

# Ermittlung unterschiedlicher Einflüsse auf Stromgestehungskosten fossiler und erneuerbarer Erzeugungstechnologien

Thomas WEIGLHOFER<sup>(1)</sup>, Maria AIGNER<sup>(2)</sup>, Ernst SCHMAUTZER<sup>(3)</sup>

- (1) (\*Jungautor) Technische Universität Graz/Institut für Elektrische Anlagen, Inffeldgasse 18/1, 8010 Graz, Tel.: +43 664 5144104, thomas.weiglhofer@student.tugraz.at,
- (2) (bis 15.11.2015) Technische Universität Graz/Institut für Elektrische Anlagen, Inffeldgasse 18/1, 8010 Graz, Tel.: +43 (0)316 873-7567, maria.aigner@tugraz.at, www.ifea.tugraz.at
- (3) Technische Universität Graz/Institut für Elektrische Anlagen, Inffeldgasse 18/1, 8010 Graz, Tel.: +43 (0)316 873-7555, schmautzer@tugraz.at, www.ifea.tugraz.at

**Kurzfassung:** Die Stromgestehungskosten verschiedener Erzeugungstechnologien sind von den unterschiedlichsten Einflussfaktoren abhängig. Sind es bei erneuerbaren Energieformen vor allem die vorliegenden Standortbedingungen, welche die Stromgestehungskosten maßgeblich beeinflussen, so sind die Erzeugungskosten fossiler Energietechnologien von differenzierenden Faktoren, wie zum Beispiel von Brennstoffkosten und CO<sub>2</sub>-Zertifikatskosten, abhängig. Eine genaue Aussage über die Auswirkungen der einzelnen Einflüsse (wie z.B. der Investitionskosten oder der Volllaststunden) auf die Stromgestehungskosten verschiedener Anlagentypen ist daher im Vorhinein nur eingeschränkt möglich.

Als Beitrag zur aktuellen Debatte über die Wichtigkeit der Reduktion des weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes wird in der vorliegenden Publikation ein Vergleich der Stromgestehungskosten ausgewählter erneuerbarer Energietechnologien mit Stromgestehungskosten fossiler Erzeugungsanlagen in Österreich angestellt. Im Konkreten werden einerseits aktuelle Technologien wie Photovoltaik und Windkraft sowie andererseits fossile Technologien wie Gaskraft und Kohlekraft untersucht. Bei letzteren wird das Hauptaugenmerk auf die Auswirkungen unterschiedlich hoher CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreise auf die Stromgestehungskosten solcher Anlagen gelegt.

**Keywords:** Stromgestehungskosten, erneuerbare Energietechnologien, fossile Energietechnologien, CO<sub>2</sub>-Zertifikate

## 1 Einleitung

Aufgrund der aktuellen Debatte zur Reduktion des weltweiten CO<sub>2</sub>- Ausstoßes werden in der vorliegenden Publikation Einflussfaktoren von Stromgestehungskosten erneuerbarer und fossiler Technologien untersucht [1]. Neben einer detaillierten Analyse der Stromgestehungskosten von Photovoltaikanlagen bzw. von Kohlekraftwerken mit anschließender Darstellung der Auswirkungen bei Variation der einzelnen Faktoren werden in der vorliegenden Publikation die Technologien Gaskraft und Windkraft überblicksmäßig dargestellt. Bei den erneuerbaren Technologien Photovoltaik und Windkraft wird der Fokus vor allem auf die Auswirkungen der Standortbedingungen gelegt. Im Gegensatz dazu wird bei den fossilen Erzeugungstechnologien das Hauptaugenmerk auf die Auswirkungen unterschiedlich hoher CO<sub>2</sub>- Zertifikatskosten gelegt.

## 2 Methodische Vorgangsweise

Um eine Analyse der Auswirkungen der jeweiligen Parameter z.B. der Investitionskosten zu bewerkstelligen, werden die anlagenspezifischen Stromgestehungskosten („Levelized costs of electricity“) anhand Formel (1), Literaturquelle [2], berechnet. Diese setzt sich aus den Investitionskosten sowie den über die Lebensdauer summierten, diskontierten Anlagenkosten, dividiert durch den ebenfalls über die Lebensdauer summierten Ertrag der Anlage zusammen.

$$LCOE = \frac{I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{A_j}{(1+i)^j}}{\sum_{j=1}^n \frac{M_{t,el}}{(1+i)^j}} \quad (1)$$

LCOE	Levelized Costs of Electricity in €/kWh
$I_0$	Investitionskosten in €
$A_j$	jährliche Gesamtkosten in € im Jahr j
$i$	realer Zinssatz in %
$n$	Nutzungsdauer der Anlage in Jahren
$M_{t,el}$	jährlicher Energieertrag in kWh im Jahr j
$j$	Jahr der Nutzungsperiode ( $j = 1 \dots n$ )

Die jährlichen Gesamtkosten  $A_j$  aus Formel (1) setzen sich aus den jährlichen fixen Betriebskosten sowie eventuellen jährlichen variablen Kosten zusammen.

Aufgrund der Unterschiedlichkeit der betrachteten Erzeugungstechnologien muss eine Vergleichsbasis geschaffen werden, um die ermittelten Stromgestehungskosten gegenüberstellen zu können. Dies erfolgt in Form eines Diskontierungszinssatzes, welcher die unterschiedlichen Finanzierungsbedingungen der jeweiligen Anlagen berücksichtigt.

