

Effective Climate Policy Doesn't Have to be Expensive

Klaus Gugler¹ Adhurim Haxhimusa² Mario Liebensteiner³

¹Vienna University of Economics and Business (WU Wien)

²University of Applied Sciences of the Grisons (FHGR)

³Technical University Kaiserslautern

Energieforschungsgespräche Disentis, 2020

Einführung

Der Klimawandel stellt eine fundamentale Bedrohung für die Menschheit dar

- ▶ Aus der volkswirtschaftlichen Perspektive können die Treibhausgasemissionen als ein Marktversagen angesehen werden, das korrigiert werden muss (Stern, 2007)
- ▶ Ökonomen sind der Meinung, dass eine Bepreisung der Externalitäten die **erst-beste** Lösung darstellt, obwohl die **zweit-beste** Lösung (z.B. Subventionen für EE) stark von politischen Entscheidungsträgern eingesetzt wird

Forschungsziel:

- ▶ Wir untersuchen die **Effektivität der Klimapolitik** (d.h. Emissionspreis (€/tCO₂) und Subventionen für Wind- und Solarstrom) im Stromsektor von DE und UK

DE & UK verfolgen unterschiedlichen Klimastrategien:

- ▶ DE wird die Klimaziele für 2020 trotz der hohen Subventionen für EE (W+S) (34 Mrd. € im Jahr 2017) deutlich untererfüllen
- ▶ UK mit deutlich weniger Ausgaben für EE, aber mit einem Mindestpreis für Emissionen (CPF) → die Emissionen aus der Stromproduktion gingen innerhalb von nur 5 Jahren um ca. 55% zurück

Überblick

Unser Paper untersucht die Effektivität von verschiedenen Massnahmen zur Reduzierung der Emissionen in UK & DE

- ▶ Unser Fokus liegt auf dem Stromsektor (umweltschädlichster Sektor in DE, UK & Weltweit)
- ▶ Wir erklären, warum DE daran scheiterte, es aber UK gelungen ist Emissionen zu reduzieren
- ▶ Wir schätzen, welche Maßnahmen am kosteneffektivsten sind um Emissionen zu senken
- ▶ Wir berechnen die täglichen CO₂ Emissionen aller Kohle- und Gaskraftwerke in DE & UK
- ▶ Das Selektionsmodell von Heckman ermöglicht Kraftwerksaustiege in UK zu berücksichtigen

Hauptergebnisse:

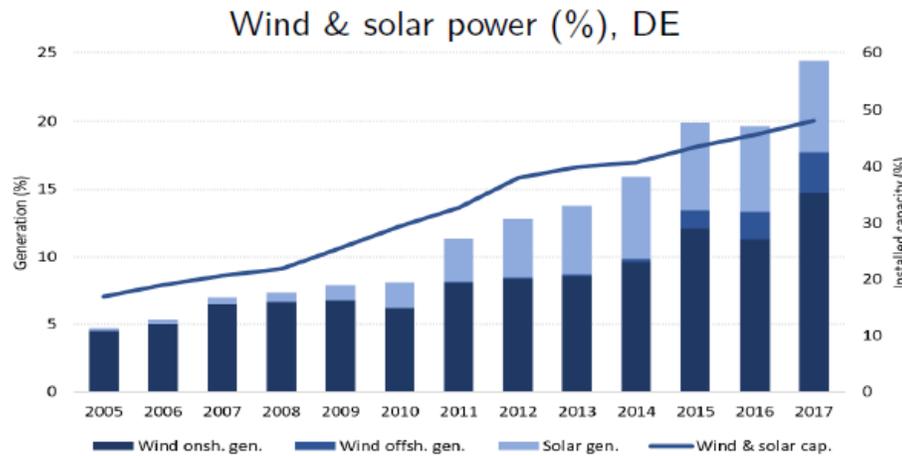
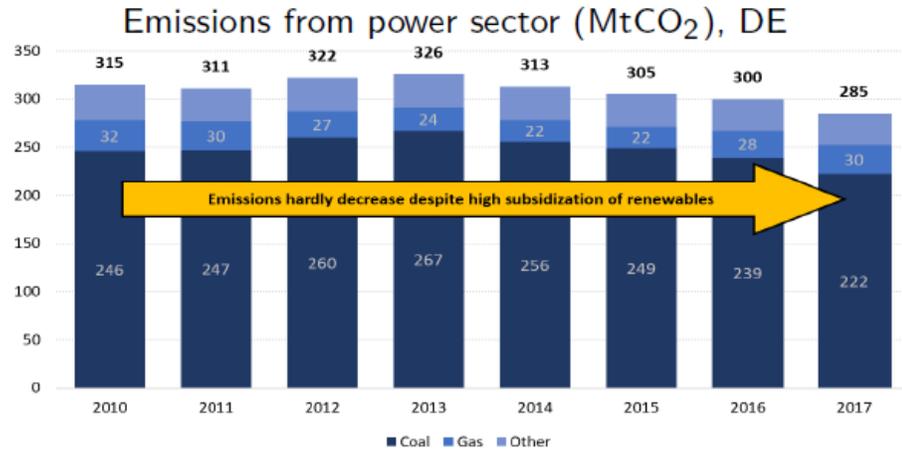
- ▶ Die Einführung eines geeigneten CO₂ Preises ist die kosteneffektivste Klimapolitik
- ▶ Windstrom ist effektiver als Solarstrom

