

**Innovationseffizienz in den  
EU-Ländern  
Ein Data-Envelopment-Analysis-Ansatz  
(DEA)**

**Agnes Kügler, Jürgen Janger**

Wissenschaftliche Assistenz: Anna Strauss



# Innovationseffizienz in den EU-Ländern

## Ein Data-Envelopment-Analysis-Ansatz (DEA)

**Agnes Kügler, Jürgen Janger**

**Juni 2015**

Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung

Im Auftrag des Rates für Forschung und Technologieentwicklung

Begutachtung: Michael Klien, Serguei Kaniovski • Wissenschaftliche Assistenz: Anna Strauss

### Inhalt

Innovationsaktivitäten sind ein zentrales Element für Strategien zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und zur Bewältigung von Herausforderungen wie dem Klimawandel. Die Umsetzung solcher Innovationsstrategien wird in vielen Ländern allerdings durch die Knappheit öffentlicher Mittel im Gefolge der Wirtschaftskrise erschwert. Daher ist ein effizienter Einsatz der knappen Ressourcen im FTI-Bereich entscheidend und das Interesse an adäquaten Methoden zur Effizienzmessung im Ländervergleich entsprechend groß. Die vorliegende Studie nimmt einen systematischen Leistungsvergleich der Länder der EU 28 mit einer Data Envelopment Analysis (DEA) vor. Österreich könnte demnach durch einen effizienteren Einsatz der verfügbaren Mittel eine Steigerung des Innovationoutputs ohne entsprechende Steigerung der Inputs erreichen. Die innovationsstärksten Länder (Innovation Leaders) sind nicht immer auch die effizientesten, wie das Beispiel Schwedens oder Finnlands zeigt, deren Effizienz ebenso noch Verbesserungspotential aufweist. Allerdings sollte die Wahl der einbezogenen Input- und Innovationoutputindikatoren wohlüberlegt sein, da sie erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse der Analyse hat. Daneben birgt die DEA weitere Nachteile (z. B. Linearität der Innovationsprozessstruktur), die bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden sollten.

Rückfragen: [Agnes.Kuegler@wifo.ac.at](mailto:Agnes.Kuegler@wifo.ac.at), [Juergen.Janger@wifo.ac.at](mailto:Juergen.Janger@wifo.ac.at), [Anna.Strauss@wifo.ac.at](mailto:Anna.Strauss@wifo.ac.at)

2015/175/A/WIFO-Projektnummer: 5814

© 2015 Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung

# 1 Einleitung

Innovationsaktivitäten stellen in fortgeschrittenen Volkswirtschaften an der *Frontier* das dominante Element von Unternehmensstrategien sowohl für eine Absicherung der Wettbewerbsfähigkeit gegenüber aufstrebenden Volkswirtschaften mit Lohnkostenvorteilen als auch für Wachstumsstrategien dar (z.B. Cooke et al. (2011), Aghion und Howitt (2006), Hölzl und Janger (2014)). Sie werden damit nicht nur als treibende Faktoren für die Rückkehr zu einem Wachstums- und Wohlstandspfad nach der seit 2008 andauernden Wirtschaftskrise, sondern auch als zentrale Hebel für die Bewältigung von *grand challenges* wie z.B. Klimawandel und Ressourcenknappheit gesehen (Aghion et al. (2009)). Infolgedessen gewinnen Innovationsindikatoren wie das Innovation Union Scoreboard (European Commission (2015b)) und das daraus berechnete Ranking einzelner Länder immer mehr an Bedeutung: Internationale Vergleiche von Niveau und Veränderung der Innovationsaktivitäten können Aufschluss über Schwächen und Stärken der in den jeweiligen Ländern vorherrschenden innovationsrelevanten Rahmenbedingungen und Politikmaßnahmen zur Förderung von Innovation geben. Eine Verbesserung der Innovationsleistung gemessen an diesen Indikatoren ist daher in vielen EU-Mitgliedstaaten ein zentrales politisches Anliegen. Auch im Rahmen der Wachstumsstrategie *Europa 2020* liegt eine der drei Prioritäten darin, wirksamere Investitionen in Bildung, Forschung und Innovation zu tätigen, um die Beschäftigung, Produktivität und den sozialen Zusammenhalt der europäischen Länder zu stärken (vgl. European Commission (2015a)).

Allerdings wird die Umsetzung nationaler Innovationsstrategien sowie der ambitionierten Ziele der EU<sup>1</sup> oft durch die im Gefolge der Krise eingetretene Budgetknappheit der Mitgliedstaaten, wie auch in Österreich, erschwert. Als Folge ist ein effizienter Einsatz der knappen Ressourcen auch im Bereich der Forschung, Technologie und Innovation entscheidend. Daher finden sich in der Innovationsliteratur immer häufiger Beiträge zur Effizienz(messung) der Innovationsleistung. Während sich einige ForscherInnen auf die Untersuchung von Firmendaten (vgl. Guan et al. (2006), Alegre et al. (2006) oder Cruz-Cázares et al. (2013)) oder Sektoranalysen (vgl. Feng et al. (2013)) konzentrieren, steht die Effizienzanalyse von nationalen Innovationssystemen bei Hollanders und Celikel-Esser (2007) und Guan und Chen (2012) im Mittelpunkt.

Ziel einer solchen Effizienzanalyse ist, jene Entscheidungsträger- sogenannte *decision-making units* (z.B. Länder, Unternehmen, Individuen etc.)- miteinander zu vergleichen, die ähnliche Ressourcen oder Inputs (wie z.B. Finanzierung von F&E (Forschung und Entwicklung)) verwenden, um diese in die selbe Art von Output (z.B. Produkt- oder Prozessinnovationen) zu verwandeln. Diese Vergleiche ermöglichen es, Verbesserungspotentiale der einzelnen Länder sichtbar zu machen- insbesondere hinsichtlich einer optimalen Verteilung knapper Ressourcen. Insofern kann ein systematischer Leistungsvergleich Lern-, Koordinierungs- und Motivationseffekte bewirken (Austausch von *best practice*, der im Grunde auch den Koordinierungsprozessen der EU zugrunde liegt, wo die EU über keine eigenen Kompetenzen verfügt, etwa im Rahmen des europäischen Semesters). Besonders effiziente Länder können als Vorbild dienen und liefern wertvolle Information zu konkreten Innovationszielen.

---

<sup>1</sup>Ein konkretes Ziel von *Europa 2020* ist z.B. der Aufwand von 3 % des BIP der EU für Forschung und Entwicklung (vgl. European Commission (2015a)).

Eine einfache Gegenüberstellung von Inputs und Outputs wie etwa bei Edquist und Zabala-Iturriagagoitia (2015) birgt aber die Gefahr von Verzerrungen. In letzterem Papier werden Inputindikatoren linear aggregiert und dann einfach durch die aggregierten Outputindikatoren dividiert. Dies lässt außer Acht, dass nicht alle Inputs gleichermaßen auf alle Outputs wirken, sondern dass es mehrere Umwandlungsprozesse von Inputs in Outputs gibt, die unterschiedlich starke Auswirkung auf die Gesamteffizienz haben können (z.B. Nutzung von Finanzierung vs. Humanressourcen für Innovationsoutput). Beispielsweise könnte ein Land bezüglich seiner partiellen Effizienzkennzahlen besser sein als alle anderen Länder, aber die Gesamteffizienz dieses Landes könnte dennoch geringer ausfallen. „The reason is that to do well in total, it is not only important to do well in the different sub-processes – it is also important to make use of the sub-processes that have relatively higher productivities than others“ (Bogetoft und Otto (2010)). Damit zusammenhängend ist auch ein Nachteil dieses Ansatzes, dass es immer nur eine effizienteste Input-Outputkombination geben kann. Besser wäre eine Methode der Effizienzmessung, die es ermöglicht mehrere Input- und Outputfaktoren gleichzeitig zu berücksichtigen und damit auch unterschiedliche Kombinationsmöglichkeiten zuzulassen.

Daher wird oft auf die Berechnung des Abstands eines Landes von der Effizienzgrenze (die sog. *Frontier*) im Rahmen der von Charnes et al. (1978) entwickelten *Data Envelopment Analyse* (DEA) zurückgegriffen. Sie ermöglicht ganz allgemein einen Vergleich von Produktionsvorgängen bei Vorliegen mehrerer Inputs und Outputs und kann damit aufzeigen, welche Länder am effizientesten bei der Umwandlung von Inputs in Outputs sind<sup>2</sup>. Dabei gilt es zu beachten, dass der *Frontier*-Begriff in der DEA nicht dem *Frontier*-Begriff der Innovationsliteratur entspricht: in letzterer bezieht er sich auf die fortgeschrittenste Ausprägung einer bestimmten Technologie, d.h. auf den fortgeschrittensten Innovationsoutput hinsichtlich der Qualität der Innovation, ohne Berücksichtigung der Inputs, die für diesen Output notwendig sind. In der DEA bezieht sich der *Frontier*-Begriff auf das optimalste Verhältnis von Inputs zu Outputs; auch technologisch nicht sehr fortgeschrittene Länder können dabei an der *Frontier* liegen, wenn sie mit relativ wenig Inputs relativ viel Output erzeugen.

Hollanders und Celikel-Esser (2007) verwenden das *European Innovation Scoreboard* (EIS) 2007, um die Innovationsleistung europäischer Länder im Rahmen einer DEA zu untersuchen. Durch ihre Effizienzanalyse schlagen sie gezielte Politikmaßnahmen für unterschiedliche Ländergruppen vor: Länder, die bereits einen sehr hohen Grad an Innovationseffizienz aufweisen, werden ihre Innovationsleistung wahrscheinlich nur durch eine Erhöhung der Inputfaktoren steigern können. Hingegen haben Länder mit geringem Effizienzgrad das Potenzial, ihre Performance durch eine verbesserte Umwandlung von Innovationsinputs in Output ohne zusätzliche Verwendung von Inputfaktoren zu steigern.

Nach einer kurzen Einführung in die *Data Envelopment Analyse* (DEA) wird diese in der vorliegende Studie unter Verwendung von verschiedenen Input- und Outputindikatoren zur relativen Bewertung der Innovationsleistung der EU28 Länder eingesetzt. Gegenüber Hollanders und Celikel-Esser (2007) werden rezentere Daten sowie eine veränderte Methodik und Indikatorenaus-

---

<sup>2</sup>Neben der DEA wird zur Effizienzmessung häufig auch eine *Stochastic Frontier Analyse* (SFA) eingesetzt. Auf Grund des mehrdimensionalen Outputs und der geringen Stichprobengröße wurde in diesem Bericht der DEA aber der Vorzug gegeben.

wahl herangezogen: Datengrundlage bilden zum einen die Innovationsindikatoren des *Innovation Union Scoreboard* (IUS) 2014 und zum anderen zusätzliche bzw. korrigierte Indikatoren des WI-FO, um die Bedeutung der Indikatorenauswahl bei Analysen mittels DEA zu veranschaulichen. Abschließend folgt eine kurze kritische Betrachtung der DEA und der Implikationen ihrer zu Grunde liegenden Annahmen, sowie ihrer Anwendung auf nationale Innovationssysteme.

## 2 Effizienzanalyse mittels der Data Envelopment Analyse (DEA)

### 2.1 Bestimmung der Effizienzgrenze

Im Rahmen einer DEA wird zunächst die Menge aller Innovationsinput- und -outputkombinationen,  $T$ , bestimmt, die den Anspruch erfüllt, dass ein gegebener Innovationsoutput durch die verwendeten Inputfaktoren produziert werden kann. Die empirische Annäherung an diese Menge wird nach dem *minimal extrapolation principle* (vgl. Bogetoft und Otto (2010)) durchgeführt. Diese geschätzte Menge soll die kleinste Untermenge aus der Menge aller Kombinationen sein, die die beobachteten Daten enthält und getroffenen Annahmen über die theoretisch mögliche Menge (z.B. Form der Skalenerträge) erfüllt. Abbildung 1(a) zeigt eine mögliche Approximation unter Annahme konstanter und variabler Skalenerträge im zweidimensionalen Raum (ein Input und ein Output). Die *Frontier* oder Effizienzgrenze der geschätzten Menge (schwarze Kurve) ummantelt die realisierten Input-Output Verhältnisse der Entscheidungsträger (blaue Punkte). Auf ihr liegen die optimal möglichen Kombinationen. Wird nun angenommen, dass die effizientesten beobachteten Werte entlang dieser *Frontier* liegen, kann die Menge aller Input und Outputkombinationen ( $T$ ) durch lineare Interpolation approximiert werden, d.h. dass die effizientesten Länder - bzw. die effizientesten Input-Output-Kombinationen - linear verknüpft werden. Unter der Annahme von variablen Skalenerträgen würde sich diese approximierte Menge  $T^*$  (rot), unter der Annahme konstanter Skalenerträge  $T'$  (grün) ergeben.

