effizienz des Unternehmens durch einen relativen Vergleich der „Distanzen“ zwischen dem tatsächlichen und dem effizienten Faktoreinsatz, z. B. dem Verhältnis der Strecken  $OB/OA$  in  $t_1$ . Der Malmquist-Index mit Referenz Periode  $t_0$  ( $PMI_0$ ) wäre:

$$PMI_0 = \frac{OB/OC}{OF/OE}. \quad (13)$$

In Worten ausgedrückt heißt dies, dass  $PMI_0$  die Position B in Periode 1 und Position F in Periode 0 jeweils anhand der Referenztechnologie für Periode 0 vergleicht. Umgekehrt vergleicht der Malmquist-Index mit Referenz Periode 1 ( $PMI_1$ ) die Inputmengen B und F aus den beiden Perioden mit der Technologiegrenze in Periode 1:

$$PMI_1 = \frac{OB/OA}{OF/OD}. \quad (14)$$

Da die Wahl für Periode 0 oder 1 willkürlich ist, wird der PMI in aller Regel als das geometrische Mittel im Verhältnis zu beiden Perioden dargestellt (Caves et al., 1982 und Färe et al., 1989). Als Berechnung ergibt sich (vgl. Coelli et al., 2005):

$$PMI = \left[ \left( \frac{OB/OC}{OF/OE} \right) \cdot \left( \frac{OB/OA}{OF/OD} \right) \right]^{1/2}. \quad (15)$$

Der tatsächliche Faktoreinsatz B in  $t_1$  wird also zu den effizienten Faktoreinsätzen C (in  $t_0$ ) und A (in  $t_1$ ) in Bezug gesetzt, umgekehrt der Faktoreinsatz F (in  $t_0$ ) zu E (in  $t_0$ ) und D (in  $t_1$ ). Da allokativer Effizienz nicht betrachtet wird, berechnet sich die Strecke entlang der tatsächlichen Faktorverhältnisse, die durch die Ursprungsgeraden  $R_0$  und  $R_1$  bestimmt sind.

Im Unterschied zum Produktions-Malmquist-Index (PMI) benötigt der Kosten-Malmquist-Index (KMI) Mengen- und Preisdaten. Daher erfolgt der Vergleich nicht zur Produktionsgrenze, sondern zu den effizienten Kosten. In Abbildung 3 wird z. B. der Faktoreinsatz B nicht mit dem technisch effizienten Punkt A sondern dem kosteneffizienten Punkt A' verglichen. Die ökonomische Ineffizienz  $OB/OA'$  ist größer als die technische  $OB/OA$ , da das Unternehmen im Punkt B auch allokativ ineffizient ist. Der gesamten KMI berechnet sich demnach wie folgt:

$$KMI = \left[ \left( \frac{OB/OC'}{OF/OE'} \right) \cdot \left( \frac{OB/OA'}{OF/OD'} \right) \right]^{1/2}. \quad (16)$$

Der KMI zeigt die Entwicklung der Kosteneffizienz zwischen den beiden Perioden. Diese ist auf verschiedene Ursachen zurückzuführen, die sich in drei Gruppen unterteilen lassen:<sup>7</sup>

1. Veränderung der technischen Effizienz des betrachteten Unternehmens im Vergleich zur Effizienzgrenze (Aufholeffekt).
2. Veränderung der allokativen Effizienz des betrachteten Unternehmens im Vergleich zur Effizienzgrenze (Aufholeffekt).
3. Die Verschiebung der Effizienzgrenze auf Grund des technologischen Fortschritts und der Faktorpreise.

<sup>7</sup> Die einzelnen Komponenten der Effizienzentwicklung und deren Bezug zur Abbildung der Distanzfunktionen (Abbildung 3) sind aus der Zerlegung des KMI in Anhang 8.5, Gleichung (63) ersichtlich.



Wie zuvor ausgeführt wurde, setzt der Kosten-Malmquist voraus, dass Inputmengen und Inputpreise bekannt sind. Ist dies nicht der Fall, kann nur ein TOTEX-Malmquist angewendet werden (vgl. nachfolgenden Abschnitt 4.3.3).

#### Vorteile der Malmquist-Methode

- Die Ableitung des Malmquist-Index ist auf Basis von Effizienzwerten relativ einfach durchzuführen.
- Bei adäquater Datenlage ist die Methode theoretisch stabil. Bei mangelnder Datenlage allerdings kann die Malmquist-Methode nur eine Approximation der korrekten Werte liefern.
- Die Malmquist-Methode basiert auf Unternehmensdaten in der Netzwirtschaft. Die bei der Törnquist-Methode auf Basis aggregierter Daten des statistischen Bundesamtes vorliegenden Abgrenzungsprobleme fallen hier nicht an.
- Die Überführung des sektoralen Produktivitätsfortschritts in den  $X_{GEN}$  und dementsprechend in die Erlösobergrenze ist einfach und erlaubt darüber hinaus im Prinzip eine weitere Vereinfachung der VPI-X-Formel.

#### Nachteile der Malmquist-Methode

- Beide X-Faktoren ( $X_i$  und  $X_{GEN}$ ) basieren vollständig auf dem gleichen Effizienzvergleich. Zwar steigert das die innere Konsistenz, aber es birgt gleichzeitig auch die Gefahr, dass Ungenauigkeiten und Sensitivitäten in der Effizienzmessungsmethode oder in den Daten sich auch bei der Bestimmung des  $X_{GEN}$  widerspiegeln.
- Wie bei den Törnquist-Berechnungen wird die Zukunft auf Basis vergangener Trends prognostiziert. Während für die Törnquist-Berechnungen lange Zeitreihen zur Verfügung stehen und somit temporäre Sondereffekte geglättet werden können, stehen zur Berechnung des Malmquist-Index Daten aus lediglich zwei oder höchstens drei Perioden zur Verfügung.
- Die Methode ist in der Regulierungspraxis nicht erprobt. Es fehlen dementsprechend praktische Erfahrungen.

### 4.3.2 Zerlegung des Produktions-Malmquist-Index (PMI)

#### Ergebnis der Zerlegung

Der traditionelle Malmquist-Index ist auf Basis von Produktionswerten definiert. Folglich fließen die Outputs und Inputs jeweils als Mengen und nicht als monetäre Werte in die Produktivitätsberechnungen ein (vgl. Färe et al., 1989).

Die Produktivitätsberechnung nach dem Produktions-Malmquist basiert auf dem relativen Vergleich der verwendeten Inputmengen für einen gegebenen Output (wie in Abbildung 3 dargestellt). Wie Färe et al. (1989) zeigen, lässt sich der Index in den realen technologischen Fortschritt (TC) und die Veränderung der technischen Effizienz (TEC) respektive den Aufholeffekt zerlegen (vgl. Abschnitt 8.5.1):

$$PMI = TC \times TEC \quad (17)$$

mit

TC:	Technologischer Fortschritt (Frontier-Shift)
TEC:	Veränderung der technischen Effizienz (Catch-up-Faktor).

Für  $X_{\text{GEN}}$  ist davon lediglich der technologische Fortschritt TC relevant, der den realen Frontier-Shift darstellt.

### **Benötigte Daten und Überführung in die Erlösobergrenze**

Der ermittelte TC lässt sich direkt als Änderung des sektoralen technologischen Fortschritts ( $\Delta\text{TFP}_{\text{EN}}$ ) gemäß Gleichung (2) in die  $X_{\text{GEN}}$ -Formel einsetzen. Zur Berechnung von TC durch den Malmquist-Index ist jedoch die Kenntnis der Inputmengen notwendig. Bei der Überführung in die Erlösobergrenze, die analog gemäß Gleichung (5) erfolgt, müssen neben TC zusätzlich die Veränderung der Inputpreise  $\Delta w^{\text{EN}}$  sowie die gesamtwirtschaftlichen Produktivitäts- und Inputpreisänderung berücksichtigt werden.

### **4.3.3 Zerlegung des Kosten-Malmquist**

#### **Ergebnis der Zerlegung**

Im Unterschied zum Produktions-Malmquist (PMI) werden beim Kosten-Malmquist-Index (KMI) monetäre Werte in Form von Kosten- und Preisdaten in den Berechnungen verwendet. Maniadakis, & Thanassoulis (2004) zeigen, wie sich die Zerlegung des Malmquist-Index nach Färe et al. (1989) auf einen solchen Kosten-Malmquist übertragen lässt, so dass auch der Effekt der Inputpreisänderungen für  $X_{\text{GEN}}$  ermittelt werden kann. In der folgenden Tabelle 4 werden zunächst die im Folgenden verwendeten Begriffe zu den Preisindizes und Preiseffekten zusammengefasst.

**Tabelle 4 Zusammenfassung der Begriffe zu Preisindizes und Preiseffekten**

Begriff	Abkürzung	Entsprechung ARegV-Terminologie	Erläuterung
Allgemeiner Verbraucherpreisindex	VPI	VPI	Outputpreisindex der Gesamtwirtschaft
Faktorpreisindex	PI	$\Delta w^{EN} = \Delta PI = PI - 1$	Sektoraler Faktorpreisindex der Energienetze (Faktorpreise gewichtet mit effizienten Faktoreinsatzmengen)
„Schattenpreis“-Index	$\tilde{PI}$		Sektoraler „Schatten“-Faktorpreisindex der Energienetze (Faktorpreise gewichtet mit den tatsächlichen Faktoreinsatzmengen)
Preiseffekt	$PE = \frac{\tilde{PI}}{PI}$		Allokative Verzerrung aus abweichenden Mengengewichtungen des Schattenpreisindex im Vergleich zum sektoralen Faktorpreisindex

*In der Tabelle werden die in dieser Studie verwendeten Begriffe und Abkürzungen zu den verschiedenen Preisindizes und Preiseffekten zusammengefasst und erläutert.*

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

Maniadakis, & Thanassoulis (2004) zeigen, dass sich der Kosten-Malmquist-Index grundsätzlich in folgende Terme zerlegen lässt (detaillierte Herleitung in Abschnitt 8.5.2):

$$KMI = \underbrace{\frac{TEC \times AEC}{OEC}} \times \underbrace{\frac{1}{CTC}} \times PE. \quad (18)$$

Dabei stellt OEC (Overall Efficiency Change) den Aufholeffekt dar, der für die Bestimmung von  $X_{GEN}$  nicht relevant ist. Dieser Catch-up-Faktor setzt sich beim Kosten-Malmquist im Gegensatz zum Produktions-Malmquist jedoch sowohl aus der Veränderung der technischen Effizienz (TEC) als auch aus Veränderung der allokativen Effizienz (AEC) zusammen. Der Term CTC, der sich aus der Verschiebung der technologischen Effizienzgrenze (TC) und einem allokativen Effekt (PE) zusammensetzt, wird als „Cost Technical Change (CTC)“ bezeichnet.

Um jedoch den CTC in weitere Bestandteile zu zerlegen, muss zusätzlich zum Kosten-Malmquist auch der Produktions-Malmquist bestimmt werden. Aus dem Produktions-Malmquist kann dann die Verschiebung der technologischen Effizienzgrenze (TC) berechnet werden. Die verbleibende Restgröße ist der Preiseffekt (PE).

Zudem sollte beachtet werden, dass der CTC nur unter restriktiven Annahmen zur Inputpreisentwicklung dem gesuchten technologischen Fortschritt TC entspricht. Will man die gesamte Entwicklung der effizienten Kosten abbilden, also die Verschiebung der Kosten von  $E^*$  zu  $A^*$  in Abbildung 2, ist der CTC ungeeignet. Dieser bildet nämlich lediglich die Veränderung der Kos-

tengerade (also der grünen und blauen Gerade in Abbildung 3) basierend auf dem tatsächlich gewählten Faktoreinsatz (dargestellt durch die Punkte F und B in Abbildung 2) ab.<sup>8</sup> Aus Abbildung 2 wird daher deutlich, dass der CTC den technologischen Fortschritt TC nur dann abbilden kann, wenn davon ausgegangen wird, dass sich die Inputpreise der verschiedenen Produktionsfaktoren gleich entwickeln.

Wie im Anhang dargestellt wird, lässt sich der CTC alternativ in folgende Komponenten zerlegen:

$$CTC = \frac{1}{ECC} \frac{1}{\overline{PI}} \quad (19)$$

Das heißt, aus dem CTC lässt sich ebenfalls der eigentlich gesuchte, nominale ECC bestimmen, wobei dieser um einen „Schattenpreis“-Index korrigiert wird. Dieser Preisindex ist der Fisher-Index, also das geometrische Mittel zwischen einem Paasche- und Laspeyres-Index und korrigiert dafür, dass der CTC zu einem nicht optimalen Faktoreinsatz führt.

Erweitert man die obige Zerlegung, lässt sich aus dem nominalen Frontier-Shift ebenfalls der reale technologische Frontier-Shift TC und der für die Berechnung des  $X_{GEN}$  notwendige Inputpreisindex (PI), ermitteln<sup>9</sup>:

$$ECC = \frac{TC}{PI} \quad (20)$$

ECC stellt somit das Verhältnis der nominalen effizienten Kosten der beiden Perioden dar. Mit anderen Worten: die Kostenänderung, die ein effizient produzierendes Unternehmen auf Grund des sektoralen technologischen Fortschritts (TC) und der Inputpreisänderungen (PI) erfährt. Damit wäre ECC die theoretisch korrekte Vorgabe für die Erlösänderung der Unternehmen auf Grund des nominalen sektoralen technologischen Fortschritts, der sowohl den Produktivitätsfortschritt als auch den Inflationseffekt enthält.

### Benötigte Daten und Überführung in die Erlösobergrenze

Der ECC-Term kann im Rahmen eines Kosten-Benchmarkings ermittelt werden und lässt sich gemäß Gleichung (6) direkt in den  $X_{GEN}$  überführen. Damit ersetzt der ECC die Terme  $\Delta TFP^{EN}$  und  $\Delta w^{EN}$  in der Erlösobergrenze-Formel (2), so dass zusätzlich nur die gesamtwirtschaftlichen Komponenten berücksichtigt werden müssen.

Jedoch verbleibt die Schwierigkeit, dass der ECC in der Regel nur im Rahmen eines Kosten-Malmquist (also bei bekannten Preisen und Mengen) korrekt ermittelt werden kann. Da die effizienten Kosten beider Perioden nicht bekannt sind, können diese nur „indirekt“ mittels Kosten-Benchmarking berechnet werden:

$$ECC = \left[ \frac{EW_0(\bar{y}, w_1, x_1)}{EW_1(\bar{y}, w_1, x_1)} \times \frac{EW_0(\bar{y}, w_0, x_0)}{EW_1(\bar{y}, w_0, x_0)} \right]^{1/2} \quad (21)$$

mit

<sup>8</sup> CTC ist das geometrische Mittel der Distanz zwischen den Punkten D' und E' sowie A' und C' in Abbildung 3.

<sup>9</sup> Die formale Herleitung dieser Zerlegung findet sich im Anhang, Abschnitt 8.5.2.

$EW_t(\bar{y}, w_s, x_s)$ :	Effizienzwert des Unternehmens mit Daten aus Periode $s$ aus Kosten-Benchmarking gegen alle anderen Unternehmen mit Daten aus Periode $t$ . Der Effizienzwert wird beispielsweise mit Hilfe einer Kosten-DEA ermittelt (vgl. Ausführungen zum Optimierungsprozess im Anhang, Abschnitt 8.6),
$\bar{y}$	(Normierte) Produktionsmenge des Unternehmens,
$w_s$	Inputpreis des Unternehmens in Periode $s$ ,
$x_s$	Inputmenge des Unternehmens in Periode $s$ .

Das Problem besteht darin, dass die Faktorpreisentwicklung für die im Benchmarking betrachteten Unternehmen unterschiedlich sein kann, und damit auch die effizienten Kosten  $C_1(y, w_1)$  und  $C_0(y, w_0)$  unterschiedlich sind. Daher setzt eine korrekte Berechnung von ECC voraus, dass die Inputpreise explizit im Benchmarking berücksichtigt werden. Im Folgenden wird der Fall betrachtet, dass eine Effizienzbestimmung nur auf Basis der Gesamtkosten, also in Form eines TOTEX-Malmquist möglich ist.

#### 4.3.4 Zerlegung des TOTEX-Malmquist

Als TOTEX-Malmquist wird eine Variante des Malmquist bezeichnet, bei der lediglich Informationen zu den Gesamtkosten der Unternehmen (TOTEX) vorliegen, während die Preise und Mengen, aus denen sich die Kosten zusammensetzen, nicht einzeln bekannt sind. Dabei wird zwischen einer nominalen Betrachtung (auf Basis der nominalen TOTEX) und einer realen Betrachtung (auf Basis deflationierter TOTEX) unterschieden.

##### 1) Nominaler TOTEX-Malmquist

##### Benötigte Daten und Überführung in die Erlösobergrenze

Wie im Anhang 8.5.4 gezeigt wird, lässt sich der TOTEX-Malmquist (TOTEX-MI) analog zum Kosten-Malmquist in den Aufholeffekt OEC und den Frontier-Shift  $TCC^{NOM}$  zerlegen:

$$TOTEX - MI = OEC \times TCC^{NOM} \quad (22)$$

An Stelle des ECC kann bei dieser Vorgehensweise jedoch nur die nominale TOTEX-Verschiebung ( $TCC^{NOM}$ ) ermittelt werden (vgl. Ausführungen zum Optimierungsprozess im Anhang, Abschnitt 8.6):

$$TCC^{NOM} = \left[ \frac{EW_0(TOTEX_1, \bar{y})}{EW_1(TOTEX_1, \bar{y})} \times \frac{EW_0(TOTEX_0, \bar{y})}{EW_1(TOTEX_0, \bar{y})} \right]^{1/2} \quad (23)$$

$TCC^{NOM}$  ist der im TOTEX-Benchmarking ermittelte nominale Frontier-Shift. Im Unterschied zum ECC wird dabei keine Trennung der in den Gesamtkosten enthaltenen Komponenten von Inputpreisen ( $w$ ) und Inputmengen ( $x$ ) vorgenommen. Ein TOTEX-Malmquist entspricht somit im Grunde einem Produktions-Malmquist, bei dem die Gesamtkosten als einziger Input in die Berechnungen fließen. Im den meisten Fällen entspricht der  $TCC^{NOM}$  dabei dem ECC aus dem Kosten-Malmquist (vgl. Abschnitt 5). Auch die Überführung in  $X_{GEN}$  erfolgt analog zum ECC gemäß Gleichung (6) (vgl. hierzu auch Anhang 8.5.4).

## 2) Realer TOTEX-Malmquist

### Benötigte Daten und Überführung in die Erlöobergrenze

Analog zur nominalen Betrachtung lässt sich auch ein realer TOTEX-Malmquist ( $TOTEX^{REAL} - MI$ ) berechnen, indem die TOTEX zuvor mit einem geeigneten Preisindex deflationiert werden. Wie im Anhang 8.5.4 gezeigt wird, lässt sich dieser in folgende Komponenten zerlegen:

$$TOTEX^{REAL} - MI = OEC^{REAL} \times TCC^{REAL} \quad (24)$$

Der Term  $TCC^{REAL}$  approximiert dabei den technologischen Fortschritt TC, so dass  $TCC^{REAL}$  im Grunde gemäß Gleichung (5) in die EOG überführt werden kann. Dabei ist jedoch der zur Deflationierung verwendete Preisindex von großer Bedeutung: Der in der EOG-Formel (5) verwendete sektorale Inputpreisindex  $\Delta w^{EN}$  muss mit dem Preisindex übereinstimmen, mit dem auch die TOTEX deflationiert werden. Umgekehrt heißt das, dass bei Deflationierung mit dem gesamtwirtschaftlichen Preisindex VPI genau dieser auch als Substitut für  $\Delta w^{EN}$  verwendet werden muss (vgl. hierzu auch Anhang 8.5.4). Wird der VPI zur Deflationierung der TOTEX und somit stellvertretend für die sektoralen Inputpreise verwendet, entspricht der  $TCC^{REAL}$  dem  $X_{GEN}$  aus der Formel (2) und somit dem  $X_{GEN}$  aus der ARegV.

## 4.4 Fazit

Der Malmquist-Index kann sowohl zur Bestimmung der zeitlichen Veränderung der effizienten Produktion (Produktions-Malmquist) als auch der effizienten Kosten (Kosten-Malmquist) verwendet werden. Bei Nichtvorliegen genauer Daten zu Inputpreisen und –mengen kann ein TOTEX-Malmquist angewendet werden. Der Malmquist-Index lässt sich in einen Catch-up-Effekt und einen Frontier-Shift zerlegen. Der Catch-up-Effekt ist die Veränderung der Effizienz der betrachteten Unternehmen im Vergleich zur Effizienzgrenze, und der Frontier-Shift ist die Verschiebung der Effizienzgrenze. Die Ermittlung dieses sektoralen Produktivitätsfortschritts ist das Hauptziel dieses Gutachtens.

Ein Malmquist-Index lässt sich – je nach Datenverfügbarkeit – in verschiedene Elemente zerlegen.

- Im Fall eines Produktions-Malmquist kann bei Vorliegen der Inputdaten der reale sektorale technologische Fortschritt bestimmt werden.
- Sind darüber hinaus Inputpreisdaten verfügbar, kann zusätzlich ein nominaler sektoraler technologischer Fortschritt ermittelt werden, der sowohl die reine technologische Produktivitätsveränderung als auch die Inputpreisänderung abbildet. Dieser nominale Frontier-Shift wird im Gutachten als effiziente Kostenverschiebung (ECC) bezeichnet.
- Sind lediglich die Gesamtkosten (TOTEX) bekannt, so kann eine Variante des ECC im Rahmen eines TOTEX-Benchmarking bestimmt werden: die TOTEX-Verschiebung (TCC). Hierbei gibt es zwei Varianten: der nominale Wert  $TCC^{NOM}$ , der eine Approximation für ECC darstellt, und der reale Wert  $TCC^{REAL}$ , der eine Approximation für TC darstellt. Beide TCC-Werte sind „lediglich“ Approximation für ECC bzw. TC.

Die verschiedenen Möglichkeiten der Berechnung des Frontier-Shifts mittels der Malmquist-Index-Zerlegung werden unterschiedlich in die Erlöobergrenze übertragen. Entscheidend ist der Unterschied zwischen dem nominalen und realen Frontier Shift. Der nominale sektorale Frontier Shift stellt den reinen Produktivitätsfortschritt korrigiert um die Inputpreisänderungen dar. Dieser Effekt wird im Gutachten als „ECC“ bzw. als Variante „ $TCC^{NOM}$ “ bezeichnet und

kann direkt in die Erlösobergrenze überführt werden; damit entfällt die zusätzliche Berücksichtigung des sektoralen Inputpreisindex ( $\Delta w$ ). Sollen aber stattdessen die TOTEX vor der Berechnung des technologischen Fortschritts deflationiert werden, wird mit dem  $TCC^{\text{REAL}}$  gerechnet. Wichtig bei der Überführung der Ergebnisse von  $TCC^{\text{REAL}}$  in die Erlösobergrenze ist, dass der gleiche Preisindex wie für die Deflationierung auch für die sektorale Preisentwicklung verwendet wird. Wird der VPI zur Deflationierung der TOTEX und somit stellvertretend für die sektoralen Inputpreise verwendet, entspricht der  $TTC^{\text{REAL}}$  dem  $X_{\text{GEN}}$  aus der Formel (2) und somit dem  $X_{\text{GEN}}$  aus der ARegV.

## 5 Der Einfluss der Faktorpreise

### 5.1 Einleitung

Wie in Abschnitt 4 gezeigt wurde, definieren die Faktorpreise zum einen den Unterschied zwischen einer Produktions- und einer Kostenfunktion. Zum anderen ergeben sich verschiedene Möglichkeiten zur Berechnung des technologischen Fortschritts, je nachdem, ob man Informationen über die Faktorpreise besitzt oder nicht. Liegen nur Informationen zu den Mengen vor, lässt sich der technologische Fortschritt (TC) bestimmen. Verfügt man dagegen über entsprechende Daten zu den Faktorpreisen lässt sich die Verschiebung der effizienten Kosten (ECC) berechnen.

In den vier bisher durchgeführten Effizienzvergleichen der Bundesnetzagentur für die Strom- und Gasverteilnetzbetreiber wurden die Faktorpreise und insbesondere die Löhne als Preis für den Faktor Arbeit nicht explizit in den Benchmarkingmodellen berücksichtigt. Implizit wurde diese Vorgehensweise folgendermaßen hergeleitet:

- Der Effizienzvergleich fokussiert auf die Ermittlung der Kosteneffizienz. Die Verwendung aggregierter Benchmarkingkosten als einzigen Input unterstellt dabei implizit ein einziges Optimum für alle Netzbetreiber in der Allokation der Inputs (allokative Effizienz; Erzielung eines gegebenen Outputs auf Basis eines kosteneffizienten Verhältnisses der eingesetzten Inputs).
- Dadurch wird angenommen, dass die Faktorpreise für alle Unternehmen konstant und somit gleich sind. Ein unternehmensspezifisches Abweichen von den unterstellten konstanten Faktorpreisen wird vollständig als Ineffizienz des Unternehmens beurteilt.

Stehen nur aggregierte TOTEX-Daten zur Bestimmung des Produktivitätsfortschritts zur Verfügung, so kann gemäß Abschnitt 4.3.4 lediglich der  $TCC^{REAL}$ , eine Approximation des technologischen Fortschritts, ermittelt werden.

Unabhängig von der gewählten Vorgehensweise (indirekt auf Basis eines Effizienzvergleichs oder direkt auf Basis einer Regressionsanalyse, vgl. Abschnitt 3.4) stellt sich die Frage, welchen Einfluss unterschiedliche Faktorpreisszenarien auf die verschiedenen Konzepte TC, ECC und  $TCC^{NOM}$  haben. Im folgenden Abschnitt wird dies auf Basis der Malmquist-Methode untersucht. Die Grundlage dafür bildet ein synthetisch hergestellter Datensatz (Abschnitt 5.2). Dies hat den Vorteil, dass die Ergebnisse der Berechnungen für die verschiedenen Faktorpreiseszenarien (Abschnitte 5.3 bis 5.8) jeweils anhand des tatsächlichen technologischen Fortschritt beurteilt werden können.

### 5.2 Erstellung des Datensatzes

#### 5.2.1 Grundsätzliche Vorgehensweise

Damit die Effekte von alternativen Berechnungsarten und der Einfluss der Eigenheiten der Datengrundlage identifiziert werden können, bietet sich die Verwendung eines synthetisch erzeugten Datensatzes an.<sup>10</sup> Im Gegensatz zu einem real existierenden Datensatz können so zum einen die Ergebnisse mit der „korrekten“ Veränderung des technologischen Fortschritts verglichen und zum anderen der Einfluss unterschiedlicher Datenqualitäten quantifiziert werden. Hierzu wird über den Data-Generating-Process (DGP) exakt festgelegt, wie die Daten erzeugt werden.

<sup>10</sup> Vgl. hierzu auch die Ausführungen zur Erstellung des Datensatzes im Anhang, Abschnitt 8.6



Dadurch erhält man vollständige Kontrolle über die Eigenheiten des Datensatzes und kann systematisch den Einfluss einzelner Variationen im Datensatz auf die Methoden zur Bestimmung des technologischen Fortschritts über die Zeit untersuchen. Der Datensatz hat zwar inhaltlich keinerlei Bezug zu realen Daten, aber die gewählte Struktur ermöglicht grundsätzliche Aussagen über die Güte einzelner Methoden bei Vorliegen spezifischer Eigenschaften der Daten.

Die hypothetische Modellwelt soll so einfach wie möglich aber dennoch genügend reichhaltig sein, um die wichtigsten Fragestellungen analysieren zu können. Es wird deshalb angenommen, dass 100 Unternehmen aus den beiden Inputs Kapital (K) und Arbeit (L) einen Output ( $y$ ) produzieren. Die Produktionsmöglichkeiten werden durch eine Transformationsfunktion abgebildet. Diese gibt an, mit welchen Inputs wie viel Output hergestellt werden kann. Das Outputniveau wird dabei exogen vorgegeben.

Damit in dem synthetischen Datensatz ineffiziente Unternehmen simuliert werden können, wird ein Ineffizienzterm, der die technische Ineffizienz eines Unternehmens bestimmt, hinzugefügt. Die einzelnen Ineffizienzterme sind unabhängig über die Unternehmen, innerhalb eines Unternehmens jedoch konstant über die Zeit.

### Sektoraler technologischer Fortschritt

Im Kern der Untersuchung liegt die Identifikation des technologischen Fortschritts. Dieser wird Hicks-neutral modelliert. Das bedeutet, dass der technologische Fortschritt die Arbeitsproduktivität und Kapitalproduktivität mit der gleichen Rate wachsen lässt. Der synthetische Datensatz umfasst immer zwei Perioden und einen technologischen Fortschritt von 10%.