Table 1: Per capita expenditures for climate policies (€)

Year	Pop. (mio.)	Price (€/tCO ₂)	Emissions (mio. tCO ₂)	Expend. (mio. €)	Expenditures per capita (€)			
					P	W+S	W	S
<i>Germany</i>								
2010	82	14	315	4,521	55	75	19	56
2011	80	13	311	4,110	51	115	28	86
2012	80	7	322	2,398	30	146	41	105
2013	81	4	326	1,450	18	156	44	112
2014	81	6	313	1,852	23	178	51	126
2015	81	8	305	2,346	29	209	77	132
2016	82	5	300	1,605	20	227	82	145
2017	83	6	285	1,641	20	229	103	126
<i>Total</i>			<i>2,477</i>	<i>19,923</i>	<i>246</i>	<i>1334</i>	<i>445</i>	<i>889</i>
<i>UK</i>								
2010	63	14	157	2,252	36	9	9	0
2011	63	13	144	1,903	30	15	15	0
2012	63	7	158	1,174	18	20	20	0
2013	64	9	147	1,284	20	28	28	0
2014	64	16	123	2,025	31	25	25	0
2015	65	30	103	3,062	47	38	35	3
2016	65	27	81	2,216	34	27	26	2
2017	66	26	72	1,887	29	35	32	2
<i>Total</i>			<i>984</i>	<i>15,802</i>	<i>246</i>	<i>196</i>	<i>189</i>	<i>7</i>

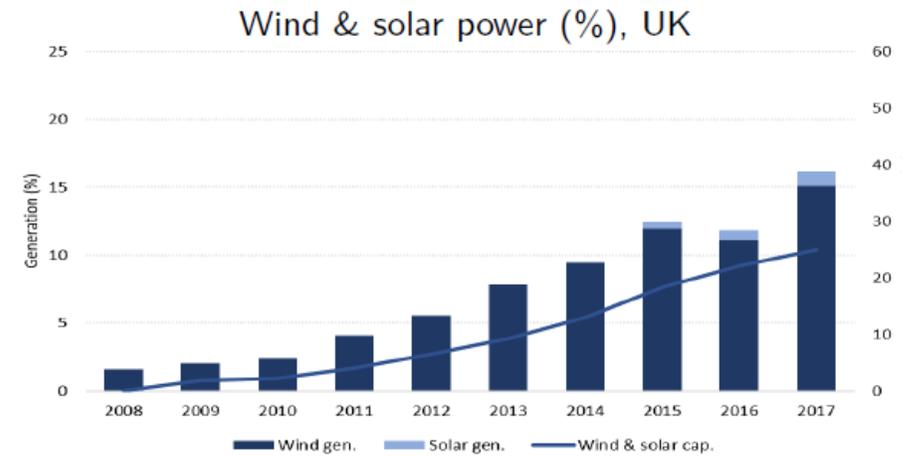
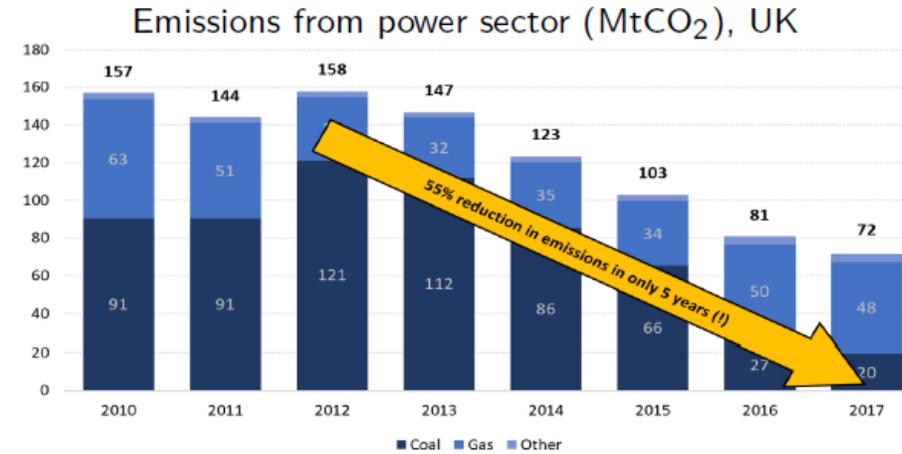
P = carbon pricing, W+S = wind and solar power, W = wind power, S = solar power. Appendix Tables A1 & A2 provide the underlying data and details on how we calculate expenditures.

