

Ergänzende Informationen zum Artikel „Die unterschätzten Risiken des Kohleausstiegs“ in „Energiewirtschaftliche Tagesfragen“

Autoren: Michael Pahle, Robert Pietzcker, Oliver Tietjen, Sebastian Osorio

Beschreibung des Modells LIMES-EU

Das Modell betrachtet den Zeitraum von 2010 bis 2050 und beinhaltet den EU ETS in seiner aktuellen Ausgestaltung (reformierte vierte Handelsperiode). Neben des angepassten linearen Reduktionsfaktors (LRF) von 1.74% auf 2.2% bedeutet das vor allem, dass die reformierte Markstabilitätsreserve (MSR) inklusiver Löschung von Zertifikaten modelliert wird. Dabei sind sowohl der Eingang und Ausgang in bzw. aus der MSR sowie die Löschung der Zertifikate ein endogenes Modellergebnis. LIMES-EU modelliert für alle EU ETS Länder (außer Island, Lichtenstein, Malta und Zypern) den gesamten Stromerzeugungssektor explizit und bildet in vereinfachter Form die Emissionen und Vermeidungsmöglichkeiten der im ETS enthaltenen Industriesektoren ab. Damit deckt LIMES etwa 84% der EU ETS Emissionen zwischen 2018 und 2052 ab. Der Fokus liegt dabei auf dem Stromsektor, für den Investitions- und Produktionsentscheidungen von 32 verschiedenen Kraftwerks- und Speichertechnologien pro Land modelliert werden. Es werden auch Stromimport und -exporte zwischen den Ländern sowie die kurzfristige Variabilität der Nachfrage und erneuerbaren Energien (Wind und Solar) mittels repräsentativer Tage berücksichtigt. Weiterhin wird die energie-intensive Industrie mit einer Grenzvermeidungskurve pro Land modelliert.

Eine detaillierte Dokumentation findet sich hier:

<https://www.pik-potsdam.de/research/transformation-pathways/models/limes>

Wesentliche Modellannahmen für die berechneten Szenarien

Allgemein

Als Stromnachfrage für die EU-Mitgliedsstaaten nutzen wir die Werte des Referenzszenarios der EU-Kommission 2016 [EC 2016]:

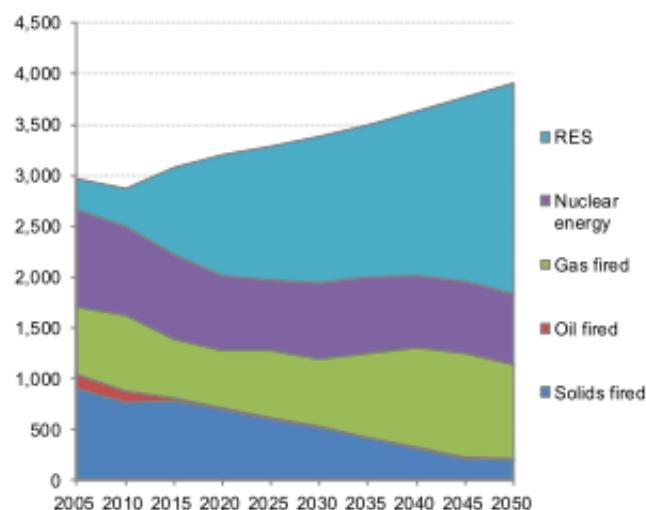


Abbildung 1: Stromerzeugung im EU-Referenzszenario. Aus: [EC 2016]

Datum: 27. Mai 2019

Für die Szenarien mit Standardannahmen wurden die Grenzübergangsspreise der auf dem Weltmarkt gehandelten Primärenergieträger mit dem globalen Energie-Ökonomie-Modell REMIND abgeschätzt [PIK 2019].