Ausgehend von den mit (1) berechneten anlagenspezifischen mittleren Stromgestehungskosten der jeweiligen Technologie wird eine Variation der einzelnen Parameter wie z.B. der Investitionskosten, der Betriebskosten oder der Volllaststunden

vorgenommen und deren Auswirkungen auf die Stromgestehungskosten graphisch dargestellt.

### 3 Finanzierungsbedingungen

Um die für die Analyse der Auswirkungen der verschiedenen Einflussfaktoren notwendigen mittleren Stromgestehungskosten der untersuchten Anlagentypen zu ermitteln, müssen in einem ersten Schritt die verschiedenen Kapitalzinssätze betrachtet werden.

Eine Gegenüberstellung österreichischer und deutscher Kapitalzinssätze ist in Tabelle 1 dargestellt.

**Tabelle 1: Kapitalkosten für verschiedene Erzeugungstechnologien in Deutschland verglichen mit vorhandenen Werten aus Österreich**

Erzeugungsform	WACC, DE %	WACC, Ö %
Photovoltaik	2,80 [2]	2,09-4,17 [3]
Windkraft	3,80 [2]	7,50 [4]
Kohlekraft	6,90 [2]	-
Gas und Dampfkraft	6,90 [2]	5,75 [5]

Die weitere Berechnung der Stromgestehungskosten basiert, sofern vorhanden, auf den Zinssätzen aus österreichischen Literaturquellen (angeführt in Tabelle 1). Da der deutsche Referenzwert bei Photovoltaik genau das Mittel des für Österreich angegebenen Bereiches bildet, wird hier ein Zinssatz von 2,80 % als weitere Berechnungsgrundlage angenommen. Bei Kohlekraft wird der deutsche Referenzwert herangezogen, da hier das österreichische Äquivalent fehlt.

## 4 Photovoltaik

### 4.1 Rahmenbedingungen

Die bereitgestellte Leistung sowie die jährlich erzeugte Energiemenge von Photovoltaikanlagen ist einerseits vom Standort der Anlage sowie andererseits von der Ausrichtung der Module abhängig. Das Potential von PV-Anlagen, wird unter Berücksichtigung des jeweiligen Standortes in Österreich und bei optimalem Neigungsgrad der Module in Abbildung 1 dargestellt. Daraus lässt sich, wie ebenfalls aus Abbildung 1 ersichtlich, die jährlich erzeugte elektrische Energiemenge in kWh/kWp ermitteln.

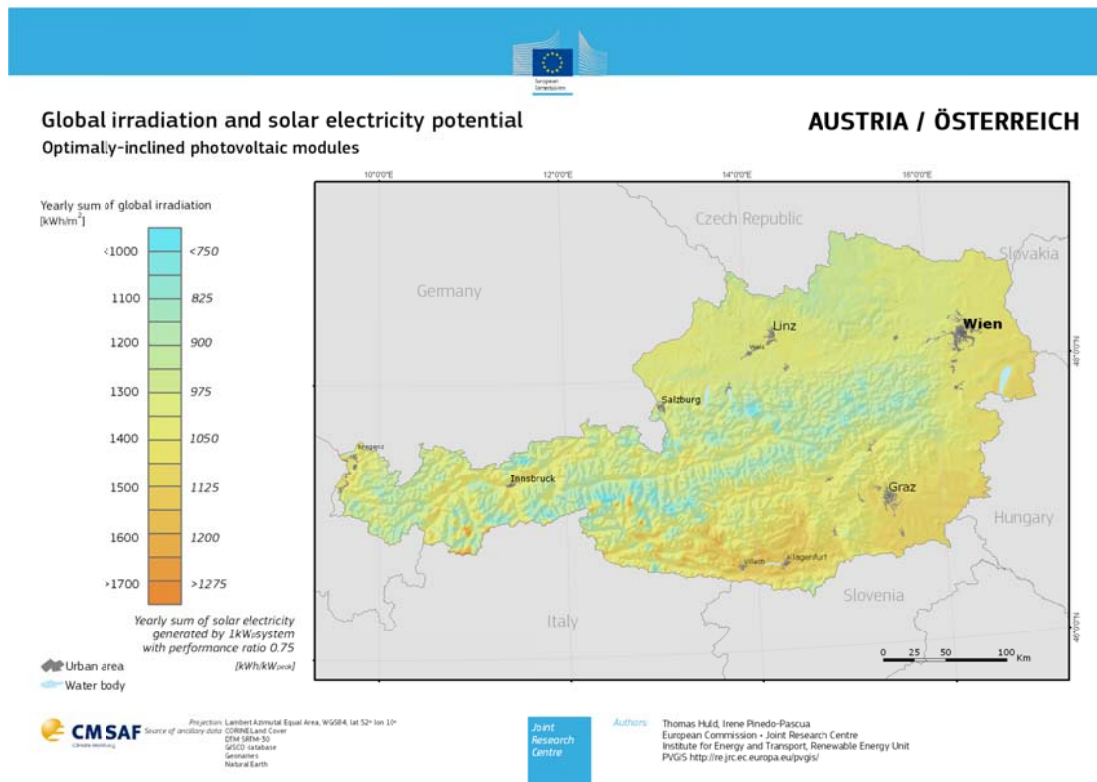


Abbildung 1: Globalstrahlung in Österreich [6]

In Österreich ergeben sich somit Einstrahlungswerte zwischen 1000 kWh/m<sup>2</sup> in strahlungsärmeren Gebieten, und 1500 kWh/m<sup>2</sup> in strahlungsintensiveren Gebieten. Bei einem Verhältnis zwischen Nutzertrag und Sollertrag der PV-Module von 0,75 errechnen sich aus den Einstrahlungswerten die Jahresenergieerträge zwischen 750 kWh/kWp und 1125 kWh/kWp. Das Mittel wird mit 1000 kWh/kWp angenommen.