### Faktornachfragen

Durch die Vorgabe des Outputs und der unternehmensspezifischen Ineffizienz ( $u$ ) ergibt sich die zur Produktion dieses Outputs benötigte Menge des Inputaggregats aus Arbeit und Kapital. Es wird unterstellt, dass die Unternehmen das Inputaggregat kostenminimierend herstellen. Sie nehmen dazu die Faktorpreise  $w_L$  und  $w_K$  als exogen gegeben hin. Damit lassen sich die bedingten Faktornachfragen für Kapital und Arbeit herleiten. Eine detaillierte Herleitung der Faktornachfragen im Cobb-Douglas-Fall wird im Anhang (Abschnitt 8.4.1) beschrieben. Die Kosten ergeben sich dann aus der Summe der mit den Faktorpreisen multiplizierten Faktornachfragen.

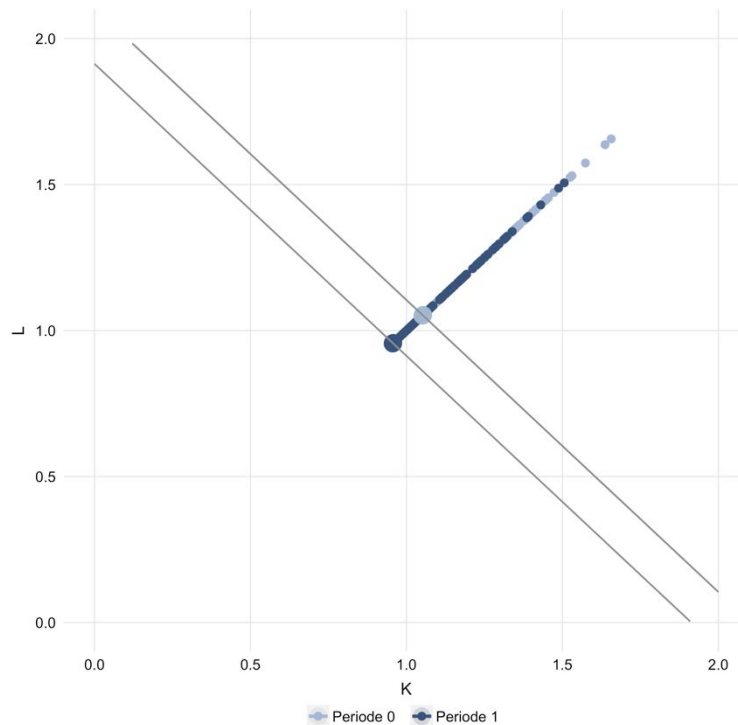
## 5.2.2 Der Basisdatensatz

Mit den beschriebenen Annahmen wird ein einfacher Basisdatensatz erzeugt. Der Basisdatensatz hat folgende Merkmale:

- Es gibt 100 Unternehmen.
- Die Unternehmen produzieren aus Kapital und Arbeit einen Output.
- Die Cobb-Douglas-Technologie weist konstante Skalenerträge auf.
- Die Faktorpreise für Arbeit und Kapital sind für alle Unternehmen identisch gleich eins und konstant über die Zeit.
- Sämtliche Unternehmen sind allokativ effizient. Sie haben zwar unterschiedliche produktive Ineffizienzfaktoren, wählen jedoch gegeben dieser Ineffizienz und gegeben der tatsächlichen Faktorpreise den allokativ effizienten Faktoreinsatz (Arbeit und Kapital).

- Es wird angenommen, dass 20% der Firmen technisch effizient produzieren. Damit wird sichergestellt, dass die Daten die Ermittlung der „korrekten“ Technologiegrenze ermöglichen.
- Die Effizienz bleibt über die Zeit konstant.

**Abbildung 4 Struktur des Basisdatensatzes**



*Jeder Punkt steht für die Inputkombination eines Unternehmens. Sämtliche Unternehmen produzieren eine Einheit Output, benötigen dafür je nach Ineffizienz eine geringere oder höhere Menge an Inputs (Arbeit,  $L$ , und Kapital,  $K$ ). Je näher ein Punkt am Ursprung liegt, desto effizienter produziert dieses Unternehmen. Die hellblauen Punkte stehen für Periode 0 und die dunkelblauen Punkte für Periode 1. Die beiden grauen Linien entsprechen den Isokostengeraden in den beiden Perioden.*

Quelle: Polynomics / Jacobs University

Da konstante Skalenerträge angenommen werden, kann der Output normiert werden. Es wird deshalb angenommen, dass sämtliche Unternehmen eine Einheit Output produzieren. Da sämtliche Unternehmen dieselben Faktorpreise aufweisen und allokativ effizient produzieren, setzen alle Unternehmen Kapital und Arbeit in demselben Verhältnis ein. Aufgrund der Produktionsineffizienz unterscheiden sich die Unternehmen lediglich in der Inputmenge.

Mit diesem idealen Datensatz ist die effiziente Grenze i.e. der Frontier-Shift exakt messbar. Die geschätzte effiziente Grenze besteht für jede Periode aus einem einzigen Punkt im Faktorraum, nämlich derjenigen Inputkombination, welche am nächsten beim Ursprung liegt. Sämtliche Unternehmen liegen auf dem Strahl vom Ursprung durch die effiziente Inputkombination (vgl. Abbildung 4).

Basierend auf diesem Basisdatensatz werden im Folgenden verschiedene Szenarienrechnungen durchgeführt.<sup>11</sup> Als Methode wird dabei der Malmquist-Index unter Berücksichtigung von Effizienzwerten verwendet, die mit der DEA-Methode bestimmt werden. Die pro Unternehmen ermittelten Malmquist-Indizes werden anschließend auf Basis eines geometrischen Mittels aggregiert. In sämtlichen Szenarien wird von einer für alle Unternehmen konstanten Veränderung der Produktivität ausgegangen (+10%). Die Szenarien unterscheiden sich jedoch darin, wie sich die Faktorpreise verändern. Es werden die folgenden sechs Szenarien unterschieden:

### **Szenario 1: Absolute Faktorpreisänderung über die Zeit**

Die Grundlage bildet der Basisdatensatz. Für dieses Szenario wird für alle Unternehmen eine einheitliche Steigerung der Faktorpreise für beide Produktionsfaktoren von Periode 0 auf Periode 1 unterstellt. Damit ändern sich zwar die effizienten Kosten für alle Unternehmen, jedoch nicht die relativen Faktorpreise.

### **Szenario 2: Relative Faktorpreisänderung über die Zeit**

Die Grundlage bildet der Basisdatensatz. Für dieses Szenario wird für alle Unternehmen der Preis für Arbeit im gleichen Umfang erhöht, während der Preis für Kapital gleich bleibt. Damit ändern sich sowohl die effizienten Kosten als auch die relativen Faktorpreise.

### **Szenario 3: Unterschiedliche Faktorpreise für zwei Gruppen**

Hier wird der Datensatz in zwei Gruppen von Unternehmen aufgeteilt: Die Gruppen unterscheiden sich dadurch, dass in der einen Gruppe der Preis für den Faktor Arbeit bereits in der ersten Periode höher ist als in der anderen Gruppe. Der Preis für den Faktor Kapital ist in beiden Gruppen gleich und die Faktorpreise bleiben über die Zeit konstant.

### **Szenario 4: Vorhandensein allokativer Ineffizienz**

Die Grundlage bildet der Basisdatensatz. Zusätzlich wird nun für einige Unternehmen eine allokativer Ineffizienz unterstellt. Dabei werden zwei Fälle unterschieden. In Szenario 4 wird die allokativer Ineffizienz über die Zeit konstant gehalten und in den Szenarien 4a bzw. 4b verändert sich die allokativer Ineffizienz über die Zeit (Zu- respektive Abnahme).

### **Szenario 5: Gemischtes Szenario**

In diesem Szenario werden verschiedene Effekte kombiniert: So wird im Datensatz konstante allokativer Ineffizienz unterstellt und es werden zwei Gruppen von Unternehmen berücksichtigt, die sich darin unterscheiden, dass sie bereits in der Ausgangsperiode unterschiedlich hohe Faktorpreise haben. Firmen in der einen Gruppe sehen sich einem niedrigeren Preis für Arbeit gegenüber als die Firmen der anderen Gruppe. Alle Firmen sind mit demselben Preis für Kapital konfrontiert. Die Veränderung der Faktorpreise fällt für beide Gruppen jedoch gleich aus (Anstieg des Preises für Arbeit und konstante Entwicklung für den Preis für Kapital).

### **Szenario 6: Unterschiedliche Faktorpreisentwicklung in den Gruppen**

Dieses Szenario baut auf dem fünften Szenario auf: Unternehmen sind allokativer ineffizient und Faktorpreise sind unterschiedlich für unterschiedliche Unternehmen. Jedoch erhöhen sich die

---

<sup>11</sup> Im Anhang, Abschnitt 8.6 werden übersichtsartig die Datensätze in den einzelnen Faktorpreisszenarien gezeigt.

Faktorpreise für nur eine Gruppe, wogegen die Faktorpreise für die andere Gruppe konstant bleiben.

### 5.3 Szenario 1: Absolute Faktorpreisänderung über die Zeit

#### Szenariobeschreibung

Auf der Grundlage des Basisdatensatzes werden im Szenario 1 sowohl der Preis für Arbeit (Löhne) als auch derjenige für Kapital (Zinsen) von Periode 0 zu Periode 1 für alle Unternehmen um 50% angehoben.<sup>12</sup>

#### Ergebnisse

In der folgenden Tabelle 5 findet sich eine Zusammenstellung der wichtigsten Ergebnisse des ersten Szenarios (Erhöhung beider Faktorpreise). Der Produktions-Malmquist-Index misst den technologischen Fortschritt von 1.1 (TC) exakt. Mit dem Kosten-Malmquist können der technologische Fortschritt (TC), der Preiseffekt (PI) und damit auch die Verschiebung der effizienten Kosten (ECC) exakt identifiziert werden.

**Tabelle 5 Ergebnisse des Szenarios 1**

Berechnungsgrundlage	Technologischer Fortschritt (TC)	Preisindex (PI=TC/ECC)	Kostenverschiebung (ECC bzw. letzte Zeile $TCC^{NOM}$ )
Tatsächlicher technologischer Fortschritt (Vorgabe)	1.1	1.5	0.733
Produktions-Malmquist	1.1	-	-
Kosten-Malmquist	1.1	1.5	0.733
TOTEX-Malmquist ( $TCC^{NOM}$ )	-	-	0.733

*Im ersten Szenario ändern sich zusätzlich zur vorgegebenen Änderung des technologischen Fortschritts von 10% ( $TC = 1.1$ ) beide Faktorpreise von Periode 0 zu 1 um 50%. Der technologische Fortschritt (TC) wird mittels Produktions- und Kosten-Malmquist korrekt berechnet. Sowohl der Kosten-Malmquist (ECC) als auch der TOTEX-Malmquist ( $TCC^{NOM}$ ) berechnen die Verschiebung der effizienten Kosten korrekt. Beim TOTEX-Malmquist gelingt dies ohne Kenntnisse der Faktorpreise.*

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

Ein wichtiges Ergebnis dieses Szenarios ist zudem, dass mittels TOTEX-Benchmarking die Verschiebung der effizienten Kosten korrekt berechnet wird ( $TCC^{NOM}=ECC=0.733$ ), obwohl in diesem Fall lediglich die Kosten der Unternehmen ohne Kenntnis der Faktorpreise verwendet werden.

### 5.4 Szenario 2: Relative Faktorpreisänderung über die Zeit

#### Szenariobeschreibung

Auf der Grundlage des Basisdatensatzes wird im Szenario 2 der Preis für Arbeit von Periode 0 zu Periode 1 für alle Unternehmen um 50% angehoben. Der Preis für das Kapital bleibt unverändert.<sup>13</sup>

<sup>12</sup> Vgl. die graphische Darstellung dieses Datensatzes im Anhang, Abschnitt 8.6.

## Ergebnisse

Wie bereits im vorangehenden Szenario misst der Produktions-Malmquist den technologischen Fortschritt (TC) korrekt. Die mittels Kosten-Malmquist berechnete Kostenverschiebung (ECC) entspricht den Vorgaben von 0.898. Diese setzt sich aus dem technologischen Fortschritt von 1.1 und dem Preiseffekt von 1.225 zusammen. Wie bereits in Szenario 1, ist auch der TOTEX-Malmquist in der Lage die korrekte Kostenverschiebung zu ermitteln ( $TCC^{NOM}=ECC$ ): Ein Malmquist basierend auf den tatsächlichen Kosten der Unternehmen als Input ohne Kenntnis der Faktorpreise kann somit sowohl bei einer Zweifaktor- (Szenario 1) wie auch bei einer Einfaktorpreiserhöhung (Szenario 2) die korrekte Verschiebung der effizienten Kosten bestimmen.

**Tabelle 6 Ergebnisse des Szenarios 2**

Berechnungsgrundlage	Technologischer Fortschritt (TC)	Preisindex (PI=TC/ECC)	Kostenverschiebung (ECC bzw. letzte Zeile $TCC^{NOM}$ )
Tatsächlicher technologischer Fortschritt (Vorgabe)	1.1	1.225	0.898
Produktions-Malmquist	1.1	-	-
Kosten-Malmquist	1.1	1.225	0.898
TOTEX-Malmquist ( $TCC^{NOM}$ )	-	-	0.898

*Im zweiten Szenario ändern sich zusätzlich zur vorgegebenen Änderung des technologischen Fortschritts von 10% ( $TC = 1.1$ ) der Faktorpreis für Arbeit von Periode 0 zu 1 um 50%. Der Faktorpreis für Kapital bleibt dagegen unverändert. Der technologische Fortschritt (TC) wird mittels Produktions- und Kosten-Malmquist korrekt berechnet. Sowohl Kosten-Malmquist als auch TOTEX-Malmquist berechnen die korrekte Verschiebung der effizienten Kosten ( $ECC=TCC^{NOM}=0.898$ ).*

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

## 5.5 Szenario 3: Unterschiedliche Faktorpreise für zwei Gruppen von Unternehmen

### Szenariobeschreibung

Im dritten Szenario wird der Frage nachgegangen, welche Herausforderungen sich stellen, wenn sich nicht alle Unternehmen den gleichen Faktorpreisen gegenübersehen. So kann es sein, dass sich beispielsweise das Lohnniveau zwischen Regionen unterscheidet. Aus diesem Grund werden im dritten Szenario zwei Gruppen von Unternehmen mit unterschiedlichen Faktorpreisen eingeführt. In der einen Gruppe ist Arbeit relativ zu Kapital teuer. Der Preis für Arbeit beträgt dabei in Gruppe A 0.5 und für Gruppe B 2. Der Preis für Kapital beträgt in beiden Gruppen 1. Die Faktorpreise bleiben über die Zeit konstant.<sup>14</sup>

### Ergebnisse

Da sich die Faktorpreise über die Zeit nicht ändern, ist der tatsächliche Inputpreiseffekt null, bzw. der Preisindex PI ist gleich 1 (vgl. Tabelle 7); der technologische Fortschritt entspricht somit der effizienten Kostenverschiebung.

<sup>13</sup> Vgl. die graphische Darstellung dieses Datensatzes im Anhang, Abschnitt 8.6.

<sup>14</sup> Vgl. die graphische Darstellung dieses Datensatzes im Anhang, Abschnitt 8.6.

**Tabelle 7 Ergebnisse des Szenarios 3**

Berechnungsgrundlage	Gruppen	Technologischer Fortschritt (TC)	Preisindex (PI=TC/ECC)	Kostenverschiebung (ECC bzw. letzte Zeile $TCC^{NOM}$ )
Tatsächlicher technologischer Fortschritt (Vorgabe)	A	1.1	1.0	1.1
	B		1.0	1.1
Produktions-Malmquist		1.1	-	-
Kosten-Malmquist	A	1.1	1.0	1.1
	B	1.1	1.0	1.1
TOTEX-Malmquist ( $TCC^{NOM}$ )		-	-	1.1

*Im dritten Szenario werden zwei Gruppen von Unternehmen betrachtet, die unterschiedliche Faktorpreise bei gleicher Änderung des technologischen Fortschritts aufweisen. Der Preiseffekt (PI) ist 1 und der technologische Fortschritt entspricht somit der effizienten Kostenverschiebung. Alle drei Methoden liefern korrekte Ergebnisse.*

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

Unter diesen Voraussetzungen liefern sämtliche Methoden den tatsächlichen technologischen Fortschritt von 1.1 (10%). Bei Vorliegen von unterschiedlichen aber über die Zeit konstanten Faktorpreisen für zwei Gruppen von Unternehmen, liefert das TOTEX-Benchmarking ( $TCC^{NOM}$ ) die korrekte Verschiebung der effizienten Kosten. Da die effiziente Kostenverschiebung im vorliegenden Fall dem technologischen Fortschritt entspricht, misst das TOTEX-Benchmarking somit den korrekten technologischen Fortschritt. Da beim TOTEX-Benchmarking keine Informationen zu den Faktorpreisen vorliegen, kann diese Methode die beiden Unternehmensgruppen nicht unterscheiden und liefert deshalb nur den Gesamteffekt über beide Gruppen.

## 5.6 Szenario 4: Vorhandensein allokativer Ineffizienz

### Szenariobeschreibung

In den bisherigen Szenarien wurde unterstellt, dass die Unternehmen technisch ineffizient arbeiten, sich aber an den tatsächlichen Faktorpreisen orientieren und somit allokativ effizient sind. Diese Annahme wird im vierten Szenario nun aufgehoben. Die Unternehmen optimieren nicht bezüglich der tatsächlichen Faktorpreisen, sondern bezüglich „verzerrter“ Faktorpreise. Jedes Unternehmen zieht aus einer Gleichverteilung einen Verzerrungsfaktor, so dass alle Unternehmen verzerrte Faktorpreise aufweisen und keines allokativ effizient ist. Die konkrete Vorgehensweise zur Einführung allokativer Ineffizienz im Datensatz wird im Anhang (Abschnitt 8.6) beschrieben. Allokative Ineffizienz ist in der Realität möglich: Investitionen in Energienetze sind langfristig und „versunken“. Ein Unternehmen kann sich daher bezüglich Neuinvestitionen an einen aktuellen Zinssatz anpassen, nicht jedoch mit seinem Kapitalstock. Einmal getroffen, kann eine Investitionsentscheidung jedoch nicht mehr rückgängig gemacht werden. Dadurch kann allokative Ineffizienz entstehen: Die Unternehmen fragen aufgrund der verzerrten Faktorpreise eine ineffiziente Inputkombination nach. Die verzerrten Faktorpreise werden stochastisch für jedes Unternehmen modelliert. In diesem Szenario wird vorerst davon ausgegangen, dass die Faktorpreise über die Zeit hinweg konstant bleiben. Abgesehen von der Einführung allokativer

Ineffizienz ist das Szenario identisch zum Basisdatensatz. Es unterstellt somit auch keine Faktorpreisveränderung über die Zeit.

### Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 dargestellt. Da das Szenario keine Inputpreisentwicklung annimmt ist der Preisindex (PI) gleich eins. Alle Methoden liefern korrekte Ergebnisse. Das TOTEX-Benchmarking liefert somit auch unter Vorhandensein von über die Zeit konstanter allokativer Ineffizienz die korrekte Verschiebung der effizienten Kosten ( $TCC^{NOM}=ECC$ ). Da kein Preiseffekt vorliegt ( $PI=1$ ), entspricht die effiziente Kostenverschiebung dem technologischen Fortschritt ( $TCC^{NOM}=ECC=TC=1.1$ ).

**Tabelle 8 Ergebnisse des Szenarios 4**

Berechnungsgrundlage	Technologischer Fortschritt (TC)	Preisindex (PI=TC/ECC)	Kostenverschiebung (ECC bzw. letzte Zeile $TCC^{NOM}$ )
Tatsächlicher technologischer Fortschritt (Vorgabe)	1.1	1.0	1.1
Produktions-Malmquist	1.1	-	-
Kosten-Malmquist	1.1	1.0	1.1
TOTEX-Malmquist ( $TCC^{NOM}$ )	-	-	1.1

*Im vierten Szenario wird zusätzlich zur vorgegebenen Änderung des technologischen Fortschritts von 10% ( $TC = 1.1$ ) allokativer Ineffizienz eingeführt. Die Faktorpreise sind zwischen den Unternehmen und den Perioden konstant. Der Preiseffekt (PI) ist 1 und der technologische Fortschritt entspricht somit der effizienten Kostenverschiebung. Alle drei Methoden liefern korrekte Ergebnisse.*

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

Das Szenario unterstellt konstante, wenn auch verzerrte Faktorpreise über die Zeit. Nimmt man an, dass der Verzerrungsfaktor für jedes Unternehmen in beiden Perioden neu gezogen wird, das Ausmaß der Verzerrung<sup>15</sup> jedoch unverändert bleibt, so stimmen die Ergebnisse in Tabelle 8 lediglich im Erwartungswert. Der TC und der  $TCC^{NOM}$  weisen in diesem Fall eine Streuung auf (dies wird bei mehrmaligen Simulationen des Szenarios sichtbar<sup>16</sup>). Die Streuung von TC ist nicht nennenswert, die Streuung von  $TCC^{NOM}$  ist hingegen wesentlich: sie beträgt mehrere Prozentpunkte.

### Erweiterung von Szenario 4(a/b): Die allokativer Ineffizienz verändert sich über die Zeit

Von einer konstanten allokativen Ineffizienz kann in der Realität jedoch nicht ausgegangen werden. Im Regime der Anreizregulierung ist davon auszugehen, dass Unternehmen vorhandene Ineffizienzen – und damit auch allokativer Ineffizienzen – abbauen (Szenario 4a). Eine Zunahme des Ausmaßes an allokativer Ineffizienzen kann hingegen entstehen, falls unerwartete Inputpreisveränderungen zu einem vorübergehend ineffizienten Inputverhältnis führen (Szenario 4b).

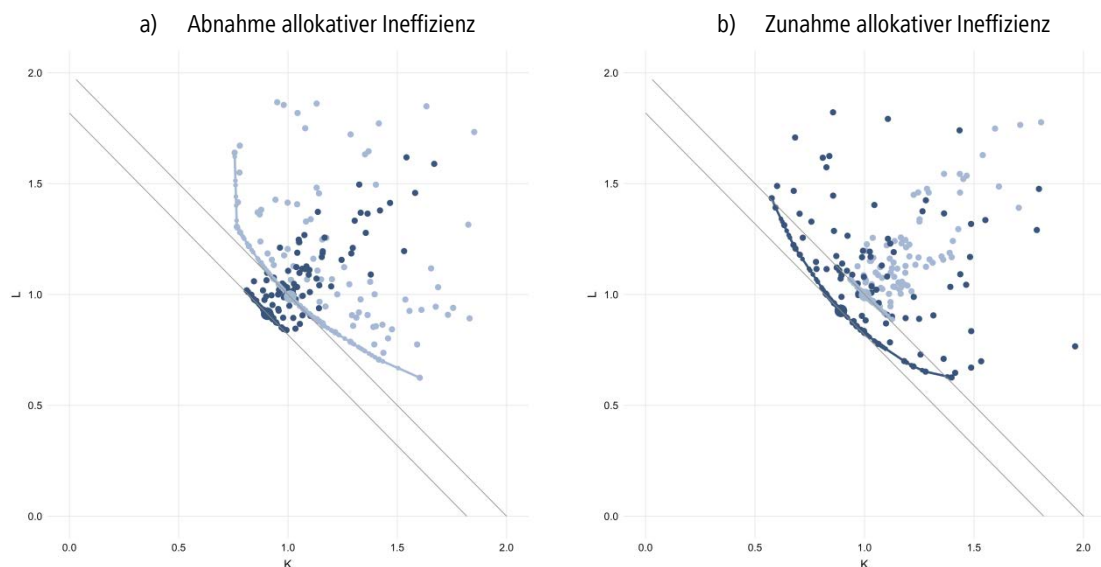
<sup>15</sup> Unter dem Ausmaß der Verzerrung wird die Größe des Supports der Verteilung, aus der die Verzerrungsfaktoren gezogen werden, verstanden. Falls die Wahrscheinlichkeitsverteilung über die Zeit konstant bleibt, ist auch das Ausmaß der Verzerrung konstant.

<sup>16</sup> Um zu überprüfen, wie robust diese Ergebnisse sind, wurden in diesem Fall sogenannte Monte-Carlo-Simulationen durchgeführt. Zur genauen Vorgehensweise vgl. die Ausführungen in Abschnitt 6.3

Falls sich das Ausmaß der allokativen Ineffizienz über die Zeit verändert, dann liefern nicht mehr alle drei Methoden korrekte Ergebnisse. In dieser Erweiterung werden deshalb die Auswirkungen einer Veränderung der allokativen Ineffizienz über die Zeit untersucht. Abbildung 5 veranschaulicht die Situation einer Reduktion (linke Abbildung) bzw. einer Erhöhung (rechte Abbildung) des Ausmaßes allokativer Ineffizienz über die Zeit.

Falls die allokativen Ineffizienz von der ersten zur zweiten Periode zunimmt (vgl. Tabelle 9), dann überschätzt der mittels des Produktions-Malmquist gemessene technologische Fortschritt (TC) den tatsächlichen Effekt. Anstelle von 1.1 resultiert ein Wert von 1.149. Gerade umgekehrt verhält es sich, wenn die allokativen Ineffizienz über die Zeit abnimmt. Hier resultiert eine Unterschätzung des TC im Vergleich zur wahren Veränderung des realen sektoralen technologischen Fortschritts (1.052 anstelle 1.1).

**Abbildung 5 Veränderung des Ausmaßes allokativer Ineffizienz über die Zeit**



*Allokative Ineffizienz kann als nicht optimale Wahl des Kapital-Arbeit-Verhältnisses dargestellt werden: Anders als bei Abbildung 4 (Basisdatensatz) verteilen sich deshalb die Unternehmen entlang der Isoquanten. Diese nimmt in der linken Abbildung von der Periode 0 (hellblaue Punkte) zur Periode 1 (dunkelblaue Punkte) ab, in der rechten Abbildung hingegen zu.*

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

Bei der Bestimmung des technologischen Fortschritts stützt sich der Produktions-Malmquist auf die geschätzten Isoquanten. Wie Abbildung 5 (links) deutlich zeigt, führt beispielsweise eine Reduktion der allokativen Ineffizienz dazu, dass die Isoquante in Periode 1 (dunkelblaue Linie) weniger genau abgebildet werden kann als die Isoquante in Periode 0 (hellblaue Linie). Damit werden die Malmquist-Indizes einzelner Unternehmen verzerrt bestimmt, was sich im geometrischen Durchschnitt dieser Indizes niederschlägt und somit zu einer Verzerrung des TC führt.

Da hingegen der Kosten-Malmquist die korrekten Faktorpreise verwendet und damit die effizienten Kosten bestimmt (vgl. die grauen diagonalen Linien in Abbildung 5), ist dieser nicht von der unterschiedlich genauen Bestimmung der Isoquante in den beiden Perioden betroffen. Deshalb ist die auf Basis des Kosten-Malmquist berechnete effiziente Kostenverschiebung (ECC) korrekt.



Der TOTEX-Malmquist ist weder bei der Zunahme noch bei der Abnahme der allokativen Effizienz in der Lage, die Kostenverschiebung korrekt zu berechnen. Die Verzerrung des  $TCC^{NOM}$  verhält sich gerade entgegengesetzt zur Verzerrung des TC: Bei einer Zunahme der allokativen Ineffizienz kommt es zu einer Unterschätzung (1.019 anstelle 1.1) und bei einer Abnahme zu einer Überschätzung (1.186 anstelle 1.1). Dies ist darauf zurückzuführen, dass der  $TCC^{NOM}$  beim TOTEX-Malmquist nicht auf die effizienten, sondern auf die tatsächlichen Kosten abstellt.

Im Falle einer Abnahme der allokativen Ineffizienz weisen die Unternehmen in Periode 0 höhere Kosten auf als in Periode 1, in welcher das Ausmaß der allokativen Ineffizienz geringer ist. Diese Verringerung der allokativen Ineffizienz übersetzt sich somit in eine Reduktion der Kosten und wird deshalb vom TOTEX-Malmquist als Verschiebung der effizienten Kosten gemessen. Da jedoch der Abbau allokativer Ineffizienz nicht eine Reduktion der effizienten Kosten darstellt, überschätzt der  $TCC^{NOM}$  die tatsächliche Verschiebung der effizienten Kosten. Gerade umgekehrt verhält es sich bei einer Zunahme der allokativen Ineffizienz.