EUR/GJ	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Steinkohle	2.9	2.3	3.0	3.0	3.0	3.1	3.2	3.4	3.6
Erdgas	5.7	5.3	6.2	6.8	7.1	7.8	8.3	8.4	8.9
Biomasse	5.9	5.9	5.9	8.1	8.8	9.7	11.0	11.5	11.2
Öl	10.7	8.0	11.9	13.2	14.3	16.4	16.0	17.6	19.3

Zusätzlich nehmen wir durchschnittliche Transportkosten Grenze-Kraftwerk von 0.55 EUR/GJ für Steinkohle und 1.23 EUR/GJ für Erdgas an [Ökoninstitut 2010]. Um regionale Besonderheiten zu berücksichtigen, werden die oben genannten Grenzübergangsspreise für drei Regionen mit einem Aufschlag versehen:

EUR/GJ	Steinkohle	Erdgas
FI	1	-1
IT		0.5
ES		-1

Für Braunkohle nehmen wir für alle Länder mit Braunkohlevorkommen konstante Bereitstellungskosten von 1.5 EUR/GJ an, für Griechenland aufgrund geringeren Energiegehalts der Kohle 2.5 EUR/GJ.

EU ETS

Wir implementieren die bei der 2018 durchgeföhrten Reform des ETS angepassten Werte, also eine Anpassung des linearen Reduktionsfaktors (LRF) auf 2.2% bis 2030. Anschließend nehmen wir an, dass die Emissionen bis 2050 linear auf -90% vs. 2005 reduziert werden, was einem linearen Reduktionsfaktor von 2.5% nach 2030 entspricht.

Der aktuelle Anteil der Wärmebereitstellung und anderer stationärer Installationen, die nicht der Industrie zugezählt werden, beträgt 16%. Dieser Anteil wird konstant gehalten und direkt vom jährlichen Cap abgezogen.

Flugverkehr: Angesichts der widerstreitenden Treiber von stark ansteigendem Flugverkehr und gleichzeitigen Effizienzgewinnen nehmen wir an, dass die in den ETS einbezogenen Emissionen des Flugverkehrs konstant bei 60 MtCO2/yr liegen. Die zusätzliche ETS-Cap für Flugverkehrsemissionen beginnt 2020 bei 37 Mt CO2 und wird mit demselben LRF wie die zentrale Cap abgesenkt. Die entstehende Lücke an verfügbaren Zertifikaten wird aus dem allgemeinen ETS-Pool gedeckt.

Für die Modellierung des ETS nehmen wir für das Jahr 2017 einen anfängliche Überschuss von 1.7Gt CO2 an ([EC 2018]: TNAC = 1655 Mt CO2), wobei wir diesen Wert um den Anteil von 16% von nicht modellierter Sektoren (Wärmebereitstellung, andere nichtindustrielle stationäre Quellen) auf 1.43 Gt CO2 absenken.

MSR

Für die Modellierung der MSR und der Auktionserlöse ist das Verhältnis von auktionierten zu frei verteilten EUAs relevant. Hierbei nehmen wir an, dass 57% der EUAs auktioniert werden wie von der EU angestrebt wird (EU directive 2018/410).

Industrie

Der im ETS enthaltene Industriesektor ist in LIMES-EU in aggregierter Form mittels Referenzemissionen und einer Grenzkostenvermeidungskurve (Marginal abatement cost curve, MACC) abgebildet, die auf die in der BDI-Studie „Klimapfade für Deutschland“ [Gebert et al 2018] genannten Werte parametrisiert wurde.

