

Ermittlung unterschiedlicher Einflüsse auf Stromgestehungskosten fossiler und erneuerbarer Erzeugungstechnologien

Thomas Weiglhofer, BSC
Dipl.-Ing. Dr. Maria Aigner
Dipl.-Ing. Dr. Ernst Schmutzer

11.02.2016

Inhalt

- Methodische Vorgangsweise
- Kohlekraft bzw. Photovoltaik
 - Einflussfaktoren
 - Stromgestehungskosten
 - Sensitivitätsanalyse
- Wind- und Gaskraft
- Schlussfolgerungen

Methodische Vorgangsweise

- Berechnung der Stromgestehungskosten anhand der „Levelized costs of electricity“ (Quelle: ISE Fraunhofer)

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

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 ($j = 1 \dots n$)

- Vorteil: Vergleichsbasis zwischen den betrachteten Technologien

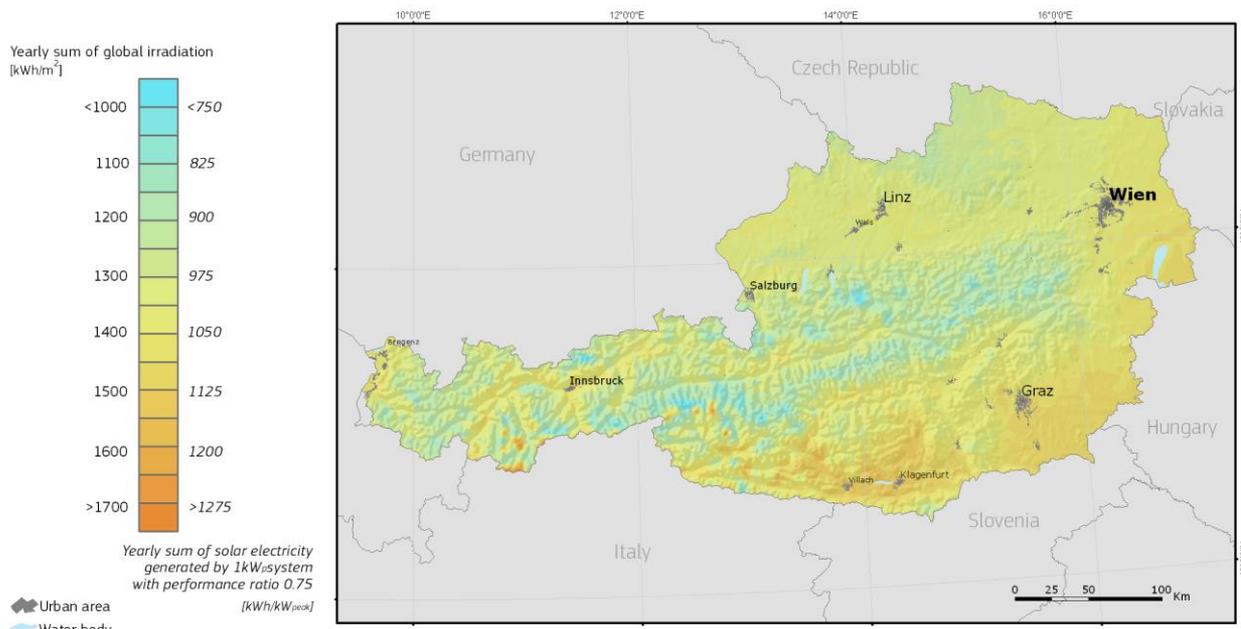
Photovoltaik (1) - Einflussfaktoren

- Sonneneinstrahlung in Österreich



Global irradiation and solar electricity potential
Optimally-inclined photovoltaic modules

AUSTRIA / ÖSTERREICH



Projection: Lambert Azimuthal Equal Area, WGS84, lat 52° lon 10°
Source of ancillary data: CORINE Land Cover, DTM SRTM30, GSDO database, Geonames, Natural Earth

Joint Research Centre

Authors: Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua
European Commission - Joint Research Centre
Institute for Energy and Transport, Renewable Energy Unit
PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Photovoltaik (2) - Einflussfaktoren

- **Investitionskosten** (Quelle: OeMAG)

	PV bis 30kWp	PV ab 30kWp
	€/kWp	€/kWp
Investment niedrig	1296	1277
Investment hoch	2749	1892
Investment durchschnitt	1778	1534