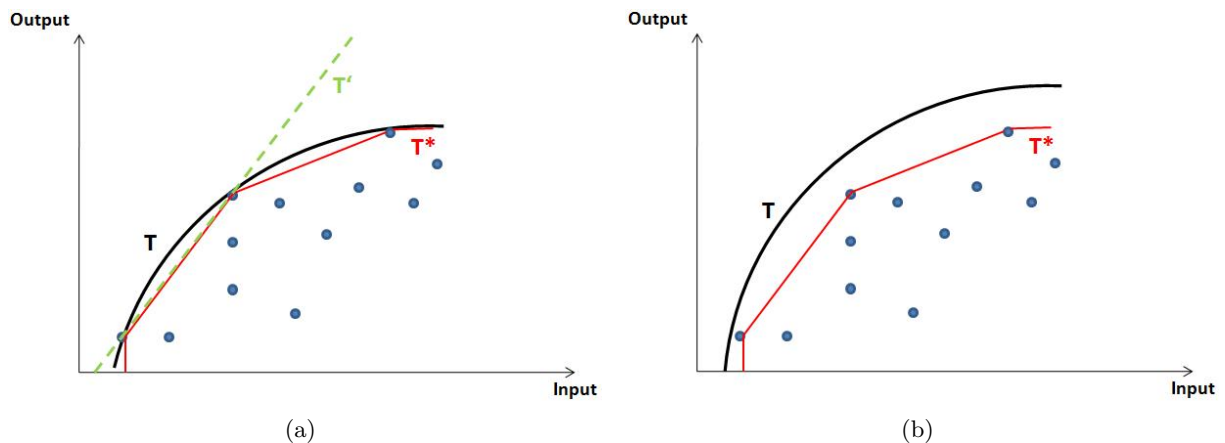


Abbildung 1: Input-Output Kombinationen, *Frontier* und Skalenerträge

Denkbar ist natürlich auch, dass die effizientesten Beobachtungen nicht auf der Frontier der Menge  $T$  liegen. Da  $T$  unbekannt ist, wäre auch eine Situation wie in Abbildung 1(b) möglich. Die approximierte *Frontier*  $T^*$  unterschätzt in diesem Fall die tatsächliche *Frontier*  $T$  der Kom-

binationsmenge. Wird Effizienz als der Abstand eines Landes zur *Frontier* definiert, bildet die geschätzte *Frontier*  $T^*$  auf Basis der effizientesten Beobachtungen ein vorsichtiges/konservatives Bild. Die Approximation basiert auf den best-practice Fällen und die beobachteten Länder haben die tatsächliche Effizienzgrenze evt. noch gar nicht erreicht. Als Folge werden Länder effizienter eingestuft als sie tatsächlich sind. Insofern handelt es sich immer um relative Effizienz im Hinblick auf die effizientesten Beobachtungen und nicht um absolute Effizienz. Zudem spielt auch die Wahl der unterstellten Skalenerträge, die theoretisch fundiert sein kann, eine Rolle. Wie in Abbildung 1(a) erkennbar, gibt es bei variablen Skalenerträgen eine größere Anzahl an effizienten Ländern als bei konstanten Skalenerträgen. Dies kann in manchen Fällen eine Differenzierung zwischen Ländern schwieriger gestalten.

## 2.2 Abstandsbestimmung zur Effizienzgrenze

Im nächsten Schritt der DEA, nach der Bestimmung der geschätzten Effizienzgrenze, erfolgt nun die Abstandsmessung der Länder zu dieser Effizienzgrenze. Will man den Abstand einer Beobachtung von der Effizienzgrenze (d.h. den Abstand von einem blauen Punkt zur geschätzten Effizienzgrenze  $T^*$ ) berechnen, finden sich in der Literatur verschiedene Effizienzmaße, wobei sich besonders das Farrell-Maß (vgl. Farrell (1957)) als Standardmaß etabliert hat. Die Idee hinter diesem Ansatz besteht in der Konzentration auf proportionale Veränderungen (siehe Abbildung 2). Das Farrell-Effizienzmaß misst die mögliche proportionale Reduktion der Inputs bei gleichzeitig konstantem Output bzw. die proportionale Steigerung des Outputs bei konstanten Inputfaktoren.

Angenommen es werden zwei Inputfaktoren verwendet mit deren Hilfe eine Isoquante erstellt werden kann, d.h. eine Linie, auf der sich alle Kombinationen der Inputfaktoren befinden, die den gleichen Output erzeugen. Abbildung 2(a) zeigt den optimalen Punkt auf der Input-Isoquante  $x^*$ . Dieser Punkt resultiert aus einer proportionalen Reduktion der tatsächlich verwendeten Inputkombination  $(x)$ , sodass er gerade noch auf der Input-Isoquante liegt und der selbe Output  $(y)$  produziert werden kann. Demnach wird die sog. *Input-Effizienz* durch den kleinsten Faktor  $E$  berechnet, sodass der Output  $y$  gerade noch produziert wird und  $x^* = Ex$  gilt (vgl. Bogetoft und Otto (2010)). Die umgekehrte Logik hält im Fall von *Output-Effizienz*. Abbildung 2(b) zeigt die Transformationskurve, die das Maximum an möglichen Outputkombinationen unter Verwendung der verfügbaren Inputfaktoren beschreibt.  $y^*$  ist jener Punkt auf der Transformationskurve, der durch den Einsatz gegebener Inputs eine optimale Outputkombination produziert. Der Abstand von  $y^*$  zu dem tatsächlich produzierten Output  $y$  misst den Grad der Output-Effizienz (siehe Abbildung 2(b)). Sie wird durch den größten Faktor  $F$  berechnet, mit dem der tatsächlich produzierte Output multipliziert werden kann ohne zusätzliche Inputs zu verbrauchen.

In Abbildung 2(c) sind die beobachteten Input- Outputkombinationen, sowie die geschätzte *Frontier*,  $T^*$ , eingezeichnet. Das Farrell-Maß lässt sich auch folgendermaßen erklären: Die Input-Output Kombination von Land  $B$  befindet sich innerhalb der geschätzten Effizienzgrenze. Demnach wäre es möglich den selben Output  $y_B$  mit niedrigerem Input  $x_B^*$  zu produzieren anstatt den Inputfaktor  $x_B$  zu benötigen. Die Input-Effizienz ergibt sich aus dem Verhältnis des idealen zum tatsächlich verwendeten Inputfaktor,  $E_B = x_B^*/x_B$  und  $x_B^* = E_B \cdot x_B$ . Wird Land  $B$  mit der

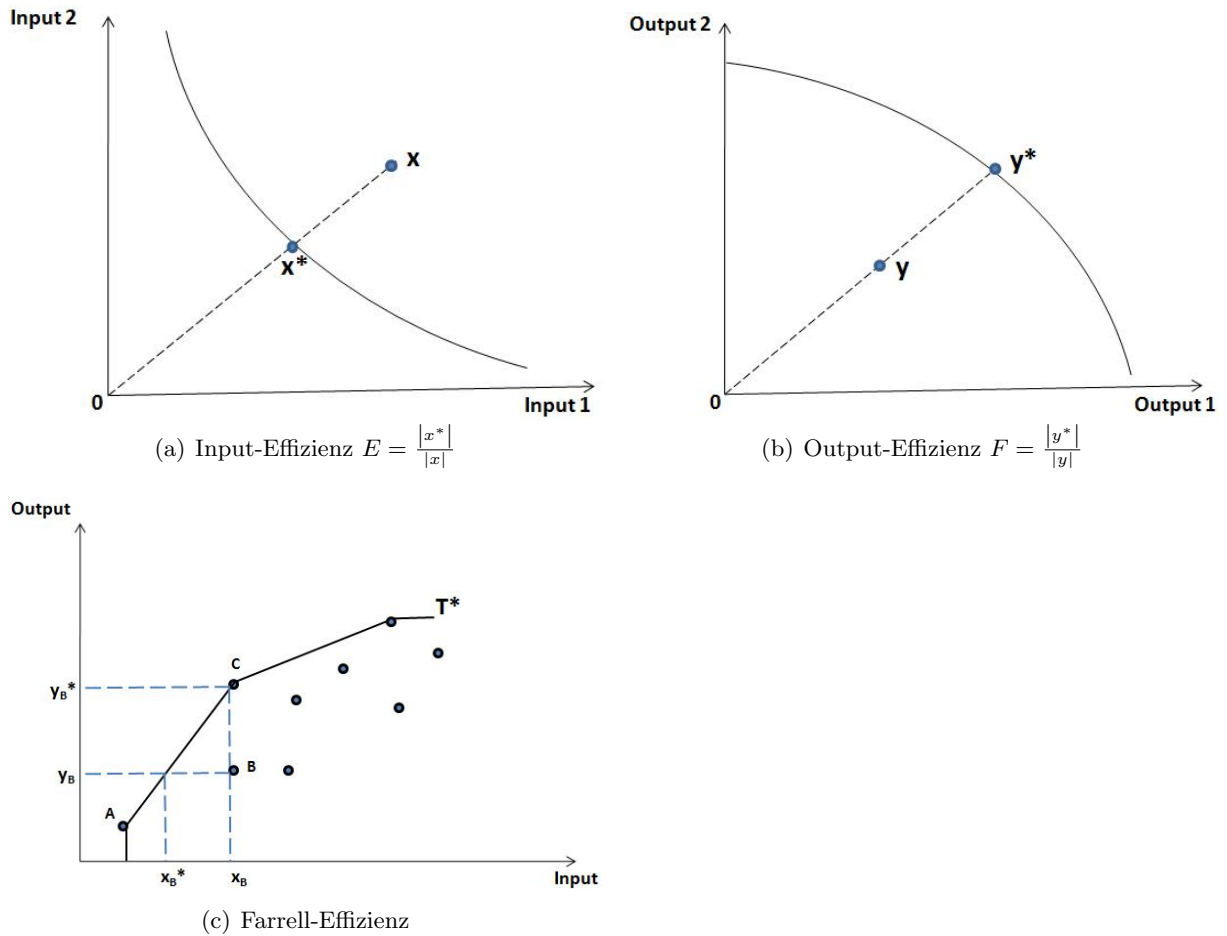


Abbildung 2: Messen der Farrell-Effizienz

Effizienzgrenze verglichen, handelt es sich dabei um einen Vergleich zwischen Land  $B$  und einer konvexen Kombination von Land  $A$  und Land  $C$ . Im allgemeineren Fall mit mehreren Input- und Outputfaktoren, ist die Idee hinter der Farrell Input-Effizienz jene, nach einer proportionalen Reduktion aller Inputs zu suchen, die die Produktion der Outputfaktoren noch zulässt. Das mehrdimensionale Optimierungsproblem lässt sich wie folgt darstellen

$$E = \min\{E > 0 \mid (Ex, y) \in T\}.$$

Ein Effizienzwert von  $E = 0,8$  würde bedeuten, dass 20% aller Inputfaktoren eingespart werden könnten um den selben Output zu produzieren.