Die Investitionskosten pro installiertem kWp sind primär von der jeweiligen Anlagengröße abhängig. Eine Auswertung der Investitionskosten aus Literaturquelle [7] mit Stand April 2012 ist in Tabelle 2 dargestellt. Für die weiteren Betrachtungen und Berechnungen werden PV-Anlagen mit einer Ausbauleistung größer 30 kWp herangezogen.

Tabelle 2: Auswertung der Investitionskosten für PV- Anlagen [7]

	PV bis 30 kWp	PV ab 30 kWp
	€/kWp	€/kWp
<i>Investment niedrig</i>	1296	1277
<i>Investment mittel</i>	1778	1534
<i>Investment hoch</i>	2749	1892

Die laufenden Kosten von PV-Anlagen werden in der Literatur kaum angeführt. In Deutschland werden diese mit ca. 35 € pro installiertem kWp pro Jahr [2] bzw. mit jährlich 2 % der Investitionskosten angegeben [8].

Für Österreich lässt sich ausschließlich eine relativ grobe Angabe der Betriebskosten recherchieren. Sie werden zwischen 0,5 % und 2,0 % der Investitionskosten deklariert [9]. Für die weiteren Berechnungen wird ein Betriebskostensatz von 2 % der Investitionskosten angenommen.

Die Anlagenlebensdauer wird in der Literatur sowohl in Deutschland als auch in Österreich mit ca. 25 Jahren festgelegt [2], [10]. Hier ist zu beachten, dass die Lebensdauer der PV-Anlage deutlich über der durchschnittlichen Lebensdauer von Wechselrichtern liegt. Laut einer Studie des Instituts für angewandte Ökologie in Freiburg [11] kann davon ausgegangen werden, dass der Wechselrichter während der Anlagennutzungsdauer mindestens einmal erneuert werden muss.

## 4.2 Stromgestehungskosten und Sensitivitätsanalyse

Um aus den zuvor genannten Parametern (siehe Kapitel 4.1) auf die Stromgestehungskosten von Photovoltaikanlagen größer 30 kWp zu schließen, werden diese mit Hilfe der in Kapitel 2 erläuterten Formel (1) und den festgelegten wirtschaftlichen Parametern in Kapitel 3 berechnet.

**Tabelle 3: Stromgestehungskosten von PV-Anlagen größer 30 kWp**

Investitionskosten €/kWp	Stromgestehungskosten €/kWh		
	bei Ertrag 750 kWh/kWp	bei Ertrag 1000 kWh/kWp	bei Ertrag 1125 kWh/kWp
1277	0,130	0,097	0,086
1534	0,156	0,117	0,104
1892	0,192	0,144	0,128

Tabelle 3 enthält eine Auflistung der ermittelten Stromgestehungskosten für PV- Anlagen größer 30 kWp. Der grün markierte Eintrag stellt die mittleren Stromgestehungskosten bei einem Ertrag von 1000 kWh/kWp sowie Investitionskosten von 1534 €/kWp dar und dient als Ausgangspunkt für die nachfolgenden Betrachtungen.