- **Betriebskosten** zwischen 0,5 % und 2,0 % der Investitionskosten (Quelle: pvaustria.at)
- **Anlagenlebensdauer** wird in der Literatur mit ca. 25 Jahren angegeben (Quelle: ISE Fraunhofer)
- **Anlagenspezifischer Zinssatz** liegt bei ca. 2,8 % (Deutschland) und zwischen 2,09 % und 4,17 % (Österreich)
(Quellen: ISE Fraunhofer, ENINNOV 2014)

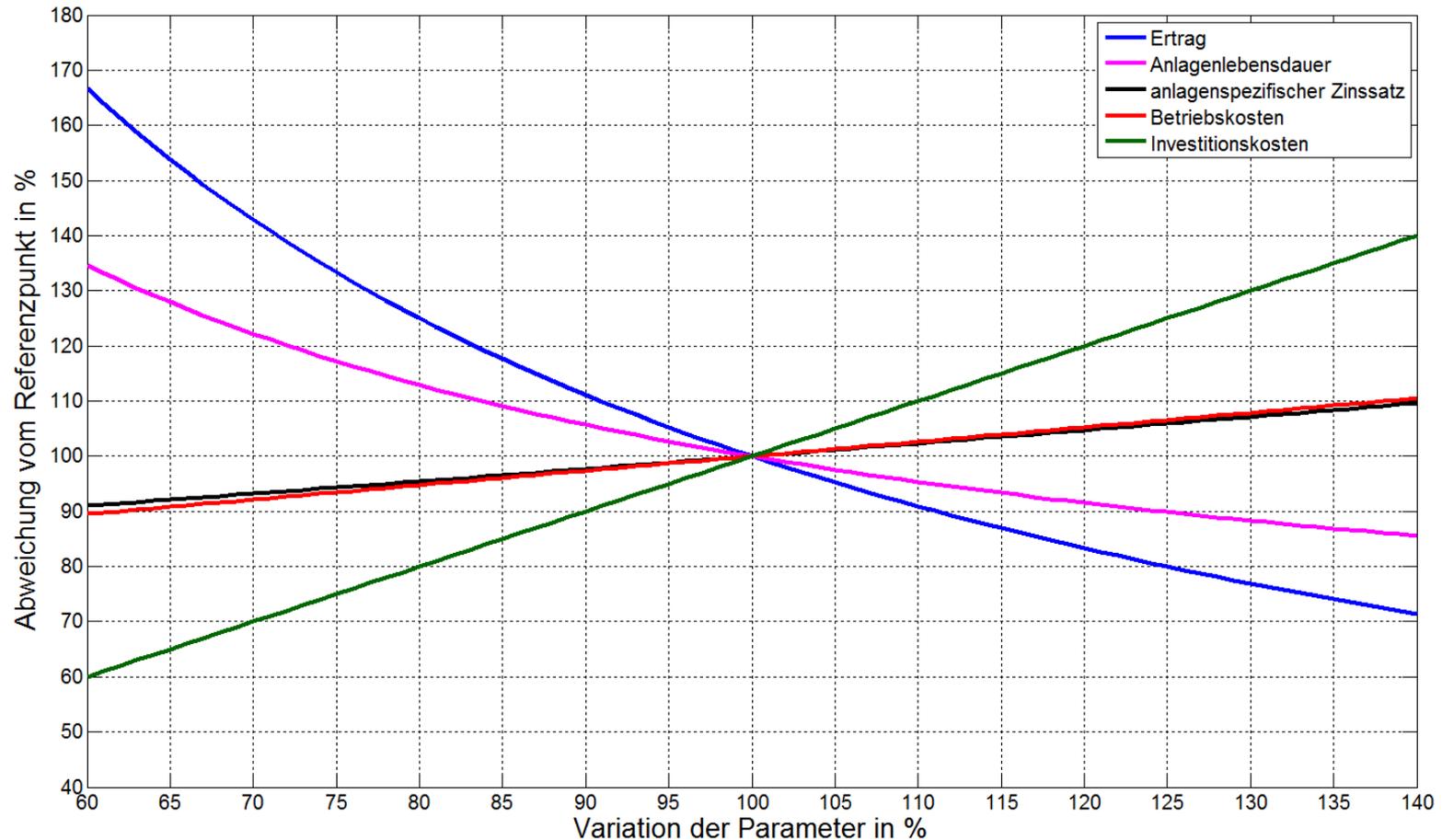
Photovoltaik (3) - Stromgestehungskosten