Analog kann die Output-Effizienz eines Landes in 2(c) erklärt werden. Land  $B$  könnte durch den Einsatz an  $x_B$  Inputs im Idealfall einen Output in der Höhe von  $y_B^*$  produzieren. Die Output-Effizienz ergibt sich somit aus dem Verhältnis des idealen zum tatsächlich erreichten Output,  $F_B = y_B^*/y_B$  und  $y_B^* = F_B \cdot y_B$ . Die Farrell Output-Effizienz mit mehreren Input- und Outputfaktoren wird definiert als

$$F = \max\{F > 0 \mid (x, Fy) \in T\}.$$

Ein Farrel-Maß von  $F = 1,3$  würde darauf hinweisen, dass ohne gleichzeitige Erhöhung der Inputfaktoren eine Steigerung aller Outputfaktoren eines Landes um 30% erreicht werden könnte<sup>3</sup>. Effiziente Länder weisen weiterhin den Wert 1 auf.

Wie oben erwähnt, handelt es sich bei dem Vergleich mit der Effizienzgrenze eigentlich um einen Vergleich mit einer Linearkombination anderer (effizienterer) Länder, d.h. dass der Vergleich nicht mit der gesamten Effizienzgrenze, sondern mit einem Punkt auf der *Frontier* erfolgt. Es werden also im Zuge der DEA immer Referenzeinheiten (*reference units*) auf Basis der  $K$  beobachteten Entscheidungsträger (z.B. Länder) in Form von  $(\sum_{k=1}^K \lambda^k x^k, \sum_{k=1}^K \lambda^k y^k)$  berechnet, die als Vergleichspunkt entlang der Effizienzgrenze dienen. Länder werden (positiv) gewichtet, wenn der Referenzpunkt auf der *Frontier* durch eine Linearkombination ihrer Input-Output-Verhältnisse beschrieben werden kann (anderfalls ist  $\lambda = 0$ )<sup>4</sup>. Länder mit positiven Gewichten ( $\lambda > 0$ ) werden *Peer Group* genannt. Die Referenzpunkte (und somit auch die Mitglieder der *Peer Group*) können sich zwischen den einzelnen Beobachtungen ändern.

Ein Nachteil des traditionellen Farrell-Effizienzmaßes ist, dass ein Land als effizient eingestuft wird,  $F = 1$  ( $E = 1$ ) obwohl weitere einzelne Outputfaktoren (Inputfaktoren) erhöht (reduziert) werden könnten ohne gleichzeitig Inputfaktoren (Outputs) erhöhen (mindern) zu müssen. Dieser Umstand tritt bei der DEA relativ häufig auf und resultiert aus der Tatsache, dass das Farrell-Maß auf Basis der proportionalen Erhöhung aller Outputfaktoren bzw. der proportionalen Reduktion aller Inputs berechnet wird. Abbildung 3 zeigt eine geschätzte Transformationskurve, die das Problem verdeutlichen soll. Vier Beobachtungen (A bis D) liegen auf der Kurve und haben eine Farrell-Output-Effizienz von eins. Allerdings könnte Beobachtung A Output 1 (nicht aber Output 2) weiter erhöhen ohne zusätzliche Inputfaktoren zu benötigen. Insofern ist A zwar Farrell-effizient, aber dennoch in dieser Hinsicht ineffizient. Beobachtung E ist Farrell-ineffizient. Darüber hinaus wäre aber auch nach einer proportionalen Erhöhung der beiden Outputfaktoren eine Erhöhung von Output 2 ohne zusätzliche Inputfaktoren möglich. Diese Outputdefizite, sog. *Slacks*<sup>5</sup>, können berechnet werden und bieten somit die Möglichkeit auch zwischen effizienten Beobachtungen anhand der Größe der berechneten *Slacks* weiter zu differenzieren. Demnach weisen alle Beobachtungen, die auf horizontale oder vertikale Abschnitte der *Frontier* projiziert werden, *Slacks* ungleich Null auf (vgl. Cook und Seiford (2009)).

---

<sup>3</sup>Oft wird bei der Darstellung der inverse Wert von  $F$  angeführt, d.h. bei einem Farrell-Maß von 1,3 wird stattdessen 0,77 angegeben.

<sup>4</sup>Die Effizienz eines Landes wird also immer in Relation zu dem optimalen Punkt auf der *Frontier* berechnet. Dieser optimale Referenzpunkt wird durch eine Linearkombination der nächsten effizienten Ländern auf der *Frontier* gebildet. Die Länder, die zur Berechnung des Referenzpunktes verwendet werden, erhalten daher ein positives Gewicht  $\lambda > 0$ .

<sup>5</sup>Analog können Input-Slacks als Inputüberschüsse interpretiert werden.



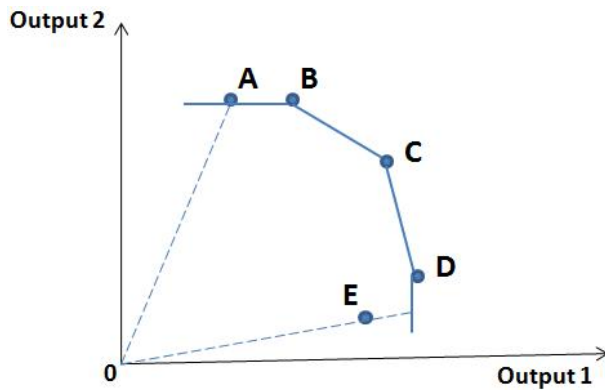


Abbildung 3: Slacks

### 3 Innovationseffizienz in der EU anhand einer DEA

#### 3.1 Indikatorenwahl

Nach den dargestellten Grundzügen wird in diesem Abschnitt eine Data Envelopment Analyse (DEA) durchgeführt, um die relative Innovationseffizienz der EU28-Länder mathematisch zu bestimmen. Es werden im Wesentlichen aus dem Input- und Outputverhältnis der Innovationsindikatoren der EU-Länder die effizientesten Länder ermittelt, d.h. jene, die sich an der geschätzten *Frontier* bewegen. Bei der Wahl der Input- und Output-Indikatoren wurde sowohl auf die herkömmlichen IUS-Indikatoren (vgl. European Commission (2015b)), als auch auf zusätzliche bzw. korrigierte Output-Indikatoren nach WIFO-Berechnung zurückgegriffen. Neben den herkömmlichen IUS Output-Indikatoren der Gruppe *Economic Effects* werden bei der WIFO-Berechnung Indikatoren für die Exportqualität, die strukturbereinigte F&E-Intensität, sowie Patentstatistiken auf Basis der Patenzitationen verwendet. Überdies wird der IUS-Indikator 3.2.3<sup>6</sup> (ebenfalls in der Gruppe *Economic Effects*) durch Entfernen der Tourismus- und Speditionsdienstleistungen aus der Gesamtsumme der Dienstleistungsexporte neu berechnet (für eine detaillierte Beschreibung der WIFO-Indikatoren vgl. Bundesregierung (2014), S.157 ff.). Eine Effizienzanalyse kann nur dann Sinn machen, wenn sowohl Input als auch Output adäquat gemessen sind. Gerade bei der Outputmessung von Innovation gibt es aber große Probleme, weshalb die IUS-Indikatoren durch WIFO-Indikatoren ergänzt werden. Verkürzt ausgedrückt, bilden derzeit häufig verwendete Outputindikatoren nur einen Teil des wirklichen Outputs ab, indem sie die Komponente der technologischen Verbesserung innerhalb von Branchen (in der Österreich sehr gut abschneidet) fast gar nicht erfassen, sondern sich auf den Strukturwandel in Richtung innovationsintensive Branchen (bei dem sich Österreich im Mittelfeld befindet) als Hauptinnovationswirkung konzentrieren (für eine nähere Betrachtung, siehe wiederum Bundesregierung (2014), S.151 ff.). Bei den WIFO-Indikatoren wird den unterschiedlichen Wirtschaftsstrukturen (High-Tech-, Medium-Tech- etc.) der Länder besser Rechnung getragen. Auch ist für kleine tourismusorientierte Länder wie Österreich die Berücksichtigung der Tourismus- und Speditionsdienstleistungen in den Dienstleistungsexporten entscheidend, da sich diese allgemein nicht als

<sup>6</sup>Dieser Indikator basiert auf dem Anteil von wissensintensiven Dienstleistungsexporten an den gesamten Dienstleistungsexporten eines Landes.

besonders wissensintensiv auszeichnen. Die zusätzliche Verwendung von Patentzitationen dient der Verbesserung der verwendeten Patentstatistiken zur Messung der Erfindungsqualität eines Landes. Dies spiegelt sich wiederum in den Ergebnissen der DEA wider. Tabelle 1 bietet einen Überblick über die verwendeten IUS- und WIFO-Indikatoren<sup>7</sup>.

### 3.2 Effizienzanalyse

Bei der Analyse der innovationseffizientesten Länder muss beachtet werden, dass es sich hierbei nicht unbedingt um die innovationsstärksten Länder handeln muss, da der Grad der Effizienz davon bestimmt wird, wie viel Output mit den gegebenen Input-Ressourcen erzeugt werden kann. Abbildung 4 zeigt die berechnete Effizienzgrenze für die EU28-Länder unter der Annahme von variablen Skalenerträgen und unter Verwendung der IUS-Indikatoren. Um eine zweidimensionale Darstellung zu gewährleisten, fließen hier die durchschnittlichen Input- und Output-Indikatoren ein. D.h. in einem ersten Schritt werden die beiden Input- und Outputfaktoren zusammengefasst und die Position der Länder auf Basis einer eindimensionalen DEA grafisch dargestellt<sup>8</sup>. Abbildung 5 basiert hingegen auf den (durchschnittlichen) Input- und Output-Indikatoren, die vom WIFO vorgeschlagen wurden. Die farbliche Gestaltung bezieht sich auf die IUS-Gliederung der Länder nach *Modest Innovators* (grün), *Moderate Innovators* (blau), *Innovation Followers* (schwarz) und *Innovation Leaders* (rot). Österreich erreicht bei keiner der beiden Berechnungsvarianten die Effizienzgrenze, verbessert sich aber deutlich bei Verwendung der WIFO-Indikatoren und überholt beispielsweise Frankreich, Belgien und die Niederlande.

Detailliertere Ergebnisse sind in den Tabellen 2-5 dargestellt, wobei Österreich und die vier *Innovation Leader*-Länder farblich hervorgehoben wurden. Es wurden Output- Farrell Effizienzen für alle EU28-Länder auf Basis unterschiedlicher Kombinationen der Input- und Output-Indikatoren berechnet. Dieser Zugang dient zum einen als Robustheitsüberprüfung der Ergebnisse, zum anderen ermöglicht er es unterschiedliche Wirkungskanäle des Innovationsprozesses näher zu untersuchen. Bei der DEA werden keine konkreten Annahmen hinsichtlich der funktionalen Form des Innovationsprozesses unterstellt (d.h. wie Inputs in Outputs umgewandelt werden) und durch die unterschiedliche Kombination der einzelnen Faktoren lassen sich Hinweise auf Verbesserungspotentiale in der Umsetzung der Inputs in verschiedene Outputs finden<sup>9</sup>.

Der Input-Indikator *Enablers* berechnet sich aus dem arithmetischen Mittel der Indikatoren *Human Resources*, *Research Systems* und *Finance and Support*<sup>10</sup>. Der zweite Input-Indikator, *Firm Activity*, besteht in der WIFO-Berechnung aus *Firm Investment* und *Linkages and Entrepreneurship* und wird in der IUS-Berechnung noch um *Intellectual Assets* (z.B. Patentanwen-

---

<sup>7</sup>Für die Berechnungen werden Verbundindikatoren (composite indicators) der einzelnen Input- und Outputkategorien verwendet, um zu hohe Dimensionalität zu vermeiden. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie basieren demnach auf jeweils zwei Inputindikatoren (*Enablers* und *Firm Activity*) und zwei Outputindikatoren (*Innovators* und *Economic Effects*).

<sup>8</sup>Zwar bietet dies nur eingeschränkten Informationsgehalt, da die Differenzierung zwischen den unterschiedlichen Input- und Outputfaktoren verloren geht, aber der Gewinn der grafischen Darstellung rechtfertigt dieses Vorgehen in einem ersten Schritt.

<sup>9</sup>Durch Aufaggregieren der Input- und Outputfaktoren (wie es in Abbildung 5 und 4 getan wurde) werden unterschiedliche Wirkungskanäle hingegen nicht berücksichtigt.