Germany



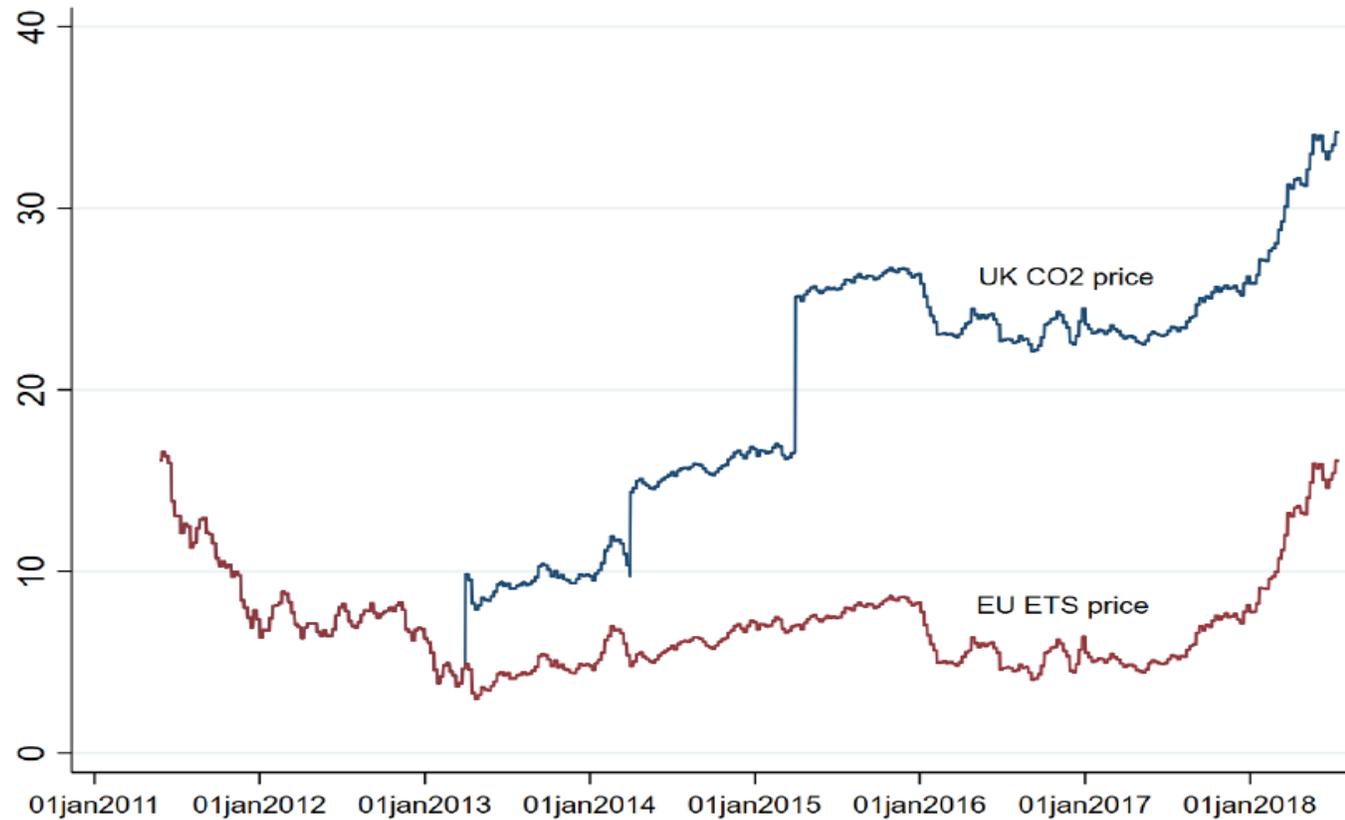
→ Hardly any decline in emissions despite high share of RES

United Kingdom



→ Strong decline in emissions despite low share of RES

UK führte einen einseitigen min CO₂ Preis ein



DE carbon price = EU ETS price

UK carbon price = EU ETS price + CPS:

Apr 1, 2013–Mar 31, 2014: CPS = £4.94 (= €5.84)

Apr 1, 2014–Mar 31, 2015: CPS = £9.55 (= €11.46)

Apr 1, 2015–Mar 31, 2021: CPS = £18.08 (= €24.63)

Umweltpolitik in Theorie und Praxis

Theorie:

- ▶ Ein CO₂ Preis ist die **erst-beste Lösung**: die Internalisierung der Externalitäten basiert auf Marktanreizen → führt zu einer kosteneffektiven Senkung der Emissionen (Pigou 1932)
- ▶ Ökonomen haben sich darauf geeinigt, dass ein direkter Preis auf eine externe Umweltverschmutzung effektiver als andere indirekte Maßnahmen, wie z.B. Subventionen, ist (e.g. Holland et al. 2016 AER)
- ▶ Andere klimapolitische Massnahmen (z.B. Subventionen von EE) sind nur **zweit-beste Lösung** (keine marktbasierter Anreize, weniger Kosteffektiv)

Praxis:

- ▶ Implementierung von (unilateralen und unkoordinierten) **zweit-bester** Massnahmen ist verbreitet
- ▶ Die meisten Länder (z.B. DE) verfehlen dramatisch ihre Klimaziele

Klimapolitik im Vergleich

EU: ineffektiv niedriger CO₂ Preis im EU-ETS:

- ▶ Die EU ist im Pariser Klimaabkommen verpflichtet, den Ausstoss von Treibhausgasen bis 2030 um mindestens 40% gegenüber dem Niveau von 1990 zu reduzieren
- ▶ Weltweit größtes Emissionshandelsprogramm im Rahmen des EU-ETS (Cap-&-Trade-Programm)
- ▶ Aber bis vor kurzem war der CO₂ Preis uneffektiv niedrig