**Tabelle 9 Ergebnisse bei einer Veränderung des Ausmaßes allokativer Ineffizienz**

Berechnungsgrundlage	Annahme bezüglich allokativer Ineffizienz	Technologischer Fortschritt (TC)	Preisindex (PI=TC/ECC)	Kostenverschiebung (ECC bzw. letzte Zeile $TCC^{NOM}$ )
Tatsächlicher technologischer Fortschritt (Vorgabe)	Abnahme	1.1	1.0	1.1
	Zunahme	1.1	1.0	1.1
Produktions-Malmquist	Abnahme	1.052	-	-
	Zunahme	1.149	-	-
Kosten-Malmquist	Abnahme	1.052	0.956	1.1
	Zunahme	1.149	1.045	1.1
TOTEX-Malmquist ( $TCC^{NOM}$ )	Abnahme	-	-	1.186
	Zunahme	-	-	1.019

*Im vierten Szenario wird zusätzlich zur vorgegebenen Änderung des technologischen Fortschritts von 10% (TC = 1.1) eine allokativer Ineffizienz eingeführt, die sich zwischen den beiden Perioden verändert. Dieses Szenario führt erstmals zu verzerrten Ergebnissen. Zwar misst der Kosten-Malmquist die Verschiebung der effizienten Kosten (ECC) korrekt, das TOTEX-Benchmarking ( $TCC^{NOM}$ ) weist jedoch falsche Werte aus: Bei einer Abnahme (Zunahme) der allokativen Ineffizienz überschätzt (unterschätzt) das TOTEX-Benchmarking die tatsächliche Verschiebung der effizienten Kosten deutlich. Das TOTEX-Benchmarking liefert in diesem Fall keine zuverlässigen Resultate.*

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

Bei diesen beiden Szenarien ist zu beachten, dass die Ergebnisse von der konkreten Realisation der Stochastik abhängen. Deshalb wurde in den Tabellen der Mittelwert aus 1000 Simulationen ausgewiesen.<sup>17</sup>

Da die allokativer Ineffizienz jedem Unternehmen stochastisch zugeordnet wird, ist die Wahrscheinlichkeit nahe null, dass Unternehmen im Datensatz sind, welche keine allokativer Ineffizienz aufweisen. Falls hingegen die technisch effizienten Unternehmen ebenfalls allokativer effi-

<sup>17</sup> Hierzu wurden sogenannte Monte-Carlo-Simulationen durchgeführt. Zur genauen Vorgehensweise vgl. die Ausführungen in Abschnitt 6.3

zient sind, dann misst der  $TCC^{NOM}$  die korrekte Verschiebung der minimalen Kosten ( $TCC^{NOM}=ECC = 1.1$ ). Unter dieser Annahme sind in beiden Perioden kosteneffiziente Unternehmen vorhanden, welche den Benchmark für die übrigen Unternehmen setzen. Damit kann auch die korrekte Verschiebung der effizienten Kosten bestimmt werden.

Falls es zwar allokativ effiziente Unternehmen gibt, diese aber *nicht* technisch effizient sind, dann ist der  $TCC^{NOM}$  weiterhin verzerrt. Je mehr allokativ effiziente Unternehmen es gibt, desto geringer ist jedoch die Verzerrung. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass mit zunehmender Anzahl allokativ effizienter Unternehmen die Wahrscheinlichkeit steigt, dass diese Unternehmen eine geringe technische Ineffizienz aufweisen und somit den effizienten Kosten nahe kommen.

## 5.7 Szenario 5: Gemischtes Szenario

### Szenariobeschreibung

In den bisherigen Szenarien wurden jeweils nur die Auswirkungen eines einzelnen Effekts auf die Bestimmung des technologischen Fortschritts untersucht. In der Realität dürften aber verschiedene Effekte gemeinsam auftreten. Dieser Tatsache widmet sich das Szenario 5. Es wird dabei allokativ Ineffizienz analog zum Szenario 4 unterstellt, die über die Zeit konstant bleibt, und berücksichtigen zwei Gruppen, welche sich unterschiedlichen Faktorpreisen gegenübersehen (Szenario 3). Die Gruppen unterscheiden sich bezüglich der Faktorpreise, wobei sich wie in Szenario 2 nur der Preis für den Faktor Arbeit für alle Unternehmen im gleichen Ausmaß über die Zeit ändert. Der Preis für Kapital ist bei beiden Gruppen konstant gleich 1.<sup>18</sup>

### Ergebnisse

In der Tabelle 10 werden die Ergebnisse des fünften Szenarios zusammengestellt, welches die vorangehenden Szenarien kombiniert. Der Produktions-Malmquist-Index liefert den korrekten technologischen Fortschritt (TC) von 1.1. Die Löhne steigen von Periode 0 zu 1 um 20%. Dies führt zu einer Kostenerhöhung von ca. 9% bis 10%. Da in diesem Szenario zwei Gruppen von Unternehmen mit unterschiedlichen Faktorpreisen unterstellt wird, liefert der Kosten-Malmquist für beide Gruppen separate Ergebnisse, wobei die geringen Unterschiede beim Preisindex (PI) und beim technologischen Fortschritt (TC) im Vergleich zu den Vorgaben durch die Stochastik zustande kommen.

Auch in diesem gemischten Szenario liefern alle drei Methoden korrekte Ergebnisse. Insbesondere, berechnen der TOTEX-Malmquist ( $TCC^{NOM}$ ) und der Kosten-Malmquist die korrekte effiziente Kostenverschiebung ( $TCC^{NOM}=ECC=1.004$ ).

<sup>18</sup> Vgl. die graphische Darstellung dieses Datensatzes im Anhang, Abschnitt 8.6.

**Tabelle 10: Ergebnisse des Szenarios 5**

Berechnungsgrundlage	Gruppe	Technologischer Fortschritt (TC)	Preisindex (PI=TC/ECC)	Kostenverschiebung (ECC bzw. letzte Zeile $TCC^{NOM}$ )
Tatsächlicher technologischer Fortschritt (Vorgabe)	A	1.1	1.095	1.004
	B	1.1	1.095	1.004
Produktions-Malmquist		1.103	-	-
Kosten-Malmquist	A	1.101	1.096	1.004
	B	1.105	1.101	1.004
TOTEX-Malmquist ( $TCC^{NOM}$ )		-	-	1.004

*Szenario 5 unterstellt ein gemischtes Szenario mit konstanter allokativer Ineffizienz über die Zeit und zwei Gruppen von Unternehmen mit unterschiedlichen Faktorpreisen, jedoch gleich hoher Veränderung derselben. Alle drei Methoden liefern korrekte Ergebnisse. Insbesondere liefert der TOTEX-Malmquist die korrekte Verschiebung der effizienten Kosten ( $TCC^{NOM}=ECC=1.004$ ).*

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

## 5.8 Szenario 6: Unterschiedliche Faktorpreisentwicklung in den Gruppen

### Szenariobeschreibung

Das letzte Szenario zu den Faktorpreisen unterscheidet sich vom gemischten Szenario (Szenario 5), in dem nun nur die eine Gruppe von Unternehmen sich geänderten Faktorpreisen zwischen der ersten und zweiten Periode gegenübersteht. Dazu wird unterstellt, dass die Faktorpreise in Gruppe A konstant gleich 1 sind, während sich die Faktorpreise von Gruppe B verändern. Der Preis für Kapital und Arbeit in Gruppe B beträgt in der ersten Periode 1.2, in der Periode 2 sinken beide auf 0.8. In der ersten Periode haben Unternehmen der Gruppe B somit höhere Stückkosten als Unternehmen der Gruppe A und in der zweiten Periode verhält es sich gerade umgekehrt. Hier weisen Unternehmen der Gruppe B die niedrigeren Kosten auf (die relativen Faktorpreise bleiben unverändert).

### Ergebnisse

Der in Tabelle 11 dargestellte Preisindex (PI) zeichnet die Preisentwicklung nach. Für Gruppe A weist er keine Inputpreisentwicklung aus ( $PI = 1$ ), für Gruppe B hingegen identifiziert er eine Preisreduktion von einem Drittel ( $PI = 0.667$ ). Der Produktions-Malmquist-Index und der Kosten-Malmquist-Index weisen den korrekten realen sektoralen technologischen Fortschritt (TC) von 1.1 aus.

Die mit dem Kosten-Malmquist ermittelte Verschiebung der effizienten Kosten (ECC) beträgt für Gruppe A 1.1 und für Gruppe B 1.65. Diese Werte entsprechen den korrekten Werten. Da es für Gruppe A keine Inputpreisentwicklung gibt, entspricht der ECC dem TC. Die ausgeprägte Inputpreissenkung von Gruppe B hingegen führt dazu, dass die Verschiebung der effizienten Kosten mit 1.65 deutlich über dem technologischen Fortschritt von 1.1 liegt.

Da für die Berechnung des  $TCC^{NOM}$  mittels TOTEX-Benchmarking keine Faktorpreisinformationen zur Verfügung stehen, kann der  $TCC^{NOM}$  nicht zwischen den beiden Gruppen unterscheiden. Dadurch vermengt er die Inputpreisentwicklung der beiden Gruppen zu einem durchschnittlichen Effekt. Würde der  $TCC^{NOM}$  zur Bestimmung der Erlösobergrenze verwendet, hätte

dies zur Folge, dass Unternehmen der Gruppe A eine zu hohe Vorgabe (44.6% statt 10%) und Unternehmen der Gruppe B eine zu niedrige Vorgabe (44.6% statt 65%) erhalten würden. Nach dem Szenario mit sich über die Zeit verändernder allokativer Ineffizienz (siehe Abschnitt 5.6) existiert also eine weitere Situation, in welcher ein TOTEX-Malmquist nicht zum korrekten Ergebnis führt. Würde ein aufgrund der Gruppengröße (je 50%) gewichteter Durchschnitt über die beiden korrekten ECC-Werte berechnet, resultiert im konkreten Beispiel ein Wert von 1.375, was nicht dem  $TCC^{NOM}$  von 1.446 gemäß den TOTEX-Malmquist-Berechnungen entspricht.

Falls zwar keine Faktorpreisinformationen zur Verfügung stehen, aber bekannt ist, welche Unternehmen welcher Gruppe angehören, kann für jede Gruppe ein TOTEX-Malmquist durchgeführt werden. In diesem Fall stimmen die gruppenweise berechneten  $TCC^{NOM}$  mit den korrekten Verschiebungen der effizienten Kosten (ECC) überein.

**Tabelle 11 Ergebnis des Szenarios 6**

Berechnungsgrundlage	Gruppe	Technologischer Fortschritt (TC)	Preisindex (PI=TC/ECC)	Kostenverschiebung (ECC bzw. letzte Zeile $TCC^{NOM}$ )
Tatsächlicher technologischer Fortschritt (Vorgabe)	A	1.1	1.0	1.1
	B	1.1	0.667	1.65
Produktions-Malmquist		1.1	-	-
Kosten-Malmquist	A	1.1	1.0	1.1
	B	1.1	0.667	1.65
TOTEX-Malmquist ( $TCC^{NOM}$ )		-	-	1.446

*Das Szenario 6 unterstellt unterschiedliche Faktorpreisentwicklungen für zwei Gruppen, bei Vorliegen unterschiedlicher aber zwischen den Perioden gleichbleibender allokativer Ineffizienz. Der mittels Produktions-Malmquist ermittelte technologische Fortschritt (TC) ist korrekt, ebenso die mit dem Kosten-Malmquist berechnete Verschiebung der effizienten Kosten (ECC). Die durch ein TOTEX-Malmquist ermittelte Kostenverschiebung ( $TCC^{NOM}$ ) hingegen kann die unterschiedlichen Gruppen nicht identifizieren und liefert dadurch eine durchschnittliche Kostenverschiebung, was die eine Gruppe (A) benachteiligt, die andere (B) bevorteilt.*

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

## 5.9 Fazit

Je nach vorliegender Datenlage, insbesondere zu den Faktorpreisen, können die verschiedenen Arten des sektoralen technologischen Fortschritts berechnet werden. Liegen nur Informationen zu den verwendeten Inputs und Outputs vor, kann ein Produktions-Malmquist umgesetzt werden, auf dessen Basis der technologische Fortschritt (TC) bestimmt werden kann. Sind Informationen zu den Faktorpreisen und den Inputmengen vorhanden, lässt sich ein Kosten-Malmquist umsetzen, auf dessen Basis sich die effiziente Kostenverschiebung (ECC) und folglich auch der Preiseffekt (PI) bestimmen lassen. Liegen schließlich nur die Gesamtkosten ohne separate Informationen zu den Faktorpreisen vor, kann ein TOTEX-Malmquist umgesetzt werden, auf dessen Basis eine Annäherung der effizienten Kostenverschiebung ( $TCC^{NOM}$ ) berechnet werden kann.

Im Rahmen verschiedener Szenarien zu den Faktorpreisen wurde dabei auf Basis der Malmquist-Methode und den DEA-Effizienzwerten untersucht, unter welchen Konstellationen, welche Berechnungsart den entsprechend „wahren“ Wert ermitteln kann.

In der Tabelle 12 sind die unterschiedlichen Annahmen für die sechs Faktorpreisszenarien übersichtsmäßig zusammengetragen.

**Tabelle 12 Übersicht über die einzelnen Faktorpreisszenarien**

Szenario	Gruppe	Preis Arbeit Periode 0	Preis Arbeit Periode 1	Preis Kapital Periode 0	Preis Kapital Periode 1	Allokative Ineffizienz
Szenario 1	A	1	1.5	1	1.5	Nein
Szenario 2	A	1	1.5	1	1	Nein
Szenario 3	A	0.5	0.5	1	1	Nein
	B	2	2	1	1	Nein
Szenario 4	A	1	1	1	1	Ja, konstant über Zeit
Szenarien 4 a/b	A	1	1	1	1	Ja, Verände- rung über Zeit
	A	0.5	0.6	1	1	Ja, konstant über Zeit
Szenario 5	B	2	2.4	1	1	Ja, konstant über Zeit
	A	1	1	1	1	Ja, konstant über Zeit
Szenario 6	B	1.2	0.8	1.2	0.8	Ja. konstant über Zeit

*Die Tabelle gibt einen Überblick über die wesentlichen Annahmen für die einzelnen Szenarien hinsichtlich der Anzahl der Gruppen, der Höhe der Faktorpreise, der Entwicklung der Faktorpreise zwischen Periode 0 und Periode 1 sowie hinsichtlich der Annahme zur allokativen Ineffizienz.*

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

Veränderungen der Faktorpreise können einerseits über die Zeit (von Periode 0 zu Periode 1) stattfinden oder sie können für unterschiedliche Unternehmen unterschiedlich hoch ausfallen. Für die Analyse der Auswirkung von Faktorpreisunterschieden zwischen den Unternehmen werden die insgesamt 100 Unternehmen hälftig in zwei Gruppen eingeteilt. Innerhalb einer Gruppe sehen sich alle Unternehmen mit denselben Faktorpreisen und derselben Faktorpreisentwicklung über die Zeit konfrontiert. Jedes Szenario beinhaltet somit entweder eine Gruppe (Gruppe A) oder zwei Gruppen (Gruppe A und Gruppe B).

Die wesentlichen Ergebnisse sind in Tabelle 13 abgebildet. Idealerweise bestimmt man im Rahmen der untersuchten Szenarien den technologischen Fortschritt und die Inputpreisentwicklung mit dem Produktions- und Kosten-Malmquist. Dazu müssen jedoch die Inputpreise und Inputmengen bekannt sein. Der durch ein TOTEX-Benchmarking ermittelte  $TCC^{NOM}$  kann hingegen ohne Kenntnis der Inputpreise und -mengen berechnet werden. Dieser beinhaltet jedoch bereits die Inputpreisentwicklung. Dies muss bei der Anwendung in der Regulierungsformel berücksichtigt werden. Szenarien 4a, 4b und 6 zeigen jedoch die Grenzen des  $TCC^{NOM}$  auf. Verringert sich im Zeitablauf die allokativen Effizienz (Szenario 4a) kann es zu Verzerrungen kom-

men und die Vorgabe zur Senkung der Erlösobergrenze ist zu hoch. Hiervon ist in der Realität wahrscheinlich auszugehen, denn die Anreizregulierung zielt genau auf eine Reduzierung der Ineffizienzen ab. Sobald jedoch im Datensatz Unternehmen sind, die sowohl allokativ als auch technisch effizient sind, kann der  $TCC^{NOM}$  auch dann die korrekte Verschiebung der effizienten Kosten messen, wenn bei den übrigen Unternehmen sich die allokativ Ineffizienz verändert. Zudem ergeben sich bei der Berechnung des  $X_{GEN}$  Probleme, wenn sich Unternehmen in der Faktorpreisentwicklung unterscheiden. Auch dann ergibt der  $TCC^{NOM}$  verzerrte Ergebnisse (Szenario 6).

**Tabelle 13** Übersicht über die Ergebnisse zu den Faktorpreisszenarien

Szenarienwirkung	Technologischer Fortschritt (TC) basierend auf einem Produktions-Malmquist	Effiziente Kostenverschiebung (ECC) basierend auf einem Kosten-Malmquist	Nominale TOTEX-Verschiebung ( $TCC^{NOM}$ ) basierend auf einem TOTEX-Malmquist
Gleiche Faktorpreise für alle Unternehmen und gleiche absolute Veränderung aller Faktorpreise für alle Unternehmen (Szenario 1)	✓	✓	✓
Gleiche Faktorpreise für alle Unternehmen, Veränderung nur eines Faktorpreises für alle Unternehmen (Szenario 2)	✓	✓	✓
Unterschiedliche Faktorpreise für zwei Gruppen von Unternehmen, ohne Veränderung der Faktorpreise über die Zeit (Szenario 3)	✓	✓	✓
Gleiche Faktorpreise für alle Unternehmen ohne Veränderung der Faktorpreise über die Zeit und allokativ Ineffizienz (konstant über die Zeit) (Szenario 4)	✓	✓	✓
Gleiche Faktorpreise für alle Unternehmen ohne Veränderung der Faktorpreise über die Zeit und allokativ Ineffizienz (Veränderung über die Zeit) (Szenarien 4 a/b)	X	✓	X
2 Gruppen mit unterschiedlichen Faktorpreisen und Veränderung eines Faktorpreises für eine Gruppe sowie konstante allokativ Ineffizienz (Szenario 5)	✓	✓	✓
2 Gruppen mit unterschiedlichen Faktorpreisen und Veränderung aller Faktorpreise für eine Gruppe sowie konstante allokativ Ineffizienz (Szenario 6)	✓	✓	X

*Falls eine Veränderung der allokativ Ineffizienz über die Zeit vorliegt kann der TOTEX-Malmquist falsche Resultate liefern. Falls sich die Faktorpreise für unterschiedliche Unternehmensgruppen unterschiedlich entwickeln, liefert der TOTEX-Malmquist ebenfalls falsche Resultate. Die nominale TOTEX-Verschiebung ( $TCC^{NOM}$ ) entspricht in diesen Fällen nicht der effizienten Kostenverschiebung (ECC). Diese Fälle sind in der Tabelle mit „X“ markiert.*

Quelle: Polynomics / Jacobs University

## 6 Malmquist- versus Regressionsmethoden

### 6.1 Einleitung

In Abschnitt 5 wurde der Einfluss der Faktorpreise auf die Bestimmung des technologischen Fortschritts und der effizienten Kostenverschiebung mittels der drei Malmquist-Methoden (Produktions-Malmquist, Kosten-Malmquist und TOTEX-Malmquist) untersucht. Abschnitt 6 vergleicht nun die Malmquist-Methode mit anwendbaren Regressionsmethoden. Dabei wird untersucht, ob die Regressionsmethoden SFA/OLS oder die im Produktions-Malmquist verwendete DEA besser in der Lage sind, den technologischen Fortschritt (TC) zu messen. In Abschnitt 6.2 wird kurz auf die grundsätzliche Funktionsweise der DEA und der SFA/OLS eingegangen. Hier wird nun anhand ausgewählter Szenarien ihre Eignung zur Bestimmung des technologischen Fortschritts mittels Monte-Carlo-Simulationen untersucht. Folgende Szenarien werden betrachtet:

- **Szenario 7:** Unterschied zwischen der Malmquist-Methode auf Basis von SFA-Effizienzwerten und der OLS (Abschnitt 6.4).
- **Szenario 8:** Der Einfluss von Messfehlern in den Daten bei der Malmquist-Methode auf Basis von DEA-Effizienzwerten und der OLS (Abschnitt 6.5).
- **Szenarien 9:** Der Einfluss im Datensatz fehlender Unternehmen, welche den technologischen Fortschritt definieren. Dabei wird unterschieden, ob die übrigen Unternehmen ihre Ineffizienz über die Zeit abbauen oder nicht abbauen (Abschnitt 6.6).
- **Szenario 10:** Der Einfluss einer Veränderung der Datendefinition zwischen der ersten und zweiten Periode (Abschnitt 6.7).
- **Szenario 11:** Der Einfluss einer Veränderung der Stichprobe zwischen der ersten und zweiten Periode (Abschnitt 6.8).
- **Szenario 12:** In diesem Szenario werden verschiedene Effekte, welche vermutlich in den, der Bundesnetzagentur vorliegenden Daten auch zu finden sein dürften, miteinander kombiniert (Abschnitt 6.9).

### 6.2 Methodenbeschreibung

Im Folgenden wird kurz die Vorgehensweise bei der DEA und der SFA beschrieben. Beide Methoden werden in der aktuellen Version der ARegV als die beiden Benchmarkingmethoden festgelegt, welche seitens der Bundesnetzagentur zu verwenden sind. Eine generelle Beschreibung der Vor- und Nachteile dieser beiden Methoden bei der Effizienzwertbestimmung findet sich in Plaut Economics (2006). Es werden beide Methoden für die Bestimmung des technologischen Fortschritts angewandt. Die Einzeleffizienzwerte fließen bei der Malmquist-Methode in die Berechnung des sektoralen technologischen Fortschritts mit ein. Ziel dieser Simulation ist es jedoch nicht aufzuzeigen, in wie fern die einzelnen Effizienzwerte richtig berechnet sind, sondern nur ob auf Basis der berechneten Effizienzwerte der technische Fortschritt (TC) richtig bestimmt werden kann.

#### 6.2.1 DEA

Die DEA löst ein lineares Optimierungsproblem, lässt jedoch keine Messfehler zu. Es kann zwischen einer Produktions- und einer Kosten-DEA unterschieden werden. In der Produktions-DEA wird die effiziente technologische Grenze bestimmt. In der Kosten-DEA wird die Ver-

schiebung der effizienten Kosten dargestellt. Der zentrale Unterschied zwischen diesen beiden Ansätzen ist, dass die Kosten-DEA zusätzlich zu den Input- und Outputmengen auch die Faktorpreise berücksichtigt und damit die allokativen Effizienz bestimmen kann. Für einen detaillierteren Hintergrund zur DEA vgl. Coelli (2005, S. 163 für die Produktions-DEA und S. 184 für Kosten-DEA).

In diesem Abschnitt wird die Produktions-DEA zur Bestimmung des technologischen Fortschritts verwendet. Das lineare Optimierungsproblem der Produktions-DEA bestimmt, in welchem Ausmaß der tatsächliche Faktoreinsatz reduziert werden könnte, so dass das Unternehmen immer noch denselben Output herstellt (inputorientierte DEA). Die zur Verfügung stehenden Produktionsmöglichkeiten werden dabei durch die Input-Output-Mengen aller Unternehmen im Datensatz bestimmt. Befindet sich ein Unternehmen auf der effizienten Grenze, dann kann der Faktoreinsatz nicht weiter reduziert werden und der Effizienzwert nimmt den Wert 1 an. Für Unternehmen, welche nicht auf der effizienten Grenze produzieren, könnte der Faktoreinsatz reduziert werden, so dass ein Effizienzwert kleiner als 1 resultiert.

### 6.2.2 SFA

Im Gegensatz zur DEA unterstellt die SFA eine parametrische Form der Kostenfunktion (bzw. Produktionsfunktion) und nimmt an, dass die Kosten der einzelnen Unternehmen durch deterministische Faktoren wie Outputmengen, Inputmengen und Faktorpreise sowie durch die beiden stochastischen Elemente Messfehler ( $v_i$ ) und firmenspezifische Ineffizienz ( $u_i$ ) bestimmt werden. Die SFA trifft Annahmen über die Art der Verteilung dieser beiden stochastischen Komponenten.

Die SFA-Schätzgleichung für die Cobb-Douglas-Produktionsfunktion lautet

$$\ln(y_i) = \beta_A \ln(A) + \beta_K \ln(K_i) + \beta_L \ln(L_i) + v_i + u_i. \quad (25)$$

Der logarithmierte Output ist eine lineare Funktion der logarithmierten Inputs, des Störterms  $v_i$  und des Ineffizienzterms  $u_i$ . Da jedoch die Menge der eingesetzten Produktionsfaktoren (Inputs) von den Unternehmen in Abhängigkeit der Faktorpreise und der firmenspezifischen Ineffizienz optimal gewählt werden, handelt es sich bei den Inputmengen um endogene Größen. Dies führt dazu, dass Kapital und Arbeit in den von uns gewählten Szenarien teilweise hoch korreliert sind (vgl. z. B. Abbildung 13) und somit eine korrekte Bestimmung der Parameter der Produktionsfunktion erschwert

Aus diesem Grund wird auf die Schätzung der Produktionsfunktion verzichtet und es findet eine Konzentration auf die ökonometrische Bestimmung der Kostenfunktion statt. Da diese das Ergebnis der unternehmerischen Kostenoptimierung ist, hängt die Kostenfunktion lediglich von exogenen Faktoren ab. Berücksichtigt man die Faktorpreise explizit als erklärende Faktoren (anders als im bisherigen Vorgehen der Bundesnetzagentur, bei der die Faktorpreise unbekannt sind) so lautet die SFA-Schätzgleichung für die Cobb-Douglas-Kostenfunktion:

$$\ln(C_i) = \alpha + \beta_K \ln(w_{K,i}) + \beta_L \ln(w_{L,i}) + \beta_Y \ln(y_i) + v_i + u_i. \quad (26)$$

Mittels SFA werden einerseits die Koeffizienten  $\alpha$ ,  $\beta_L$  und  $\beta_K$  bestimmt. Mit den konkreten Annahmen über die Verteilung der stochastischen Komponente ( $v_i$ ) und die Verteilung des Ineffizienzterms ( $u_i$ ) können die Abweichung der firmenspezifischen Kosten von der Kostengrenze in eine firmenspezifische Zufallskomponente und eine firmenspezifische Ineffizienz zerlegt werden.



Gegenüber der DEA hat die SFA den Nachteil, dass konkrete Annahmen über Verteilungen und parametrische Form der Kostenfunktion getroffen werden müssen. Anders als die DEA berücksichtigt sie hingegen über den Störterm explizit die Möglichkeit, dass die Daten aufgrund von Messfehlern oder anderen zufälligen Einflüssen verunreinigt sein können. Grundsätzlich wäre es möglich, einen Malmquist-Index in analoger Weise zu Kapitel 6.2.1 auf Basis der Effizienzwerte aus der SFA-Methode zu berechnen. Da die SFA eine konkrete Parametrisierung der Kostenfunktion vornimmt, kann in einem Paneldatensatz auch der Einfluss der Zeit auf die Kosten direkt berücksichtigt werden (Coelli, 2005). Im einfachsten Fall von zwei Perioden und einem Hicks-neutralen technologischen Fortschritt wird dazu ein Zeit-Dummy ( $t$ ) eingefügt. Dieser nimmt den Wert 1 an, falls die Beobachtung zu Periode 1 gehört, ansonsten nimmt er den Wert 0 an. Der geschätzte Koeffizient dieses Zeit-Dummys gibt an, wie sich die effizienten Kosten von Periode 0 zu 1 verändert haben. Die Schätzgleichung ist dann für den Cobb-Douglas-Fall gegeben durch

$$\ln(C_{i,t}) = \alpha + \delta \cdot t + \beta_K \ln(w_{K,i,t}) + \beta_L \ln(w_{L,i,t}) + \beta_Y \ln(y_{i,t}) + v_{i,t} + u_{i,t} \quad (27)$$

gegeben. Aufgrund der logarithmierten Form kann der technische Fortschritt aus dem geschätzten Koeffizienten  $\delta$  als  $e^{-\delta}$  berechnet werden. Vereinfacht ausgedrückt: In einer Regression kann der technische Fortschritt direkt bestimmt werden. Es handelt sich hierbei um den verbleibenden Zeittrend in den Kosten, der nicht durch eine Veränderung der Inputpreise oder des Outputs erklärt wird.

Für die Untersuchungen besteht lediglich Interesse an der Messung des technologischen Fortschritts (Frontier-Shift). Die Bestimmung der Einzeleffizienzwerte ist für die direkte Methode zur Bestimmung des technischen Fortschritts irrelevant. Deshalb kann bei der direkten Methode anstelle einer SFA der Kleinstquadrateschätzer (OLS) eingesetzt werden. Dieser liefert zwar keine Einzeleffizienzwerte, ist aber in der Lage, den Schätzkoeffizienten für den Zeit-Dummy  $t$  und damit den Frontier-Shift  $e^{-\delta}$  zu bestimmen. Die SFA ist der OLS überlegen, falls die getroffenen Verteilungsannahmen bezüglich  $u_i$  und  $v_i$  tatsächlich korrekt sind. In diesem Fall ist die SFA ein effizienterer Schätzer als die OLS. Die OLS hingegen ist robuster: Sie unterstellt keine Annahmen über die stochastischen Komponenten und liefert, abgesehen von der Konstante, unverzerrte Schätzer (Coelli, 2005). Im Folgenden findet eine Fokussierung auf den Einsatz von regressionsbasierten Ansätzen auf mit der Methode der OLS statt.