<sup>10</sup>Der Indikator *Enablers* umfasst somit Subindikatoren wie z.B. der Anteil der Bevölkerung mit tertiärer Bildung, der Anteil von internationale Kopublikationen im wissenschaftlichen Bereich oder der Anteil an öffentlichen F&E Ausgaben am BIP, siehe Tabelle 1.

dungen) erweitert<sup>11</sup>. In der WIFO-Berechnung wird der Output-Indikator *Innovators*<sup>12</sup> durch *Intellectual Assets* und der Output-Indikator *Economic Effects* durch die oben erwähnten Indikatoren (Exportqualität etc.) ergänzt. Tabelle 2 und 3 zeigen die Farrell Effizienz auf Grundlage von variablen Skalenerträgen (VRS), während Tabelle 4 und 5 auf der Annahme konstanter Skalenerträge (CRS) basieren. Bei konstanten Skalenerträgen würde sich eine Steigerung der Inputs immer in gleichen Outputs widerspiegeln, gleichgültig ob ein Land insgesamt viele oder wenige Innovationsinputs oder -outputs aufweist. Bei variablen Erträgen kann sich die Beziehung zwischen Inputs und Outputs abhängig von der Menge der Inputs ändern, z.B. könnte es bei steigender Innovationsperformance immer schwieriger werden, zusätzliche Outputs durch eine Steigerung der Inputs zu generieren. Da sich bei variablen Skalenerträgen die geschätzte *Frontier* um die Beobachtungen krümmt, gibt es hier auch mehr effiziente Länder (Farrell Effizienz = 1.00), die auf der *Frontier* liegen, als unter Berücksichtigung konstanter Skalenerträge. Generell ist die Distanz zur Effizienzgrenze geringer, wenn sich diese an die Beobachtungen schmiegt und die Farrel-Maße sind im Fall von variablen Skalenerträgen allgemein niedriger.

Gemessen an den hier verwendeten Input- und Output-Indikatoren, liegen die *Innovation Leaders* in keiner der Faktorenkombinationen auf der *Frontier*, wenn konstante Skalenerträge angenommen werden<sup>13</sup>. Bei Verwendung von variablen Skalenerträgen, erreicht von den *Innovation Leaders* nur Deutschland die *Frontier*. Hingegen liegen Malta und Rumänien unabhängig von der Form der Skalenerträge und der Berechnungsart der Indikatoren bei verschiedenen Kombinationen auf der Effizienzgrenze. Die Output-Effizienz (Verhältnis des idealen zum tatsächlich erreichten Output) ist bei diesen Ländern besser, als bei den übrigen Ländern und dieses Ergebnis scheint hinsichtlich verschiedener Spezifikationen robust zu sein. Bezüglich der Innovationseffizienz profitiert Österreich von den vom WIFO vorgeschlagenen Änderungen der Indikatoren(zusammenstellung) und rückt der Effizienzgrenze ein ganzes Stück näher ( $\min(F^{IUS}) = 1,52$  und  $\min(F^{WIFO}) = 1,12$ ). Allerdings schwanken die Ergebnisse stark zwischen den unterschiedlichen Input/Output-Kombinationen. Nach der DEA Analyse könnte Österreich den Innovationsoutput zwischen 52% und 67% (Basis IUS, variable Skalenerträge) bzw. zwischen 12% und 28% (Basis WIFO-Berechnung, variable Skalenerträge) erhöhen, ohne dabei weitere Inputfaktoren verwenden zu müssen.

Betrachtet man die effizientesten Länder, so findet man bei vielen ein wiederkehrendes Muster. Fast alle dieser Länder, aber auch die *Innovation Leader*-Länder zeichnen sich durch eine besonders gute Umsetzung der verfügbaren Inputs in den Output *Economic Effects* aus. Die Länder Dänemark, Spanien, Italien und Finnland sind Beispiele dafür (vgl. Tabelle 2). Sie zeigen sich vor allem unter Berücksichtigung des Outputfaktors *Economic Effects* effizient. Aus dem Rahmen fällt Luxemburg, das, obwohl unter den innovationsstärkeren Ländern, bei der

<sup>11</sup>Der WIFO Indikator *Firm Activity* umfasst also z.B. den Anteil an KMU, die eigenständig Forschung betreiben oder mit anderen KMU kollaborieren, sowie den Anteil an privaten Ausgaben für F&E, nicht aber Informationen zu den Patentanwendungen. Diese werden zu den Outputs gezählt, siehe Tabelle 1.

<sup>12</sup>Dieser Outputindikator setzt sich im IUS aus den Teilindikatoren 1) Anteil der KMUs mit Produkt- oder Prozessinnovation, 2) Anteil der KMUs mit Marketing- oder Organisationsinnovation und 3) Beschäftigung in schnell wachsenden Unternehmen im Innovationssektor zusammen und wird in der WIFO- Berechnung noch um den Teilindikator 4) intellektuelle Aktiva erweitert.

<sup>13</sup>Allerdings liegt Deutschland mit einem Farrell-Maß von  $F = 1,07$  (Basis WIFO-Berechnung, CRS) bzw.  $F = 1,08$  (Basis IUS, CRS) sehr knapp an der Effizienzgrenze.

Berücksichtigung der *Innovators* effizienter zu sein scheint als im Bereich *Economic Effects*. Deutschland, Italien und Bulgarien bilden insofern eine Ausnahme, da sie sich unabhängig von dem inkludierten Output relativ stabil effizient zeigen.

Eine Änderung der Annahme betreffend der Skalenerträge hat vor allem Auswirkungen auf die Platzierung der innovationsstarken Länder. *Innovation Leaders* und *Innovation Followers* büßen durchschnittlich bei Berücksichtigung konstanter Skalenerträge einiges hinsichtlich ihrer Effizienz ein. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn *Economic Effects* als einziger Output-Indikator herangezogen wird. Wenn sich in den Daten eine abnehmende Steigung abzeichnet, wird die Distanz zwischen einer *Frontier* basierend auf variablen Skalenerträgen und einer *Frontier* basierend auf konstanten Skalenerträgen mit zunehmenden Inputs immer größer. Dies ist bei dem Output-Indikator *Economic Effects* offenbar der Fall und führt tendenziell bei konstanten Skalenerträgen zu einer relativ schlechteren Bewertung jener Länder, die viele Inputfaktoren verwenden. Scheinbar sind *Economic Effects* durch abnehmenden Grenzertrag gekennzeichnet, d.h. eine Erhöhung des Outputs *Economic Effects* auf hohem Niveau lässt sich nur durch eine überproportionale Steigerung der Inputfaktoren erreichen.

Tabelle 6 listet die einzelnen Indikatorenwerte auf Basis der WIFO-Berechnung auf. Um eine kombinierte Analyse von Innovationseffizienz und -performance erleichtern, sind effiziente Länder (auf Grundlage von Tabelle 2) grau hinterlegt und *Innovation Leader*- und *Follower*-Länder rot bzw. grün markiert. Unter der Annahme von variablen Skalenerträgen gehören diese Länder größtenteils nicht zu den innovationseffizientesten. Deutschland, Dänemark, Irland und Luxemburg stellen die einzigen Ausnahmen dar. Die vier Input- und Outputindikatorengruppen Deutschlands sind im Vergleich zu anderen EU Staaten alle überdurchschnittlich hoch. Vor allem durch hohe Werte von *Firm Activity* und *Innovators* wird die gute Performance Deutschland erklärt, wobei einzig der Inputfaktor *Enablers* im Vergleich zu anderen Innovation Leader- Ländern leicht zurückliegt. Die Umsetzung der eingesetzten Inputs in Output scheint in Deutschland aber sowohl für *Economic Effects* als auch für *Innovators* gewährleistet.

Auch Schweden weist bei den Input- und Outputindikatorengruppen Werte auf, die deutlich über dem EU28-Durchschnitt liegen. Besonders die beiden Inputs sind in Schweden im Vergleich sehr hoch. Allerdings scheint die Effizienz Schwedens hinsichtlich des Outputs *Innovators* noch ausbaufähig zu sein (vgl. Tabelle 2). Dies deutet auf den Bedarf von durchdachten Politikmaßnahmen hin, um speziell die Übersetzung der hohen Werte von *Enablers* und *Firm Activity* in den Output *Innovators* zu verbessern.

Österreich erbringt zwar eine moderat gute Performance hinsichtlich der Indikatoren (vgl. Tabelle 6), zeigt aber Steigerungspotential in Bezug auf die Innovationseffizienz. Insbesondere der Inputindikator *Firm Activity*, aber auch der Output *Innovators* sind innerhalb der *Innovation Follower*-Länder unter den höchsten. Allerdings weisen die Resultate in Tabelle 2 darauf hin, dass die Umsetzung der Inputindikatoren in entsprechend hohen Output *Economic Effects* noch mangelhaft ist. Es sollten gezielte Maßnahmen eingesetzt werden, um die hohen Werte an Firmeninvestitionen in den Aufbau von Innovationen, intellektuelle Ressourcen und gesteigerte Exportqualität zu überführen. So wäre ein Anstieg des Innovationsoutputs auch ohne Erhöhung der Inputfaktoren möglich.

Auch wenn die Resultate von Hollanders und Celikel-Esser (2007) auf anderen Input- und

Outputfaktoren basieren so ergeben sich einige Parallelen<sup>14</sup>. So ist beispielsweise Rumänien ein gutes Beispiel, wie relativ bescheidene Inputfaktoren verhältnismäßig gut in Output, insbesondere in *Economic Effects*, umgesetzt werden. Die Ergebnisse zu Italien und Finnland deuten beispielsweise in die selbe Richtung wie in der vorliegenden Studie und lassen auf eine gewisse Robustheit hinsichtlich der Schlussfolgerungen hoffen. Beispielsweise zeigt Finnland seit Jahren eine konstant hohe Performance in fast allen Innovationsdimensionen und weist ähnlich hohe Inputwerte wie Deutschland auf (vgl. die Indikatoren *Enablers* und *Firm Activity* in Tabelle 6). Aber Finnland ist auch durch eher durchschnittliche Effizienz hinsichtlich der Umsetzung der Inputs in den Output *Innovators* (Patentanwendungen, Zitationen und den Aufbau von innovativen KMU und Beschäftigung in schnell wachsenden, innovativen Sektoren) charakterisiert. Italien zeichnet sich nicht durch besonders hohe Innovationsindikatoren aus. Allerdings weisen die hohen Effizienzwerte darauf hin, dass Italien die wenigen Inputs, die eingesetzt werden, gut in Outputfaktoren umwandeln kann. Es scheint, dass besonders der Input *Enablers* (Ausbildungsgrad der Bevölkerung, wissenschaftliche Publikationen, öffentliche F&E Ausgaben, etc.) effizient in *Innovators* umgesetzt werden kann.

Tabelle 8 zeigt die unterschiedliche Gewichtung der *Peer Group*-Mitglieder zur Erstellung der Referenzpunkte auf der *Frontier* für jede Beobachtung auf Basis der Berechnung der letzten Spalte von Tabelle 2. Die Referenzländer Österreichs sind beispielsweise Deutschland, Italien und Luxemburg. Österreich wird mit einem gewichteten Durchschnitt dieser Länder verglichen, wobei Deutschland ein Gewicht von 38/100, Italien ein Gewicht von 28/100 und Luxemburg ein Gewicht von 33/100 erhalten. Werden nicht die vom WIFO vorgeschlagenen Indikatoren verwendet, sondern jene des IUS, ändert sich auch die Zusammenstellung der *Peer Group*. Tabelle 9 zeigt zum Vergleich die Gewichte der DEA der letzten Spalte von Tabelle 3. Gemeinsam mit Deutschland, das nun noch mehr Gewicht erhält, bilden Ungarn und Griechenland die Vergleichsgruppe. Unabhängig von der Wahl der Indikatoren scheint Deutschland als Vorbild für die effiziente Umsetzung von Inputs in Innovationsoutput geeignet.