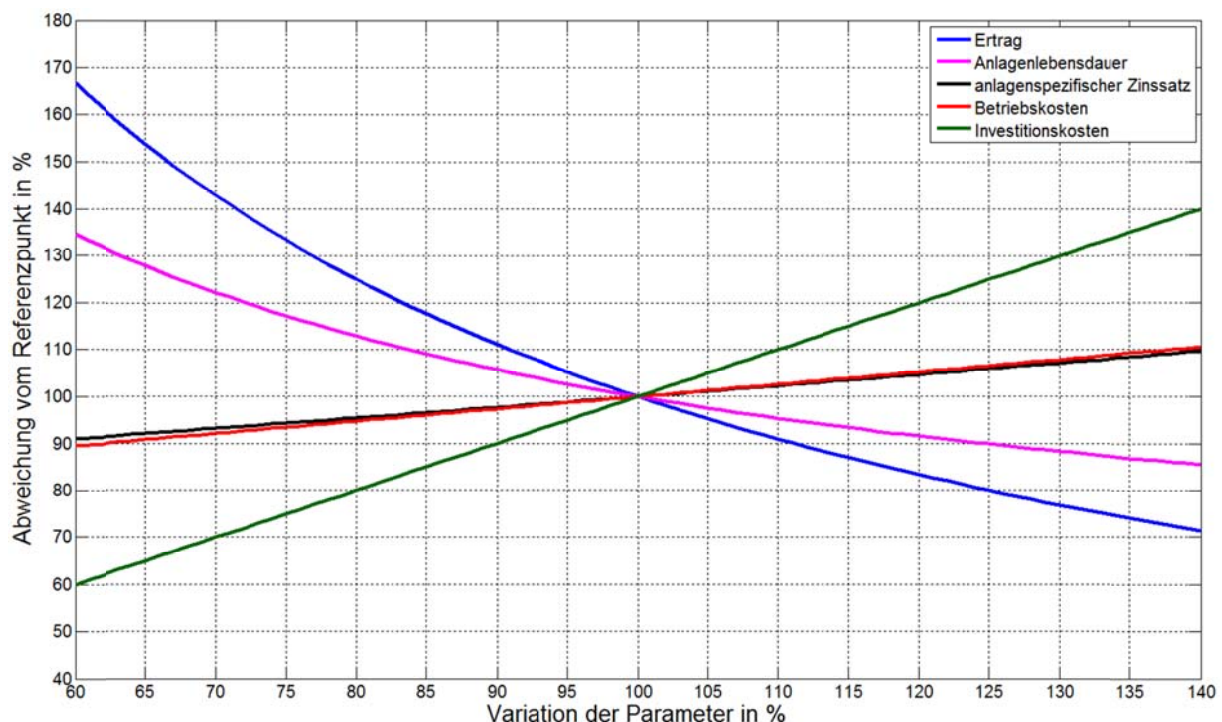
Ausgehend von diesen Stromgestehungskosten wird eine Sensitivitätsanalyse durch prozentuelle Variation der in Tabelle 4 zusammengefassten Parameter (Investitionskosten, Betriebskosten, etc.) durchgeführt. Hierfür werden diese zwischen 60 % und 140 % der angegebenen Werte variiert und auf die Abszisse aufgetragen. Die damit errechneten neuen Stromgestehungskosten werden in Form prozentueller Abweichungen von den Stromgestehungskosten im Referenzpunkt aus Tabelle 4 auf der Ordinate dargestellt. Mithilfe dieser Sensitivitätsanalyse können die Auswirkungen der verschiedenen Einflussfaktoren auf die Stromgestehungskosten ermittelt werden.

**Tabelle 4: Parameter für die Berechnung der Stromgestehungskosten im Referenzpunkt der Sensitivitätsanalyse in Abbildung 2**

Parameter	Wert
Investitionskosten	1534 €/kWp
Ertrag	1000 kWh/kWp
Betriebskosten	2 % der Investitionskosten
WACC	2,8 %
Anlagenlebensdauer	25 Jahre
LCOE	0,117 €/kWh

Die Berechnung der Stromgestehungskosten im Referenzpunkt aus Tabelle 4 wird gemäß (2) durchgeführt:

$$LCOE = \frac{1534 \text{ €/kWp} + \sum_{j=1}^{25 \text{ Jahre}} \frac{2,0\% * 1534 \text{ €/kWp}}{(1 + 2,8\%)^j}}{\sum_{j=1}^{25 \text{ Jahre}} \frac{1000 \text{ kWh/kWp}}{(1 + 2,8\%)^j}} = 0,117 \text{ €/kWh} \quad (2)$$



**Abbildung 2: Sensitivitätsanalyse Photovoltaik [1]**

Aufgrund der Steigung der verschiedenen Kurven in Abbildung 2 lässt sich schließen, dass die Stromgestehungskosten einer Photovoltaikanlage am stärksten vom jeweiligen Ertrag (blaue Kurve) und von den Investitionskosten (grüne Kurve) abhängen. Danach folgt die Anlagenlebensdauer. Den geringsten Anteil an den Stromgestehungskosten haben demnach

die Finanzierungsbedingungen der jeweiligen Anlage, welche in Form des Diskontierungszinssatzes in den Berechnungen berücksichtigt werden, sowie die Betriebskosten (geringste Steigung).

Diese Darstellung gibt in Kombination mit den maximalen sowie minimalen Werten der verschiedenen Parameter eine sehr gute Abschätzung der Abhängigkeit der Stromgestehungskosten von den analysierten Einflussfaktoren.

## 5 Kohlekraft

### 5.1 Rahmenbedingungen

Die jährlichen Volllaststunden für Kohlekraftwerke mit Brennstoff Steinkohle sind nur für Deutschland detailliert beschrieben. So betragen diese laut einer Studie des Fraunhofer Instituts für Solare Energiesysteme für das Jahr 2013 zwischen 5500 und 6500 Stunden bei einem Mittel von 6000 Stunden [2]. Eine weitere Studie einer Unternehmensberatungsgruppe (Prognos, [8]) zu Stromgestehungskosten in Deutschland geht von einer Volllaststundenanzahl von ca. 6000 Stunden für das Jahr 2015 aus. In Österreich sieht die Situation jedoch anders aus. Laut Austrian Power Grid waren in Österreich Anfang 2015 1172,52 MW an Kohlekraftwerken am Netz [12]. Die eingespeiste Energie über das gesamte Jahr 2014 betrug dabei 2953 GWh [13]. Dies ergibt nach eigenen Berechnungen unter Berücksichtigung der Quellen [12] und [13] eine mittlere Volllaststundenanzahl von gerundeten 2519 Stunden für das Jahr 2014.

Um geeignete Werte für die Berechnung der Stromgestehungskosten zu finden, werden Werte zwischen 2519 und 5500 Volllaststunden angenommen. Als doch „hoher“ Mittelwert wird von 4000 Volllaststunden ausgegangen. Dies soll die Situationen in beiden Ländern, sowohl in Österreich als auch zumindest teilweise in Deutschland widerspiegeln.