### 6.3 Basisdatensatz und Monte-Carlo-Simulation

Gemäß obigen Ausführungen verbleiben drei zu vergleichende Methoden: Die OLS-Methode und der mittels DEA bzw. SFA berechnete Malmquist-Index (DEA-Malmquist). Damit systematisch untersucht werden kann, wie sich unterschiedliche Datenkonstellationen auf die Resultate dieser Methoden auswirken, werden für jedes der folgenden Szenarien Monte-Carlo-Simulationen durchgeführt. Als Grunddatensatz verwenden wir den Datensatz aus Szenario 5 (vgl. Abschnitt 5.7). Dieser Datensatz unterstellt technische Ineffizienz, allokativen Ineffizienz und unterschiedliche Faktorpreise für einzelne Unternehmen. Da sowohl die Faktorpreise als auch die allokativen Ineffizienz über die Zeit konstant bleiben, ergeben sich daher nicht die in Szenario 4 (a/b) sowie in Szenario 6 beschriebenen Verzerrungen. Sowohl der DEA-Produktions-Malmquist als auch die Kostenregression sollten daher im Grundsatz in der Lage sein, die technische Effizienz zu bestimmen.

In den folgenden Szenarien untersuchen wir Abweichungen von diesem Grunddatensatz, welche sich auf die Datenstruktur beziehen. Dazu simulieren wir für jedes Szenario 1'000 Realisationen

der stochastischen Elemente (technische und alloкатive Ineffizienz und, falls vorhanden, Messfehler) und berechnen für jede Simulationsrunde den TC (Frontier-Shift) gemäß OLS und den TC gemäß DEA-oder SFA-Malmquist. In den Tabellen und Grafiken beschreiben wir die Verteilung dieser 1000 Simulationsrunden.

## 6.4 Szenario 7: SFA-Malmquist-Index

### Szenariobeschreibung

Im Abschnitt 5 haben wir die verschiedenen Faktorpreisszenarien beispielhaft auf Basis der Malmquist-Methode untersucht. Dabei haben wir die entsprechenden Effizienzwerte auf Basis der DEA ermittelt. Grundsätzlich kann dies auch auf Basis der SFA geschehen. Das folgende Szenario basiert auf dem Datensatz, wie wir ihn für das Szenario 5 definiert haben (vgl. auch Abschnitt 5.7).

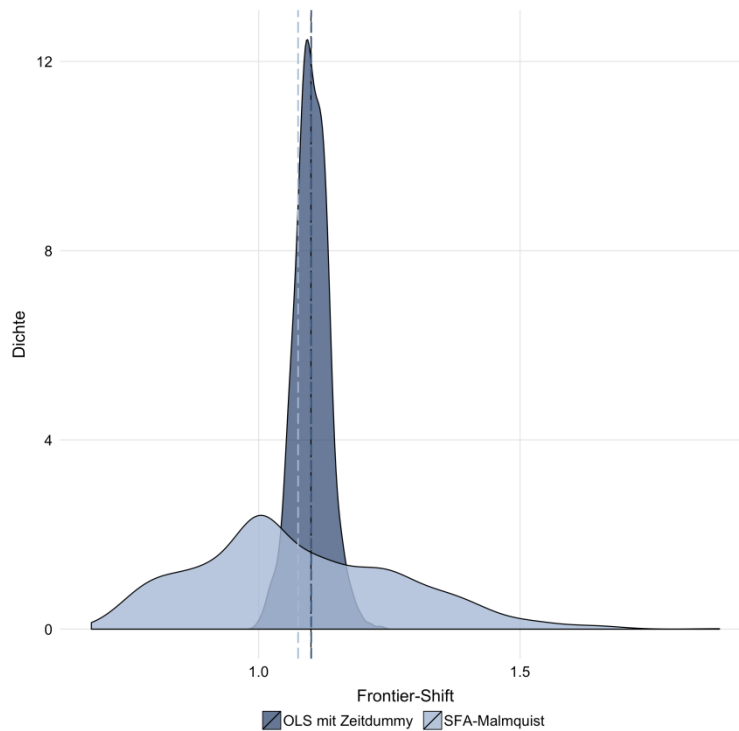
Auf dieser Basis wird zuerst der technologische Fortschritt (TC) mittels Produktions-Malmquist unter Verwendung von SFA-Effizienzwerten berechnet. Diesen Ergebnissen wird der durch eine OLS-Schätzung direkt ermittelte reale sektorale technologische Fortschritt gegenübergestellt. In diesem Fall wird der technologische Fortschritt direkt auf Basis einer Regressionsanalyse bestimmt. Hierzu wird in der Regressionsschätzung ein entsprechender Zeit-Dummy berücksichtigt.

### Ergebnisse

In den Malmquist-Index fließen pro Unternehmen vier Effizienzwerte ein. Dies sind einerseits die beiden Effizienzwerte, welche ein Unternehmen in den beiden betrachteten Zeitpunkten erreicht hat. Dazu kommen die „Kreuzeffizienzwerte“: Der Effizienzwert, den ein Unternehmen hätte, würde sie mit den Kosten der Periode 0 an den effizienten Kosten der Periode 1 gemessen, sowie der Effizienzwert, den das Unternehmen hätte, würde sie mit den Kosten der Periode 1 an den effizienten Kosten der Periode 0 gemessen. Das Problem bei diesem Vorgehen ist, dass die stochastische Komponente nicht konstant gehalten, sondern für die Kreuzeffizienzwerte neu aus dem Residuum zerlegt wird. Damit wird ein Teil des Frontier-Shifts einer Veränderung der stochastischen Komponente zugeordnet. Dieses Problem tritt weder bei der Malmquist-Methode mit DEA-Effizienzwerten auf (keine Stochastik) noch bei der OLS-Methode (keine Effizienzwerte als Basis).

Je geringer das Ausmaß der Messfehler relativ zum Ausmaß der Ineffizienz, umso genauer kann mit den Einzeleffizienzwerten via Malmquist-Index der Frontier-Shift gemessen werden. In jedem Fall ist jedoch die direkte Schätzung des Frontier-Shifts mittels einer Zeit-Dummy-Variablen dem SFA-Malmquist überlegen. Abbildung 6 illustriert diese Aussage. Sie zeigt die Verteilung des mittels OLS bzw. SFA-Malmquist gemessenen realen sektoralen technologischen Fortschritts: Es ist deutlich ersichtlich, dass die Streuung bei der SFA-Malmquist-Methode im Vergleich zur OLS-Methode sehr hoch ausfällt. Der Erwartungswert der OLS-Methode trifft den wahren Frontier-Shift von 1.1 (10%) viel genauer (die dunkelblaue und schwarze gestrichelte vertikale Linie liegen übereinander). Der Erwartungswert der SFA-Malmquist-Methode liegt hingegen unter dem wahren Frontier-Shift.

**Abbildung 6** Verteilung des Frontier-Shifts (TC) für SFA-Malmquist und OLS mit Zeit-Dummy



Die Abbildung beschreibt die Verteilungen des geschätzten realen sektoralen technologischen Fortschritts (TC) für die beiden Methoden SFA-Malmquist und OLS-Zeit-Dummy. Dabei haben wir angenommen, dass die Varianz des Messfehlers der Varianz des Ineffizienzterms entspricht. Der SFA-Malmquist unterschätzt den wahren Frontier Shift und weist eine deutlich größere Varianz auf, als der mittels OLS-Zeit-Dummy ermittelte TC.

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

Tabelle 14 verdeutlicht, dass die SFA-Malmquist-Methode aufgrund zweier Aspekte schlechtere Ergebnisse liefert als die direkte Schätzung mittels einer OLS-Regression: Zum einen liegt der Mittelwert unter dem wahren Frontier-Shift, was auch durch den negativen Bias zum Ausdruck kommt und zum anderen ist die Standardabweichung extrem groß. Sie führt zu einem 95%-Vertrauensintervall für den realen technologischen Fortschritt von rund -32% (0.6789) bis zu rund +46% (1.4555). Die OLS-Methode liefert im Mittelwert den korrekten technologischen Fortschritt in der Höhe von 10% und dies mit einem vergleichsweise engen Vertrauensintervall von +4% bis +16%.

**Tabelle 14 Ergebnis von Szenario 7**

Method	Mittelwert	Standard-Abweichung	95% Vertrauensintervall	Bias	MSE
Vorgabe	1.1000				
OLS-Dummy	1.1006	0.0313	1.0393, 1.1619	0.0006	0.0010
SFA-Malmquist	1.0672	0.1981	0.6789, 1.4555	-0.0328	0.0403

*Die OLS-Methode ist erwartungstreu und weist keine systematische Verzerrung auf. Der SFA-Malmquist hingegen unterschätzt den wahren Frontier-Shift systematisch und weist ein großes Vertrauensintervall auf. Der MSE des SFA-Malmquist ist rund 40-mal so groß, wie der MSE der OLS-Methode.*

*Bias = mittlere Abweichung vom wahren Wert;*

*MSE = mittlere quadrierte Abweichung vom wahren Wert. Je grösser der MSE, desto stärker schwanken die Abweichungen vom wahren Wert.*

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

## 6.5 Szenario 8: Der Einfluss von Messfehlern

### Szenariobeschreibung

Da die SFA-Malmquist Methode bereits in einem Szenario, welches an sich ideal für eine Malmquist-Analyse ist, aufgrund der hohen Verzerrung (Bias) und der breiten Streuung keine verlässlichen Ergebnisse erzielt, wird der SFA-Malmquist in der weiteren Analyse nicht mehr berücksichtigt. Damit verbleibt die DEA als Methode zur Bestimmung der im Malmquist-Index benötigten Einzeleffizienzwerte.

Im Gegensatz zur DEA berücksichtigen regressionsbasierte Methoden wie die OLS Messfehler. Dies lässt vermuten, dass die OLS besser für die Bestimmung des Frontier-Shifts geeignet ist, falls mit Messfehlern oder anderen zufälligen Verunreinigungen in den Daten zu rechnen ist. Wir illustrieren diese Vermutung anhand zweier Datensätze: Einen mit Messfehler und einen ohne Messfehler.

### Ergebnisse für Szenario ohne Messfehler

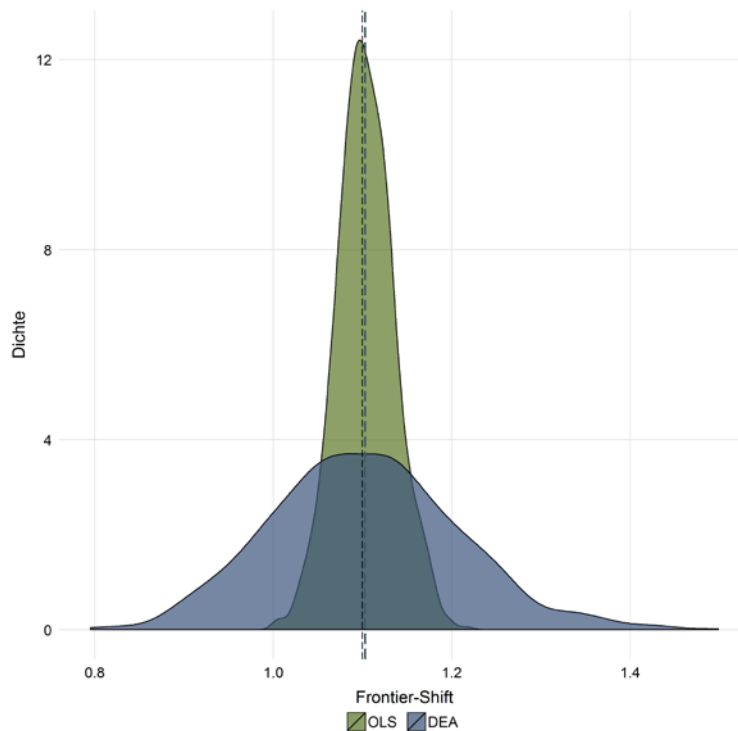
Sowohl OLS als auch DEA liefern präzise Schätzer mit vergleichbarem Vertrauensintervall. Der wahre reale sektorale technologische Fortschritt (TC) von 1.1 (10%) wird relativ genau getroffen: die Vertrauensintervalle decken den Bereich von 8% bis 11% ab (vgl. Tabelle 15). Auch ohne Messfehler enthält der Datensatz aufgrund der unternehmensspezifischen Ineffizienz ein stochastisches Element. Aus diesem Grund weisen die Resultate auch für den Fall ohne Messfehler eine gewisse Streuung auf.

### Ergebnisse für Szenario mit Messfehler

Abbildung 7 zeigt die Verteilung für den Fall, dass die Daten durch einen Messfehler verunreinigt sind. Es wird angenommen, dass die Varianz des Störterms der Varianz des Ineffizienzterms entspricht. Abbildung 7 zeigt eine deutlich breitere Streuung des ermittelten technologischen Fortschritts (TC) aus der DEA gegenüber derjenigen aus der OLS-Methode. Bei der DEA liegt das 95%-Vertrauensintervall des Frontier-Shifts von -10% bis 30% (vgl. wiederum Tabelle 15). Bei einem wahren Frontier-Shift von 10% ist dies klar ungenügend. Die Ergebnisse der

DEA sind in diesem Fall nicht zuverlässig. Aufgrund des breiten Vertrauensintervalls kann dieser Wert beträchtlich vom wahren Wert abweichen.

**Abbildung 7** Verteilung des Frontier-Shifts (TC) falls der Datensatz Messfehler enthält



Die Abbildung zeigt die Verteilungen des geschätzten Frontier-Shifts für die beiden Methoden DEA (Produktions-Malmquist) und OLS-Zeit-Dummy für den Fall, dass die Daten Messfehler beinhalten. Dabei wird angenommen, dass die Varianz des Messfehlers der Varianz des Ineffizienzterms entspricht. Beide Methoden treffen im Mittel den wahren Frontier-Shift von 1.1. Die DEA weist aber eine wesentlich höhere Varianz auf, als die OLS-Methode.

Quelle: Polynomcis / Jacobs University.

Auch die OLS-Methode liefert im Vergleich zum Fall ohne Messfehler ein breiteres Vertrauensintervall, wenn Messfehler vorliegen. Im Vergleich zur DEA fällt die Verbreiterung des Vertrauensintervalls aber wesentlich moderater aus. Das 95%-Vertrauensintervall deckt Frontier-Shifts von 4% bis 16% ab. Die abgebildeten Vertrauensintervalle sind mittels Monte-Carlo-Simulationen berechnet worden.

Da Regressionsmethoden explizit Messfehler berücksichtigen, ist es wenig erstaunlich, dass die OLS besser mit zufälligen Datenverunreinigungen umgehen kann, als die DEA. Die Analyse in diesem Kapitel deutet darauf hin, dass die DEA in einem solchen Datenumfeld keine zuverlässigen Werte liefert.

**Tabelle 15 Ergebnisse für den Frontier-Shift (TC) basierend auf Daten mit und ohne Messfehlern**

Messfehler?	Methode	Mittelwert	Standardabweichung	95% Vertrauensintervall	Bias	MSE
	Vorgabe	1.1000				
Nein	OLS-Dummy	1.1001	0.0045	1.0913, 1.1089	0.0001	0.0000
Nein	DEA-Malmquist	1.1000	0.0034	1.0933, 1.1067	0.0000	0.0000
Ja	OLS-Dummy <sup>1)</sup>	1.1032	0.0323	1.0399, 1.1665	0.0032	0.0011
Ja	DEA-Malmquist	1.1027	0.1049	0.8971, 1.3083	0.0027	0.0110

<sup>1)</sup> Die Zahlen unterscheiden sich aufgrund neuer Realisationen der Zufallszahlen von den Zahlen in Tabelle 14.

Die Tabelle zeigt den mittels DEA bzw. OLS ermittelten TC und unterscheidet zwischen einem Datensatz mit Messfehlern und einem Datensatz ohne Messfehler. Für den Datensatz mit Messfehlern nehmen wir an, dass die Varianz des Messfehlers der Varianz des Ineffizienzterms entspricht. Ohne Messfehler liefern beide Methoden vergleichbare Resultate. Mit Messfehler ist die Varianz der DEA jedoch wesentlich grösser als die Varianz der OLS.

Bias = mittlere Abweichung vom wahren Wert;

MSE = mittlere quadrierte Abweichung vom wahren Wert. Je grösser der MSE, desto stärker schwanken die Abweichungen vom wahren Wert.

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

## 6.6 Szenario 9: Technologiegrenze mit/ohne effiziente Unternehmen und mit/ohne Aufholeffekte der übrigen Unternehmen

Für die Analyse der bisherigen Szenarien wurde unterstellt, dass es in jeder Periode effiziente Unternehmen im Datensatz gibt. Dadurch war es potenziell möglich, die wahre Technologiegrenze und deren Verschiebung zu messen. In der Realität ist es jedoch nicht klar, ob es tatsächlich Unternehmen gibt, welche bereits auf der effizienten Grenze produzieren. So berücksichtigt beispielsweise die Bundesnetzagentur BNetzA in ihren Effizienzvergleichen nur diejenigen Unternehmen, welche eine gewisse Größe überschreiten und somit dem regulären Verfahren zugeordnet werden. Somit könnte der Fall eintreten, dass die Technologiegrenze von den Unternehmen definiert wird, die gar nicht Teil des Effizienzvergleichs der Bundesnetzagentur sind. Dieses Problem ist aus der Literatur zur DEA unter dem Begriff der expliziten Konsistenzbedingung bekannt, wonach die DEA umso verzerrter ist, je weiter die ermittelte von der wahren Technologiemenge abweicht (Steinmann, 2002).

In diesem Szenario wird die Auswirkung auf die Ergebnisse untersucht, wenn kein Unternehmen effizient produziert. Da die wahre Technologiegrenze aus diesen Daten nicht identifiziert werden kann, sind die Einzeleffizienzwerte verzerrt. Die Grenze wird durch die effizientesten Unternehmen im Datensatz aufgespannt. Diese sind aber selbst tatsächlich ineffizient. Es wird unterstellt, dass sämtliche Unternehmen mindestens 5% ineffizient sind. Dadurch werden die Einzeleffizienzwerte gegenüber den tatsächlichen Effizienzwerten überschätzt sein. Für die Bestimmung des Frontier-Shifts (hier TC) besteht jedoch kein Interesse an den Einzeleffizienzwerten, sondern an deren Veränderung über die Zeit. Es ist daher möglich, dass selbst bei verzerrten Einzeleffizienzwerten der technologische Fortschritt noch korrekt identifiziert werden kann.

Zusätzlich wird die Auswirkung des Aufholeffektes untersucht. Es kommt dann zu einem Aufholeffekt, wenn die Unternehmen ihre Ineffizienz zwischen den beiden Perioden abbauen. Dieser Fall soll eine erfolgreiche Anreizregulierung simulieren: Die Unternehmen sahen sich gezwungen, nach der ersten Periode ihre Ineffizienz abzubauen und zu den besten Vergleichsunternehmen aufzuholen.

Damit die beiden Effekte systematisch analysiert werden können, werden vier Fälle unterschieden:

- **Fall 1:** Es gibt einige effiziente Unternehmen im Datensatz, für die anderen Unternehmen verändern sich die Effizienzwerte jedoch nicht über die Zeit,
- **Fall 2:** Es gibt einige effiziente Unternehmen im Datensatz, die anderen Unternehmen bauen die Ineffizienz über die Zeit ab,
- **Fall 3:** Es gibt keine effizienten Unternehmen im Datensatz. Für alle Unternehmen bleiben die Effizienzwerte über die Zeit konstant und
- **Fall 4:** Es gibt keine effizienten Unternehmen im Datensatz. Alle Unternehmen bauen die Ineffizienz über die Zeit ab.

Die vier Fälle sind in Tabelle 16 schematisch dargestellt. Im Folgenden werden die Ergebnisse zu diesen vier Fällen präsentiert. Abbildung 8 fasst die Ergebnisse in Form der Verteilungen des mittels OLS bzw. DEA-Malmquist geschätzten technologischen Fortschritts zusammen.

**Tabelle 16** Übersicht über die vier Fälle von Szenario 9

	Kein Aufholeffekt: Die Ineffizienz verändert sich nicht über die Zeit	Mit Aufholeffekt: Alle Unternehmen reduzieren ihre Ineffizienz um 20%
20% der Unternehmen sind effizient	Fall 1	Fall 2
Alle Unternehmen sind mindestens 5% ineffizient	Fall 3	Fall 4

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

### 6.6.1 Fall 1 – mit effizienten Unternehmen ohne Aufholeffekt

#### Szenariobeschreibung

Der Fall mit effizienten Unternehmen und keinem Aufholeffekt bildet die Vergleichsgrundlage und entspricht dem Szenario 8 ohne Messfehler aus Abschnitt 6.5. Die Ergebnisse sind in Tabelle 17 wiederholt. Beide Methoden können den wahren technologischen Fortschritt messen und liefern ähnliche Verteilungen.

#### Ergebnis

Sowohl die OLS-Methode als auch der DEA-Malmquist messen den korrekten realen technologischen Fortschritt (TC).

**Tabelle 17**      **Verteilungsinformationen zu Fall 1**  
(mit effizienten Unternehmen, ohne Aufholeffekt)

Methode	Mittelwert	Standard-Abweichung	95% Vertrauensintervall	Bias	MSE
Vorgabe	1.1000				
OLS-Dummy	1.1001	0.0045	1.0913, 1.1089	0.0001	0.0000
DEA-Malmquist	1.1000	0.0034	1.0933, 1.1067	0.0000	0.0000

*Die Tabelle wiederholt die Ergebnisse aus Tabelle 15. Sowohl die OLS- als auch die Malmquist-Methode messen den realen technologischen Fortschritt (TC) korrekt. Die Verteilungen sind fast deckungsgleich, die OLS hat jedoch ein geringfügig größeres Vertrauensintervall (vgl. auch Abbildung 8).*

*Bias = mittlere Abweichung vom wahren Wert;*

*MSE = mittlere quadrierte Abweichung vom wahren Wert. Je grösser der MSE, desto stärker schwanken die Abweichungen vom wahren Wert.*

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

## 6.6.2 Fall 2 – mit effizienten Unternehmen mit Aufholeffekt

### Szenariobeschreibung

In diesem Fall gibt es zwar weiterhin effiziente Unternehmen im Datensatz, die Ineffizienz wird jedoch über die Zeit abgebaut. Es kommt also zu einem Aufholeffekt. Konkret wird angenommen, dass sich die Ineffizienz jedes Unternehmens zwischen Periode 0 und 1 um 20% reduziert.

### Ergebnis

Die DEA-Malmquist-Methode bestimmt die effiziente Grenze anhand der effizientesten Unternehmen im Datensatz. Da diese Unternehmen auch tatsächlich effizient sind, bestimmt der DEA-Malmquist die korrekte effiziente Grenze in beiden Perioden und damit auch den korrekten realen technologischen Fortschritt. Die OLS-Methode ermittelt hingegen den technologischen Fortschritt aller Unternehmen aus den Veränderungen über die Zeit. Damit berücksichtigt sie fälschlicherweise auch einen Teil des Aufholeffekts (Abbau der Ineffizienz über die Zeit) zur Bestimmung des technologischen Fortschritts. Die OLS-Methode überschätzt damit den tatsächlichen Fortschritt. Tabelle 18 und Abbildung 8 veranschaulichen dieses Resultat.



**Tabelle 18 Verteilungsinformationen zu Fall 2  
(mit effizienten Unternehmen, mit Aufholeffekt)**

Methoden	Mittelwert	Standard-Abweichung	95% Vertrauensintervall	Bias	MSE
Vorgabe	1.1000				
OLS-Dummy	1.1285	0.0053	1.1181, 1.1389	0.0285	0.0008
DEA-Malmquist	1.1003	0.0033	1.0938, 1.1068	0.0003	0.0000

Die Tabelle zeigt, dass die OLS den tatsächlichen realen sektoralen technologischen Fortschritt systematisch überschätzt. Der Malmquist-Index misst hingegen den korrekten realen technologischen Fortschritt. Bias = mittlere Abweichung vom wahren Wert; MSE = mittlere quadrierte Abweichung vom wahren Wert. Je grösser der MSE, desto stärker schwanken die Abweichungen vom wahren Wert.

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

### 6.6.3 Fall 3 – ohne effiziente Unternehmen ohne Aufholeffekt

#### Szenariobeschreibung

In diesem Fall sind alle Unternehmen mindestens 5% ineffizient. Diese Ineffizienz verändert sich jedoch nicht von Periode 0 zu Periode 1, es kommt somit zu keinem Aufholeffekt. In diesem Szenario wird daher unterstellt, dass die Unternehmen zwar den technischen Fortschritt umsetzen, ihre Ineffizienzen jedoch beibehalten.

#### Ergebnisse

Wie in Fall 1 messen beide Methoden den korrekten realen technologischen Fortschritt. Wie Tabelle 19 zeigt, sind sowohl der DEA-Malmquist wie auch die OLS erwartungswerttreu und haben eine ähnliche Streuung. Der Ausschluss aller effizienten Unternehmen verzerrt demnach die Ergebnisse nicht.

**Tabelle 19 Verteilungsinformationen zu Fall 3  
(ohne effiziente Unternehmen, ohne Aufholeffekt)**

Methoden	Mittelwert	Standard-Abweichung	95% Vertrauensintervall	Bias	MSE
Vorgabe	1.1000				
OLS-Dummy	1.1001	0.0045	1.0913, 1.1089	0.0001	1.1089
DEA-Malmquist	1.0998	0.0049	1.0902, 1.1094	-0.0002	1.1094

Sowohl die OLS- als auch die Malmquist-Methode messen den technologischen Fortschritt (TC) korrekt. Die Verteilungen sind fast deckungsgleich. Dies veranschaulicht auch Abbildung 8, in der die beiden Verteilungen beinahe deckungsgleich sind.

Bias = mittlere Abweichung vom wahren Wert;

MSE = mittlere quadrierte Abweichung vom wahren Wert. Je grösser der MSE, desto stärker schwanken die Abweichungen vom wahren Wert.

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

#### 6.6.4 Fall 4 – ohne effiziente Unternehmen mit Aufholeffekt

##### Szenariobeschreibung

Auch in diesem Szenario sind sämtliche Unternehmen mindestens 5% ineffizient. Im Gegensatz zu Fall 3 reduzieren die Unternehmen ihre technische Ineffizienz von Periode 0 zu Periode 1 um 20%.

##### Ergebnisse

Die Ergebnisse in Tabelle 20 zeigen, dass der tatsächliche reale sektorale technologische Fortschritt (TC) von beiden Methoden systematisch überschätzt wird. Da der Datensatz keine effizienten Unternehmen enthält und alle Unternehmen ihre Ineffizienz über die Zeit abbauen, identifizieren sowohl DEA-Malmquist als auch OLS einen Teil dieses Aufholeffektes als technologischen Fortschritt. Da die OLS-Methode für die Bestimmung des technologischen Fortschritts sämtliche Unternehmensdaten verwendet, während die DEA-Malmquist-Methode dafür nur auf die effizientesten Unternehmen im Datensatz abstützt, weist die OLS-Methode eine stärkere Verzerrung auf.

Tabelle 20 und Abbildung 8 beschreiben die Verteilung für die beiden Methoden und veranschaulichen das Ausmaß der Verzerrung. Da die tatsächliche Technologie mit den zur Verfügung stehenden Daten nicht bestimmt werden kann, ist es unmöglich den korrekten TC zu identifizieren.