In Tabelle 10 sind die Output-Slacks auf Basis der DEA mit zwei Input- und zwei Outputfaktoren (letzte Spalte) aus Tabelle 2 und Tabelle 3 berechnet. Einige Länder weisen positive Slacks auf, aber die Farrell-effizienten Länder sind hiervon nicht betroffen. Sowohl auf Basis der IUS-Indikatoren, als auch unter Bezugnahme der WIFO-Berechnungen, könnten Estland, die Slowakei und Großbritannien nach einer proportionalen Erhöhung ihrer zwei Outputfaktoren jeweils einen davon noch weiter steigern ohne zusätzliche Inputs zu benötigen. Insbesondere unter Verwendung der WIFO Indikatoren scheint tendenziell weiteres Steigerungspotential des Outputs *Innovators* nach proportionaler Steigerung aller Outputs vorhanden zu sein. Österreich stellt hier eine Ausnahme dar und würde nach einer proportionalen Erhöhung beider Outputs auf einem Bereich der *Frontier* liegen, der eine weitere (wenn auch kleine) Steigerung des Outputs *Economic Effects* ohne Veränderung der Inputfaktoren zulässt.

---

<sup>14</sup>Hollanders und Celikel-Esser (2007) verwenden das *European Innovation Scoreboard* (EIS) 2007, ein Vorläufer des Innovation Union Scoreboard

## 4 Kritische Betrachtung der DEA

Einige kritische Punkte sollten bei der Analyse der Resultate beachtet werden. Dies betrifft beispielsweise die Referenzpunkte auf der *Frontier*, die Linearkombinationen der Peer Group-Mitglieder darstellen. Bei nur einem Peer Group-Mitglied mag die Idee hinter dem Referenzpunkt einleuchtend sein, aber bei mehreren Peer Group-Mitgliedern ist die Nachahmung einer Linearkombination der Input-Output-Verhältnisse der einbezogenen Länder schwierig. Diese Länder verwenden unter Umständen verschiedenste Kombinationen von Ressourcen und Services und eine Imitation zur Verbesserung der eigenen Effizienz gestaltet sich daher problematisch. Die vorliegenden Ergebnisse zu Österreich stellen ein Beispiel hierfür dar. Der Referenzpunkt für Österreich wird durch ein gewichtetes Mittel der einzelnen Input- und Outputkomponenten von Deutschland, Italien und Luxemburg gebildet. Eine Imitation dieses daraus entstandenen künstlichen Referenzlandes kann schwer sein, insbesondere da im Beispiel Österreichs die Gewichte dieser *Peer Group*-Länder in ihrer Größe nicht maßgeblich voneinander abweichen.

Weiters muss bedacht werden, dass sich die Anzahl an berücksichtigten Faktoren stark auf die Ergebnisse auswirkt. Je mehr Inputs und Outputs in die DEA einfließen, desto mehr Länder werden in die Menge der Referenzkategorien aufgenommen und technologisch effizient sein. Es ist also ratsam sich bei der Wahl der Input- und Outputfaktoren auf die wirklich relevanten Faktoren zu beschränken, da ansonsten die Wahrscheinlichkeit, sehr viele Länder mit einer Effizienz von  $F=1$  zu erhalten, groß ist. Dies würde eine Differenzierung zwischen den einzelnen Entscheidungsträgern erschweren und die Methode verliert an Aussagekraft. Anders ausgedrückt ist mit nur wenigen Beobachtungspunkten (Ländern) eine Schätzung komplexer Input-Output-Transformationen in vielen Dimensionen einfach nicht möglich.

Als problematisch wird häufig angemerkt, dass die Ergebnisse nicht besonders robust sind hinsichtlich der Zusammenstellung der Stichprobe. Ändert man die Stichprobe um ein einziges Land, kann sich die *Frontier*, die Zusammenstellung der Peer Group-Mitglieder und somit auch die Farrell-Effizienz ändern (vgl. Wilson (1995)). Insofern können auch Messfehler die Ergebnisse gravierend verzerren. Darüber hinaus hat natürlich die insgesamt inkludierte Anzahl der Beobachtungen (hier 28 EU-Länder) Einfluss auf das berechnete Effizienz-Maß (vgl. Banker et al. (1996)).

Einer der größten Kritikpunkte bezieht sich auf die implizite Annahme der DEA, dass die zugrunde liegenden Daten nicht durch stochastisches *Rauschen* (*Noise*) beeinträchtigt sind. Die Nichtberücksichtigung stochastischer Prozesse stellt eine echte Einschränkung der DEA dar. Sollten die verwendeten Daten durch exogene Schocks, schlechte oder unterschiedliche Datenerhebung etc. verschmutzt sein, sind die Ergebnisse der DEA nicht gültig. Wenn die Indikatoren zur Berechnung der Innovationseffizienz der EU28 Länder zum Beispiel teilweise unter fehlerhaften Daten leiden, wird diese in der klassischen DEA nicht abgedeckt. Alle zufälligen Abweichungen von der *Frontier* werden als Ineffizienz interpretiert. Stochastische Ansätze, z.B. die *Stochastic Frontier Analysis* (ihr Ursprung geht auf Aigner et al. (1977) und Meeusen und Van den Broeck (1977) zurück), berücksichtigen hingegen einen Störterm. Die SFA nimmt eine parametrische Funktion zwischen Inputs und Outputs, in der Form von  $y_k = f(x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{mk}, u_k, v_k)$ , an, wobei die technische Effizienz der  $K$  Länder durch  $u_k$  und der stochastische Term durch

$v_k$  repräsentiert werden. Dies erlaubt eine Unterscheidung in eine zufällige Komponente, die stochastische Schwankungen (z.B. schlechtes Wetter) einschließt, und eine systematische Komponente, die Ineffizienzen Rechnung trägt. Ein Vorteil der DEA gegenüber der SFA ist aber die Möglichkeit, mehrere Input- und Outputfaktoren zu verwenden, d.h. in der SFA können Inputs nur mit einem Outputindikator verglichen werden. Außerdem basiert die DEA auf einer rein mathematischen Optimierungsaufgabe, während die SFA eine statistische Auswertung unter Berücksichtigung asymptotischer Eigenschaften darstellt. Der Stichprobenumfang ist für die valide Anwendung der SFA also von noch größerer Bedeutung. Auf Grund der geringen Stichprobenzahl (EU28 Länder) wurde daher in dem vorliegenden Bericht auf die SFA verzichtet. Auch von möglichen statistischen Tests im Anschluss der DEA wurde auf Grund der niedrigen Fallzahl abgesehen.

Ein weiteres Problem bei der DEA kann darin bestehen, dass zur Beurteilung der Gesamteffizienz eines Landes produktive und alloкатive Effizienzberechnungen notwendig sind. Die Farrell-Effizienz kann als *technische bzw. produktive* Effizienz interpretiert werden. Die *allokative* Effizienz würde hingegen auf Input- und Outputpreisen basieren. Die Gesamteffizienz zeichnet sich erst aus aus dem Produkt der allokativen und der technischen Effizienz ab. In der vorliegenden Analyse zur Innovationseffizienz liegen keine Daten zur Kostenabschätzung oder zu den Outputpreisen vor. Daher ist es nicht möglich die zugrunde liegenden ökonomischen Beziehungen adäquat zu berücksichtigen. Die Outputpreise müssten bekannt sein, um zu überprüfen, ob sich Länder bei der Gestaltung des Produktionsprogrammes ausreichend an die „Preise“ auf den Produktionsmärkten angepasst haben, d.h. ob die Produktionsausrichtung optimal gewählt wurde. Die Preise der Inputfaktoren wiederum würden Auskunft über die Kosteneffizienz der Länder geben, d.h. inwiefern sich einzelne Länder nach den Knappheitssignalen der Produktmärkte richten (vgl. Mußhoff et al. (2009), S. 117f.). Anhand eines Beispiels lassen sich diese Überlegungen gut erklären: der Preis für Humanressourcen wäre das Gehalt der Beschäftigten. Ohne dieses in die Berechnung einzubeziehen, wird zwar die Anzahl an Beschäftigten (z.B. Ingenieure) zwischen den Ländern verglichen, nicht aber deren Gehalt. Dadurch wird die Aussagekraft der Analyse limitiert. Die technische Effizienz (Farrell-Effizienz) sagt also wenig über die ökonomische Effizienz der untersuchten Länder aus. Ein direkter Ländervergleich nur auf Basis des Farrell-Maßes lässt die Möglichkeit, dass technisch effiziente Länder Fehler bei Allokationsentscheidungen machen, außer Acht. Diese können unter Umständen aber schwerer wiegen als kleine technische Ineffizienzen (vgl. Mußhoff et al. (2009), S. 119). Dessen ungeachtet kann die technische Effizienz aber als Anhalts- und Ausgangspunkt dienen, selbst wenn Preis- und Kosteninformationen nicht verfügbar sind.

Neben diesen eher technischen Grenzen der DEA, sollte aber insbesondere ihre Anwendbarkeit bei der Messung nationaler Innovationsleistungen auf dem Prüfstand stehen. Der Ansatz nationaler Innovationssysteme, der in den 80er Jahren von Freeman (1987) und Dosi et al. (1988) eingeführt wurde, berücksichtigt explizit die Interaktion zwischen dem Innovationsprozess und dem institutionellen Milieu, in das dieser eingebettet ist. Dieses wird durch staatliche Eingriffe hinsichtlich seiner Rahmenbedingungen und Infrastruktur maßgeblich gestaltet (vgl. Furman et al. (2002) oder Faber und Hesen (2004)). Ein nationales Innovationssystem basiert einerseits zwar auf Produktionsstrukturen, andererseits aber auch auf der institutionellen In-

frastruktur des Landes (vgl. Asheim und Isaksen (1997)). Furman et al. (2002) betonen den Einfluss von Regulierungen hinsichtlich des Schutzes von geistigem Eigentum und der Offenheit von Handelssystemen, sowie des Grads der technischen Spezialisierung eines Landes auf seine Innovationsperformance. Weiters beeinflussen nationale Kapazitäten die Kommerzialisierung der Innovationen, die sich beispielsweise in hohen Marktanteilen von High-Tech-Exporten ausdrückt.

Die vorliegende Analyse ist in dieser Hinsicht durch einige Einschränkungen gekennzeichnet. Durch die Verwendung der DEA wird eine lineare Innovationsprozessesstruktur unterstellt. Kreisförmige oder systemische Prozesse können mit der traditionellen DEA nicht abgebildet werden. Dieser Mangel wird zusätzlich durch die Annahme einer für alle Länder gleichen Produktionsstruktur von Innovation verstärkt. Auch wenn Hollanders und Celikel-Esser (2007) argumentieren, dass selbst wenn Innovation kein linearer Prozess sein sollte, eine Analyse der Effizienzunterschiede dennoch nicht uninteressant sei, muss dabei bedacht werden, dass die hier präsentierten Ergebnisse aus Sicht eines umfassenden und interdependenten nationalen Innovationssystems nicht vollständig sind und ein verzerrtes Bild widerspiegeln könnten.

## 5 Schlussfolgerungen

Effizienzanalysen von Innovationsanstrengungen sind grundsätzlich problematisch, solange insbesondere Innovationsoutputs mehr schlecht als recht gemessen werden können. Die Wahl der Input- und Output-Indikatoren zur Analyse der Innovationsleistung europäischer Länder beeinflusst nicht nur die IUS-Klassifizierung in *Innovation Leader* und *Innovation Followers*, sondern auch die Evaluierung der Innovationseffizienz. Mit Ausnahme von Malta und Rumänien, variieren die Ergebnisse der Effizienzanalyse teilweise stark zwischen unterschiedlichen Kombinationen und Berechnungen der Input- und Output-Indikatoren, wie auch bei unterschiedlichen Annahmen zu den Skalenerträgen.

Selbst bei einer deutlichen Verbesserung der Outputmessung sind die Ergebnisse der DEA aufgrund der Methodologie mit großer Vorsicht zu interpretieren, darunter insbesondere die Unterstellung eines linearen Innovationsprozesses (im Gegensatz zu kreisförmigen oder systemischen Prozessen). Zwar erlaubt der rein mathematische Zugang ein Lösen der Optimierungsaufgabe auch bei kleiner Stichprobe (28 Länder), doch über die statistische Signifikanz der Ergebnisse sollte keine Aussage getroffen werden.