**Tabelle 5: Jährliche Volllaststunden für Steinkohlekraftwerke in Deutschland [2] und in Österreich (Zeile „Volllaststunden niedrig“)**

Jährliche Volllaststunden	
	h
<i>Volllaststunden niedrig</i>	2519
<i>Volllaststunden mittel</i>	4000
<i>Volllaststunden hoch</i>	5500

Für die Investitionskosten von Kohlekraftwerken fehlen österreichische Referenzwerte. Daher wird hier auf die deutschen Äquivalentwerte zurückgegriffen. Diese betragen laut einer Studie zwischen 1100 €/kW und 1600 €/kW [2]. In einer weiteren Studie werden sie mit 1500 €/kW angenommen [8]. Der Mittelwert wird aber in weiterer Folge mit 1350 €/kW definiert.

**Tabelle 6: Investitionskosten von Steinkohlekraftwerken in Deutschland [2]**

Investitionskosten von Steinkohlekraftwerken	
	€/kW
<i>Investment niedrig</i>	1100
<i>Investment hoch</i>	1600
<i>Investment mittel</i>	1350

Fixe sowie variable Betriebskosten werden je nach Literatur verschieden spezifiziert. So werden zum einen fixe jährliche, von der Ausbauleistung abhängige, Betriebskosten von 32 €/kW [2] und zum anderen fixe Betriebskosten mit 3 % der Investitionskosten genannt. Für die im Betrieb verbrauchten Stoffe (nicht Brennstoffe) werden variable Betriebskosten mit 2 €/MWh (0,002 €/kWh) angegeben [8]. Um auch hier einen Mittelweg zu finden, wird für die weiteren Berechnungen von fixen jährlichen Betriebskosten von 32 €/kW ausgegangen. Aufgrund der benötigten Betriebsmittel, werden zusätzlich variable Betriebskosten in Höhe von 2 €/MWh berücksichtigt.

Für die Brennstoffkosten findet man in der Literatur unterschiedliche Werte. Die Studie des ISE Fraunhofer zu Stromgestehungskosten gibt für 2013 einen Preis von 11,4 €/MWh an [2]. Laut einer Grafik aus dem Geschäftsbericht der Verbund AG [5] sinkt dieser Preis jedoch momentan stetig. So erhält man für das Jahr 2013 ähnliche Werte, wie jene aus der eben genannten Studie. Für 2014 liegt der Preis jedoch schon unter 10 €/MWh und mit Ende 2014 lag der Kohlepreis bei 8,07 €/MWh.

Da über die lange Lebensdauer eines Kohlekraftwerks die Entwicklung des Brennstoffpreises sehr schwierig zu prognostizieren ist, wird in dieser Arbeit trotz des sehr niedrigen Preises von 8,07 €/MWh, dieser über die gesamte Lebensdauer konstant ohne Teuerung angenommen.

Ein weiterer Aspekt der bei dieser Art der Stromerzeugung zu tragen kommt, ist der Ausstoß von CO<sub>2</sub>. Aufgrund der Klimaziele der europäischen Union, in denen die Einsparung von 20 % CO<sub>2</sub> bis 2020 im Vergleich zu 1990 angestrebt wird, ist ein Handel mit CO<sub>2</sub>- Zertifikaten eingeführt worden. Ein Unternehmen erhält beim Kauf dieser Zertifikate die Erlaubnis eine bestimmte Menge an CO<sub>2</sub> bei der Produktion bestimmter Güter, in diesem Fall von Strom, auszustoßen. Der Preis dieser Zertifikate lag laut Geschäftsbericht der Verbund AG im Jahr 2014 [5] bei durchschnittlich 6 € pro ausgestoßener Tonne CO<sub>2</sub> (6 €/tCO<sub>2</sub>). Da dieser Wert besonders niedrig ist und in Zukunft eher mit einer Steigung gerechnet werden muss, wird eine zweite Berechnung mit 30 €/tCO<sub>2</sub> (eigene Annahme) durchgeführt. Dies dient zusätzlich der Verdeutlichung der Abhängigkeit der Stromgestehungskosten von steigenden Zertifikatspreisen. Der für Österreich typische CO<sub>2</sub>- Ausstoß von Kohlekraftwerken liegt laut einer Studie zu Umweltauswirkungen einzelner Energieträger der E-Control bei ca. 882 g/kWh [14]. Die Kosten pro erzeugter Megawattstunde Strom liegen somit für 6,00 €/tCO<sub>2</sub> bei 5,29 €/MWh (0,00529 €/kWh) und für 30,00 €/tCO<sub>2</sub> bei 26,50 €/MWh (0,0265 €/kWh).

Die Lebensdauer von Kohlekraftwerken beträgt laut übereinstimmenden Werten zweier Studien ca. 40 Jahre [2] [8]. Der Wirkungsgrad liegt ebenfalls laut übereinstimmenden Werten derselben beiden Studien bei 46%.



## 5.2 Stromgestehungskosten und Sensitivitätsanalyse

Da es sich aufgrund der langen Lebensdauer der Anlagen schwierig gestaltet, Prognosen über die genauen Stromgestehungskosten abzugeben, werden die nachfolgenden Berechnungen zumindest mit zwei verschiedenen CO<sub>2</sub>- Zertifikatskosten durchgeführt.

In Tabelle 7 sind die berechneten Stromgestehungskosten für CO<sub>2</sub>- Zertifikatskosten von 6 €/tCO<sub>2</sub> angeführt.