**Tabelle 20** Verteilungsinformationen zu Fall 4  
(ohne effiziente Unternehmen, mit Aufholeffekt)

Methode	Mittelwert	Standard-Abweichung	95% Vertrauensintervall	Bias	MSE
Vorgabe	1.1000				
OLS-Dummy	1.1434	0.0051	1.1334, 1.1533	0.0434	0.0019
DEA-Malmquist	1.1138	0.0048	1.1043, 1.1232	0.0138	0.0002

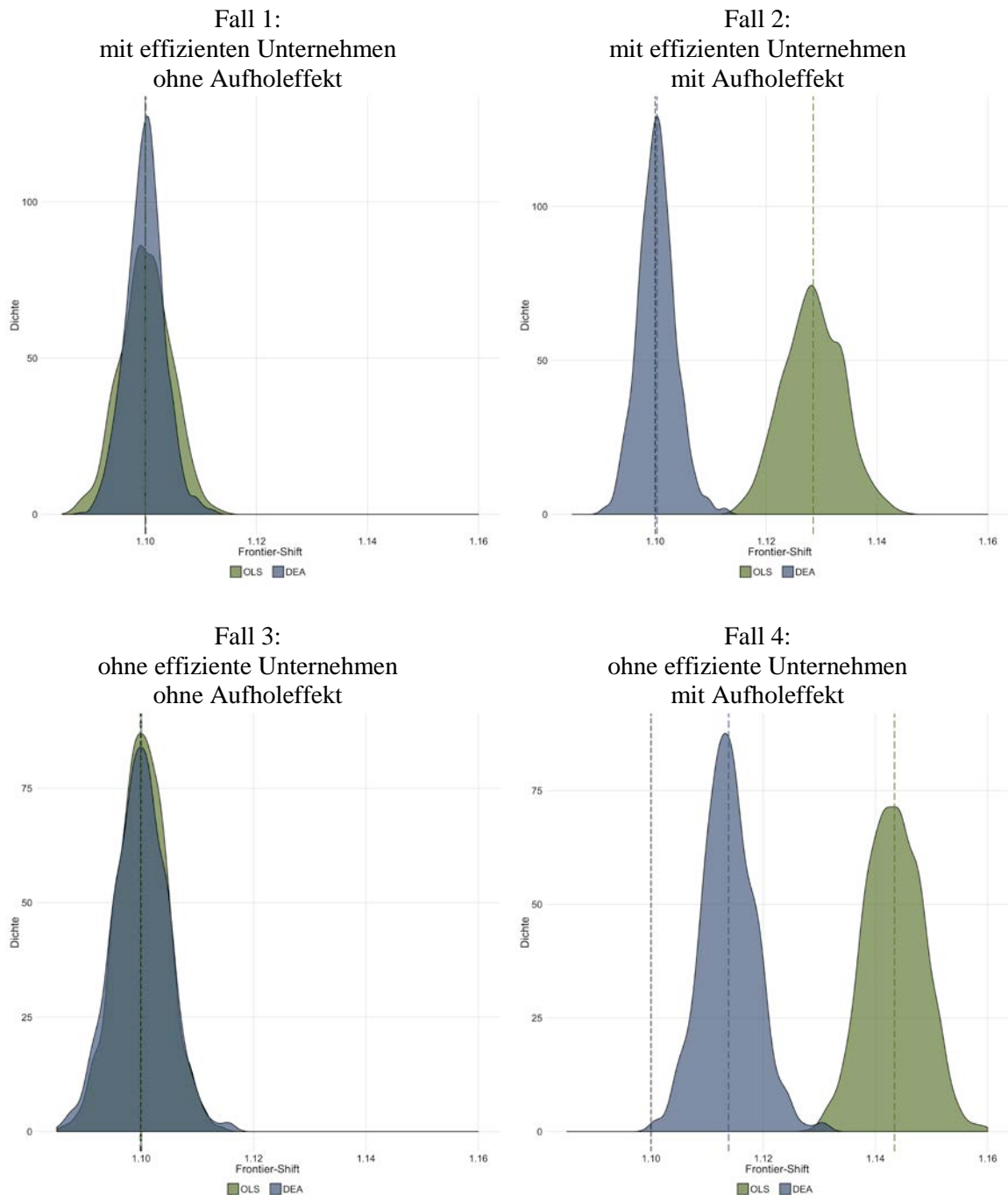
*Sowohl die OLS- als auch die Malmquist-Methode messen einen zu hohen realen technologischen Fortschritt (TC). Wie der Bias zeigt, überschätzt die OLS-Methode den wahren Wert deutlich stärker als die DEA-Malmquist-Methode.*

*Bias = mittlere Abweichung vom wahren Wert;*

*MSE = mittlere quadrierte Abweichung vom wahren Wert. Je grösser der MSE, desto stärker schwanken die Abweichungen vom wahren Wert.*

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

Abbildung 8 Verteilungen zu den vier Fälle von Szenario 9



Der tatsächliche technologische Fortschritt beträgt 1.1. Falls die Unternehmen ihre Ineffizienz über die Zeit nicht reduzieren (Fall 1 und 3), dann kann der technologische Fortschritt sowohl mittels Malmquist-Index (DEA) als auch mittels OLS korrekt gemessen werden. Falls die Unternehmen ihre Ineffizienz jedoch über die Zeit abbauen, liefern OLS und Malmquist-Index unterschiedliche Ergebnisse. Für den Fall, dass es effiziente Unternehmen im Datensatz gibt, misst der Malmquist-Index im Gegensatz zur OLS den korrekten technologischen Fortschritt (Fall 2). Ohne effiziente Unternehmen im Datensatz weisen beide Methoden einen zu hohen technologischen Fortschritt aus (Fall 4).

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

## 6.7 Szenario 10: Veränderung der Datendefinition

### Szenariobeschreibung

In der empirischen Umsetzung, wie beispielsweise im Kontext des Effizienzvergleichs in Deutschland, kann es zwischen den beiden Regulierungsperioden zu Änderungen in den Variablendefinitionen kommen. So wurden beispielsweise in der ersten Regulierungsperiode Strom Anschlusspunkte an Straßenlampen bei der Zählung der Anschlusspunkte nicht berücksichtigt. In der zweiten Regulierungsperiode hingegen schon. Damit hat sich der *gemessene* Output „Anschlusspunkte“ zwischen den beiden Regulierungsperioden erhöht, während sich – *ceteris paribus* – der tatsächlich von den Unternehmen produzierte Output „Anschlusspunkte“ nicht verändert hat. Dies kann bei der Messung des technologischen Fortschritts zu Verzerrungen führen.

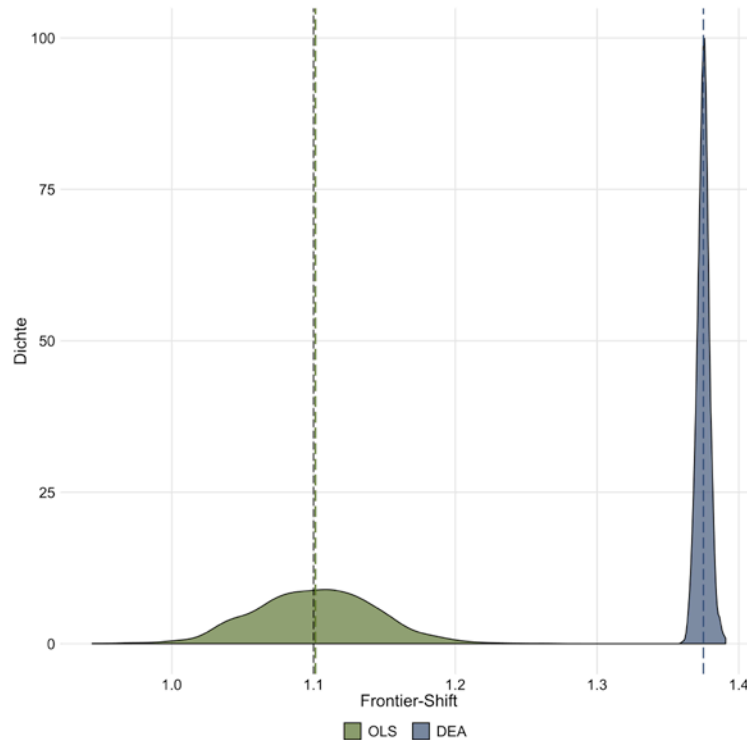
In der Simulation wird die Veränderung der Datendefinition dadurch abgebildet, dass der *gemessenen* Output  $y_0$  in Periode 0 im Vergleich zu Periode 1 um 20% verringert wird. Dies bringt zum Ausdruck, dass in Periode 0 die Straßenlampen nicht zu den Anschlusspunkten gezählt wurden.

### Ergebnisse

Der Malmquist-Index weist einen Frontier-Shift von 37.5% anstelle des korrekten Werts von 10% aus. Da der Output in Periode 0 um 20% niedriger gemessen wurde als in Periode 1, wird diese Outputerhöhung vom Malmquist-Index als technologischer Fortschritt gemessen. Da der Output auf 1 normiert wurde, führt ein 20% zu niedrig gemessener Output zu einem Output von 0.8 in Periode 0. In Periode 1 beträgt der nun korrekt gemessene und um den technologischen Fortschritt erhöhte Output 1.1. Dies hat somit ausgehend von einem gemessenen Outputniveau von 0.8 eine gemessene Outputerhöhung von 0.3 zur Folge, was in der Konsequenz einem gemessenen technologischen Fortschritt von 37.5% ( $0.3/0.8$ ) entspricht.

Die OLS-Methode vermag den technologischen Fortschritt nicht zuverlässig zu bestimmen. Die geänderte Datendefinition spiegelt sich im Messfehler wider, so dass der Zeit-Dummy unpräzise geschätzt wird. Denn sowohl die Änderung der Datendefinition als auch die Veränderung des technologischen Fortschritts finden zwischen den Perioden 0 und 1 statt und werden damit durch den Zeit-Dummy aufgefangen. Dies schlägt sich im breiten Vertrauensintervall der OLS-Methode in Abbildung 9 nieder.

**Abbildung 9** Verteilung des geschätzten Frontier-Shifts (TC) bei Änderung der Datendefinition



Die Abbildung zeigt die Verteilung des mittels Malmquist-Index (DEA) und OLS gemessenen Frontier-Shifts (TC). Das Szenario unterstellt, dass der Output in Periode 0 aufgrund einer falschen Datendefinition um 20% niedriger gemessen wurde, als er tatsächlich war. Die Abbildung zeigt deutlich, dass die DEA-Methode zu einer erheblichen Verzerrung führt. Der technologische Fortschritt wird mit ca. 38% anstelle der tatsächlichen 10% massiv überschätzt. Die OLS-Methode hingegen weist ein breites Vertrauensintervall und unzuverlässige Resultate auf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Definitionsänderung kollinear mit dem Zeit-Dummy ist.

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

**Tabelle 21** Ergebnisse zum Frontier-Shift (TC) bei Änderung der Datendefinition

Methode	Mittelwert	Standard-Abweichung	95% Vertrauensintervall	Bias	MSE
Vorgabe	1.1000				
OLS-Dummy	1.1014	0.0423	1.0184, 1.1843	0.0014	0.0018
DEA-Malmquist	1.3750	0.0043	1.3666, 1.3834	0.275	0.0756

Der DEA-Malmquist-Index führt zu einer massiven Überschätzung des korrekten Frontier-Shifts. Obwohl die OLS-Methode einen geringen Bias aufweist, liefert sie unzuverlässige Resultate, da der Datenfehler kollinear mit dem Zeit-Dummy ist.

Bias = mittlere Abweichung vom wahren Wert;

MSE = mittlere quadrierte Abweichung vom wahren Wert. Je grösser der MSE, desto stärker schwanken die Abweichungen vom wahren Wert.

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

## 6.8 Szenario 11: Analyse Einfluss der Stichprobe

### Szenariobeschreibung

Eine weitere Herausforderung bei der Bestimmung des technologischen Fortschritts ergibt sich bei einer Veränderung der Stichprobe zwischen Periode 0 und 1. Reale Datensätze können verschiedene Stichprobeneffekte aufweisen. Die Stichprobe kann einen Selektionseffekt aufweisen und beispielsweise systematisch Unternehmen einer bestimmten Größe vernachlässigen. Da reale Daten in der Regel durch Messfehler verunreinigt sind, wird oft eine Ausreißeranalyse durchgeführt. Dabei werden Unternehmen mit unplausiblen Werten von der Stichprobe ausgeschlossen. Zur Bestimmung des TC sind insbesondere diejenigen Stichprobeneffekte relevant, die sich über die Zeit verändern. Da sowohl in der SFA wie auch in der DEA die Ausreißeranalyse gemäß ARegV (Anlage 3 zu § 12) auf endogen bestimmten Größen bzw. Grenzwerten beruht, kann es beispielsweise sein, dass in der zweiten Periode gegenüber der ersten Periode systematisch effizientere Unternehmen durch eine Ausreißeranalyse ausgeschlossen werden und somit in der Stichprobe untervertreten sind. Weitere Gründe für Stichprobeneffekte sind beispielsweise auch Datenänderungen, Fusionen oder Abspaltungen von Unternehmen oder Selektionseffekte, indem bspw. wie in der deutschen Anreizregulierung die kleinen Unternehmen in der Stichprobe untervertreten sind.

Dieses Szenario untersucht die Auswirkung solcher Stichprobeneffekte. Dazu wird in Periode 1 systematisch 40% aller effizienten Unternehmen aus der Stichprobe ausgeschlossen. Die im Datensatz verbleibenden Unternehmen verändern ihre Effizienz zwischen Periode 0 und 1 nicht.

### Ergebnisse

Das Szenario führt dazu, dass die Effizienzgrenze weniger genau erfasst und der technologische Fortschritt systematisch unterschätzt wird. Abbildung 10 zeigt, dass sowohl der Malmquist-Index auf Basis der DEA-Effizienzwerte (1.097) als auch die OLS-Methode (1.088) den TC im Erwartungswert leicht unterschätzen. Wie bereits in Szenario 9 (keine effizienten Unternehmen, mit Aufholeffekt über die Zeit; vgl. Abschnitt 6.6) sind auch hier die Ergebnisse der OLS-Methode verzerrter als diejenigen des Malmquist mittels DEA: Die OLS-Methode unterschätzt den Frontier-Shift stärker.

**Tabelle 22 Ergebnisse zum Frontier-Shift (TC) bei einem systematischen Ausschluss effizienter Unternehmen in Periode 1**

Methode	Mittelwert	Standard-Abweichung	95% Vertrauensintervall	Bias	MSE
Vorgabe	1.1000				
OLS-Dummy	1.0875	0.0061	1.0755, 1.0995	-0.0125	0.0002
DEA-Malmquist	1.0970	0.0046	1.0880, 1.1060	-0.0030	0.0000

*Beide Methoden unterschätzen den tatsächlichen Frontier-Shift von 1.1, wobei jedoch die OLS-Methode zu einer ausgeprägteren Unterschätzung führt: Der wahre Wert liegt nicht im 95%-Vertrauensintervall.*

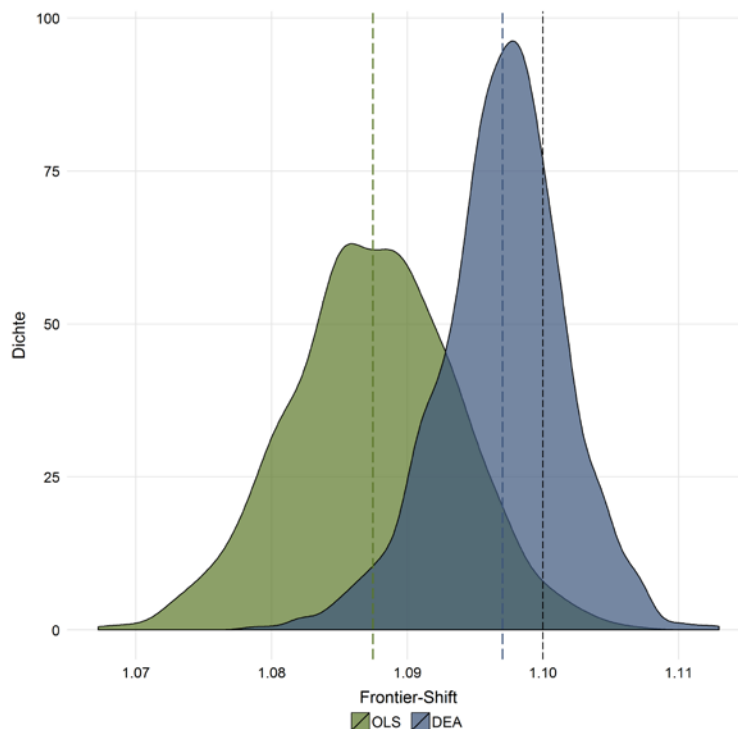
*Bias = mittlere Abweichung vom wahren Wert;*

*MSE = mittlere quadrierte Abweichung vom wahren Wert. Je grösser der MSE, desto stärker schwanken die Abweichungen vom wahren Wert.*

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

Bei diesen Ergebnissen ist zu beachten, dass sich diese Unterschätzung des vorgegebenen technologischen Fortschritts auch in eine Überschätzung kehren kann, wenn beispielsweise die Unternehmen in der Periode 0 ausgeschlossen werden. In jedem Fall ist das Ergebnis aber verzerrt.

**Abbildung 10 Verteilung des Frontier-Shifts (TC) bei einem systematischen Ausschluss effizienter Unternehmen in Periode 1**



Die Abbildung zeigt die Verteilung des mittels Malmquist (auf Basis von DEA-Effizienzwerten) und OLS ermittelten TC. Die Datenlage entspricht Szenario 5 jedoch unter Ausschluss eines Teils der effizienten Unternehmen in Periode 1. Der Ausschluss von 40% aller effizienten Unternehmen in Periode 1 führt zu einer verzerrten Schätzung des TC. Im Erwartungswert unterschätzen beide Methoden in diesem Beispiel den korrekten TC von 1.1 (10%), wobei die OLS-Methode den tatsächlichen TC stärker unterschätzt.

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

## 6.9 Szenario 12: Kombinierte Effekte

### Szenariobeschreibung

Das kombinierte Szenario basiert auf dem Datensatz des Szenario 5 (vgl. Abschnitt 5.7) und beinhaltet somit unterschiedliche Preise für den Faktor Arbeit und die gleiche Faktorpreisentwicklung für alle Unternehmen sowie allokativen Ineffizienz, die aber über die Zeit konstant bleibt. Zudem werden drei zusätzliche Effekte in den Daten berücksichtigt:

1. Der Datensatz enthält Messfehler (vgl. Szenario 8).
2. Der Datensatz enthält eine Reduktion der technischen Ineffizienz über die Zeit (vgl. Szenario 9, Fall 2).

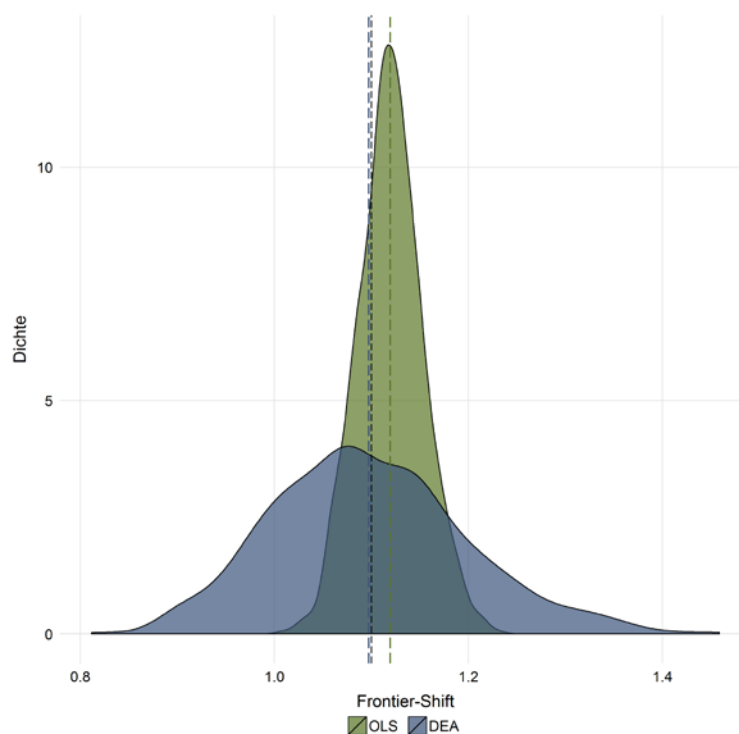
- Der Datensatz enthält einen Selektionseffekt (vgl. Szenario 11). Der Selektionseffekt unterstellt, dass in der zweiten Periode 40% der effizienten Unternehmen aus dem Datensatz ausgeschlossen werden.

### Ergebnisse

Die einzelnen Effekte wirken unterschiedlich auf die Güte von OLS und DEA-Malmquist. Szenario 8 hat gezeigt, dass der DEA-Malmquist schlecht mit Messfehlern umgehen kann, was zu einer Verbreiterung des Vertrauensintervalls führt. Dieser Effekt schlägt sich auch im kombinierten Szenario nieder: Das Vertrauensintervall der DEA-Malmquist-Methode ist deutlich grösser als dasjenige der OLS-Methode.

Den isolierten Effekt einer Reduktion der technischen Ineffizienz über die Zeit wurde in Fall 2 von Szenario 9 untersucht und festgestellt, dass die DEA-Malmquist-Methode besser damit umgeht als die OLS-Methode: Während die DEA-Malmquist-Methode den korrekten Frontier-Shift misst, generiert die OLS-Methode systematisch verzerrte Ergebnisse. Diese Verzerrung schlägt sich auch im kombinierten Szenario nieder, allerdings weniger ausgeprägt. Dies liegt an der gegenläufigen Verzerrung aufgrund des im Szenario definierten Selektionseffekts.

**Abbildung 11 Verteilung des Frontier-Shifts (TC) bei Vorliegen verschiedener Verzerrungsmöglichkeiten**



*Das gleichzeitige Vorliegen von Messfehlern, Selektionseffekten und einer Reduktion der technischen Ineffizienz über die Zeit führt zu einem ambivalenten Ergebnis. Die OLS-Methode weist eine deutlich geringere Streuung des geschätzten Frontier-Shifts (TC) auf als die DEA-Malmquist-Methode. Der geschätzte TC ist jedoch systematisch verzerrt.*

Quelle: Polynomics / Jacobs University.



In Szenario 11 wurde der Selektionseffekt isoliert betrachtet und festgestellt, dass beide Methoden den tatsächlichen Frontier-Shift systematisch verzerrt ermitteln, die OLS-Methode jedoch einen größeren Bias als die DEA Methode aufweist. Im kombinierten Szenario führt dies dazu, dass die systematische Überschätzung der OLS aufgrund des Abbaus der technischen Ineffizienz durch die systematische Unterschätzung aufgrund des Selektionseffektes kompensiert wird. Deshalb überschätzt die OLS den tatsächlichen Frontier-Shift im kombinierten Szenario nur leicht. Das Ausmaß der Über- respektive Unterschätzung hängt dabei vom gewählten Szenario ab. Auf alle Fälle resultieren verzerrte Ergebnisse in Bezug auf den technologischen Fortschritt.

Es gilt zu beachten, dass dieser Nettoeffekt auch deutlich grösser oder geringer ausfallen kann, je nachdem welcher der beiden Teileffekte in den Daten überwiegt und wie die Szenarien genau spezifiziert werden. Zugunsten der OLS-Methode spricht das deutlich geringere Vertrauensintervall (vgl. Abbildung 11). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die OLS-Methode im Gegensatz zur DEA-Malmquist-Methode explizit Messfehler berücksichtigt.

**Tabelle 23 Ergebnisse zum Frontier-Shift (TC) im Szenario 12**

Methode	Mittelwert	Standard-Abweichung	95% Vertrauensintervall	Bias	MSE
Vorgabe	1.1000				
OLS-Dummy	1.1194	0.0334	1.0539, 1.1849	0.0194	0.0015
DEA-Malmquist	1.0973	0.1003	0.9001, 1.2939	-0.0027	0.0101

*Die OLS-Methode weist einen größeren Bias (0.0194 gegenüber -0.0027) aber einen deutlich geringeren MSE (0.0015 gegenüber 0.0101) aus: Die OLS-Methode liefert zwar einen systematisch verzerrten Schätzer für den Frontier-Shift, weist jedoch ein deutlich geringeres Vertrauensintervall als die DEA-Malmquist-Methode auf.*

*Bias = mittlere Abweichung vom wahren Wert;*

*MSE = mittlere quadrierte Abweichung vom wahren Wert. Je grösser der MSE, desto stärker schwanken die Abweichungen vom wahren Wert.*

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

## 6.10 Fazit

Zur Berechnung des technologischen Fortschritts können auch stochastische Methoden wie die SFA eingesetzt werden. Dabei kann der Frontier-Shift entweder auf Basis von Einzeleffizienzwerten und der Verwendung der Malmquist-Methode oder direkt über einen Zeit-Dummy bestimmt werden. Dabei zeigt sich, dass die Bestimmung des realen sektoralen technologischen Fortschritts über den Zeit-Dummy auf Basis einer OLS-Regression zu deutlich genaueren und robusteren Ergebnissen als die Anwendung des SFA-Malmquist führt. Folglich stehen die Malmquist-Methode auf Basis von DEA-Effizienzwerten und die Bestimmung des sektoralen technologischen Fortschritts auf Basis der OLS zur Diskussion. Der SFA-Malmquist ist somit nicht geeignet, um den sektoralen technologischen Fortschritt zu messen.

Wird der Basisdatensatz so erweitert, dass die Daten Mess- oder Datenfehler aufweisen, unterscheiden sich die Methoden relativ deutlich bezüglich der Fähigkeit, den technischen Fortschritt von 10% exakt zu messen. Im Erwartungswert unterscheiden sich die beiden Methoden nicht wesentlich und treffen den vorgegebenen Frontier-Shift recht gut – jedoch zeigen die Ergebnisse, dass die Streuung der DEA Methode wesentlich größer ist. Werden die Berechnungen 1000 Mal durchgeführt, so liegt das 95%-Vertrauensintervall auf Basis von DEA-Effizienzwerten

zwischen -10% und 30%, was deutlich grösser ist als das 95%-Vertrauensintervall des technologischen Fortschritts auf Basis des OLS-Zeit-Dummy (zwischen 4% und 16%). Obwohl sich die beiden Methoden im Durchschnitt nicht sehr unterschieden, ist das regulatorische Risiko der DEA-Methode aufgrund des breiteren Vertrauensintervalls um ein Vielfaches höher.

In beiden Methoden können Verzerrungen beim Vorliegen von Aufholeffekten auftreten, je nachdem, ob die Effizienzgrenze richtig spezifiziert wurde. Eine nicht korrekte Ermittlung der Effizienzgrenze kann auf Fehlidentifikation oder Nichtvorhandensein von effizienten Unternehmen im Datensatz zurückzuführen sein. Es werden vier Fälle unterschieden:

- Fall 1: Es gibt einige effiziente Unternehmen im Datensatz, die Effizienzwerte bleiben jedoch über die Zeit konstant.
- Fall 2: Es gibt einige effiziente Unternehmen im Datensatz und die Ineffizienz wird über die Zeit abgebaut.
- Fall 3: Es gibt keine effizienten Unternehmen im Datensatz und die Effizienzwerte bleiben über die Zeit konstant.
- Fall 4: Es gibt keine effizienten Unternehmen im Datensatz und die Ineffizienz wird über die Zeit abgebaut.

Aufholeffekte führen bei der OLS-Methode generell zu Verzerrungen, während bei der DEA-Methode Verzerrungen auftreten, falls die Effizienzgrenze durch das Fehlen von effizienten Firmen im Datensatz nicht richtig spezifiziert wurde.

Stichprobeneffekte, die beispielsweise durch Selektionseffekte, den systematischen Ausschluss von Gruppen von Unternehmen oder durch Ausreißeranalysen mit endogenen Grenzwerten hervorgerufen werden, führen unabhängig von der eingesetzten Methode zu einer Verzerrung des Frontier-Shifts. Bei Veränderungen in der Datendefinition führt die DEA-Methode zu einer verzerrten Messung des Frontier-Shifts. Die OLS-Methode ist in dieser Hinsicht ebenfalls unzuverlässig, da die Änderung der Datendefinition zusätzlich im Zeit-Dummy sichtbar wird.

Es werden schließlich verschiedene Effekte kombiniert, die vermutungsweise auch im Datensatz der Bundesnetzagentur vorliegen, zu einem Datensatz mit folgenden Eigenschaften:

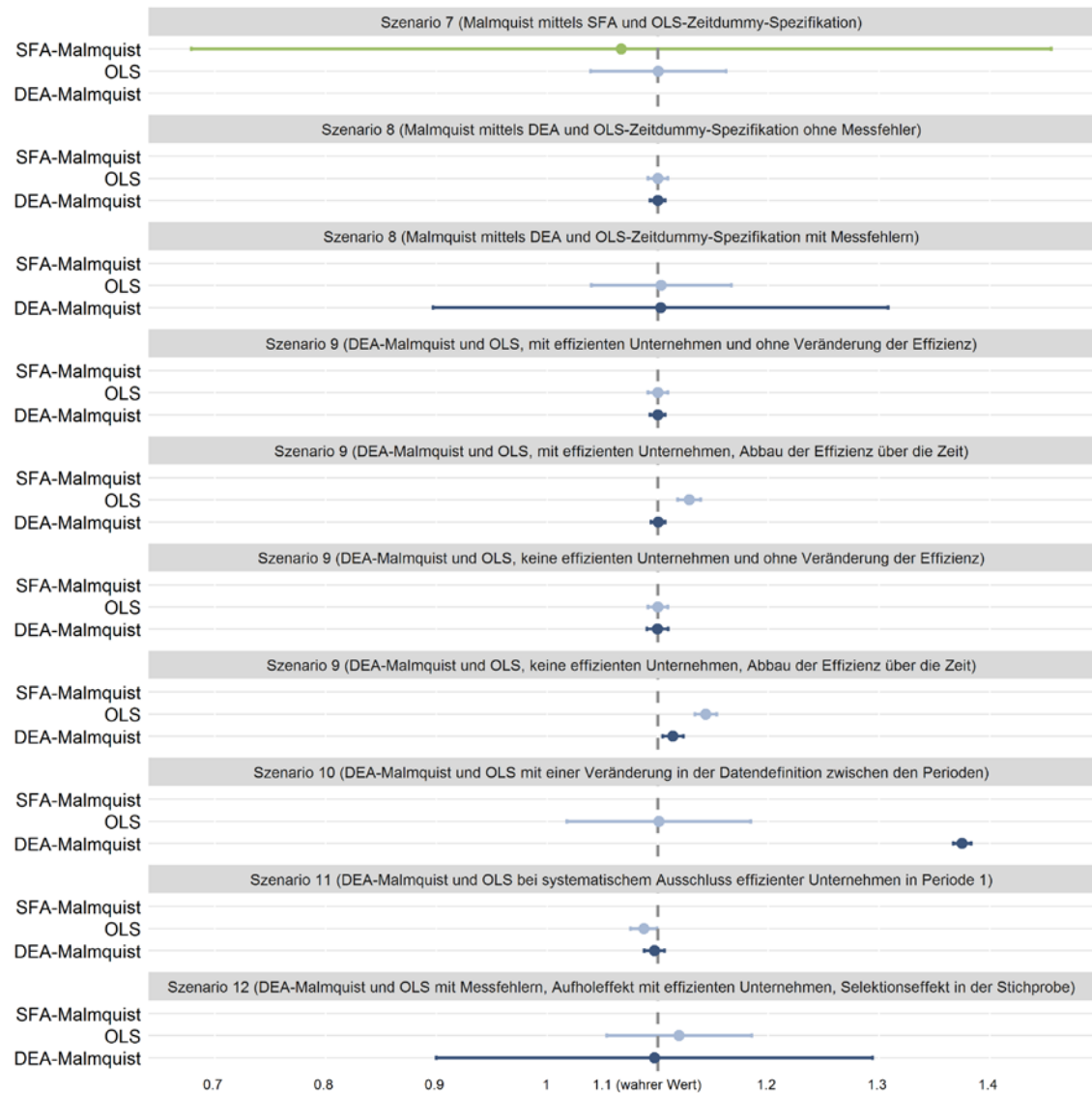
- Vorhandensein von technischer und allokativer Ineffizienz. Vorhandensein von Aufholeffekten der ineffizienten Unternehmen über die Zeit, jedoch bleibt allokativer Ineffizienz über die Zeit konstant.
- Unterschiedliche Faktorpreise für die Unternehmen im Bereich Arbeit, jedoch gleiche Entwicklung des Faktorpreises über die Zeit
- Vorhandensein von Messfehlern
- Selektionseffekte in der Stichprobe

Gegeben dieses Szenarios sind weder die Methode DEA-Malmquist noch die OLS mit einem Zeit-Dummy in der Lage, den wahren realen sektoralen technologischen Fortschritt im Erwartungswert zu messen. Beide Methoden führen zu verzerrten Ergebnissen. Die Streuung der Ergebnisse ist jedoch bei der OLS-Zeit-Dummy-Methode kleiner als bei der Methode des DEA-Malmquist (in Abhängigkeit des Ausmaßes des Messfehlers).