DE: massive Förderung von EE

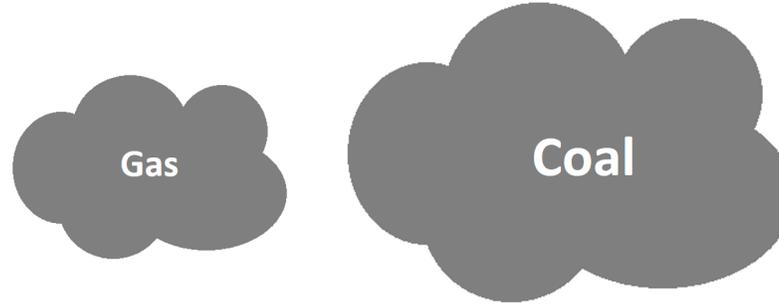
- ▶ DE hat eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 55% bis 2030 und um 80-95% bis 2050 versprochen (BMUB 2016 "Klimaschutzplan 2050")
- ▶ Strategie: massive Förderungen für EE! Ziel: EE müssen 80% der nationalen Stromnachfrage bis 2050 decken
- ▶ DE bietet die weltweit höchsten Pro-Kopf-Subventionen für Erneuerbare Energien

UK: Einführung eines hoch signifikanten min CO₂ Preises

- ▶ UK unterstützt den uneffektiven niedrigen EU-ETS Preis mit einer signifikanten Zuzahlung (top-up)
- ▶ Hoher CO₂ Preis hat zu einer drastischen Reduktion von Strom aus Kohle und bereits zum Ausstieg von Kohlekraftwerken geführt

Kohle vs. Gas

Subventionierter Wind- und Solarstrom ersetzen hauptsächlich Gas, während Kohle (insbesondere Braunkohle) auf dem Markt bleibt

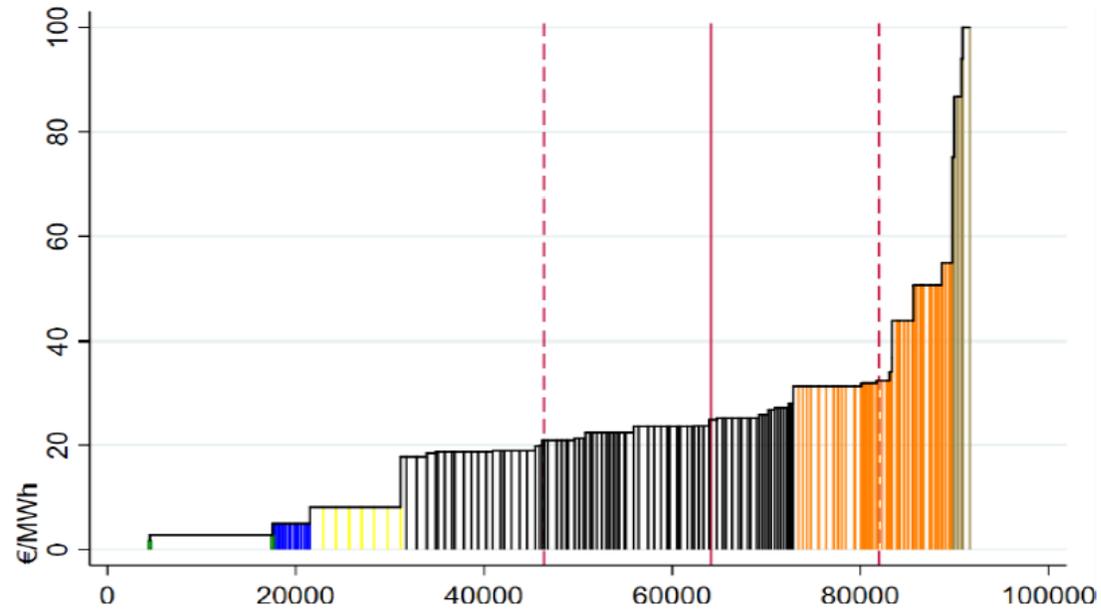


Gas ist «sauberer» als Kohle:

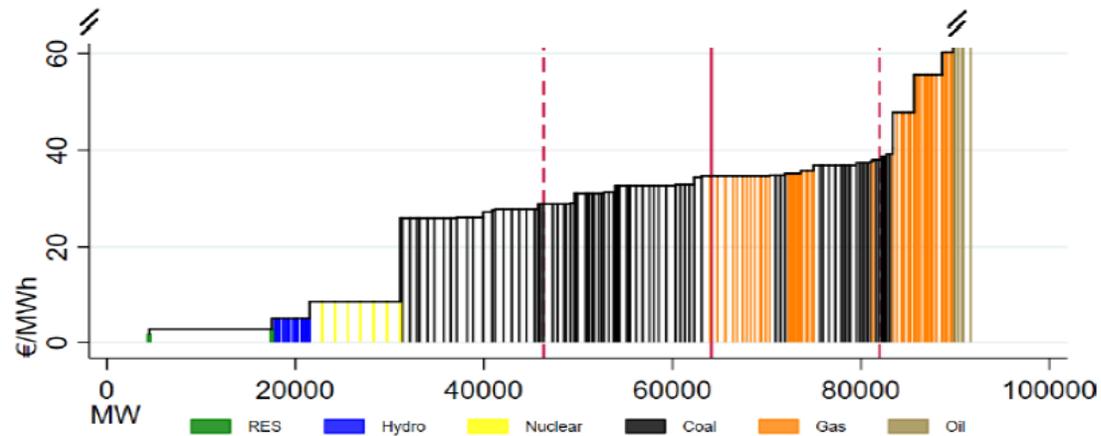
- ▶ Neue Gaskraftwerke stoßen im Vergleich zu einem typischen neuen Kohlekraftwerk etwa 50-60% weniger CO₂ pro MW Strom aus (USDE 2013; EIA 2018)
- ▶ Mit steigendem CO₂ Preis steigen die Grenzkosten von (einigen Formen von) Kohle im Verhältnis zu den Grenzkosten von Gas
- ▶ Bei einem CO₂ Preis, der hoch genug ist, wechseln Kohle- und Gaskraftwerke ihre Positionen in der Merit-Order
- ▶ Dieser Brennstoffwechsel würde die Emissionen drastisch reduzieren (Wilson & Staell 2018)

Deutsche Merit-Order für verschiedene CO₂ Preise

(a) Merit order at a carbon price of €5

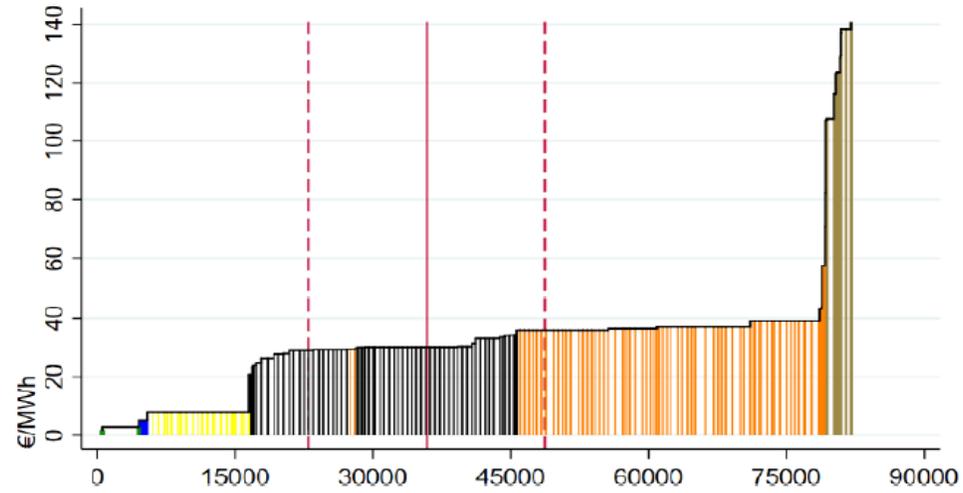


(b) Merit order at a carbon price of €15

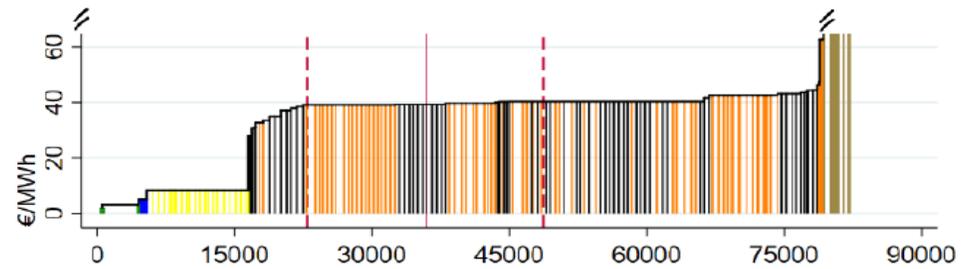


UK Merit-Order für verschiedene CO₂ Preise

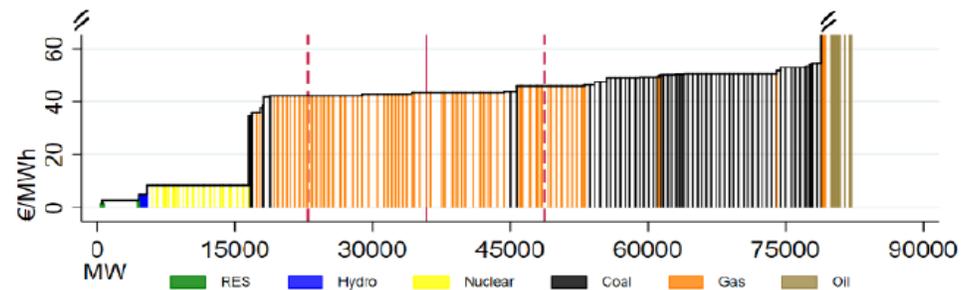
(a) Merit order at a carbon price of €5



(b) Merit order at a carbon price of €15



(c) Merit order at a carbon price of €25



Ein hoher CO₂ Preis ersetzt also die Kohle ...