- 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

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

Photovoltaik (4) - Sensitivitätsanalyse



Referenzpunkt: Investitionskosten = 1534 €/kWp, Ertrag = 1000 kWh/kWp,
 Betriebskosten = 2 % der IK; Zinssatz = 2,8 %, Anlagenlebensdauer = 25 Jahre

Kohlekraft (1) - Einflussfaktoren

- Investitionskosten liegen zwischen 1100 €/kW und 1600 €/kW
(Quelle: ISE Fraunhofer)
- Volllaststunden
 - Deutschland: zwischen 4000 und 5500 Volllaststunden im Jahr 2013 (Quelle: ISE Fraunhofer)
 - Österreich: durchschnittlich 2519 Volllaststunden im Jahr 2014 (Quelle: eigene Berechnung mit Daten der E-Control und der EEX)
- Fixe und variable Betriebskosten liegen bei ca. 32 €/kW (fix) und 2 €/MWh (variabel) (Quelle: Prognos)
- Brennstoffkosten für Steinkohlekraftwerke belaufen sich derzeit auf ca. 8,07 €/MWh (Quelle: Verbund)

Kohlekraft (2) - Einflussfaktoren

- Anlagenspezifischer Zinssatz wird mit 6,9 % beziffert (Quelle: ISE Fraunhofer)
- Berechnungen der Stromgestehungskosten basieren auf einem Wirkungsgrad von 46 % (Quelle: Prognos)
- Anlagenlebensdauer wird in der Literatur mit 40 Jahren angegeben (Quelle: ISE Fraunhofer)
- CO₂- Zertifikatskosten
 - Derzeit bei ca. 6 €/tCO₂ (Quelle: Verbund)
 - Annahme für zusätzliche Berechnungen: CO₂-Zertifikatskosten liegen bei 30 €/tCO₂
 - CO₂- Ausstoß von Kohlekraftwerken: 0,882 kgCO₂/kWh (Quelle: E-Control)

Kohlekraft (3) – Stromgestehungskosten

- Stromgestehungskosten von Kohlekraftwerken bei CO₂-Zertifikatskosten von 6 €/tCO₂

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

Kohlekraft (4) – Stromgestehungskosten

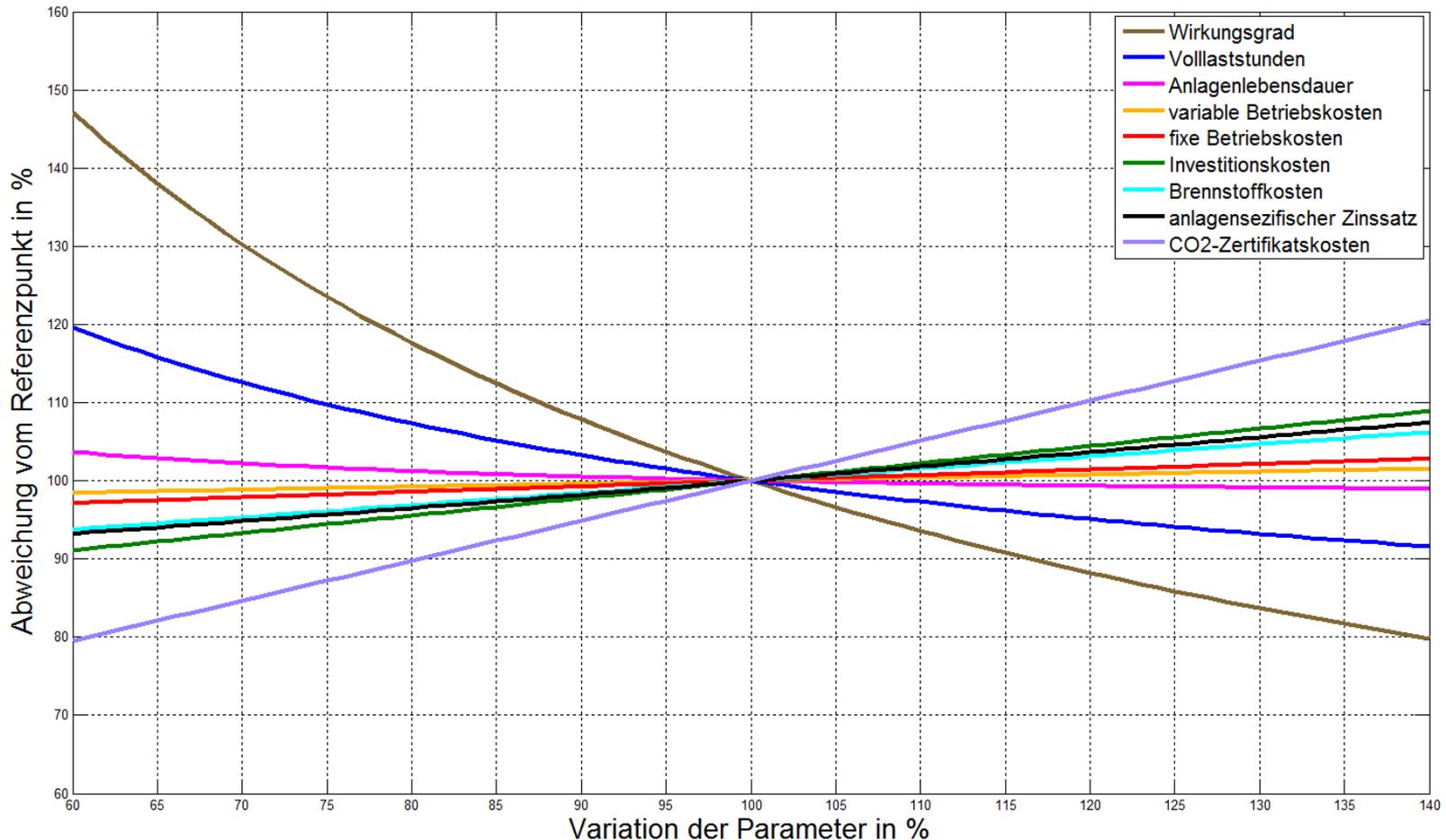
- Stromgestehungskosten von Kohlekraftwerken bei CO₂-Zertifikatskosten von 30 €/tCO₂