Zusätzlich sollte immer bedacht werden, dass das Effizienzmaß keinen Rückschluss auf die Performance eines Landes bezüglich der Eigenschaft des Innovation Leaders geben kann und umgekehrt. So gehören die *Innovation Leaders* nicht unbedingt zu den innovationseffizientesten Ländern, mit bedingter Ausnahme Dänemarks und Deutschlands. Hingegen ist die Innovationsleistung von einigen Ländern, beispielsweise Rumänien, relativ bescheiden, auch wenn das Verhältnis von Input- und Innovationsoutput sehr gut erscheint und sie mit geringen eingesetzten Mitteln relativ innovativ sind.

Allerdings sollte für Österreich berücksichtigt werden, dass die Effizienz bei der Transformation von Inputs in Outputs unter jener der Innovation Leader liegt, ein Resultat, dass ähnlich dem Versuch einer verbesserten Outputmessung durch das WIFO ist (siehe Bundesregierung (2014), S.151 ff.): Österreich verbessert sich zwar auch im Bereich Effizienzmessung durch die vom WI-



FO vorgeschlagene Berücksichtigung von Exportqualität in technologieorientierten Branchen, strukturbereinigter F&E-Intensität, Patentstatistik und anderen Anpassungen deutlich, bleibt aber unter dem Niveau der Innovation Leader: Bei allen methodologischen Problemen scheint dieses Ergebnis innerhalb der DEA-Analyse robust zu sein. Eine DEA-Analyse selbst gibt kaum konkrete Vorschläge, wo FTI-politisch angesetzt werden sollte, um die Effizienz zu verbessern. Vorschläge hierfür finden sich unter anderen bei Janger et al. (2010), darunter erhöhte wettbewerbliche Vergabe der öffentlichen Finanzierung von Forschung in Unternehmen und Universitäten, aber auch eine verstärkte Evaluierung von Förderprogrammen unter Zuhilfenahme von Unternehmensmikrodaten, die derzeit in Österreich gerade im Vergleich mit Innovation Leadern wie Schweden nur sehr eingeschränkt möglich ist.

## 6 Appendix

IUS	WIFO
INPUTS	INPUTS
<b>Enablers</b> (Composite indicator )	<b>Enablers</b> (Composite indicator )
1.1.1 New doctorate graduates	1.1.1 New doctorate graduates
1.1.2 Population completed tertiary education	1.1.2 Population completed tertiary education
1.1.3 Youth with upper secondary level education	1.1.3 Youth with upper secondary level education
1.2.1 International scientific co-publications	1.2.1 International scientific co-publications
1.2.2 Scientific publications among top 10% most cited	1.2.2 Scientific publications among top 10% most cited
1.2.3 Non-EU doctorate students	1.2.3 Non-EU doctorate students
1.3.1 Public R&D expenditure	1.3.1 Public R&D expenditure
1.3.2 Venture capital	1.3.2 Venture capital
<b>Firm activities</b> (Composite indicator )	<b>Firm activities</b> (Composite indicator )
2.1.1 Business R&D expenditure	2.1.1 Business R&D expenditure
2.1.2 Non-R&D innovation expenditure	2.1.2 Non-R&D innovation expenditure
2.2.1 SMEs innovating in-house	2.2.1 SMEs innovating in-house
2.2.2 Innovative SMEs collaborating with others	2.2.2 Innovative SMEs collaborating with others
2.2.3 Public-private co-publications	2.2.3 Public-private co-publications
2.3.1 PCT patent applications	
2.3.2 PCT patent applications in societal challenges	
2.3.3 Community trademarks	
2.3.4 Community designs	
OUTPUTS	OUTPUTS
<b>Innovators</b> (Composite indicator )	<b>Innovators</b> (Composite indicator )
3.1.1 SMEs introducing product or process innovations	3.1.1 SMEs introducing product or process innovations
3.1.2 SMEs introducing marketing/organisational innovations	3.1.2 SMEs introducing marketing/organisational innovations
3.1.3 Employment fast-growing firms of innovative sectors	3.1.3 Employment fast-growing firms of innovative sectors
	2.3.1 PCT patent applications
	2.3.2 PCT patent applications in societal challenges
	2.3.3 Community trademarks
	2.3.4 Community designs
	Citations (EPO patents)
<b>Economic effects</b> (Composite indicator )	<b>Economic effects</b> (Composite indicator )
3.2.1 Employment in knowledge-intensive activities	3.2.1 Employment in knowledge-intensive activities
3.2.2 Contribution of MHT product exports to trade balance	3.2.2 Contribution of MHT product exports to trade balance
3.2.3 Knowledge-intensive services exports	Knowledge-intensive services exports (without transport and tourism services)
3.2.4 Sales of new to market and new to firm innovations	3.2.4 Sales of new to market and new to firm innovations
3.2.5 Licence and patent revenues from abroad	3.2.5 Licence and patent revenues from abroad
	R & D Intensity Corrected for Industry Structure
	Export quality in Technology-Driven Industries

Tabelle 1: Detaillierte Beschreibung der IUS- und WIFO-Indikatoren

Inputs										Rang*
Enablers	x		x	x		x	x		x	
FirmActivity		x	x		x	x		x	x	
Outputs										
Innovators	x	x	x				x	x	x	
EconomicsEffects				x	x	x	x	x	x	
Belgien (BE)	1.47	1.47	1.47	1.21	1.21	1.21	1.17	1.17	1.17	10
Bulgarien (BG)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.39	1.00	1.00	1.00	1.00	1
Tschechische Republik (CZ)	1.32	1.86	1.32	1.05	1.13	1.05	1.03	1.13	1.03	4
Dänemark (DK)	1.12	1.12	1.12	1.05	1.05	1.05	1.00	1.00	1.00	1
Deutschland (DE)	1.00	1.08	1.00	1.04	1.05	1.04	1.00	1.00	1.00	1
Estland (EE)	1.84	1.98	1.82	1.08	1.09	1.08	1.08	1.09	1.08	6
Irland (IE)	1.61	1.69	1.59	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1
Griechenland (EL)	1.58	2.34	1.58	1.00	1.11	1.00	1.00	1.11	1.00	1
Spanien (ES)	1.45	1.23	1.23	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1
Frankreich (FR)	1.65	1.64	1.64	1.12	1.11	1.11	1.10	1.08	1.08	6
Kroatien (HR)	1.80	2.17	1.72	1.48	1.59	1.46	1.42	1.59	1.41	15
Italien (IT)	1.00	1.30	1.00	1.07	1.15	1.07	1.00	1.09	1.00	1
Zypern (CY)	1.57	2.37	1.57	1.02	1.12	1.02	1.02	1.12	1.02	3
Lettland (LV)	3.36	1.00	1.00	1.79	1.00	1.00	1.79	1.00	1.00	1
Litauen (LT)	4.34	4.16	4.00	2.37	2.39	2.37	2.37	2.39	2.37	16
Luxemburg (LU)	1.00	1.00	1.00	1.17	1.17	1.17	1.00	1.00	1.00	1
Ungarn (HU)	1.65	1.67	1.47	1.19	1.25	1.17	1.17	1.25	1.14	9
Malta (MT)	1.00	1.82	1.00	1.17	1.90	1.17	1.00	1.68	1.00	1
Niederlande (NL)	1.51	1.51	1.51	1.40	1.40	1.40	1.34	1.32	1.32	13
Österreich (AT)	1.12	1.27	1.12	1.25	1.28	1.25	1.12	1.19	1.12	8
Polen (PL)	2.10	1.75	1.75	1.30	1.29	1.27	1.30	1.29	1.27	12
Portugal (PT)	1.60	1.79	1.54	1.18	1.22	1.18	1.17	1.22	1.17	10
Rumänien (RO)	3.03	1.46	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1
Slowenien (SI)	1.82	2.09	1.82	1.04	1.07	1.04	1.04	1.07	1.04	5
Slowakei (SK)	2.33	2.30	2.10	1.36	1.41	1.34	1.36	1.41	1.34	14
Finnland (FI)	1.39	1.39	1.39	1.03	1.03	1.03	1.01	1.01	1.01	2
Schweden (SE)	1.24	1.24	1.24	1.14	1.14	1.14	1.09	1.09	1.09	7
Großbritannien (UK)	2.22	2.22	2.22	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	11

\*Die Reihung der Länder basiert auf der letzten Spalte (DEA mit zwei Inputs und zwei Outputs).

Grün: Effiziente Länder bei mindestens einer Input/Outputkombination. Grau: Innovation Leader-Länder

Blau: Österreich

Tabelle 2: Farrell Output-Effizienz, VRS, WIFO Indikatoren

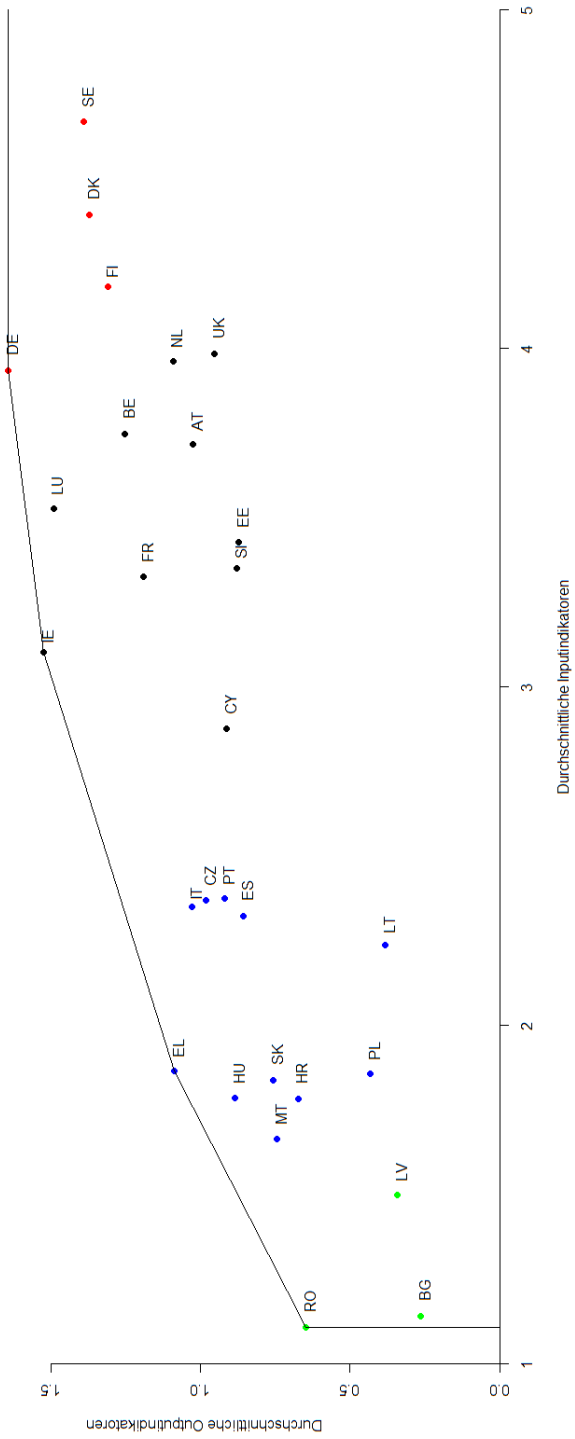


Abbildung 4: *Frontier* für die EU28-Länder unter der Annahme variabler Skalenerträge nach IUS-Methode