🕒 25/04/2017 at 2:58pm 👤 [Tom Grimwood](#)

Britain's day without coal

Last week saw a major milestone in the decarbonisation of the UK's power sector, as Emma Tribe and David Thomas from Elexon explain.



Literatur

Kurzer Überblick:

- ▶ Ein grosser Teil der Literatur analysiert die zweit-beste Lösung (Wind- und Solarstrom) im Hinblick auf die Reduktion von Emissionen (Abrell et al. 2019 JPubE; Cullen 2013 AEJ:EP; Novan 2015 AEJ:EP)
- ▶ Ein anderer Teil untersucht die Auswirkungen des relativen Gas-zu-Kohle-Preises, um die Auswirkungen des CO₂ Preises auf die Emissionen vorherzusagen (Cullen & Mansur 2017 AEJ:EP; Fell & Kaffine 2018 AEJ:EP)

Unsere zentralen Eigenschaften:

- ▶ Bis jetzt gibt es keine wissenschaftliche Arbeit, die die Effektivität vom CO₂ Preis und EE untersucht und vergleicht
- ▶ Wir können Schlussfolgerungen aus einem hohen CO₂ Preis ableiten (wie es in UK der Fall ist) und mit einem niedrigen CO₂ Preis vergleichen (DE)
- ▶ Unsere Analyse ist in einigen Dimensionen umfangreicher (highly non-linear model, rich set of fixed effects and dynamic effects, analysis at plant level)

Model: Heckman-Zweistufen-Methode

$$y_{p,n,t,c} = f(P, W, S, D, \vec{X})$$

Tägliche Emissionen des Kraftwerks p im Land $c = [DE; UK]$ mit Technologie $n = [Kohle; Gas]$ sind Funktion des CO₂ Preises (P), Wind (W), Solar (S), Nachfrage (D), und andere Kontrollvariablen (\vec{X} ; wie z.B. cost ratio $CR = P_{Kohle,t}/P_{Gas,t}$; operating state $OS_{t-24} = 0/1$; day-of-week, monthly & yearly fixed effects)

Heckam Model:

- ▶ Wir beobachten permanente Kraftwerksausstiege in UK → Mit OLS können diese Ausstiege und Perioden mit Null-Produktion nicht korrekt erfasst werden
- ▶ Wir wenden das Heckman-Zweistufenmodell an, um die volle Wirkung des CO₂ Preises auf die Emissionen abzuschätzen, das sich aus einer intensiven (betriebsbedingte Erzeugung) und einer extensiven (Ein/Aus-Entscheidung) marginalen Reaktion zusammensetzt

Erste Stufe: Die Selektionsgleichung (Probit) schätzt die Wahrscheinlichkeit des Betriebs (mit positiven Emissionen) ($z_{p,c,n,t} = 1$ if $y_{p,c,n,t} > 0$ and $z_{p,c,n,t} = 0$ if $y_{p,c,n,t} = 0$). Dann erhalten Sie das inverse Mill's Ratio als $\hat{\lambda}_{p,c,n,t} = \phi(\cdot)/\Phi(\cdot)$, $\phi = normal\ pdf$, $\Phi = cdf$

Zweite Stufe: run outcome equation, corrected for selection by adding inverse Mill's Ratio ($\hat{\lambda}_{p,c,n,t}$) via OLS. Full-Effekt: $\mathbb{E}[y_{p,c,n,t} | X_{p,c,n,t} | V_{p,c,n,t}] = \Phi(V_{p,c,n,t}\alpha)[X_{p,c,n,t}\beta + \rho\lambda_{p,c,n,t}]$

Heckman-Methode: erste Stufe:

$$\begin{aligned}
 z_{p,c,n,t} = & \sum_{i=1}^2 \alpha_{Pi} P_{t,c}^i + \alpha_{PW} P_{t,c} W_{t,c} + \alpha_{PS} P_{t,c} S_{t,c} + \alpha_{PL} P_{t,c} L_{t,c} + \alpha_{PCR} P_{t,c} CR_{t,c} + \\
 & \sum_{i=1}^3 \alpha_{Wi} W_{t,c}^i + \sum_{i=1}^3 \alpha_{Si} S_{t,c}^i + \sum_{i=1}^3 \alpha_{Li} L_{t,c}^i + \sum_{i=1}^3 \alpha_{CRi} CR_{t,c}^i + \\
 & \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \alpha_{WiLj} W_{t,c}^i L_{t,c}^j + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \alpha_{SiDj} S_{t,c}^i L_{t,c}^j + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \alpha_{WiSj} W_{t,c}^i S_{t,c}^j + \\
 & \sum_{i=1}^5 \alpha_{\Delta W_{t-i}} \Delta W_{t-i,c} + \sum_{i=1}^5 \alpha_{\Delta S_{t-i}} \Delta S_{t-i,c} + \delta_p D_p + \delta_t D_t + \\
 & \sum_{i=1}^5 \alpha_{L_{t-i}} L_{t-i,c} + u_{p,c,n,t}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Exclusion restriction rests on inclusion of five-day lags of load ($\sum_{i=1}^5 L_{t-i,c}$; Fell & Kaffine 2018 AEJ:EcPol) as well as on different moments of variables included in selection and outcome regressions