In der nachfolgenden Abbildung 12 sind die Schätzergebnisse des mittels Monte-Carlo-Simulationen ermittelten technologischen Fortschritts (Frontier-Shift, TC) je Szenario auf Basis der beiden Methoden DEA-Malmquist und OLS-Zeit-Dummy abgetragen. Die wesentlichen

Erkenntnisse finden sich anschließend in qualitativer Form in der Tabelle 24 noch einmal zusammengefasst.

**Abbildung 12 Streuung der berechneten Frontier-Shifts (TC) in den Szenarien**



Die Abbildung zeigt die Ergebnisse der verschiedenen Szenarienrechnungen. Abgetragen ist jeweils für jedes Szenario, welcher Erwartungswert (runder Punkt) je Methode resultiert und wie stark die Ergebnisse um den Erwartungswert streuen (Antennen). Aufgrund der starken Streuung der SFA-Malmquist-Methode, bereits bei einem unverzerrten Datensatz, wurden für die nachfolgenden Szenarien jeweils nur noch die OLS mit einer Zeit-Dummy und die Malmquist-Methode auf Basis von DEA-Effizienzwerten analysiert. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass zwar mit der DEA in vielen Fällen ein erwartungstreu Ergebnis erzielt werden kann und die OLS teilweise leicht verzerrte Ergebnisse liefert. Sobald jedoch Messfehler in den Daten vorliegen, fällt die Streuung bei der DEA-Malmquist-Methode deutlich stärker aus als bei der OLS-Methode mit einem Zeit-Dummy.

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

**Tabelle 24** Übersicht über die Ergebnisse zu den Methodenszenarien

Szenarientwicklung	Erwartungstreue Schätzung des Frontier-Shifts (TC)	
	DEA-Malmquist	OLS-Zeit-Dummy
SFA-Malmquist versus OLS-Zeit-Dummy (Szenario 7)	X (SFA-Malmquist)	✓
Der Einfluss von Messfehlern (Szenario 8)	✓	✓
Effiziente Unternehmen in der Stichprobe und ohne Aufholeffekt der ineffizienten Unternehmen (Szenario 9, Fall 1)	✓	✓
Effiziente Unternehmen in der Stichprobe und mit Aufholeffekt der ineffizienten Unternehmen (Szenario 9, Fall 2)	✓	X
Keine effiziente Unternehmen in der Stichprobe und ohne Aufholeffekt der ineffizienten Unternehmen (Szenario 9, Fall 3)	✓	✓
Keine effizienten Unternehmen in der Stichprobe und mit Aufholeffekt der ineffizienten Unternehmen (Szenario 9, Fall 4)	X	X
Änderung in der Datendefinition (Szenario 10)	X	X <sup>1)</sup>
Analyse der Einfluss der Stichprobe (Selektionseffekt) (Szenario 11)	X	X
Kombinierte Effekte (Messfehler, Aufholeffekt mit effizienten Unternehmen, Selektionseffekt in der Stichprobe) (Szenario 12)	X	X

1 Gemäß Abbildung 12 ist der OLS-Dummy in Szenario 10 erwartungstreu. Hier ist jedoch zu beachten, dass aufgrund der Kollinearität zwischen der Datenänderung und dem technologischen Fortschritt, der Koeffizient des Zeit-Dummys nicht präzise geschätzt wird. Der ausgewiesene Frontier-Shift ist somit nicht belastbar.

*In der Tabelle ist für die untersuchten Szenarien qualitativ zusammengestellt, bei welchen Datenkonstellationen die beiden betrachteten Methoden DEA-Malmquist und OLS-Zeit-Dummy in der Lage sind, den wahren vorgegeben realen sektoralen technologischen Fortschritt (TC) von 1.1 im Erwartungswert zu berechnen.*

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

## 7 Schlussfolgerungen

In der deutschen Anreizregulierung wird der  $X_{\text{GEN}}$  als die Summe der Differenz der Faktorproduktivität zwischen der Energiebranche und der Gesamtwirtschaft und der Differenz der Inputpreisentwicklung der Gesamtwirtschaft und der Energiewirtschaft definiert.

$$X_{\text{GEN}} = (\Delta\text{TFP}^{\text{EN}} - \Delta\text{TFP}^{\text{GW}}) + (\Delta w^{\text{GW}} - \Delta w^{\text{EN}}) \quad (28)$$

Im Rahmen des Gutachtens geht es um die Bestimmung der Faktorproduktivität der Energiewirtschaft ( $\Delta\text{TFP}^{\text{EN}}$ ) unter Berücksichtigung der Inputpreisentwicklung in der Energiewirtschaft ( $\Delta w^{\text{EN}}$ ). Dabei werden zwei Fragestellungen untersucht:

1. Welche theoretischen Konzepte können eingesetzt werden, um den sektoralen technologischen Fortschritt zu ermitteln?
2. Welche empirischen Methoden sind unter welchen Bedingungen geeignet, den sektoralen Produktivitätsfortschritt zu ermitteln?

### Wichtige Erkenntnisse zu den theoretischen Konzepten

Die Wahl des geeigneten Konzepts hängt von der Datenverfügbarkeit hinsichtlich der Faktorpreise ab. Diese sind oft nicht bekannt. Grundsätzlich lassen sich folgende Situationen unterscheiden:

- Falls Daten zu **Mengen (Output sowie Input) vorliegen**, kann direkt eine Produktionsbetrachtung angewendet werden und auf dieser Basis lässt sich der reale sektorale technologische Fortschritt ermitteln. Dieser wird als **technologischen Fortschritt (TC)** bezeichnet. Dieser entspricht dem  $\Delta\text{TFP}^{\text{EN}}$  (Wachstum der sektorspezifischen Gesamtfaktorproduktivität). In diesem Fall muss für die Bestimmung des  $X_{\text{GEN}}$  die sektorale Inputpreisentwicklung ( $\Delta w^{\text{EN}}$ ) neben den gesamtwirtschaftlichen Größen noch zusätzlich bestimmt werden.
- Liegen Daten **sowohl zu Inputmengen als auch zu Inputpreisen** vor, kann auf Basis einer Kostenfunktion der nominale sektorale Produktivitätsfortschritt ermittelt werden. Dieser wird im Gutachten als **effiziente Kostenverschiebung (ECC)** bezeichnet. Diese beinhaltet sowohl den realen technologischen Fortschritt ( $\Delta\text{TFP}^{\text{EN}}$  bzw. TC), als auch den Preiseffekt ( $\Delta w^{\text{EN}}$  bzw. PI im Gutachten). In diesem Fall müssen die sektoralen Inputpreisveränderungen ( $\Delta w^{\text{EN}}$ ) nicht extra berechnet werden.
- Liegen wie bei den bisher erhobenen Netzbetreiberdaten in Deutschland nur die **Gesamtkosten (TOTEX) vor**, die implizit auch die Faktorpreise beinhalten, kann auf Basis der Gesamtkosten eine Approximation des ECC ermittelt werden. Diese nominale TOTEX-Verschiebung ( $\text{TCC}^{\text{NOM}}$ ) beinhaltet wie der ECC den realen technologischen Fortschritt ( $\Delta\text{TFP}^{\text{EN}}$  bzw. TC) und den Preiseffekt ( $\Delta w^{\text{EN}}$  bzw. PI im Gutachten). Auch in diesem Fall entfällt die Bestimmung der sektoralen Inputpreisveränderung in der Energiewirtschaft ( $\Delta w^{\text{EN}}$ ).
- Alternativ könnte man die **Gesamtkosten** vor der Bestimmung des sektoralen technologischen Fortschritts mit einem bekannten Preisindex (z.B. mit dem VPI oder einen anderweitig zusammengesetzten Preisindex) **deflationieren**. Hierdurch approximiert man den technischen Fortschritt (TC) mit einer **realen TOTEX-Verschiebung ( $\text{TCC}^{\text{REAL}}$ )**. Entspricht dieser gewählte Preisindex jedoch nicht dem tatsächlichen Preisindex für die Entwicklung der Einstandspreise, so ist die Approximation für den technischen Fortschritt verzerrt. Um Ver-

zerrungen zu verhindern, ist in diesem Fall für die Deflationierung der TOTEX zwingend der gleiche Preisindex heranzuziehen, der für die Abbildung der Inputpreisentwicklung  $\Delta w^{EN}$  in der Formel für  $X_{GEN}$  verwendet wird, denn die beiden Verzerrungen heben sich gegenseitig auf. Wird der VPI zur Deflationierung der TOTEX und somit stellvertretend für die sektoralen Inputpreise verwendet, entspricht der  $TTC^{REAL}$  dem  $X_{GEN}$  aus der Formel (2) und somit dem  $X_{GEN}$  aus der ARegV.

- Auf Basis verschiedener Szenarien zur Faktorpreisentwicklung wurde untersucht, welche Konzepte in der Lage sind, den vorgegebenen realen und nominalen sektoralen technologischen Fortschritt exakt zu bestimmen. Neben unterschiedlichen Entwicklungen zwischen den Faktorpreisen wurde auch analysiert, welchen Einfluss das Vorhandensein von unterschiedlichen Gruppen an Unternehmen mit unterschiedlichen Faktorpreisen oder das Vorhandensein von allokativer Ineffizienz und dessen Veränderung über die Zeit auf die Messung des realen und nominalen sektoralen Produktivitätsfortschritts haben. Als Ergebnis aus der Betrachtung dieser Szenarien lässt sich festhalten:
  - Bei allen betrachteten Szenarien war die Ermittlung des nominalen sektoralen Produktivitätsfortschritts auf Basis eines Kosten-Malmquist (ECC) in der Lage, die exakte Vorgabe zu reproduzieren.
  - Sind die Inputmengen und -preise wie aktuell in Deutschland nicht bekannt, sondern liegen nur Daten zu den Gesamtkosten vor, kann die effiziente Kostenverschiebung auf Basis eines TOTEX-Malmquist ( $TCC^{NOM}$ ) bestimmt werden.
  - Grundsätzlich beeinträchtigen Änderungen der Faktorpreise (weder absolut, noch relativ) die Genauigkeit der TOTEX-Malmquist-Methode nicht, solange sich die Faktorpreise für alle Unternehmen ähnlich entwickeln und keine allokativen Ineffizienzen vorliegen.
  - Wird dagegen davon ausgegangen, dass sich das Ausmaß der allokativen Ineffizienz über die Zeit verändert, so stimmt die Berechnung des  $TCC^{NOM}$  nicht in jedem Fall mit der korrekten Verschiebung der effizienten Kosten überein. Für den Fall, dass Unternehmen, die die Effizienzgrenze setzen, sowohl allokativ als auch technisch effizient sind, kann der  $TCC^{NOM}$  auch dann die korrekte Verschiebung der effizienten Kosten messen, wenn bei den übrigen Unternehmen sich die allokativen Ineffizienzen verändern.
  - Wird davon ausgegangen, dass sich Unternehmen unterschiedlichen Faktorpreisentwicklungen gegenübersehen, so kann der  $TCC^{NOM}$  die korrekte Verschiebung der effizienten Kosten nicht messen.
  - In dem Fall, in dem sich die allokativen Ineffizienzen über die Zeit verändern, ist auch der Produktions-Malmquist nicht in der Lage, den exakten realen sektoralen technologischen Fortschritt zu bestimmen.

In den meisten der betrachteten Faktorpreis-Szenarien ist der TOTEX-Malmquist ( $TCC^{NOM}$ ) in der Lage die korrekte Verschiebung der effizienten Kosten zu bestimmen, obwohl die Einzeleffizienzwerte der Unternehmen verzerrt sein können. Da bei der Bestimmung des technologischen Fortschritts, bzw. der Veränderung der effizienten Kosten nicht die einzelnen Effizienzwerte, sondern deren Veränderung über die Zeit von Interesse ist, kann selbst bei verzerrten Einzeleffizienzwerten in einigen Fällen die korrekte Entwicklung über die Zeit gemessen werden. Größere Probleme entstehen allerdings bei einer Veränderung der allokativen Ineffizienz über die Zeit: Der in diesem Fall gemessene technologische Fortschritt führt zu deutlich fal-

schen Vorgaben für einen technologischen Fortschritt. Da die Anreizregulierung eine Reduktion der allokativen Ineffizienz anstrebt, ist dieses Resultat besonders beachtenswert.

### Wichtige Erkenntnisse zu den empirischen Methoden

Zusätzlich zur Frage, welche Konzepte zur Bestimmung des sektoralen Produktivitätsfortschritts angewendet werden sollen, wurde als zweite Fragestellung untersucht, welche Methoden in der Anwendung vorteilhaft sind. Dabei standen zwei Methoden im Fokus:

1. Die Malmquist-Methode, welche den technologischen Fortschritt indirekt auf Basis von ermittelten Effizienzwerten bestimmt.
2. Regressionsbasierte Methoden wie die OLS, welche den technologischen Fortschritt direkt über einen Zeit-Dummy in der Schätzung bestimmen.

Um die Auswirkungen alternativer Szenarien zu ermitteln, wurden jeweils verschiedene Ziehungen aus dem synthetisch erstellten Datensatz durchgeführt und so je Szenario und angewandter Methode eine Vielzahl an Ergebnissen zum realen sektoralen technologischen Fortschritt ( $\Delta TFP^{EN}$  resp. TC) generiert. Die Eignung der Methoden wurde anschließend anhand der Fähigkeit beurteilt, wie genau der vorgegebene TC im Erwartungswert gemessen werden kann und wie groß dabei die Streuung der erhaltenen Einzelergebnisse ausfällt.

Als Ergebnis dieser Szenarien lässt sich festhalten:

- Wird der technische Fortschritt mit der Malmquist-Methode auf Basis von SFA-Effizienzwerten ermittelt, resultiert eine große Streuung der Ergebnisse, selbst wenn der Datensatz grundsätzlich kein Potential für Verzerrungen beinhaltet. Dazu kommt, dass die SFA in der Praxis auf Grund der Tatsache, dass SFA-Regressionen häufig nicht konvergieren, praktisch nicht umsetzbar ist. Aus diesem Grund eignet sich die Malmquist-Methode auf Basis von SFA-Effizienzwerten nicht zur Bestimmung des sektoralen technologischen Fortschritts.
- Beinhaltet der Datensatz Messfehler und weitere Verunreinigungen, so liefert der Malmquist auf Basis von DEA-Effizienzwerten (DEA-Malmquist) und die OLS mit einem Zeit-Dummy erwartungstreue Ergebnisse (im Schnitt der Ziehungen entspricht der gemessene TC dem vorgegebenen TC). Die Streuung der Ergebnisse ist aber beim DEA-Malmquist deutlich grösser.
- In beiden Methoden können Verzerrungseffekte beim Vorliegen von Aufholeffekten auftreten, je nachdem, ob die Effizienzgrenze richtig spezifiziert werden kann. Aufholeffekte führen bei der OLS-Methode generell zu Verzerrungen, während bei der DEA-Methode Verzerrungen dann auftreten, wenn die Effizienzgrenze durch das Fehlen von effizienten Firmen im Datensatz nicht richtig spezifiziert werden kann.
- Starke Verzerrungen können zudem auftreten, wenn sich die Definition der Modellparameter oder die Eingangsdaten über den Betrachtungszeitraum verändern.
- Wird schließlich ein Datensatz erstellt, der viele der in realen Datensätzen vermuteten Verzerrungspotentiale beinhaltet, treten gleichzeitig unterschiedliche Faktorpreise, Messfehler, Aufholeffekte von ineffizienten Unternehmen sowie Selektionseffekte in Bezug auf die Stichprobe auf. In diesem Fall sind weder die DEA-Malmquist- noch die OLS-Zeit-Dummy-Methode in der Lage, den vorgegebenen TC im Erwartungswert richtig zu bestimmen. Beide Methoden führen zu verzerrten Ergebnissen. In jedem Fall aber ist die Streuung

der Ergebnisse bei der OLS-Zeit-Dummy-Methode geringer als bei der DEA-Malmquist-Methode. Das Ausmaß hängt dabei vom Umfang der Messfehler in den Daten ab.



## 8 Technischer Anhang

Im Folgenden finden sich zu ausgewählten Aspekten des Gutachtens vertiefende formale Darstellungen. Konkret werden die folgenden Themen betrachtet:

- Analyse der  $X_{\text{GEN}}$ -Formel gemäß ARegV auf Basis des Ansatzes von Bernstein & Sappington und der ARegV (Abschnitt 8.1).
- Analyse der Äquivalenz zwischen Bernstein & Sappington und der Malmquist-Methode (Abschnitt 8.2).
- Analyse des Zusammenhangs zwischen der  $X_{\text{GEN}}$ -Formel gemäß ARegV und des nominalen sektoralen technologischen Fortschritts (ECC) (Abschnitt 8.3)
- Herleitung des sektoralen technologischen Fortschritts auf Basis einer Cobb-Douglas-Funktion (Abschnitt 8.4), wobei zuerst auf die formale Herleitung einer Cobb-Douglas-Produktions- und einer Cobb-Douglas-Kostenfunktion eingegangen wird (Abschnitt 8.4.1), bevor in Abschnitt 8.4.2 die Bestimmung des realen und in Abschnitt 8.4.3 des nominalen sektoralen technologischen Fortschritts aufgezeigt wird.
- Herleitung der Malmquist-Zerlegungen für den Produktions-Malmquist- und den Kosten-Malmquistindex. Ermittlung des Produktivitätsfortschritts und der Kostenverschiebung auf Basis des Kosten-Malmquist (Abschnitt 8.5.3) und deren praktische Ermittlung und Umsetzung nach dem TOTEX-Malmquist (Abschnitt 8.5.4).
- Darstellung der Vorgehensweise zur Erstellung des Datensatzes (Abschnitt 8.6).

### 8.1 Herleitung der Erlösbergrenzen-Formel nach Maßgabe der ARegV

Im Folgenden wird gezeigt, dass die Erlösbergrenzen-Formel nach der ARegV

$$X_{\text{GEN}} = (\Delta\text{TFP}^{\text{EN}} - \Delta\text{TFP}^{\text{GW}}) + (\Delta w^{\text{GW}} - \Delta w^{\text{EN}}) \quad (29)$$

aus dem theoretischen Ansatz nach Bernstein & Sappington (1999) abgeleitet werden kann.

#### $X_{\text{GEN}}$ nach Bernstein & Sappington

Ausgangspunkt ist der Gewinn ( $\pi$ ) der Unternehmen, der als Differenz zwischen den Erlösen (Revenues;  $R$ ) und den Kosten ( $C$ ) definiert ist:

$$\pi \equiv R - C.$$

Bei effizienter Regulierung gilt die Nullgewinnbedingung ( $\pi = 0$ ), so dass  $R = C$  und  $\Delta R = \Delta C$ . Die Kosten setzen sich definitionsgemäß aus dem Produkt der Inputpreise ( $w$ ) und der Inputmengen ( $x$ ) zusammen:

$$-C \equiv -wx.$$

Aus dem totalen Differenzial und nach Teilung durch  $C$  bzw.  $wx$  folgt:

$$-\frac{dC}{C} = -\frac{Idw}{wx} - \frac{wdx}{wx}$$

bzw:

$$-\frac{dC}{C} = -\frac{dw}{w} - \frac{dx}{x}.$$

Die relative Änderung der totalen Faktorproduktivität TFP entspricht bei gegebenem Output der relativen Änderung der Inputmengen. Somit gilt:

$$\frac{dx}{x} = -\frac{dTFP}{TFP}.$$

Da X die relative Änderung der effizienten Kosten widerspiegeln soll, folgt damit für die Definition nach Bernstein & Sappington:

$$X = -\frac{dC}{C} = \frac{dTFP}{TFP} - \frac{dw}{w} = \Delta TFP - \Delta w. \quad (30)$$

Diese Definition weicht von  $X_{GEN}$  in der ARegV-Vorgabe ab, da die gesamtwirtschaftlichen Terme ignoriert wurden, da diese für das vorliegende Gutachten nur wenig relevant sind. Der oben definierte Term X wird also absolut betrachtet und nicht als Differenzial zur Gesamtwirtschaft, wie dies in (29) zum Ausdruck kommt.

### $X_{GEN}$ nach Maßgabe der ARegV

Die oben dargestellte  $X_{GEN}$ -Formel gemäß ARegV setzt sich aus einem relativen Vergleich der Preis- und Produktivitätsentwicklungen der Energienetze (EN) mit denen der Gesamtwirtschaft (GW) zusammen.

Der Ausgangspunkt für die Bestimmung der Erlösobergrenze ist zunächst die gesamtwirtschaftliche Preisentwicklung, für die folgender Zusammenhang gilt:

$$\Delta p^{GW} \equiv VPI = \Delta w^{GW} - \Delta TFP^{GW}. \quad (31)$$

Unter der Annahme des vollkommenen Wettbewerbs bringt der (VPI) somit die gesamtwirtschaftliche Inputpreisänderung ( $\Delta w^{GW}$ ) korrigiert um den technologischen Fortschritt ( $\Delta TFP^{GW}$ ) zum Ausdruck. Wird der VPI als Proxy in  $X_{GEN}$  eingesetzt, muss auf Grund der in der Regel abweichenden Kostenentwicklungen bei den Energienetzen jedoch eine Korrektur um diese Abweichungen vorgenommen werden. Dies erfolgt, indem man die Differenz zwischen dem sektoralen (3) und dem gesamtwirtschaftlichen Preiszusammenhang (31) bildet:

$$\Delta p^{EN} - VPI = [\Delta w^{EN} - \Delta w^{GW}] - [\Delta TFP^{EN} - \Delta TFP^{GW}]. \quad (32)$$

Dies führt zu folgender Beziehung:

$$\Delta p^{EN} = VPI - X_{GEN}, \quad (33)$$

wobei

$$X_{GEN} = (\Delta TFP^{EN} - \Delta TFP^{GW}) + (\Delta w^{GW} - \Delta w^{EN}). \quad (34)$$

Dabei stellt  $\Delta p^{EN}$  die für die Erlösobergrenze gesuchte Vorgabe für die Preisentwicklung dar, die sich aus der Inputpreisentwicklung korrigiert um den technologischen Fortschritt der Energienetze zusammensetzt:

$$EOG_1 = C_0 \cdot (1 + \Delta p^{EN}).$$

Für den gesamtwirtschaftlichen Preisindex gilt:

$$VPI_1/VPI_0 \equiv 1 + VPI.$$

Zusammen mit Gleichung (33) folgt damit die in Gleichung (1) dargestellte Erlösformel:

$$EOG_1 = C_0 \cdot ((VPI_1/VPI_0) - X_{GEN}). \quad (35)$$

## 8.2 Äquivalenz Bernstein & Sappington und Malmquist

Es gilt:

$$\Delta TFP = \ln\left(\frac{TFP_1}{TFP_0}\right) \text{ und } \Delta w = \ln\left(\frac{w_1}{w_0}\right) = \ln(PI), \text{ wobei } PI = \frac{w_1}{w_0}.$$

Sei:

$y_t$	Output in Periode t,
$x_t$	Input in Periode t

Nehme zur Vereinfachung (aber ohne Einschränkung der Allgemeingültigkeit) an, dass der Output in beiden Perioden auf Eins normiert ist:

$$y_1 = y_0 = 1.$$

Aus der Definition der totalen Faktorproduktivität

$$TFP_t \equiv \frac{y_t}{x_t}$$

folgt in logarithmischer Form:

$$\ln\left(\frac{TFP_1}{TFP_0}\right) = \ln\left(\frac{x_0}{x_1}\right).$$

Weiter gilt:

$$TC = \frac{w_0 \cdot x_0}{w_1 \cdot x_1} / PI = \frac{x_0}{x_1}.$$

So dass nach Logarithmierung folgt:

$$\ln(TC) = \ln\left(\frac{x_0}{x_1}\right).$$

Somit zeigt sich die Äquivalenz des Ansatzes von Bernstein & Sappington und dem Malmquist-Ansatz:

$$\Delta TFP = \ln\left(\frac{TFP_1}{TFP_0}\right) = \ln(TC).$$

## 8.3 Zusammenhang zwischen $X_{GEN}$ -Berechnung auf Basis von ECC und der ARegV-Vorgabe

Eine Variante zu Ermittlung und Umsetzung von  $X_{GEN}$  in der ARegV besteht in der Berechnung der effizienten Kostenverschiebung (ECC), die sowohl den realen technologischen Fortschritt ( $\Delta TFP^{EN}$ ) als auch die Inputpreisänderung ( $\Delta w^{EN}$ ) berücksichtigt. Folgende Darstellung zeigt, dass die Berechnung gemäß

$$X_{GEN} = \Delta w^{GW} - \Delta TFP^{GW} + \Delta ECC \quad (36)$$

genau der ARegV-Vorgabe

$$X_{\text{GEN}} = (\Delta\text{TFP}^{\text{EN}} - \Delta\text{TFP}^{\text{GW}}) + (\Delta w^{\text{GW}} - \Delta w^{\text{EN}}) \quad (37)$$

entspricht. Die effiziente Kostenverschiebung (ECC) wird definiert als

$$\text{ECC} = \frac{C_0(w_0, A_0, \bar{y})}{C_1(w_1, A_1, \bar{y})} \quad (38)$$

ECC entspricht somit genau der (reziproken) Änderung der effizienten Kosten zwischen den Perioden 0 und 1. Diese Kostenänderung resultiert aus zwei möglichen Effekten:

- einer Inputpreisänderung  $\Delta w^{\text{EN}}$  (die durch einen Inputpreisindex PI zum Ausdruck gebracht wird und in der Kostenfunktion durch die Inputpreise  $w_0$  und  $w_1$  abgebildet wird) und
- dem Produktivitätsfortschritt  $\Delta\text{TFP}^{\text{EN}}$  (der dem Term TC entspricht und in der Kostenfunktion durch die Produktivitätsparameter  $A_0$  und  $A_1$  ausgedrückt wird).