**Tabelle 7: Stromgestehungskosten bei Energieerzeugung aus Steinkohle mit CO<sub>2</sub>- Zertifikatskosten von 6 €/tCO<sub>2</sub>**

Investitionskosten €/kW	Stromgestehungskosten €/kWh		
	bei 2519 Volllaststunden	bei 4000 Volllaststunden	bei 5500 Volllaststunden
1100	0,076	0,059	0,052
1350	0,083	0,064	0,055
1600	0,091	0,069	0,058

Die berechneten Stromgestehungskosten für CO<sub>2</sub>- Zertifikatskosten von 30 €/tCO<sub>2</sub> sind in Tabelle 8 enthalten.

**Tabelle 8: Stromgestehungskosten bei Energieerzeugung aus Steinkohle mit CO<sub>2</sub>- Zertifikatskosten von 30 €/tCO<sub>2</sub>**

Investitionskosten €/kW	Stromgestehungskosten €/kWh		
	bei 2519 Volllaststunden	bei 4000 Volllaststunden	bei 5500 Volllaststunden
1100	0,122	0,105	0,098
1350	0,130	0,110	0,101
1600	0,137	0,115	0,104

Gerade aufgrund des hohen CO<sub>2</sub>- Ausstoßes von Steinkohlekraftwerken wirken sich hier die CO<sub>2</sub>- Zertifikatskosten enorm aus. So sind die Stromgestehungskosten bei aktuell niedrigem Brennstoffpreis und sehr niedrigen Preisen der Emissionszertifikate (Tabelle 7) im unteren Bereich angesiedelt. Bei zu erwartenden steigenden Zertifikatspreisen wirken sich diese sehr stark auf die Stromgestehungskosten aus (Tabelle 8).

Für die Sensitivitätsanalyse in Abbildung 3 wird wiederum vom grün markierten Wert in Tabelle 8 ausgegangen. Die Parameter aus Tabelle 9 dienen der Berechnung der Stromgestehungskosten im Referenzpunkt (siehe Abbildung 3).

**Tabelle 9: Parameter für die Berechnung der Stromgestehungskosten im Referenzpunkt der Sensitivitätsanalyse in Abbildung 3**

Parameter	Wert
<i>Investitionskosten</i>	1350 €/kW
<i>Volllaststunden</i>	4000 h
<i>Betriebskosten fix</i>	32 €/kW
<i>Betriebskosten variabel</i>	0,002 €/kWh
<i>Brennstoffkosten</i>	0,00807 €/kWh
<i>CO<sub>2</sub>- Zertifikatkosten</i>	30 €/tCO <sub>2</sub>
<i>CO<sub>2</sub>- Ausstoß</i>	882 g/kWh
<i>WACC</i>	6,9 %
<i>Wirkungsgrad</i>	46 %
<i>Anlagenlebensdauer</i>	40 Jahre
<i>Stromgestehungskosten</i>	0,110 €/kWh

Die Berechnung der Stromgestehungskosten im Referenzpunkt aus Tabelle 9 wird gemäß (3) und (4) durchgeführt.

$$A_t = 32 \frac{\text{€}}{\text{kW}} + 0,002 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 4000h + (0,00807 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} + 0,882 \frac{\text{kgCO}_2}{1000 * \text{kWh}} * 30 \frac{\text{€}}{\text{tCO}_2}) * \frac{4000 h}{46 \%} \quad (3)$$

$$LCOE = \frac{1350 \frac{\text{€}}{\text{kW}} + \sum_{j=1}^{40 \text{ Jahre}} \frac{A_t}{(1 + 6,9 \%)^j}}{\sum_{j=1}^{40 \text{ Jahre}} \frac{4000 h}{(1 + 6,9 \%)^j}} = 0,110 \text{ €/kWh} \quad (4)$$