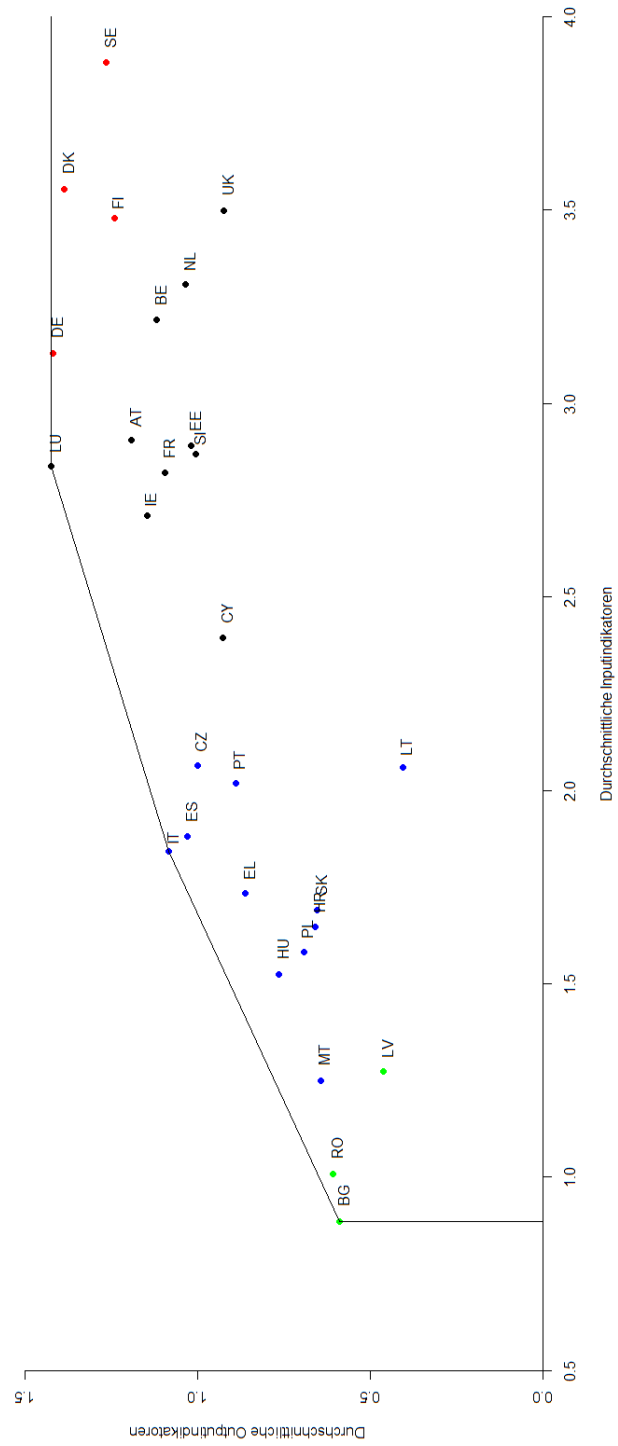


Abbildung 5: *Frontier* für die EU28-Länder unter der Annahme variabler Skalenerträge nach WIFO-Methode

Inputs										Rang*	
Enablers	x		x	x		x	x		x		
FirmActivity			x	x		x	x		x		x
Outputs											
Innovators	x	x	x					x	x		x
EconomicsEffects					x	x	x	x	x		x
Belgien (BE)	1.36	1.28	1.28	1.34	1.34	1.34	1.28	1.26	1.26	11	
Bulgarien (BG)	1.00	6.92	1.00	1.00	2.28	1.00	1.00	2.28	1.00	1	
Zypern (CZ)	1.37	1.40	1.32	1.27	1.48	1.27	1.22	1.40	1.22	8	
Dänemark (DK)	1.30	1.30	1.30	1.16	1.16	1.16	1.14	1.14	1.14	4	
Deutschland (DE)	1.00	1.00	1.00	1.04	1.06	1.04	1.00	1.00	1.00	1	
Estland (EE)	1.85	1.70	1.66	1.99	2.05	1.99	1.85	1.70	1.66	18	
Irland (IE)	1.22	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1	
Griechenland (EL)	1.00	1.00	1.00	1.08	1.20	1.08	1.00	1.00	1.00	1	
Spanien (ES)	2.04	1.76	1.76	1.30	1.34	1.30	1.30	1.34	1.30	13	
Frankreich (FR)	1.53	1.29	1.29	1.31	1.31	1.31	1.30	1.28	1.28	12	
Kroatien (HR)	1.62	1.38	1.38	1.81	1.85	1.79	1.62	1.38	1.38	14	
Italien (IT)	1.22	1.42	1.22	1.15	1.46	1.15	1.10	1.42	1.10	2	
Zypern (CY)	1.77	2.27	1.77	1.13	1.43	1.13	1.13	1.43	1.13	3	
Lettland (LV)	5.03	2.54	2.54	2.55	2.12	2.12	2.55	2.12	2.12	20	
Litauen (LT)	4.02	2.87	2.87	3.47	3.16	3.16	3.40	2.79	2.79	21	
Luxemburg (LU)	1.11	1.00	1.00	1.16	1.16	1.16	1.10	1.00	1.00	1	
Ungarn (HU)	1.81	1.60	1.60	1.00	1.04	1.00	1.00	1.04	1.00	1	
Malta (MT)	1.00	1.83	1.00	1.00	1.71	1.00	1.00	1.71	1.00	1	
Niederlande (NL)	1.55	1.46	1.46	1.55	1.55	1.55	1.48	1.45	1.45	15	
Österreich (AT)	1.55	1.60	1.55	1.57	1.67	1.57	1.52	1.59	1.52	16	
Polen (PL)	4.89	3.81	3.81	1.95	1.90	1.87	1.95	1.90	1.87	19	
Portugal (PT)	1.31	1.20	1.18	1.73	1.87	1.73	1.31	1.20	1.18	7	
Rumänien (RO)	1.97	1.00	1.00	1.04	1.00	1.00	1.04	1.00	1.00	1	
Slowenien (SI)	2.06	2.05	1.95	1.56	1.68	1.56	1.56	1.68	1.56	17	
Slowakei (SK)	2.09	1.52	1.52	1.32	1.24	1.24	1.32	1.24	1.24	9	
Finnland (FI)	1.40	1.37	1.37	1.18	1.18	1.18	1.17	1.17	1.17	6	
Schweden (SE)	1.16	1.16	1.16	1.29	1.29	1.29	1.16	1.16	1.16	5	
Großbritannien (UK)	2.74	2.57	2.57	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	10	

\*Die Reihung der Länder basiert auf der letzten Spalte (DEA mit zwei Inputs und zwei Outputs).

Grün: Effiziente Länder bei mindestens einer Input/Outputkombination. Grau: Innovation Leader-Länder

Blau: Österreich

Tabelle 3: Farrell Output-Effizienz, VRS, IUS Indikatoren

<b>Inputs</b>									
<i>Enablers</i>	x		x	x		x	x		x
<i>FirmActivity</i>		x	x		x	x		x	x
<b>Outputs</b>									
<i>Innovators</i>	x	x	x				x	x	x
<i>EconomicsEffects</i>				x	x	x	x	x	x
BE	1.92	1.81	1.52	2.03	3.26	2.03	1.82	1.81	1.52
BG	2.47	1.45	1.45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
CZ	1.82	1.82	1.49	1.36	2.32	1.36	1.28	1.65	1.28
DK	1.67	1.54	1.31	1.73	2.72	1.73	1.55	1.54	1.30
DE	1.20	1.40	1.07	1.44	2.87	1.44	1.20	1.40	1.07
EE	1.99	1.93	1.60	1.90	3.13	1.90	1.73	1.91	1.58
IE	1.89	1.35	1.29	1.95	2.38	1.95	1.76	1.35	1.29
EL	1.70	1.82	1.45	1.43	2.62	1.43	1.33	1.73	1.32
ES	1.97	1.20	1.20	1.34	1.39	1.34	1.28	1.05	1.05
FR	2.10	1.36	1.36	2.03	2.25	2.03	1.85	1.35	1.35
HR	2.46	2.17	1.87	1.89	2.84	1.89	1.78	1.99	1.72
IT	1.30	1.22	1.03	1.13	1.81	1.13	1.04	1.17	1.00
CY	1.65	2.45	1.65	1.38	3.47	1.38	1.28	2.31	1.28
LV	3.59	1.21	1.21	2.28	1.31	1.31	2.19	1.03	1.03
LT	4.56	3.08	3.03	3.87	4.45	3.87	3.59	2.93	2.86
LU	1.53	1.00	1.00	1.52	1.69	1.52	1.38	1.00	1.00
HU	2.07	1.55	1.44	1.43	1.81	1.43	1.36	1.36	1.26
MT	1.00	1.38	1.00	1.13	2.65	1.13	1.00	1.38	1.00
NL	2.03	1.64	1.47	2.34	3.22	2.34	2.03	1.64	1.47
AT	1.42	1.60	1.25	1.48	2.85	1.48	1.33	1.60	1.24
PL	3.29	2.02	2.02	1.58	1.65	1.58	1.56	1.52	1.50
PT	1.72	1.36	1.24	1.75	2.35	1.75	1.58	1.36	1.23
RO	2.87	1.35	1.35	1.36	1.08	1.08	1.34	1.00	1.00
SI	2.12	2.42	1.88	1.73	3.35	1.73	1.61	2.26	1.61
SK	2.99	2.14	2.04	1.94	2.36	1.94	1.86	1.84	1.72
FI	1.89	1.69	1.45	1.95	2.97	1.95	1.76	1.69	1.45
SE	1.81	1.61	1.39	2.23	3.37	2.23	1.81	1.61	1.39
UK	3.14	2.79	2.40	2.47	3.74	2.47	2.32	2.58	2.24

Grün: Effiziente Länder bei mindestens einer Input/Outputkombination.

Grau: Innovation Leader-Länder; Blau: Österreich

Tabelle 4: Farrell Output-Effizienz, CRS, WIFO Indikatoren



<b>Inputs</b>									
<i>Enablers</i>	x		x	x		x	x		x
<i>FirmActivity</i>		x	x		x	x		x	x
<b>Outputs</b>									
<i>Innovators</i>	x	x	x				x	x	x
<i>EconomicsEffects</i>				x	x	x	x	x	x
BE	1.65	1.75	1.65	2.30	4.02	1.98	1.65	1.75	1.65
BG	7.61	7.10	7.10	1.00	1.09	1.71	1.80	2.96	1.71
CZ	1.41	1.53	1.41	1.30	2.41	1.47	1.39	1.52	1.35
DK	1.76	2.07	1.76	2.18	3.74	1.93	1.74	2.07	1.74
DE	1.08	1.58	1.08	1.83	3.96	1.44	1.08	1.58	1.08
EE	1.99	2.24	1.99	2.22	3.99	2.72	1.99	2.24	1.99
IE	1.38	1.12	1.12	1.95	2.59	1.36	1.34	1.12	1.12
EL	1.00	1.00	1.00	1.23	2.43	1.13	1.00	1.00	1.00
ES	2.13	1.84	1.84	1.39	1.56	1.54	1.64	1.79	1.50
FR	1.85	1.51	1.51	2.25	2.71	1.92	1.82	1.50	1.50
HR	1.63	1.39	1.39	1.50	2.45	1.89	1.63	1.39	1.39
IT	1.24	1.57	1.24	1.24	2.15	1.30	1.22	1.57	1.20
CY	1.82	2.99	1.82	1.57	4.31	1.34	1.35	2.91	1.34
LV	5.06	2.62	2.62	2.46	1.53	2.59	2.84	2.49	2.49
LT	4.23	2.87	2.87	4.13	5.17	4.19	4.13	2.86	2.86
LU	1.35	1.25	1.25	1.70	2.05	1.72	1.35	1.25	1.25
HU	1.81	1.61	1.61	1.39	1.92	1.04	1.10	1.54	1.04
MT	1.05	1.93	1.05	1.51	3.87	1.00	1.00	1.91	1.00
NL	2.05	2.03	2.03	3.12	4.67	2.49	2.05	2.03	2.03
AT	1.66	2.44	1.66	2.01	4.20	2.13	1.66	2.44	1.66
PL	4.97	3.83	3.83	1.54	1.75	2.11	2.26	3.06	2.11
PT	1.36	1.28	1.28	1.85	2.72	2.06	1.36	1.28	1.28
RO	2.02	1.06	1.06	1.15	1.00	1.00	1.09	1.00	1.00
SI	2.20	2.75	2.20	1.90	4.01	2.08	2.11	2.72	1.98
SK	2.14	1.54	1.54	1.73	2.30	1.44	1.54	1.49	1.40
FI	1.88	2.04	1.88	2.39	3.95	1.94	1.84	2.03	1.77
SE	1.74	1.88	1.74	3.00	4.93	2.37	1.74	1.88	1.74
UK	3.69	3.55	3.55	2.80	4.61	2.06	2.18	3.39	2.06

Grün: Effiziente Länder bei mindestens einer Input/Outputkombination.