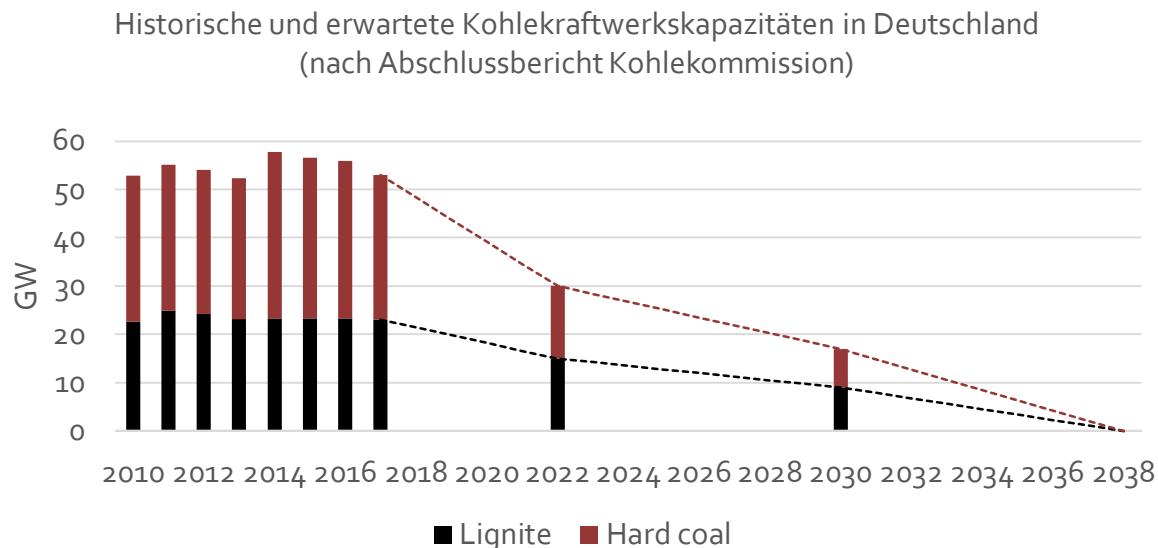
Berücksichtigte nationale Politiken zu Erneuerbare Energien

Das Modell setzt die Erreichung der Ausbauziele für Erneuerbare Energien in Deutschland nach EEG2017 voraus, wobei die Werte für die nicht explizit im Gesetz genannten Jahre interpoliert wurden.

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mindestanteil EE-Strom am Bruttostromverbrauch:	38%	40%	48%	55%	63%	72%	80%

Berücksichtigte nationale Politiken zum Kohleausstieg

Für die Szenarien mit Kohleausstieg in Deutschland wurde angenommen, dass der Fahrplan aus dem Abschlussbericht der Kohlekommission (linear interpoliert) umgesetzt wird.



Für die anderen EU-Mitgliedsstaaten wurden in allen Szenarien auf Grundlage von [Beyond Coal 2018] folgende Daten für nationale Kohleausstiegspläne in LIMES-EU implementiert:

Land	Beendung der regulären Nutzung von Kohlekraftwerken
FIN	2030
SWE	2025
DNK	2030
GBR	2025
IRL	2025
NLD	2030
BEL	2025
AUT	2025
FRAU	2025
PRT	2030

Für Italien wurde kein nationaler Kohleausstiegsplan implementiert, da bis Frühjahr 2019 weder Gesetze noch Verordnungen zur Umsetzung des diskutierten Ausstiegs bis 2025 vorgeschlagen wurden, weswegen das Commitment der politischen Parteien zum Ausstieg als unsicher eingeschätzt wurde.

Beschreibung der Szenarien

Im Artikel werden fünf Szenarien verglichen:

Szenario	Kohleausstieg nach Vorschlag der Kohlekommission?	Variation der Standardannahmen
Kein Kohleausstieg	Nein	
Kohleausstieg	Ja	
Niedriger Kohlepri (Schock 2030)	Ja	Steinkohlepreise sind in 2030 40% niedriger
Hohe Stromnachfrage	Ja	Stromnachfrage steigt bis 2030 um 40% auf 721TWh
Niedriger ETS-Preis (Schock 2030)	Ja	Der EU-ETS-Preis in 2030 wird um 15€/t CO2 abgesenkt
Löschung	Ja	Lösung von Zertifikaten in Höhe der Differenz der deutschen Stromsektoremissionen zwischen den Szenarien „Kein Kohleausstieg“ und „Kohleausstieg“.