Diese beiden Effekte lassen sich durch eine Erweiterung von (38) aufteilen:<sup>19</sup>

$$\text{ECC} = \frac{C_0(w_0, A_0, \bar{y})}{\underbrace{C_1(w_0, A_1, \bar{y})}_{\text{TC}}} \bigg/ \frac{C_1(w_1, A_1, \bar{y})}{\underbrace{C_1(w_0, A_1, \bar{y})}_{\text{PI}}} \quad (39)$$

In logarithmischer Form gilt:

$$\ln(\text{ECC}) = \ln(\text{TC}) - \ln(\text{PI}). \quad (40)$$

Die beiden Terme TC und PI lassen sich gemäß

$$\Delta\text{TFP}^{\text{EN}} = \ln(\text{TC})$$

und

$$\Delta w^{\text{EN}} = \ln(\text{PI})$$

in die  $X_{\text{GEN}}$ -Komponenten  $\Delta\text{TFP}^{\text{EN}}$  und  $\Delta w^{\text{EN}}$  überführen. PI stellt dabei einen gewichteten Preisindex der Inputs dar. Es gilt somit für die Veränderung der Outputpreise

$$\Delta p^{\text{EN}} = \Delta w^{\text{EN}} - \Delta\text{TFP}^{\text{EN}} = \ln(\text{PI}) - \ln(\text{TC}) = -\Delta\text{ECC}. \quad (41)$$

Damit erhält man gemäß Definition für  $X_{\text{GEN}}$ :

$$\begin{aligned} X_{\text{GEN}} &= \Delta p^{\text{GW}} - \Delta p^{\text{EN}} = \Delta w^{\text{GW}} - \Delta\text{TFP}^{\text{GW}} - (\Delta w^{\text{EN}} - \Delta\text{TFP}^{\text{EN}}) \\ &= \Delta w^{\text{GW}} - \Delta\text{TFP}^{\text{GW}} + \Delta\text{ECC}. \end{aligned} \quad (42)$$

## 8.4 Herleitung und Untersuchung von $X_{\text{GEN}}$ im Fall einer Cobb-Douglas-Funktion

### 8.4.1 Formale Herleitung der Cobb-Douglas Produktions- und Kostenfunktion

Zur Veranschaulichung der nominalen und realen Effekte, die die Berechnung von  $X_{\text{GEN}}$  beeinflussen, werden diese im Folgenden anhand einer Cobb-Douglas-Produktionsfunktion dargestellt, wie sie auch den im Gutachten verwendeten Simulationen zu Grunde liegt. Dabei ist die

<sup>19</sup> Hierbei wird Gleichung (38) mit  $C(w_0, A_1, \bar{y})$  erweitert.

Unterscheidung zwischen der Produktionsbetrachtung und der Kostenbetrachtung von Bedeutung.

- Bei der Produktionsbetrachtung (Abschnitt 8.4.2) wird nur der reale technologische Fortschritt auf Basis der Produktionsfunktion ermittelt.
- Die Kostenbetrachtung (Abschnitt 8.4.3) erfolgt hingegen auf Basis der Kostenfunktion. Hierbei kann sowohl der reale technologische Fortschritt als auch die nominale effiziente Kostenverschiebung untersucht werden.

Die CD-Produktionsfunktion hat die Form

$$Y_t = A_t L_t^\alpha K_t^\beta \quad (43)$$

mit

$Y_t$ : Output in Periode  $t$

$A_t$ : Produktivitätsfaktor in  $t$

$L_t$ : Input Arbeit in  $t$

$K_t$ : Input Kapital in  $t$ .

Die Kostenfunktion ergibt sich aus der Minimierung der Kostendefinition

$$C_t = w_{L,t} L_t + w_{K,t} K_t. \quad (44)$$

unter der Nebenbedingung der Produktionsfunktion (43).

Formal ergibt sich die minimale Faktorkombination über den Lagrange-Ansatz:

$$\min_{L_t, K_t, \lambda} \mathcal{L} = w_{L,t} L_t + w_{K,t} K_t + \lambda (Y_t - A_t L_t^\alpha K_t^\beta) \quad (45)$$

unter den Nebenbedingungen:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial L_t} = w_{L,t} - \alpha \frac{Y_t}{L_t} := 0 \quad (46)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial K_t} = w_{K,t} - \beta \frac{Y_t}{K_t} := 0 \quad (47)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda} = Y_t - A_t L_t^\alpha K_t^\beta := 0. \quad (48)$$

Aus Formel (46) und (47) ergibt sich das optimale Faktoreinsatzverhältnis:

$$K_t = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \left(\frac{w_{L,t}}{w_{K,t}}\right) \cdot L_t. \quad (49)$$

Einsetzen dieser Gleichung in die Produktionsfunktion und Umformen nach  $L_t$  ergibt den optimalen Arbeitseinsatz in Abhängigkeit von Inputpreisen, Produktivität und des Outputs:

$$L_t = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{\frac{\beta}{\alpha+\beta}} \cdot \left(\frac{w_{L,t}}{w_{K,t}}\right)^{\frac{-\beta}{\alpha+\beta}} \cdot \left(\frac{y_t}{A_t}\right)^{\frac{1}{\alpha+\beta}}. \quad (50)$$

Hieraus folgt analog für den optimalen Kapitaleinsatz:

$$K_t = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{\frac{-\alpha}{\alpha+\beta}} \cdot \left(\frac{w_{L,t}}{w_{K,t}}\right)^{\frac{\alpha}{\alpha+\beta}} \cdot \left(\frac{y_t}{A_t}\right)^{\frac{1}{\alpha+\beta}}. \quad (51)$$

Einsetzen von  $L_t$  und  $K_t$  in die Kostendefinition ergibt die Kostenfunktion:

$$C_t(Y_t) = \underbrace{\left[ \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{\frac{\beta}{\alpha+\beta}} + \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^{\frac{\alpha}{\alpha+\beta}} \right]}_{\equiv \delta} \cdot w_{L,t}^{\frac{\alpha}{\alpha+\beta}} w_{K,t}^{\frac{\beta}{\alpha+\beta}} \cdot \left(\frac{Y_t}{A_t}\right)^{\frac{1}{\alpha+\beta}}. \quad (52)$$

#### 8.4.2 Technologischer Fortschritt auf Basis einer Cobb-Douglas-Produktionsfunktion

Im Fall einer Produktionsbetrachtung kann der technologische Fortschritt (TC) aus dem Vergleich der Produktionsfunktion in beiden Perioden ermittelt werden. Durch Division von  $y_1$  durch  $y_0$  erhält man:

$$\frac{y_1}{y_0} = \frac{A_1 L_1^\alpha K_1^\beta}{A_0 L_0^\alpha K_0^\beta}. \quad (53)$$

Der TC lässt sich berechnen, indem man entweder die Inputs in beiden Perioden normiert und die Änderung des effizienten Outputs betrachtet, oder umgekehrt die Inputänderung bei gegebenem Output betrachtet. Unterstellt vereinfachender Weise konstante Skalenerträge, sind beide Vorgehensweisen äquivalent. Die Inputs  $L$  und  $K$  werden normiert, so dass sich diese heraus kürzen, und es verbleibt:

$$TC = \frac{y(\bar{L}, \bar{K}, A_1)}{y(\bar{L}, \bar{K}, A_0)} = \frac{A_1}{A_0}. \quad (54)$$

#### 8.4.3 Effiziente Kostenverschiebung (ECC) auf Basis einer Cobb-Douglas-Kostenfunktion

Im Fall einer Kostenbetrachtung kann der nominale Frontier-Shift ECC berechnet werden. Dabei wird der Output in beiden Perioden auf  $\bar{y}$  normiert, um die Versorgungsaufgabe des Netzbetreibers für die Berechnung der Kostenänderung konstant zu halten. Zur Ermittlung von ECC wird die Kostenfunktion

$$C_t(w_t, A_t, \bar{y}) = \delta \cdot w_{L,t}^{\frac{\alpha}{\alpha+\beta}} w_{K,t}^{\frac{\beta}{\alpha+\beta}} \cdot \left(\frac{\bar{y}}{A_t}\right)^{\frac{1}{\alpha+\beta}}. \quad (55)$$

für beide Perioden ins Verhältnis gesetzt, wobei im Gegensatz zur Produktionsbetrachtung (51) die Kosten des Jahres 0 ins Verhältnis zu den Kosten des Jahres 1 gesetzt werden. Wir nehmen im Folgenden immer den Fall konstanter Skalenerträge an, so dass  $\alpha+\beta=1$  gilt. In diesem Fall berechnet sich ECC wie folgt:

$$ECC = \frac{C_0(w_0, A_0, \bar{y})}{C_1(w_1, A_1, \bar{y})} = \frac{A_1}{\underbrace{\frac{A_0}{TC}}_{\text{TC}}} \cdot \frac{w_{L,1}^\alpha w_{K,1}^\beta}{\underbrace{w_{L,0}^\alpha w_{K,0}^\beta}_{\text{PI}}} \quad (56)$$

bzw.

$$ECC = \frac{TC}{PI}. \quad (57)$$

Wie die Gleichung zeigt, lässt sich ECC in den reinen, technologischen Fortschritt TC und den Preisindex PI zerlegen. Letzteres ist im Cobb-Douglas-Fall der so genannte Fisher-Index (vgl. Coelli et al., 2005).

## 8.5 Kostenverschiebung und Produktivitätsfortschritt im Malmquist-Index

### 8.5.1 Zerlegung des Produktions-Malmquistindex (PMI)

Im Folgenden wird dargestellt, wie sich der klassische Produktions-Malmquistindex (PMI) in den realen technologischen Fortschritt (TC) und die Veränderung der technischen Effizienz (TEC) – respektive den Aufholeffekt – zerlegen lässt.

Der PMI ist nach den in Abbildung 3 dargestellten Distanzfunktionen wie folgt definiert:

$$\text{PMI} = \left[ \left( \frac{OB/OC}{OF/OE} \right) \cdot \left( \frac{OB/OA}{OF/OD} \right) \right]^{1/2} \quad (58)$$

Wie Färe et al. (1989) zeigen, lässt sich der Index wie folgt zerlegen, indem Gleichung (58) um die blau dargestellten Terme erweitert wird:

$$\text{PMI} = \frac{OB/OA}{OF/OE} \cdot \left[ \left( \frac{OF/OE}{OB/OA} \right)^2 \cdot \left( \frac{OB/OC}{OF/OE} \right) \cdot \left( \frac{OB/OA}{OF/OD} \right) \right]^{1/2} \quad (59)$$

Nach Umformung resultiert daraus folgende Zerlegung:

$$\text{PMI} = \underbrace{\frac{OB/OA}{OF/OE}}_{\text{TEC}} \cdot \underbrace{\left[ \frac{OA/OC}{OE/OD} \right]^{1/2}}_{\frac{1}{\text{TC}}} \quad (60)$$

bzw.in Kurzform:

$$\text{PMI} = \text{TEC} \times \frac{1}{\text{TC}} \quad (61)$$

mit

TEC: Technical Efficiency Change (Aufholeffekt),

TC: Technical Change (technologischer Fortschritt)

Somit lässt sich der PMI im Prinzip so zerlegen, dass sich der für  $X_{\text{GEN}}$  benötigte Produktivitätsfortschritt isolieren lässt.

Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass TC in der vorliegenden Studie immer **rezip-rok** im Vergleich zur Original-Literatur dargestellt wird, so dass TC in Analogie zur ARegV-Darstellung von  $\Delta\text{TFP}^{\text{EW}}$  im Falle eines positiven technologischen Fortschritts einen Wert größer als eins annimmt.

### 8.5.2 Zerlegung des Kosten-Malmquistindex (KMI)

Im Folgenden wird dargestellt, wie mit Hilfe einer Zerlegung des Kosten-Malmquist-Index (KMI) die für  $X_{\text{GEN}}$  relevanten Komponenten theoretisch ermittelt werden können. Diese sind:

- Die effiziente Kostenverschiebung ECC, der die Kombination aus Produktivitätsfortschritt ( $\Delta TFP^{EN}$ ) und Inputpreisentwicklung ( $\Delta w^{EN}$ ) abbildet
- Der reale technologische Fortschritt TC, der den Produktivitätsfortschritt ( $\Delta TFP^{EN}$ ) repräsentiert.

Der KMI ist nach den in Abbildung 3 dargestellten Distanzfunktionen wie folgt definiert:

$$KMI = \left[ \left( \frac{OB/OC'}{OF/OE'} \right) \cdot \left( \frac{OB/OA'}{OF/OD'} \right) \right]^{1/2} \quad (62)$$

Auf Basis der Zerlegung des Produktions-Malmquist-Index (PMI) entwickeln Maniadakis & Thanassoulis (2004) folgende Zerlegung des KMI, indem Gleichung (62) durch die blau dargestellten Termen erweitert wird:

$$KMI = \underbrace{\left[ \left( \frac{OB/OA}{OF/OE} \right) \right]}_{TEC} \cdot \underbrace{\left[ \left( \frac{OA/OA'}{OE/OE'} \right) \right]}_{AEC} \cdot \underbrace{\left[ \left( \frac{OA/OC}{OE/OD} \right) \right]^{1/2}}_{1/TC} \cdot \underbrace{\left[ \left( \frac{OC/OC'}{OA/OA'} \right) \cdot \left( \frac{OE/OE'}{OD/OD'} \right) \right]^{1/2}}_{PE} \quad (63)$$

bzw. in Kurzform:

$$KMI = \frac{TEC \times AEC}{OEC} \times \frac{1}{TC} \times PE \quad (64)$$

mit

OEC:	Overall Efficiency Change,
TEC:	Technical Efficiency Change (Aufholeffekt),
AEC:	Allocative Efficiency Change,
CTC:	Cost Technical Change (kostentechnischer Fortschritt),
TC:	Technical Change (technologischer Fortschritt),
PE:	Price Effect (Preiseffekt).

Auch hier sei nochmals erwähnt, dass TC reziprok im Vergleich zu Maniadakis & Thanassoulis (2004) dargestellt wird: Alle für die  $X_{GEN}$ -Berechnungen relevanten Indikatoren wie TC, ECC und TCC sind aus logischen Gründen so definiert, dass ein Wert größer als eins einen positiven technologischen Fortschritt bzw. eine Kostensenkung ausdrückt.

Der Kosten-Malmquist von Maniadakis & Thanassoulis (2004) lässt sich sowohl in Kostennotation als auch in Effizienzwertnotation wie folgt darstellen:



$$\begin{aligned}
 KMI &= \left[ \frac{C_0(w_0, A_0, \bar{y})/w_0\bar{x}_0}{C_0(w_0, A_0, \bar{y})/w_0\tilde{x}_1} \times \frac{C_1(w_1, A_1, \bar{y})/w_1\tilde{x}_0}{C_1(w_1, A_1, \bar{y})/w_1\tilde{x}_1} \right]^{1/2} \\
 &= \underbrace{\frac{C_0(w_0, A_0, \bar{y})/w_0\bar{x}_0}{C_1(w_1, A_1, \bar{y})/w_1\tilde{x}_1}}_{OEC} \times \underbrace{\left[ \frac{C_1(w_1, A_1, \bar{y})/w_1\tilde{x}_1}{C_0(w_0, A_0, \bar{y})/w_0\tilde{x}_1} \times \frac{C_1(w_1, A_1, \bar{y})/w_1\tilde{x}_0}{C_0(w_0, A_0, \bar{y})/w_0\bar{x}_0} \right]^{1/2}}_{CTC} \\
 &= \underbrace{\frac{EW_0(\bar{y}, w_0, \bar{x}_0)}{EW_1(\bar{y}, w_1, \tilde{x}_1)}}_{Catch-up} \times \underbrace{\left[ \frac{EW_1(\bar{y}, w_1, \tilde{x}_1)}{EW_0(\bar{y}, w_0, \tilde{x}_1)} \times \frac{EW_1(\bar{y}, w_1, \bar{x}_0)}{EW_0(\bar{y}, w_0, \bar{x}_0)} \right]^{1/2}}_{Frontier-Shift}
 \end{aligned}$$

mit

- $EW_t(\bar{y}, w_s, \tilde{x}_m)$ : Effizienzwert des Unternehmens mit Faktoreinsatz aus Periode  $m$  und Faktorpreisen aus Periode  $s$  aus einem Kosten-Benchmarking gegen alle anderen Unternehmen mit Daten aus Periode  $t$ ,
- $C_t(w_s, A_t, \bar{y})$ : effiziente Kostengrenze in Periode  $t$ ,
- $w_t$ : Vektor der Inputpreise in Periode  $t$ ,
- $\tilde{x}_t$ : Vektor der tatsächlichen (verzerrten) Inputmengen des Unternehmens in Periode  $t$ .

Der Term OEC stellt den Catch-up-Faktor im Sinne einer ökonomischen Effizienzverbesserung dar, die sich aus dem Produkt der technischen (TEC) und allokativen (AEC) Effizienzsteigerung zusammensetzt. Die Herleitung in Kosten- und Effizienzwertnotation ist im Weiteren nicht von Belang und kann dem Aufsatz von Maniadakis & Thanassoulis (2004, S. 401) entnommen werden. Für  $X_{GEN}$  ist jedoch der Term CTC relevant. Dieser bezeichnet den kostentechnischen Fortschritt. In Kostennotation lässt sich CTC wie folgt darstellen<sup>20</sup>:

$$\begin{aligned}
 CTC &= \left[ \frac{C_1(w_1, A_1, \bar{y})/w_1\tilde{x}_1}{C_0(w_0, A_0, \bar{y})/w_0\tilde{x}_1} \times \frac{C_1(w_1, A_1, \bar{y})/w_1\tilde{x}_0}{C_0(w_0, A_0, \bar{y})/w_0\bar{x}_0} \right]^{1/2} \\
 &= \underbrace{\left[ \frac{C_1(w_1, A_1, \bar{y})}{C_0(w_0, A_0, \bar{y})} \right]}_{\frac{1}{ECC}} \times \underbrace{\left[ \frac{w_0\tilde{x}_1}{w_1\tilde{x}_1} \times \frac{w_0\bar{x}_0}{w_1\bar{x}_0} \right]^{1/2}}_{Verzerrung: \frac{1}{PI}}.
 \end{aligned} \tag{65}$$

Diese Zerlegung zeigt, dass sich der CTC sowohl aus dem Kehrwert der effizienten Kostenverschiebung (ECC), als auch aus dem Kehrwert eines Fisher-Preisindizes zusammensetzt, welcher als Gewichtungsschema die tatsächlichen Faktoreinsatzmengen der beiden Perioden verwendet.

Gleichung (65) zeigt somit, dass der CTC nicht die Veränderung der effizienten Kosten, sondern eine allokativ verzerrte Kostenverschiebung darstellt. Die Verzerrung kommt daher, dass der CTC die Kostenverschiebung zu den tatsächlichen Faktoreinsatzmengen bewertet (in Abbildung 3 zum Beispiel zu den Punkten F und B), und nicht zu den allokativ und technisch effizienten Faktoreinsatzmengen (in Abbildung 3 die Punkte A\* und E\*). Diese allokativ Verzerrung tritt immer dann auf, wenn Unternehmen nicht nur technisch, sondern auch allokativ ineffizient sind und sich im Zeitablauf die relativen Faktorpreise ändern. Um diese Verzerrung zu korrigieren, müsste der CTC daher um die effiziente Kostenverschiebung bereinigt werden. D.h.

<sup>20</sup> Dabei wird aus Vereinfachungsgründen der Output  $y$  wie in der Darstellung der Distanzfunktionen normiert.

das Verhältnis der *nominalen, effizienten* Kosten in Periode 0 im Vergleich zu Periode 1 wäre zu isolieren. Im Fall einer Kostensenkung ist der Wert folglich größer als eins ( $ECC > 1$ ). Die Kostenänderung, die ECC ausdrückt, lässt sich in zwei Komponenten zerlegen: 1) den reinen technologischen Fortschritt (TC) und 2) die Inputpreissteigerung in Form des Preisindex (PI). Wenn man ECC mit  $C_1(y, w_0)/C_1(y, w_0)$  erweitert und die Terme umstellt, erhält man:

$$ECC = \underbrace{\left[ \frac{C_0(w_0, A_0, \bar{y})}{C_1(w_0, A_1, \bar{y})} \right]}_{TC} \bigg/ \underbrace{\left[ \frac{C_1(w_1, A_1, \bar{y})}{C_1(w_0, A_1, \bar{y})} \right]}_{PI} \quad (66)$$

bzw. vereinfacht:

$$ECC = \frac{TC}{PI} \quad (67)$$

Mit anderen Worten: ECC ist die (reziproke) Kostenänderung, die ein effizient produzierendes Unternehmen auf Grund des sektoralen technischen Fortschritts (TC) und der Faktorpreisänderungen (PI) erfährt. ECC wird daher als *effiziente Kostenverschiebung* bezeichnet. Damit wäre ECC die theoretisch korrekte Vorgabe für die Erlösänderung der Unternehmen auf Grund des sektoralen technologischen Fortschritts und der Faktorpreisentwicklung.

Auf Basis von Gleichung (66) lässt sich zudem der Faktorpreisindex PI bestimmen:

$$PI = \frac{C_1(w_1, A_1, \bar{y})}{C_1(w_0, A_1, \bar{y})} = \frac{w_1 x_1(w_1)}{w_0 x_1(w_0)} = \underbrace{\frac{w_1 x_1(w_1)}{w_0 x_1(w_1)}}_{Preisindex} \times \underbrace{\frac{w_0 x_1(w_1)}{w_0 x_1(w_0)}}_{Mengenindex} \quad (68)$$

mit

$x_t(w_s)$ : technisch und allokativ effiziente Faktoreinsatzmengen basierend auf der Technologie in Periode  $t$  und zu Preisen der Periode  $s$ .

Dieser Preisindex beinhaltet sowohl eine Preisentwicklung (dargestellt durch einen Preisindex), als auch eine Anpassung der Faktoreinsatzmengen aufgrund veränderter Preise (dargestellt durch einen Mengenindex).

### 8.5.3 Berechnung der effizienten Kostenverschiebung (ECC) im Rahmen eines Kosten-Malmquist

Der ECC lässt sich im Prinzip auf unterschiedliche Arten bestimmen. Zum einen kann der Kosten-Malmquist analog zu Maniadakis & Thanassoulis (2004) bestimmt und der resultierende CTC um die allokativ Verzerrung mit Hilfe des Fisher-Index  $\tilde{PI}$ , welcher als Gewichtungsschema die tatsächlichen Faktoreinsatzmengen der beiden Perioden verwendet, bereinigt werden.

Zum anderen kann jedoch auch ein alternativer Kosten-Malmquist berechnet werden:

$$\begin{aligned}
 KMI^* &= \left[ \frac{C_0(w_0, A_0, \bar{y})/w_0 \tilde{x}_0}{C_0(w_0, A_0, \bar{y})/w_1 \tilde{x}_1} \times \frac{C_1(w_1, A_1, \bar{y})/w_0 \tilde{x}_0}{C_1(w_1, A_1, \bar{y})/w_1 \tilde{x}_1} \right]^{1/2} \\
 &= \frac{C_0(w_0, A_0, \bar{y})/w_0 \tilde{x}_0}{C_1(w_1, A_1, \bar{y})/w_1 \tilde{x}_1} \times \left[ \frac{C_1(w_1, A_1, \bar{y})/w_1 \tilde{x}_1}{C_0(w_0, A_0, \bar{y})/w_1 \tilde{x}_1} \right. \\
 &\quad \left. \times \frac{C_1(w_1, A_1, \bar{y})/w_0 \tilde{x}_0}{C_0(w_0, A_0, \bar{y})/w_0 \tilde{x}_0} \right]^{1/2} \\
 &= \frac{EW_0(\bar{y}, w_0, \tilde{x}_0)}{EW_1(\bar{y}, w_1, \tilde{x}_1)} \times \left[ \frac{EW_1(\bar{y}, w_1, \tilde{x}_1)}{EW_0(\bar{y}, w_1, \tilde{x}_1)} \times \frac{EW_1(\bar{y}, w_0, \tilde{x}_0)}{EW_0(\bar{y}, w_0, \tilde{x}_0)} \right]^{1/2} \\
 &= \underbrace{\frac{C_0(w_0, A_0, \bar{y})/w_0 \tilde{x}_0}{C_1(w_1, A_1, \bar{y})/w_1 \tilde{x}_1}}_{\text{Catch-up:OEC}} \times \underbrace{\frac{C_1(w_1, A_1, \bar{y})}{C_0(w_0, A_0, \bar{y})}}_{\text{Frontier-Shift: 1/ECC}}
 \end{aligned} \tag{69}$$

mit

- $EW_t(\bar{y}, w_s, \tilde{x}_s)$ : Effizienzwert des Unternehmens mit Input- und Preisdaten aus Periode  $s$  aus einem Kosten-Benchmarking gegen alle anderen Unternehmen mit Daten aus Periode  $t$  (zum Optimierungsprozess vgl. Abschnitt 8.6),
- $\bar{y}$  Produktionsmenge des Unternehmens,
- $w_s$  Vektor der Inputpreise des Unternehmens in Periode  $s$ ,
- $\tilde{x}_0$  Vektor der tatsächlichen (verzerrten) Inputmengen des Unternehmens in Periode  $t$ .

Dieser Kosten-Malmquistindex unterscheidet sich vom Ansatz von Maniadakis & Thanassoulis (2004) insofern, als zur Bestimmung der Kreuzineffizienzen Faktorpreise und -mengen der jeweils gleichen Periode verwendet werden:

$$\begin{aligned}
 ECC &= \text{Frontier-Shift}(KMI^*) = \left[ \frac{EW_1(\bar{y}, w_1, \tilde{x}_1)}{EW_0(\bar{y}, w_1, \tilde{x}_1)} \times \frac{EW_1(\bar{y}, w_0, \tilde{x}_0)}{EW_0(\bar{y}, w_0, \tilde{x}_0)} \right]^{1/2} \\
 &\neq \left[ \frac{EW_1(\bar{y}, w_1, \tilde{x}_1)}{EW_0(\bar{y}, w_0, \tilde{x}_1)} \times \frac{EW_1(\bar{y}, w_1, \tilde{x}_0)}{EW_0(\bar{y}, w_0, \tilde{x}_0)} \right]^{1/2} = \text{Frontier-Shift}(KMI) \\
 &= CTC
 \end{aligned} \tag{70}$$

Allerdings basiert sowohl der ECC als auch der CTC auf der Berechnung der effizienten Kostengrenze, welche zum Beispiel in der DEA bestimmt werden kann.

Zur korrekten Bestimmung des ECC sind daher sowohl tatsächliche Faktoreinsatzmengen als auch Faktorpreise notwendig. Die Voraussetzung für eine korrekte Bestimmung der Effizienzgrenze ist daher, dass die technisch effiziente Grenze auf Basis der vorliegenden Daten abgeschätzt werden kann, d.h. dass es Unternehmen gibt welche zumindest technisch effizient sind. Die allokativ effizienten Faktoreinsatzmengen werden dann durch das Maximierungskalkül der DEA implizit bestimmt.

### 8.5.4 Approximation der effizienten Kostenverschiebung im Rahmen des TOTEX-Malmquist

#### Nominale TOTEX-Verschiebung ( $TCC^{NOM}$ )

In der Regulierungspraxis ist die Ermittlung der Kostenverschiebung ECC nicht möglich, falls die für die Berechnung des Kosten-Malmquist notwendige Kenntnis der Inputpreise und -mengen nicht gegeben ist. Ebenso kann nur auf die empirisch „beobachtbare Kostengrenze“ abgestellt werden, die durch die effizientesten Unternehmen im Datensatz bestimmt wird. Die effizienten Faktoreinsatzmengen werden daher nicht implizit geschätzt, sondern das Vorgehen setzt voraus, dass technisch und allokativ effiziente Unternehmen im Datensatz beobachtet werden. Zudem müssen alle Unternehmen des Datensatzes die gleichen Faktorpreise haben.

Auf Basis dieser Annahmen kann der folgende TOTEX-basierter Kosten-Malmquist berechnet werden:

$$TOTEX - MI = \underbrace{\frac{EW_0(TOTEX_0, \bar{y})}{EW_1(TOTEX_1, \bar{y})}}_{Catch-up=OEC} \times \underbrace{\left[ \frac{EW_0(TOTEX_1, \bar{y})}{EW_1(TOTEX_1, \bar{y})} \times \frac{EW_0(TOTEX_0, \bar{y})}{EW_1(TOTEX_0, \bar{y})} \right]^{1/2}}_{Frontier-Shift=TCC^{NOM}} \quad (71)$$

bzw. in Kurzform:

$$TOTEX - MI = OEC \times TCC^{NOM} \quad (72)$$

Mit

$EW_t(TOTEX_s, \bar{y})$ : Effizienzwert des Unternehmens mit nominalen TOTEX aus Periode s aus einem TOTEX-Benchmarking gegen alle anderen Unternehmen mit TOTEX aus Periode t (zum Optimierungsprozess vgl. Abschnitt 8.6).

Der Frontier-Shift approximiert den ECC und lässt sich in Kostennotation wie folgt darstellen:

$$\begin{aligned} TCC^{NOM} &= \left[ \frac{EW_0(TOTEX_1, \bar{y})}{EW_1(TOTEX_1, \bar{y})} \times \frac{EW_0(TOTEX_0, \bar{y})}{EW_1(TOTEX_0, \bar{y})} \right]^{1/2} \\ &= \left[ \frac{C_0^B/w_1 \tilde{x}_1}{C_1^B/w_1 \tilde{x}_1} \times \frac{C_0^B/w_0 \tilde{x}_0}{C_1^B/w_0 \tilde{x}_0} \right]^{1/2} = \frac{C_0^B}{C_1^B} \\ &= \underbrace{\frac{C_0(w_0, A_0, \bar{y})}{C_1(w_1, A_1, \bar{y})}}_{ECC} \times \underbrace{\frac{C_1(w_1, A_1, \bar{y})/C_1^B}{C_0(w_0, A_0, \bar{y})/C_0^B}}_{Verzerrung} \end{aligned} \quad (73)$$

Mit

$C_t(w_s, A_t, \bar{y})$ : effiziente Kostengrenze in Periode t,  
 $C_t^B$ : „beobachtete Kostengrenze“ durch die effizientesten Unternehmen im Datensatz auf Basis der TOTEX.