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

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

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

Kohlekraft (5) - Sensitivitätsanalyse



Referenzpunkt: Investitionskosten = 1350 €/kW, Volllaststunden = 4000 h, Betriebskosten fix = 32 €/kW, Betriebskosten variabel = 0,002 €/kWh, Brennstoffkosten = 0,00807 €/kWh, CO₂- Zertifikatskosten = 30 €/tCO₂, WACC = 6,9 %, Wirkungsgrad = 46 %, Anlagenlebensdauer = 40 Jahre

Windkraft

- Einflussfaktoren auf Stromgestehungskosten sind äquivalent zu jenen von Photovoltaik-Anlagen
- Starke Standortabhängigkeit
- Hohe Abhängigkeit der Stromgestehungskosten von den Investitionskosten
- Geringeren Einfluss liefern
 - die Anlagenlebensdauer
 - die laufenden Betriebskosten
 - sowie der verwendete Zinssatz

Gaskraft

- Einflussfaktoren sind analog zu jenen von Kohlekraftwerken
- Höhere Auswirkungen auf die Stromgestehungskosten ausgehend vom Brennstoffpreis
 - Brennstoffkosten von Gaskraftwerken liegen derzeit bei ca. 0,0246 €/kWh (Quelle: Verbund)
- Geringere Auswirkungen ausgehend von den CO₂- Zertifikatskosten
 - Deutlich weniger CO₂- Ausstoß als Kohlekraftwerke (ca. 0,312 kgCO₂/kWh) (Quelle: E-Control)

Schlussfolgerungen (1)

- Aussage zur Abhängigkeit der Stromgestehungskosten von den einzelnen Einflussfaktoren kann erst nach einer Sensitivitätsanalyse erfolgen
- Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen:
 - Starke Abhängigkeit vom Standort gefolgt von den Investitionskosten
 - Laufende Kosten sowie Diskontierungszinssatz liefern nur geringen Beitrag zu den Stromgestehungskosten

Schlussfolgerungen (2)

- Stromerzeugung aus fossilen Energiequellen:
 - Starke Abhängigkeit der Stromgestehungskosten vom Wirkungsgrad der Anlage und von den Volllaststunden
 - Herausforderung Emissionshandel:
 - Derzeit nur geringe Auswirkungen der CO₂-Zertifikatspreise auf die Stromgestehungskosten
 - Preiserhöhung würde neben positiven Auswirkungen auf die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen auch die Wettbewerbsfähigkeit von Gaskraftwerken gegenüber Kohlekraftwerken erhöhen!



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Ermittlung unterschiedlicher Einflüsse auf Stromgestehungskosten fossiler und erneuerbarer Erzeugungstechnologien

Thomas Weiglhofer, BSC
Dipl.-Ing. Dr. Maria Aigner
Dipl.-Ing. Dr. Ernst Schmutzner

11.02.2016