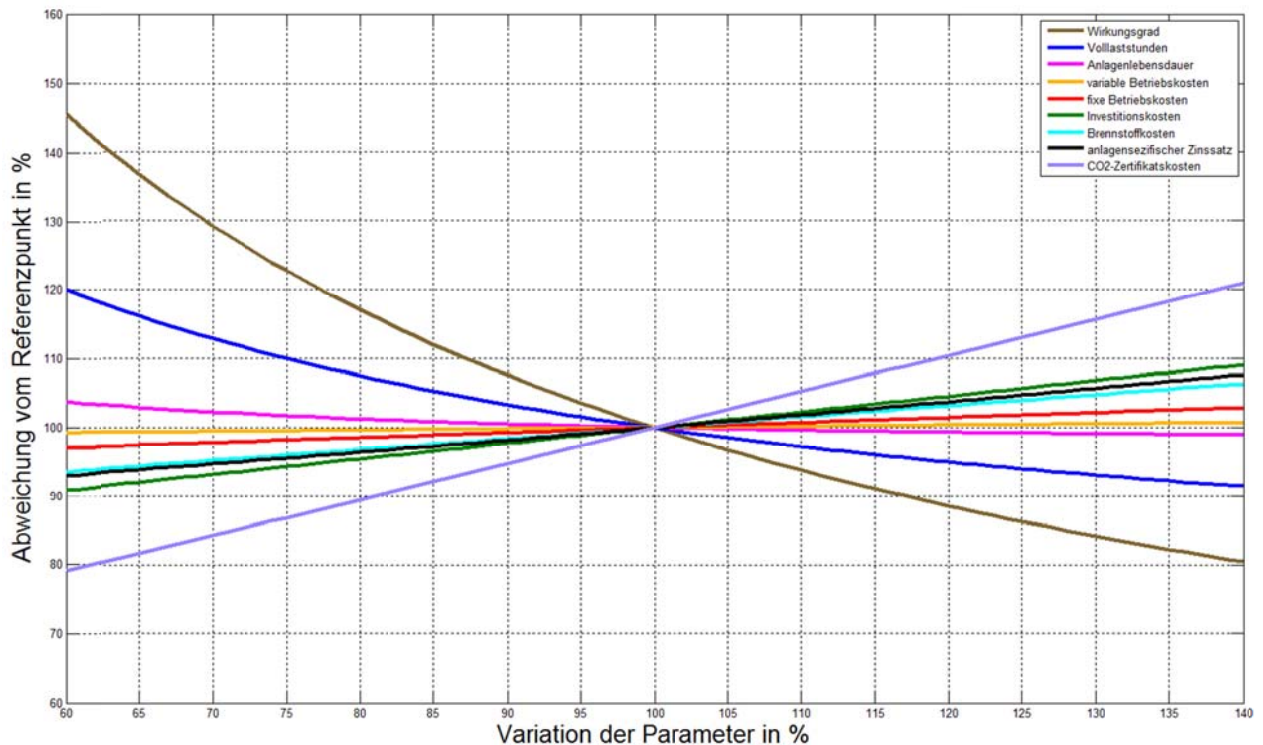


Abbildung 3: Sensitivitätsanalyse Kohlekraft [1]

Die Sensitivitätsanalyse aus Abbildung 3 zeigt eine starke Abhängigkeit der Stromgestehungskosten vom Wirkungsgrad der Anlage sowie von der Höhe der CO<sub>2</sub>-Zertifikatskosten, gefolgt von den gefahrenen Volllaststunden auf. Die weiteren Einflussfaktoren wie die Anlagenlebensdauer, die Betriebskosten sowie der Diskontierungszinssatz resultieren in weniger starken Abhängigkeiten. Eine etwaige Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Zertifikatskosten auf europäischer Ebene hätte somit starke Auswirkungen auf die Stromgestehungskosten von Kohlekraftwerken.

## 6 Windkraft und Gaskraft

Aufgrund der Ähnlichkeit der Einflussfaktoren der Stromgestehungskosten von Photovoltaik und Windkraft sowie von Kohlekraft und Gaskraft wird in der vorliegenden Arbeit lediglich ein kurzer Überblick über wesentliche Unterscheidungsmerkmale gegeben.

### 6.1 Windkraft

Die Analyse der Auswirkungen der verschiedenen Parameter z.B. der Investitionskosten oder der erzielten Volllaststunden auf die Stromgestehungskosten aus Windkraft liefert ein ähnliches Resultat wie bei Photovoltaik-Anlagen. Die Stromgestehungskosten zeigen, wie erwartet, eine starke Abhängigkeit von den verschiedenen Standorten (Windabhängigkeit). Ebenso sind günstige Investitionskosten ein weiteres Kriterium für niedrige Stromgestehungskosten. Einen geringeren Beitrag leistet die Anlagenlebensdauer gefolgt von dem verwendeten Diskontierungszinssatz sowie den laufenden Betriebskosten.

## 6.2 Gaskraft

Die Abhängigkeit der Stromgestehungskosten von den verschiedenen Einflussfaktoren bei Gaskraftwerken ist ähnlich jenen von Kohlekraftwerken. Ein deutlicher Unterschied kann in den Auswirkungen des Brennstoffpreises und jener der CO<sub>2</sub>-Zertifikatskosten ausgemacht werden. Im Vergleich zu Kohlekraftwerken weisen österreichische Gaskraftwerke einen um den Faktor drei niedrigeren CO<sub>2</sub>-Ausstoß auf [14]. Bei Anwendung der in dieser Publikation erläuterten Analyse­methode resultiert dies in einer weitaus geringeren Auswirkung der CO<sub>2</sub>-Zertifikatskosten auf die Höhe der Stromgestehungskosten. Die Kosten für Erdgas sind jedoch deutlich höher als die Kosten für Steinkohle [5]. Daher weisen die Stromgestehungskosten von Gaskraftwerken neben der Abhängigkeit vom jeweiligen Wirkungsgrad eine sehr starke Abhängigkeit von den Brennstoffkosten auf.

## 7 Zusammenfassung

Da die Ermittlung detaillierter Stromgestehungskosten schwer zu bewerkstelligen ist, können für die untersuchten Technologien sinnvollerweise nur Maximal- und Minimalwerte ermittelt werden. Aus diesem Grund kommt der graphischen Darstellung der Abhängigkeit der Stromgestehungskosten von den Einflussfaktoren (Investitionskosten, Anlagenlebensdauer, etc.) in Verbindung mit den ermittelten Maximal- und Minimalwerten eine große Bedeutung zu. Mit Hilfe dieser können somit die unmittelbaren Auswirkungen ausgehend von den verschiedenen Einflussfaktoren (z.B. der Investitionskosten) aufgezeigt werden. Als Beispiel kann hier die Auswirkung des Brennstoffpreises auf die Stromgestehungskosten fossiler Erzeugungsanlagen genannt werden. Aufgrund der Langlebigkeit dieser Anlagen ist eine detaillierte Preisprognose über die gesamte Anlagenlebensdauer nur eingeschränkt möglich. Daher ist es umso wichtiger, die genauen Auswirkungen von unterschiedlichen Brennstoffpreisen auf die Stromgestehungskosten zu analysieren.