Heckman-Methode: zweite Stufe:

$$\begin{aligned}
 y_{p,c,n,t} = & \sum_{i=1}^2 \beta_{Pi} P_{t,c}^i + \beta_{PW} P_{t,c} W_{t,c} + \beta_{PS} P_{t,c} S_{t,c} + \beta_{PL} P_{t,c} L_{t,c} + \beta_{PCR} P_{t,c} CR_{t,c} + \\
 & \sum_{i=1}^3 \beta_{Wi} W_{t,c}^i + \sum_{i=1}^3 \beta_{Si} S_{t,c}^i + \sum_{i=1}^3 \beta_{Li} L_{t,c}^i + \sum_{i=1}^3 \beta_{CRi} CR_{t,c}^i + \\
 & \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \beta_{WiLj} W_{t,c}^i L_{t,c}^j + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \beta_{SiDj} S_{t,c}^i L_{t,c}^j + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \beta_{WiSj} W_{t,c}^i S_{t,c}^j + \\
 & \sum_{i=1}^5 \beta_{\Delta W_{t-i}} \Delta W_{t-i,c} + \sum_{i=1}^5 \beta_{\Delta S_{t-i}} \Delta S_{t-i,c} + \delta_p D_p + \delta_t D_t + \\
 & \rho \hat{\lambda}_{p,c,n,t} + \epsilon_{p,c,n,t}.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Full effect: $\mathbb{E}[y_{p,c,n,t} | \mathbf{X}_{p,c,n,t}, \mathbf{V}_{p,c,n,t}] = \Phi(\mathbf{V}_{p,c,n,t} \alpha) [\mathbf{X}_{p,c,n,t} \beta + \rho \lambda_{p,c,n,t}]$

Daten

Wir berechnen die täglichen Emissionen von Kohle- und Gaskraftwerken in DE und UK:

- ▶ Stündliche Stromerzeugungsdaten auf Kraftwerksebene: EEX Transparency Platform (DE), PLATTS PowerVision (UK)
- ▶ Kraftwerkseigenschaften (Kapazität, Baujahr, Turbinentyp, Brennstofftyp): PLATTS PowerVision
- ▶ Emissions- und Effizienzfaktoren abhängig vom Baujahr, Turbinentyp, Brennstofftyp: APG und EEG (TU Wien)
- ▶ Insgesamt passen unsere ermittelten Emissionen sehr gut zu den offiziellen Statistiken

Zeitperiode:

- ▶ UK: lange Untersuchungsperiode (27.05.2011-15.07.2018); aber keine Daten zur Solareinspeisung (d.h. vernachlässigbarer Anteil)
- ▶ DE: kurze Untersuchungsperiode (01.01.2017-29.06.2018)

UK: Ausstieg von Kohlekraftwerken:

- ▶ In UK beobachten wir Kraftwerksausstiege: 33 Kraftwerksblöcke (= 14.250 MW) wurden inaktiv, während 30 Blöcke (= 13.885 MW) noch aktiv sind

Ergebnisse: DE

- ▶ Bei einem Mittelwert von €8/tCO₂ werden nur 9,6% der Emissionen reduziert; bei €16/tCO₂ sind es 21%
- ▶ Höherer CO₂ Preis wird zunehmend effektiver bei der Reduktion von Emissionen aus Kohle
- ▶ Bei höherem CO₂ Preis kommt mehr Strom aus Gas, um die Lücke aus fehlender Kohle zu füllen
 - ▶ die negative Reduzierung lässt sich durch den Wechsel des Brennstoffs erklären (Gas kommt in die Merit-Order)
 - ▶ die positive Reduzierung kommt hauptsächlich durch Importe

Table 3: Effects of carbon pricing, DE

Carbon price (€/tCO ₂)	Predicted emissions (tCO ₂)			Marginal abatement (tCO ₂)		
	Coal	Gas	Total	Coal	Gas	Total
Out of sample						
1	552,701	33,920	586,621	5,033	2,208	7,241
2	547,668	31,712	579,380	5,581	2,018	7,599
3	542,087	29,694	571,782	6,078	1,827	7,905
In sample						
4	536,009	27,868	563,876	6,525	1,636	8,162
5	529,484	26,231	555,715	6,921	1,449	8,370
6	522,563	24,782	547,345	7,266	1,267	8,533
7	515,297	23,514	538,811	7,561	1,091	8,652
8	507,736	22,424	530,159	7,809	920	8,729
9	499,927	21,503	521,430	8,010	756	8,766
10	491,917	20,748	512,664	8,168	597	8,764
11	483,749	20,151	503,900	8,285	442	8,727
12	475,465	19,708	495,173	8,364	292	8,655
13	467,101	19,417	486,518	8,408	144	8,552
14	458,693	19,273	477,966	8,421	-3	8,419
15	450,271	19,276	469,547	8,407	-149	8,258
16	441,864	19,425	461,289			

All estimates are evaluated at means for other control variables. Predicted emissions and marginal abatement effects are calculated as a composite of *all* German coal or gas power plants per day. The mean (median) carbon price is €7.82 (€6.96). All estimates are significant at the 5% level.