Ob es beim  $TCC^{NOM}$  zu einer Verzerrung kommt, ist daher abhängig davon, welche Kostengrenze in den Daten beobachtet werden kann. Generell kommt es zu keiner Verzerrung, wenn gilt

$$C_t^B = C_t(w_t, A_t, \bar{y}),$$

d.h. wenn der Benchmark von denjenigen Unternehmen gesetzt wird, welche die gleichen Faktorpreise wie das zu benchmarkende Unternehmen haben und diese sowohl technisch als auch allokativ effizient sind.

Zu einer Verzerrung kann es aber kommen, wenn unbeobachtete Ineffizienzen im Datensatz vorliegen, d.h. das oder die Unternehmen, welche den Benchmark setzen, nicht auf der tatsächlichen aber unbeobachteten minimalen Kostenfunktion produzieren ( $C_t(w_t, A_t, \bar{y})/C_t^B \neq 1$ ), **und** sich diese unbeobachtete Ineffizienz über die Zeit verändert:

$$C_0(w_0, A_0, \bar{y})/C_0^B \neq C_1(w_1, A_1, \bar{y})/C_1^B$$

Im empirischen Teil dieses Gutachtens (Abschnitt 5) werden zwei mögliche Quellen für Verzerrungen analysiert. Diese lassen sich theoretisch herleiten, in dem die Verzerrung alternativ durch Faktoreinsatzmengen und –preise dargestellt werden:

$$\frac{C_1(w_1, A_1, \bar{y})/C_1^B}{C_0(w_0, A_0, \bar{y})/C_0^B} = \frac{w_1 x_1 / w_1^B x_1^B}{w_0 x_0 / w_0^B x_0^B}$$

mit

- $w_t$ : Faktorpreise des zu benchmarkenden Unternehmens in Periode t,
- $x_t$ : technisch und allokativ effiziente Faktoreinsatzmenge des zu benchmarkenden Unternehmens in Periode t (zu Preisen  $w_t$ ),
- $w_t^B$ : Faktorpreise des oder der Unternehmen in Periode t, welche den Benchmark setzen und
- $x_t^B$ : tatsächliche Faktoreinsatzmengen des oder der Unternehmen in Periode t, welche den Benchmark setzen.

Verzerrungen können zum Beispiel dann auftreten, wenn das oder die Unternehmen, welche den Benchmark setzen, zwar den gleichen Faktorpreisen ausgesetzt sind, d.h.  $w_t = w_0^B$ , jedoch allokativ ineffizient sind ( $x_t \neq x_t^B$ ), **und** sich diese Ineffizienzen im Zeitablauf verändern (Szenario 4a/b). Alternativ treten Verzerrungen auf, wenn das oder die Unternehmen, welche den Benchmark setzen, zwar technisch und allokativ effizient sind, jedoch anderen Faktorpreisen ausgesetzt sind (d.h.  $w_t \neq w_t^B$ ), **und** sich die Faktorpreise unterschiedlich entwickeln (Szenario 6).

### Reale TOTEX-Verschiebung ( $TCC^{REAL}$ )

An Stelle des nominalen kann auch der reale Frontier-Shift ermittelt werden, wenn im TOTEX-Benchmarking eine Deflationierung der TOTEX vorgenommen wird. Analog zu Gleichung (71) oben lässt sich ein auf den realen TOTEX basierender Kosten-Malmquist  $TOTEX^{real} - MI$  wie folgt darstellen:

$$\begin{aligned} &TOTEX^{REAL} - MI \\ &= \frac{EW_0(TOTEX_0^{REAL}, \bar{y})}{EW_1(TOTEX_1^{REAL}, \bar{y})} \\ &\quad \underbrace{\hspace{10em}}_{Catch-up=OEC^{REAL}} \\ &\quad \times \underbrace{\left[ \frac{EW_0(TOTEX_1^{REAL}, \bar{y})}{EW_1(TOTEX_1^{REAL}, \bar{y})} \times \frac{EW_0(TOTEX_0^{REAL}, \bar{y})}{EW_1(TOTEX_0^{REAL}, \bar{y})} \right]^{1/2}}_{Frontier-Shift=TCC^{REAL}} \end{aligned} \tag{74}$$

bzw. in Kurzform:

$$TOTEX^{REAL} - MI = OEC^{REAL} \times TCC^{REAL} \quad (75)$$

Mit

$EW_t(TOTEX_s^{REAL}, \bar{y})$ : Effizienzwert des Unternehmens mit realen, das heißt deflationierten TOTEX aus Periode s aus einem TOTEX-Benchmarking gegen alle anderen Unternehmen mit realen TOTEX aus Periode t. Der Frontier-Shift approximiert in diesem Fall TC, was aus der Kostennotation ersichtlich wird.

$$TCC^{REAL} = \left[ \frac{EW_0(TOTEX_1^{REAL}, \bar{y})}{EW_1(TOTEX_1^{REAL}, \bar{y})} \times \frac{EW_0(TOTEX_0^{REAL}, \bar{y})}{EW_1(TOTEX_0^{REAL}, \bar{y})} \right]^{1/2}$$

$$= \left[ \frac{\frac{C_0^B}{w_1 \bar{X}_1}}{\frac{I_{1,0}}{C_1^B}} \times \frac{\frac{C_0^B}{w_0 \bar{X}_0}}{\frac{I_{1,0}}{C_1^B}} \right]^{1/2} = \frac{C_0^B}{C_1^B} \times I_{1,0} = \frac{C_0^B}{C_1^{B,REAL}} \quad (76)$$

wobei  $I_{1,0}$  den Deflationierungsindex darstellt. Wenn man diese Gleichung mit der Definition von ECC gemäß Gleichung (66) erweitert, erhält man

$$TCC^{REAL} = \underbrace{\left[ \frac{C_0(w_0, A_0, \bar{y})}{C_1(w_0, A_1, \bar{y})} \right]}_{TC} \bigg/ \underbrace{\left[ \frac{C_1(w_1, A_1, \bar{y})}{C_1(w_0, A_1, \bar{y})} \right]}_{PI} \times \underbrace{\frac{C_1(w_1, A_1, \bar{y})}{C_0(w_0, A_0, \bar{y})}}_{1/ECC} \times \frac{C_0^B}{C_1^B} \times I_{1,0}, \quad (77)$$

bzw.:

$$TCC^{REAL} = \underbrace{\left[ \frac{C_0(w_0, A_0, \bar{y})}{C_1(w_0, A_1, \bar{y})} \right]}_{TC} \times \underbrace{\frac{C_1(w_1, A_1, \bar{y})/C_1^B}{C_0(w_0, A_0, \bar{y})/C_0^B} \times \frac{I_{1,0}}{PI}}_{Verzerrung}, \quad (78)$$

Zusätzlich zu der oben besprochenen Verzerrung zwischen  $TCC^{NOM}$  und ECC (vgl. Gleichung (73)) tritt dabei eine weitere potenzielle Verzerrung auf, wenn der zur Deflationierung der TOTEX verwendete Preisindex ( $I_{1,0}$ ) nicht dem korrekten sektoralen Inputpreisindex (PI) entspricht.

Unterstellt man zunächst eine Deflationierung mit dem korrekten Preisindex PI, so ergibt sich aus den Gleichungen (73) und (76) folgender Zusammenhang zwischen  $TCC^{REAL}$  und  $TCC^{NOM}$ :

$$TCC^{REAL} = TCC^{NOM} \times PI \approx TC, \quad (79)$$

Nach Gleichung (78) kann  $TCC^{REAL}$  damit als Approximation für  $\Delta TFP^{EN}$  in der  $X_{GEN}$ -Gleichung (2) eingesetzt werden.

Falls jedoch nur Daten zu TOTEX vorliegen, während keine Daten zu Inputmengen und –preisen vorhanden sind, kann PI nicht exakt berechnet werden und muss mit einem anderen Indikator approximiert werden. Werden die TOTEX z.B. mit dem gesamtwirtschaftlichen VPI deflationiert werden, d.h. in Gleichung (78) VPI für den Deflator  $I_{1,0}$  eingesetzt wird, gilt approximativ:

$$TCC^{REAL} \approx TC \times \frac{1 + VPI}{PI}. \quad (80)$$

Da TC somit um das Verhältnis  $VPI/PI$  verzerrt ist, muss in der  $X^{GEN}$ -Formel (2) auch zwingend  $VPI$  als Approximation für  $\Delta w^{EN}$  eingesetzt werden. Dies wird im Folgenden gezeigt:

Durch Logarithmieren von (80) ergibt sich

$$\ln TCC^{REAL} \approx \ln TC + \ln VPI - \ln PI. \quad (81)$$

Da gilt

$$\ln TCC^{REAL} = \Delta TCC^{REAL}$$

$$\ln TC = \Delta TFP^{EN}$$

$$\ln VPI = \Delta VPI$$

$$\ln PI = \Delta w^{EN}$$

folgt gemäß Gleichung (42) für die  $X_{GEN}$ -Formel

$$X_{GEN} = \Delta w^{GW} - \Delta TFP^{GW} - (\Delta w^{EN} - \Delta TFP^{EN}),$$

so dass mit Gleichung (81) folgt:

$$X_{GEN} = \Delta w^{GW} - \Delta TFP^{GW} - (\Delta w^{EN} - \Delta TCC^{REAL} + \Delta VPI - \Delta w^{EN}) \quad (82)$$

und somit

$$X_{GEN} = \Delta w^{GW} - \Delta TFP^{GW} - (\Delta VPI - \Delta TCC^{REAL})$$

Aufgrund der Tatsache, dass  $\Delta w^{GW} - \Delta TFP^{GW}$  dem  $\Delta VPI$  entspricht, resultiert aus obiger Formel  $X_{GEN} = \Delta TCC^{REAL}$ .

## 8.6 DEA-Optimierungsalgorithmen

Der TC (technologische Fortschritt),  $TCC^{NOM}$  (nominale TOTEX-Verschiebung) und der ECC (effiziente Kostenverschiebung) fußen auf den DEA-Ergebnissen. Dieser Abschnitt beschreibt die diesen DEA-Rechnungen zugrundeliegenden Optimierungsprobleme. Da in sämtlichen Analysen dieses Berichts konstante Skalenerträgen unterstellt werden, beschränken sich die folgenden Ausführungen auf diesen Fall. Detailliertere Ausführungen sind für die Produktions-DEA in Coelli et al. (2005, insbesondere Formel 6.3, S. 163) und für die Kosten-DEA in Coelli et al. (2005, insbesondere Formel 7.1, S. 184) zu finden.

In diesem Kapitel werden folgende Variablen verwendet:

- $n$  steht für die Anzahl Unternehmen
- Unternehmen  $i$  verwendet  $L_i$  Einheiten Arbeit und  $K_i$  Einheiten Kapital
- Die für Unternehmen  $i$  relevanten Faktorpreise sind  $w_{L,i}$  für Arbeit und  $w_{K,i}$  für Kapital
- Die Kosten (TOTEX) von Unternehmen  $i$  betragen  $C_i$

### 8.6.1 DEA-Grundlagen zur Bestimmung des TC

Zur Bestimmung des TC mit der DEA dienen die mittels Produktions-DEA bestimmten Effizienzwerte. Dazu wird für jedes Unternehmen  $i$  das folgende lineare Optimierungsproblem gelöst:

$$\begin{aligned} \min_{\theta, \lambda} \quad & \theta \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j \geq y_i \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j L_j \leq \theta L_i \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j K_j \leq \theta K_i \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

Als Lösung erhält man den Effizienzwert  $\theta_i$  für Unternehmen  $i$  und die Aktivitätsniveaus  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ . Die Aktivitätsniveaus geben an, welche Linearkombination der im Datensatz abgebildeten Produktionsprozesse für das Unternehmen  $i$  die Effizienzgrenze setzt.

### 8.6.2 DEA-Grundlagen zur Bestimmung des TCC<sup>NOM</sup>

Zur Bestimmung des TCC<sup>NOM</sup> dienen die mittels Produktions-DEA bestimmten Effizienzwerte, falls anstelle der Inputmengen ( $L_i, K_i$ ) die TOTEX ( $C_i$ ) verwendet werden. Dazu wird für jedes Unternehmen  $i$  das folgende lineare Optimierungsproblem gelöst:

$$\begin{aligned} \min_{\theta, \lambda} \quad & \theta \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j \geq y_i \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j C_j \leq \theta C_i \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

### 8.6.3 DEA-Grundlagen zur Bestimmung des ECC

Für die Bestimmung des ECC werden pro Unternehmen die Ergebnisse der Kosten-DEA benötigt. Dieses lineare Optimierungsproblem sucht bei gegebenen Faktorpreisen nach den kostenminimalen Inputmengen ( $L_i^*, K_i^*$ ):



$$\begin{aligned}
 \min_{\lambda, L_i^*, K_i^*} \quad & w_{L,i} L_i^* + w_{K,i} K_i^* \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j & \geq y_i \\
 L_i^* & \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j L_j \\
 K_i^* & \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j K_j \\
 \lambda & \geq 0
 \end{aligned}$$

Die Optimierung liefert pro Unternehmen die minimalen Kosten  $C_i^*$ , womit die Kostenineffizienz als das Verhältnis von minimalen Kosten zu tatsächlichen Kosten, also  $C_i^*/C_i$ , bestimmt werden kann. Der ECC ergibt sich als die Veränderung der minimalen Kosten über die Zeit. Da die minimalen Kosten von den Faktorpreisen abhängig sind, ergibt sich für jede Gruppe von Unternehmen mit denselben Faktorpreisen ein eigener ECC. Im Bericht wurde entweder unterstellt, dass sich alle Unternehmen denselben Faktorpreisen gegenübersehen (in diesem Fall gibt es ein ECC) oder sich in zwei Gruppen teilen (dann gibt es zwei ECC).

## 8.7 Data Generating Process (DGP)

Die hypothetische Modellwelt soll so einfach wie möglich aber dennoch genügend reichhaltig sein, um die wichtigsten Fragestellungen analysieren zu können. Es wird angenommen, dass 100 Unternehmen aus den beiden Inputs Kapital (K) und Arbeit (L) den Output  $y$  produzieren. Konkret wird für  $f(K, L) = AK^{0.5}L^{0.5}$  eine Cobb-Douglas-Produktionsfunktion mit konstanten Skalenerträgen angenommen. Der Faktor  $A$  steht für das Ausmaß der Produktivität. Für Periode 0 wird  $A_0 = 1$  und für Periode 1 wird  $A_1 = 1.1$  angesetzt. Dies bedeutet, dass die Produktivität von Periode 0 zu Periode 1 um 10% zunimmt.

### Modellierung der technischen Ineffizienz

Damit im synthetischen Datensatz ineffiziente Unternehmen simuliert werden können, wird ein Ineffizienzterm  $u \geq 0$  hinzugefügt. Für effizient produzierende Unternehmen ist  $u = 0$  für alle anderen ist der Term positiv. Die einzelnen Ineffizienzterme sind unabhängig über die Unternehmen, innerhalb eines Unternehmens jedoch konstant über die Zeit. Es wird angenommen, dass der Ineffizienzterm eines Unternehmens ( $u_i$ ) halbnormal verteilt ist mit Varianz  $\sigma_u^2$ :  $u_i = |v_i|$  und  $v_i \sim N(0, \sigma_u^2)$ . Die Varianz wird auf  $\sigma_u = 0.2$  festgesetzt.

### Modellierung der Kostenfunktion unter Ineffizienz

Ergänzt um diesen Ineffizienzterm lautet die Produktionsfunktion  $y = \exp(-u) \cdot f(K, L)$ , was im konkreten Fall zu  $y = \exp(-u)AK^{0.5}L^{0.5}$  führt. Es wird unterstellt, dass sich die Unternehmen gegeben ihrem Ineffizienzwert und der Faktorpreise ( $w_K, w_L$ ) kostenminimierend verhalten. Das Ergebnis der Kostenminimierung ist die Kostenfunktion  $C(w_K, w_L, y)$ . Die Kostenfunktion gibt an, welche minimalen Kosten bei den Faktorpreisen  $w_L$  und  $w_K$  sowie dem Ineffizienzterm  $u$  nötig sind, um  $y$  Einheiten Output herzustellen. Die Faktornachfragen geben an,

welche Mengen an Kapital (K) und Arbeit (L) nötig sind, um dieses Kostenminimum zu erreichen. Für die Cobb-Douglas-Produktionsfunktion ist

$$L_t = \left( \frac{w_{K,t}}{w_{L,t}} \right)^{0.5} \cdot \frac{y_t}{A_t \cdot \exp(-u)} \quad (83)$$

die Faktornachfrage nach Arbeit und

$$K_t = \left( \frac{w_{L,t}}{w_{K,t}} \right)^{0.5} \cdot \frac{y_t}{A_t \cdot \exp(-u)} \quad (84)$$

die Faktornachfrage nach Kapital. Die Kostenfunktion lautet:

$$C_t(w_{L,t}, w_{K,t}, y) = 2 \cdot w_{L,t}^{0.5} w_{K,t}^{0.5} \cdot \frac{y_t}{A_t \cdot \exp(-u)} \quad (85)$$

(für die Herleitung vgl. Anhang, Abschnitt 8.4.1).

### Modellierung der inputorientierten allokativen Ineffizienz

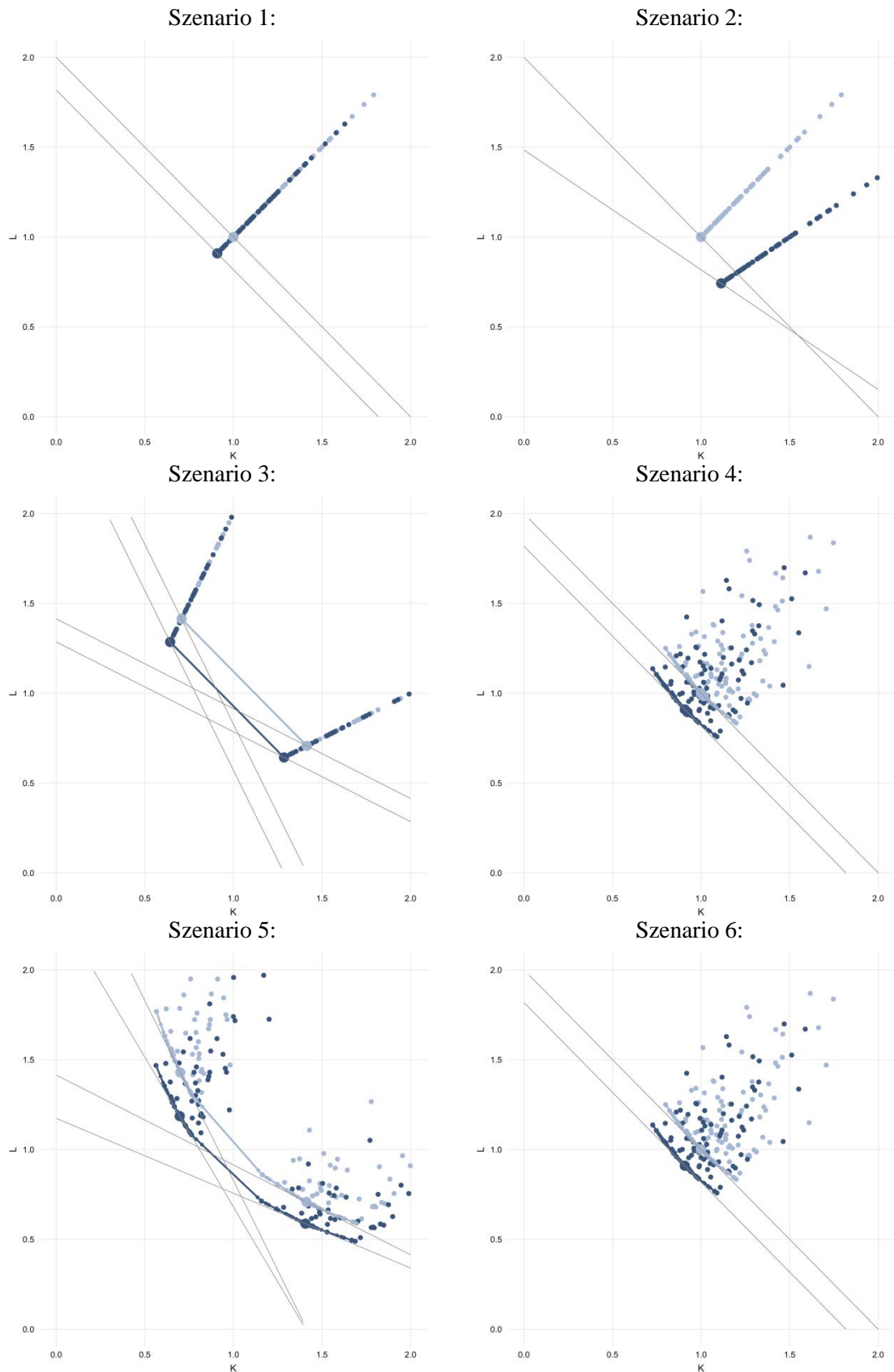
Zur Modellierung der allokativen Ineffizienz findet eine Orientierung an Kumbhakar (2000, S. 291 ff.) statt. Bei den Szenarien, welche allokativen Ineffizienz unterstellen, wird davon ausgegangen, dass jedes Unternehmen  $i$  nicht die tatsächlichen Faktorpreise ( $w_K, w_L$ ) in seinem Kostenminimierungskalkül berücksichtigt. Es verhält sich so, als ob die Faktorpreise ( $e^{\xi_i^K} \cdot w_K, e^{\xi_i^L} \cdot w_L$ ) betragen, wobei  $\xi_i^K \sim u(0, s)$ ,  $\xi_i^L \sim u(0, s)$  iid. für alle  $i$  und  $s > 0$ . Damit ist im Wesentlichen jedes Unternehmen allokativ ineffizient. Nur falls zufälligerweise für ein Unternehmen  $\xi_i^K = \xi_i^L = 0$  gilt, ist sie allokativ effizient. Dies ist jedoch höchst unwahrscheinlich. Es werden drei Varianten untersucht:

1. Das Ausmaß der allokativen Ineffizienz verändert sich zwischen den Perioden nicht, d. h.  $\xi_i^K$  und  $\xi_i^L$  sind in Periode 0 und 1 identisch mit  $\xi_i^K, \xi_i^L \sim u(0, 0.5)$ .
2. Das Ausmaß der allokativen Ineffizienz nimmt von Periode 0 zu Periode 1 ab. Dazu wird für Periode 0  $\xi_i^K, \xi_i^L \sim u(0, 1)$  und für Periode 1  $\xi_i^K, \xi_i^L \sim u(0, 0.25)$  angenommen. (Szenario 4a.)
3. Das Ausmaß der allokativen Ineffizienz nimmt von Periode 0 zu Periode 1 zu. Dazu wird für Periode 0  $\xi_i^K, \xi_i^L \sim u(0, 0.25)$  und für Periode 1  $\xi_i^K, \xi_i^L \sim u(0, 1)$  angenommen. (Szenario 4b.)

### Datensatz für die Faktorpreisszenarien

Die zu jedem Faktorpreisszenario erzeugten Datensätze lassen sich grafisch darstellen. Abbildung 13 zeigt für jedes Szenario die simulierten Unternehmensdaten. Jeder Punkt steht für ein Unternehmen. Die hellblauen Punkte sind die Daten der Periode 0 und die dunkelblauen Punkte die Daten der Periode 1. Auf der horizontalen Achse ist die Kapitaleinsatzmenge und auf der vertikalen Achse die Arbeitseinsatzmenge abgetragen. Der Output ist für alle Unternehmen auf eine Einheit normiert. Die diagonalen Linien stehen für die Isokostenlinien der effizienten Kosten, wie sie vom Kosten-Malmquist bestimmt werden.

Abbildung 13 Datensätze zu den sechs Faktorpreisszenarien



*Die sechs Diagramme in der Abbildung stellen die Faktorpreisszenarien grafisch dar. Jeder hellblaue (dunkelblaue) Punkt entspricht dabei einem Unternehmen in Periode 0 (1), die entsprechend eingefärbten Kurven stellen die zugehörigen Isoquanten und die grauen Linien die Isokostenlinien der effizienten Kosten dar. Die Veränderung der Datenpunkte von Periode 0 zu 1 bezüglich der Kapitaleinsatzmenge (horizontale Achse) bzw. der Arbeitseinsatzmenge (vertikale Achse) kommen dabei – wie in Tabelle 12 dargestellt – durch einen technologischen Fortschritt und je nach Szenario einer Faktorpreisentwicklung zustande.*

---

Quelle: Polynomics / Jacobs University.

## 9 Anhang: Quellenverzeichnis

- Bernstein J.I. & Sappington, D.E., 1999, „Setting the X factor in price-cap regulation plans”, *Journal of Regulatory Economics*, 16(1), S. 5-25.
- BNetzA, 2006, „Generelle sektorale Produktivitätsentwicklung im Rahmen der Anreizregulierung“, Bundesnetzagentur, Bonn, Januar 2006.
- BNetzA, 2016, „Gutachten zur Bestimmung des generellen sektoralen Produktivitätsfaktors sowie Unterstützungsleistung von bis zu 60 Personentagen durch gleiches Personal“, Ausschreibung, Bonn, 07. Januar 2016.
- Brunekreeft, G. & Meyer, R., 2016, „Anreizregulierung bei Stromverteilnetzbetreiber: Effizienz versus Investitionen”, *Perspektiven der Wirtschaftspolitik*, Vol. 17, No. 2, pp. 172-187.
- Brunekreeft, G. & Müller, Chr., 2006, ‘Der generelle X-Faktor in der Anreizregulierung’, *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, Sept. 2006.
- Brunekreeft, G., 2007, „Anreizregulierung – Ökonomische Aspekte-Grundzüge des generellen X-Faktors“. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 57(10), 36-38.
- Caves, D. W., Christensen, L. R., & Diewert, W. E., 1982, “The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity”, *Econometrica*, S.1393-1414.
- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E., 2005, *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Springer Science & Business Media.
- E-Control, 2013, *Regulierungssystematik für die dritte Regulierungsperiode der Stromverteilnetzbetreiber*, 1. Januar 2014 – 31. Dezember 2018, E-Control, Wien.
- Färe, R., & Grosskopf, S. Lindgren, B. & Ross, P., 1989, „Productivity developments in Swedish hospital: A Malmquist output index approach”, *Data Envelopment Analysis: Theory, methodology and applications*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., & Zhang, Z., 1994, „Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries”, *American economic review*, 66-83.
- Hall, Robert E. 1973. „The specification of technology with several kinds of output.“ *The Journal of Political Economy*: 878–892. <http://www.jstor.org/stable/1831132>.
- Knieps, G. 2001, *Wettbewerbsökonomie. Regulierungstheorie, Industrieökonomie, Wettbewerbspolitik*, Springer.
- Kumbhakar, Subal C., and C. A. Knox Lovell. 2000. *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge University Press.
- Malmquist, S., 1953, "Index Numbers and Indifference Surfaces," *Trabajos de Estadística*, Vol. 4, pp. 209-242.
- Maniadakis, N., & Thanassoulis, E., 2004, “A cost Malmquist productivity index”, *European Journal of Operational Research*, 154(2), 396-409.
- Plaut Economcis (2006), “Anreizregulierung: Gutachten zum Berichtsentwurf der BNetzA nach §112a ENWG zur Einführung der Anreizregulierung, Olten.

- Quinn M. & Makholm, J, 1997, „Price cap plans for electricity distribution companies using TFP analysis“, NERA Working Paper, London 1997.
- Schmitt, S. & Stronzik, M., 2015, „Die Rolle des generellen X-Faktors in verschiedenen Regulierungsregimen“, WIK Diskussionsbeitrag, Bad Honnef, Juli 2015.
- Simar, L. & Wilson, P. W., 1999, „Estimating and bootstrapping Malmquist indices“, European Journal of Operational Research, 115 (3): 459–471.
- Simar, L. & Wilson, P. W., 2004, „Performance of the Bootstrap for Dea Estimators and Iterating the Principle“, in Handbook on Data Envelopment Analysis, herausgegeben von William W. Cooper, L. M. Seiford, und J. Zhu, 265–98. International Series in Operations Research & Management Science, Springer.
- Steinmann, L, 2002, „Konsistenzprobleme der Data Envelopment Analysis in der empirischen Forschung“, University of Zurich, Faculty of Economics.

Polynomics AG  
Baslerstrasse 44  
CH-4600 Olten

[www.polynomics.ch](http://www.polynomics.ch)  
[polynomics@polynomics.ch](mailto:polynomics@polynomics.ch)

Telefon +41 62 205 15 70

Jacobs University Bremen GmbH  
Bremen Energy Research  
Campus Ring 1  
D-28759 Bremen

[http://b-e-r.user.jacobs-university.de/  
g.brunekreeft@jacobs-university.de](http://b-e-r.user.jacobs-university.de/g.brunekreeft@jacobs-university.de)

Telefon +49 421-200 3497