Derzeit kann ein Trend beobachtet werden, dass sowohl die kontinuierliche Stromerzeugung aus Gaskraft, als auch aus Kohlekraft (Steinkohle) in Österreich rückläufig sind, da die Stromgestehungskosten deutlich über dem durchschnittlichen Großhandelspreis von Strom an der Börse liegen [5].

Die CO<sub>2</sub>-Zertifikatskosten werden in Zukunft auch eine wesentliche Rolle bei der Auswahl der Energieträger für die Stromerzeugung spielen. Da diese momentan weit unter einem Wert, welcher erheblichen Einfluss auf die Stromgestehungskosten hat, liegen, können sie ihrem beabsichtigten Nutzen derzeit nicht nachkommen. Will die Europäische Union in Zukunft die Stromerzeugung aus klimaschädlichen Technologien eindämmen, werden die CO<sub>2</sub>-Zertifikatskosten eine relevante Größenordnung erreichen müssen.

## Literatur

Sofern Verweise in der gegenständlichen Veröffentlichung nicht direkt referenziert sind, sind die angeführten Quellen als weiterführende Literatur zu verstehen.

- [1] Thomas Weiglhofer. (Bakkalaureatsarbeit am Institut für Elektrische Anlagen der Technischen Universität Graz, 2015, September) Erhebung von Stromgestehungskosten dezentraler und zentraler Erzeugungsanlagen.
- [2] Christoph Kost et al. (2013, November) Stromgestehungskosten, Erneuerbare Energien. [Online]. <http://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen-pdf-dateien/studien-und-konzeptpapiere/studie-stromgestehungskosten-erneuerbare-energien.pdf>
- [3] Georg Lettner. (2012, Februar) Wettbewerbsfähigkeit der Photovoltaik für unterschiedliche Netzkosten und Abgabenbeiträge des Eigenverbrauchs. [Online]. [http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/Files/i4340/eninnov2014/files/lf/LF\\_Lettner.pdf](http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/Files/i4340/eninnov2014/files/lf/LF_Lettner.pdf)
- [4] Christian Rupert, Rene Bolz, and Reinhold, Prof. Dr. Christian. (2012, Juni) Windkraft - Chancen für Österreich? [Online]. [http://www.uma.or.at/assets/userFiles/downloads/Veranstaltungen/2012/Studie\\_Windkraft\\_Stand%2004-07-2012.pdf](http://www.uma.or.at/assets/userFiles/downloads/Veranstaltungen/2012/Studie_Windkraft_Stand%2004-07-2012.pdf)
- [5] Verbund AG. (2014) Geschäftsbereich Verbund AG. [Online]. <http://www.verbund.com/cc/de/investor-relations/finanzpublikationen#tabbed-1>
- [6] Thomas Huld and Irene Pinedo-Pascua. (2015, März) <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>. [Online]. [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu\\_cmsaf\\_opt/G\\_opt\\_AT.png](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_cmsaf_opt/G_opt_AT.png)
- [7] E-Control. (2013, November) Ökostrombericht 2014. [Online]. <http://www.e-control.at/de/publikationen/oeko-energie-und-energie-effizienz/berichte/oekostrombericht>
- [8] Frank Peter, Leonard Krampe, and Inka Ziegenhagen. (2013, Oktober) Entwicklung von Stromproduktionskosten. [Online]. [http://www.prognos.com/uploads/tx\\_atwpubdb/131010\\_Prognos\\_Belectric\\_Studie\\_Freifl\\_aachen\\_Solarkraftwerke\\_02.pdf](http://www.prognos.com/uploads/tx_atwpubdb/131010_Prognos_Belectric_Studie_Freifl_aachen_Solarkraftwerke_02.pdf)
- [9] pv-austria.at. (2015, März) [www.pv-austria.at](http://www.pvaustria.at). [Online]. <http://www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/faq/>
- [10] Peter Biermayr et al. (2014, Juni) Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2013. [Online]. [http://www.nachhaltigwirtschaften.at/e2050/e2050\\_pdf/201426\\_marktentwicklung\\_2013.pdf](http://www.nachhaltigwirtschaften.at/e2050/e2050_pdf/201426_marktentwicklung_2013.pdf)
- [11] Corinna Fischer, Eva Brommer, and Jens Gröger. (2012, April) PROSA Photovoltaik Wechselrichter. [Online]. <http://www.oeko.de/oekodoc/1457/2012-038-de.pdf>
- [12] Austrian Power Grid. (2015, April) Austrian Power Grid, Installierte Kraftwerksleistung. [Online]. <https://www.apg.at/de/markt/erzeugung/installierte-leistung>

- [13] E-Control. (2015, Jänner) Erzeugung elektrischer Energie in Österreich nach Energieträgern 2014 Gesamt (Stand: Jänner 2015). [Online]. [www.e-control.at/de/statistik/strom/betriebsstatistik/](http://www.e-control.at/de/statistik/strom/betriebsstatistik/)
- [14] E-Control. (2015, April) Umweltauswirkungen einzelner Energieträger. [Online]. <http://www.e-control.at/de/marktteilnehmer/oeko-energie/stromkennzeichnung/umweltauswirkungen>