Grau: Innovation Leader-Länder; Blau: Österreich

Tabelle 5: Farrell Output-Effizienz, CRS, IUS Indikatoren

	Enablers	Firm Activity	Innovators	Economic Effects
BE	0.65	0.63	0.61	0.51
BG	0.21	0.13	0.24	0.35
CZ	0.41	0.42	0.46	0.54
DK	0.72	0.69	0.80	0.58
DE	0.58	0.70	0.83	0.58
EE	0.58	0.58	0.45	0.56
IE	0.61	0.45	0.53	0.61
EL	0.33	0.37	0.32	0.54
ES	0.44	0.28	0.45	0.58
FR	0.65	0.44	0.54	0.55
HR	0.34	0.31	0.29	0.37
IT	0.37	0.36	0.56	0.52
CY	0.40	0.60	0.38	0.55
LV	0.34	0.12	0.16	0.30
LT	0.47	0.33	0.16	0.25
LU	0.65	0.44	0.90	0.52
HU	0.34	0.26	0.31	0.45
MT	0.21	0.30	0.34	0.31
NL	0.71	0.59	0.59	0.44
AT	0.55	0.63	0.71	0.48
PL	0.37	0.23	0.27	0.42
PT	0.44	0.35	0.40	0.48
RO	0.25	0.12	0.13	0.48
SI	0.54	0.63	0.43	0.57
SK	0.38	0.28	0.24	0.41
FI	0.72	0.66	0.64	0.60
SE	0.80	0.73	0.73	0.54
UK	0.72	0.66	0.40	0.52

Grau: Effiziente Länder bei mindestens einer Input/Outputkombination.

Rot: Innovation Leader-Länder; Grün: Innovation Follower-Länder

Tabelle 6: Input- und Output-Indikatoren, WIFO Berechnung

	Enablers	Firm Activity	Innovators	Economic Effects
BE	0.65	0.60	0.67	0.58
BG	0.21	0.17	0.05	0.22
CZ	0.41	0.38	0.49	0.49
DK	0.72	0.74	0.70	0.67
DE	0.58	0.73	0.91	0.73
EE	0.58	0.56	0.49	0.38
IE	0.61	0.43	0.75	0.78
EL	0.33	0.29	0.57	0.52
ES	0.44	0.33	0.35	0.50
FR	0.65	0.46	0.60	0.59
HR	0.34	0.25	0.36	0.32
IT	0.37	0.41	0.51	0.52
CY	0.40	0.56	0.37	0.54
LV	0.34	0.15	0.12	0.22
LT	0.47	0.28	0.19	0.19
LU	0.65	0.52	0.82	0.67
HU	0.34	0.26	0.32	0.57
MT	0.21	0.34	0.35	0.40
NL	0.71	0.61	0.59	0.50
AT	0.55	0.69	0.56	0.46
PL	0.37	0.25	0.13	0.30
PT	0.44	0.35	0.54	0.37
RO	0.25	0.11	0.21	0.43
SI	0.54	0.58	0.41	0.46
SK	0.38	0.24	0.30	0.45
FI	0.72	0.67	0.65	0.66
SE	0.80	0.75	0.79	0.60
UK	0.72	0.60	0.33	0.62

Tabelle 7: Input- und Output-Indikatoren, IUS

	BG	DE	ES	IT	LV	LU	MT	RO
BE	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.70	0.00	0.00
BG	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CZ	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	0.12	0.00	0.00
DK	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.79	0.00	0.00
DE	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EE	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.73	0.00	0.00
IE	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.82	0.10	0.00
EL	0.13	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.12	0.00
ES	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FR	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.98	0.00	0.00
HR	0.21	0.00	0.03	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00
IT	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CY	0.00	0.00	0.00	0.92	0.00	0.08	0.00	0.00
LV	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
LT	0.27	0.00	0.10	0.16	0.00	0.47	0.00	0.00
LU	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
HU	0.34	0.00	0.27	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00
MT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
NL	0.00	0.59	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00
AT	0.00	0.38	0.00	0.28	0.00	0.33	0.00	0.00
PL	0.30	0.00	0.67	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
PT	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51	0.40	0.00
RO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
SI	0.00	0.00	0.00	0.42	0.00	0.58	0.00	0.00
SK	0.18	0.00	0.48	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
FI	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00
SE	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
UK	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00

Tabelle 8: Zusammenstellung der *Peer Group*; WIFO Berechnung; VRS; alle Input-und Outputfaktoren

	BG	DE	IE	EL	LU	HU	MT	RO
BE	0.00	0.50	0.31	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00
BG	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CZ	0.00	0.19	0.10	0.49	0.00	0.22	0.00	0.00
DK	0.00	0.30	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DE	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EE	0.00	0.36	0.00	0.15	0.49	0.00	0.00	0.00
IE	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EL	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ES	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00
FR	0.00	0.06	0.82	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00
HR	0.00	0.00	0.00	0.79	0.00	0.00	0.00	0.21
IT	0.00	0.16	0.00	0.59	0.00	0.25	0.00	0.00
CY	0.00	0.03	0.19	0.00	0.00	0.78	0.00	0.00
LV	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.87
LT	0.00	0.00	0.14	0.68	0.00	0.00	0.00	0.18
LU	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
HU	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
MT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
NL	0.00	0.53	0.24	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00
AT	0.00	0.86	0.00	0.06	0.00	0.08	0.00	0.00
PL	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.40	0.00	0.36
PT	0.00	0.00	0.14	0.66	0.20	0.00	0.00	0.00
RO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
SI	0.00	0.04	0.70	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00
SK	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.14	0.00	0.54
FI	0.00	0.09	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SE	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
UK	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabelle 9: Zusammenstellung der *Peer Group*; IUS; VRS; alle Input-und Outputfaktoren

		WIFO Berechnungen		IUS	
Länder		Innovators	Econ. Effects	Innovators	Econ. Effects
1	BE	0.00	0.00	0.00	0.00
2	BG	0.00	0.00	0.00	0.00
3	CZ	0.00	0.00	0.00	0.00
4	DK	0.00	0.00	0.00	0.00
5	DE	0.00	0.00	0.00	0.00
6	EE	0.03	0.00	0.00	0.04
7	IE	0.00	0.00	0.00	0.00
8	EL	0.00	0.00	0.00	0.00
9	ES	0.00	0.00	0.03	0.00
10	FR	0.00	0.00	0.00	0.00
11	HR	0.00	0.00	0.00	0.06
12	IT	0.00	0.00	0.00	0.00
13	CY	0.01	0.00	0.00	0.00
14	LV	0.00	0.00	0.04	0.00
15	LT	0.09	0.00	0.00	0.00
16	LU	0.00	0.00	0.00	0.00
17	HU	0.00	0.00	0.00	0.00
18	MT	0.00	0.00	0.00	0.00
19	NL	0.00	0.00	0.00	0.00
20	AT	0.00	0.03	0.00	0.00
21	PL	0.00	0.00	0.15	0.00
22	PT	0.00	0.00	0.00	0.15
23	RO	0.00	0.00	0.00	0.00
24	SI	0.05	0.00	0.00	0.00
25	SK	0.03	0.00	0.03	0.00
26	FI	0.00	0.00	0.00	0.00
27	SE	0.00	0.00	0.00	0.03
28	UK	0.05	0.00	0.33	0.00

Tabelle 10: Output-Slacks

## Literatur

- Aghion, P., Hemous, D., und Veugelers, R. (2009). No green growth without innovation. *Bruegel Policy Briefs*, (Issue 2009/7).
- Aghion, P. und Howitt, P. (2006). Joseph Schumpeter Lecture Appropriate Growth Policy: A Unifying Framework. *Journal of the European Economic Association*, 4(2-3):269–314.
- Aigner, D., Lovell, C. K., und Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *journal of Econometrics*, 6(1):21–37.
- Alegre, J., Lapiedra, R., und Chiva, R. (2006). A measurement scale for product innovation performance. *European Journal of Innovation Management*, 9(4):333–346.
- Asheim, B. T. und Isaksen, A. (1997). Location, agglomeration and innovation: towards regional innovation systems in norway? *European Planning Studies*, 5(3):299–330.
- Banker, R. D., Chang, H., und Cooper, W. (1996). Simulation studies of efficiency, returns to scale and misspecification with nonlinear functions in dea. *Annals of Operations Research*, 66(4):231–253.
- Bogetoft, P. und Otto, L. (2010). *Benchmarking with DEA, SFA, and R*, volume 157. Springer Science & Business Media.
- Bundesregierung (2014). Österreichischer Forschungs- und Technologiebericht. Bericht der Bundesregierung an den Nationalrat.
- Charnes, A., Cooper, W. W., und Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6):429–444.
- Cook, W. D. und Seiford, L. M. (2009). Data envelopment analysis (DEA)-Thirty years on. *European Journal of Operational Research*, 192(1):1 – 17.
- Cooke, P., Asheim, B. T., Boschma, R., Martin, R., Schwartz, D., und Tödtling, F. (2011). *Handbook of regional innovation and growth*. Edward Elgar Publishing.
- Cruz-Cázares, C., Bayona-Sáez, C., und García-Marco, T. (2013). You can’t manage right what you can’t measure well: Technological innovation efficiency. *Research Policy*, 42(6):1239–1250.
- Dosi, G., Freeman, C., und Nelson, R. (1988). *Technical Change and Economic Theory*. Pinter, London.
- Edquist, C. und Zabala-Iturriagaitia, J. M. (2015). The Innovation Union Scoreboard is Flawed: The case of Sweden not being the innovation leader of the EU. Technical report, Lund University, CIRCLE-Center for Innovation, Research and Competences in the Learning Economy.
- European Commission (2015a). Europa 2020. [http://ec.europa.eu/europe2020/index\\_de.htm](http://ec.europa.eu/europe2020/index_de.htm). Zugriff: 14/04/2014.

- European Commission (2015b). Innovation Union Scoreboard. [http://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/facts-figures/scoreboards/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/facts-figures/scoreboards/index_en.htm). Zugriff: 08/04/2014.
- Faber, J. und Hesén, A. B. (2004). Innovation capabilities of european nations: Cross-national analyses of patents and sales of product innovations. *Research Policy*, 33(2):193–207.
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, pages 253–290.
- Feng, F., Wang, B., Zou, Y., und Du, Y. (2013). A new internet dea structure: Measurement of chinese R&D innovation efficiency in high technology industry. *International Journal of Business and Management*, 8(21):32–40.
- Freeman, C. (1987). *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*. Pinter, London.
- Furman, J. L., Porter, M. E., und Stern, S. (2002). The determinants of national innovative capacity. *Research policy*, 31(6):899–933.
- Guan, J. und Chen, K. (2012). Modeling the relative efficiency of national innovation systems. *Research Policy*, 41(1):102–115.
- Guan, J., Yam, R., Mok, C. K., und Ma, N. (2006). A study of the relationship between competitiveness and technological innovation capability based on DEA models. *European Journal of operational Research*, 170(3):971–986.
- Hollanders, H. und Celikel-Esser, F. (2007). Measuring innovation efficiency. *INNO Metrics*.
- Hölzl, W. und Janger, J. (2014). Distance to the frontier and the perception of innovation barriers across European countries. *Research Policy*, 43(4):707–725.
- Janger, J., Böheim, Michael und Falk, M., Falk, R., Hölzl, W., Kletzan-Slamanig, D., Peneder, M., Reinstaller, A., und Unterlass, F. (2010). Forschungs- und Innovationspolitik nach der Wirtschaftskrise. *WIFO-Monatsberichte*, 83(8):675–689.
- Meeusen, W. und Van den Broeck, J. (1977). Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International economic review*, pages 435–444.
- Mußhoff, O., Hirschauer, N., und Herink, M. (2009). Bei welchen Problemstrukturen sind Data-Envelopment-Analysen sinnvoll? Eine kritische Würdigung. *Agrarwirtschaft*, 58(2).
- Wilson, P. W. (1995). Detecting influential observations in data envelopment analysis. *Journal of productivity analysis*, 6(1):27–45.