Berechnung der Emissionen im Stromsektor

In diesem Artikel folgen wir der vom UBA [Hermann et al, 2017] entwickelten und vom Ökoinstitut [Matthes et al, 2019] aufgegriffenen Konvention, zur Bewertung der Kohleausstiegspläne die Ziele der Bundesregierung im Klimaschutzplan 2050 (KSP) auf den Stromsektor zu skalieren. Somit ergibt sich aus den KSP-Zielen ein Stromsektor-Emissionszielkorridor von 182-188 Mt CO2 für das Jahr 2030 [Hermann et al, 2017].

Da LIMES-EU auf die reinen Stromerzeugungsemisionen kalibriert ist, skalieren wir die aus den Modellrechnungen resultierenden Emissionen wie folgt auf die gesamten

Datum: 27. Mai 2019

Stromsektoremissionen, d.h. inklusive der Emissionen, die der Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen zurechenbar sind:

1. Auf Grundlage der Aufteilung der Brennstoffnutzung und CO2-Emissionen auf den Stromerzeugungsanteil und den KWK-Wärmeanteil der Stromerzeugung in Deutschland in [Harthan et al 2018] berechnen wir das Verhältnis der KWK-Wärmeemissionen zu Stromemissionen in 2015.
2. Mit Hilfe dieser Emissionsfaktoren berechnen wir aus den von LIMES-EU modellierten reinen Stromerzeugungsemisionen die entsprechenden Emissionen aus Wärmebereitstellung durch KWK. Um die Begrenzungen der Fernwärmennetzanschlüsse einer Kraftwerksart zu berücksichtigen, begrenzen wir die wärmebezogenen Emissionen von Gas-KWK auf den maximal zwischen 2005 und 2018 beobachteten Wert von 19 Mt. CO2 für Wärmebereitstellung.
3. Die Gesamtsumme der Stromsektoremissionen in den betrachteten Szenarien ergibt sich aus der Summe der direkt modellierten Stromerzeugungsemisionen plus der berechneten KWK-Wärmebereitstellungsemisionen.

Referenzen

[Beyond Coal 2018] – <https://beyond-coal.eu/wp-content/uploads/2018/11/Overview-of-national-coal-phase-out-announcements-Europe-Beyond-Coal-November-2018.pdf>

[EC 2016] – European Commission (2016). EU Reference Scenario 2016.
<https://ec.europa.eu/energy/en/data-analysis/energy-modelling/eu-reference-scenario-2016>

[EC 2018] – European Commission (2016). Publication of the total number of allowances in circulation in 2017 for the purposes of the Market Stability Reserve under the EU Emissions Trading System established by Directive 2003/87/EC

[Harthan et al 2018] – Harthan, R. O., Hermann, H., 2018. Sektorale Abgrenzung der deutschen Treibhausgasemissionen mit einem Schwerpunkt auf die verbrennungsbedingten CO2 – Emissionen. Ökoinstitut. <https://www.oeko.de/fileadmin/oeekodoc/Sektorale-Abgrenzung-deutscher-Treibhausgas-Emissionen.pdf>

[Matthes et al 2019] – Matthes, F.C., Hermann, H., Loreck, C., Mendelevitch, R., Cook, V., 2019. Die deutsche Kohle-Verstromung bis 2030. Ökoinstitut.

[Hermann et al 2017] – Hermann, H., Loreck, C., Ritter, D., Greiner, B., Keimeyer, F., Cook, V., Bartelt, N., Bittner, M., Nailis, D., Klinski, S., 2017. Klimaschutz im Stromsektor 2030–Vergleich von Instrumenten zur Emissionsminderung. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA)(Climate Change, 02/2017).

[Öko-Institut 2010] – Öko-Institut (2010). Energiepreise für aktuelle Modellierungsarbeiten.
<https://www.oeko.de/oeekodoc/984/2010-004-de.pdf>

[PIK2019] – Full model overview including documentation of the different versions:
<https://www.pik-potsdam.de/research/transformation-pathways/models/remind>