Ergebnisse: DE

- ▶ Bei steigender Wind- und Solareinspeisung nimmt die marginale Emissionsverringerung geringfügig ab und dann wieder zu
- ▶ Bei durchschnittlicher Windeinspeisung (300 GWh):
 - ▶ ersetzt eine zusätzliche GWh 386 tCO₂ pro Tag (hauptsächlich Kohleemissionen)
 - ▶ 18% der täglichen Gesamtemissionen (Integral bis zu 300 GWh)
- ▶ Bei durchschnittlichen Solareinspeisung (110 GWh):
 - ▶ ersetzt eine zusätzliche GWh 270 tCO₂
 - ▶ 6% der täglichen Gesamtemissionen (Integral bis zu 110 GWh)

Table 4: Marginal abatement effects of wind & solar, DE

Wind (GWh)	Mrg. abatement (tCO ₂)			Solar (GWh)	Mrg. abatement (tCO ₂)		
	Coal	Gas	Total		Coal	Gas	Total
50	413	69	482	10	317	-1	316
100	383	64	447	30	254	30	283
150	361	59	420	50	206	56	262
200	346	55	401	70	175	78	252
250	339	51	390	90	160	95	255
300	339	47	386	110	163	108	270
350	346	45	391	130	182	116	298
400	360	42	403	150	217	119	336
450	382	40	422	170	268	118	385
500	410	39	449	190	334	111	445
550	445	38	483	210	414	100	514
600	486	38	524	230	509	83	592
650	534	38	572	250	620	61	681
700	587	39	626				

Marginal effects are evaluated at means for other control variables. All estimates are significant at the 5% level. The mean (median) values of wind and solar are 305.78 GWh (255.74 GWh) and 108.18 GWh (104.68 GWh), respectively. Predicted emissions for zero wind and solar feed-in are 689,607 tCO₂ and 589,707 per day, respectively.

Ergebnisse: UK

- ▶ Drastisch zunehmende marginale Senkung der Emissionen bis €29/tCO₂; danach nimmt der Effekt leicht ab
- ▶ Bei €36/tCO₂ berechnen wir eine Verringerung von 31% der Gesamtemissionen und 55% der Kohleemissionen

Table 6: Effects of carbon pricing, UK

Carbon price (€/tCO ₂)	Predicted emissions (tCO ₂)			Marginal abatement (tCO ₂)		
	Coal	Gas	Total	Coal	Gas	Total
Out of sample						
1	213,400	59,797	273,197	-1,116	1,197	81
2	214,516	58,600	273,116	-854	1,091	237
3	215,369	57,509	272,879	-591	986	395
In sample						
4	215,960	56,523	272,483	-329	884	555
5	216,289	55,639	271,928	-68	783	715
6	216,357	54,856	271,213	192	684	876
7	216,166	54,172	270,337	449	587	1,036
8	215,716	53,585	269,301	705	490	1,195
9	215,011	53,095	268,106	958	395	1,353
10	214,053	52,700	266,753	1,208	301	1,509
11	212,846	52,399	265,244	1,454	207	1,661
12	211,392	52,191	263,583	1,697	114	1,811
13	209,695	52,077	261,772	1,935	21	1,956
14	207,760	52,056	259,816	2,168	-71	2,097
15	205,592	52,127	257,719	2,396	-164	2,232
16	203,196	52,291	255,487	2,618	-256	2,362
17	200,578	52,547	253,125	2,835	-349	2,485
18	197,743	52,897	250,640	3,044	-443	2,601
19	194,699	53,340	248,039	3,246	-537	2,709
20	191,453	53,877	245,329	3,441	-632	2,810
21	188,011	54,508	242,520	3,628	-727	2,901
22	184,383	55,236	239,619	3,807	-824	2,983
23	180,576	56,059	236,636	3,976	-921	3,055
24	176,600	56,981	233,581	4,136	-1,019	3,117
25	172,464	58,000	230,464	4,287	-1,119	3,168
26	168,177	59,119	227,296	4,427	-1,219	3,208
27	163,751	60,338	224,088	4,556	-1,321	3,236
28	159,194	61,658	220,853	4,675	-1,423	3,252
29	154,520	63,081	217,601	4,782	-1,526	3,256
30	149,738	64,607	214,345	4,877	-1,630	3,247
31	144,861	66,238	211,098	4,960	-1,735	3,225
32	139,900	67,973	207,873	5,031	-1,841	3,191
33	134,869	69,813	204,682	5,090	-1,946	3,143
34	129,779	71,760	201,539	5,135	-2,053	3,083
35	124,644	73,812	198,456	5,167	-2,159	3,009
36	119,477	75,971	195,448	5,187	-2,265	2,922
37	114,290	78,236	192,526	5,193	-2,370	2,823
38	109,097	80,606	189,703			

All estimates are evaluated at means for other control variables. Predicted emissions and marginal abatement effects are calculated as a composite of all UK coal or gas power plants per day. The mean (median) carbon price is €19.71 (€19.07). All estimates are significant at the 5% level.

Ergebnisse: UK

Table A5: Probability of producing conditional on the carbon price, UK

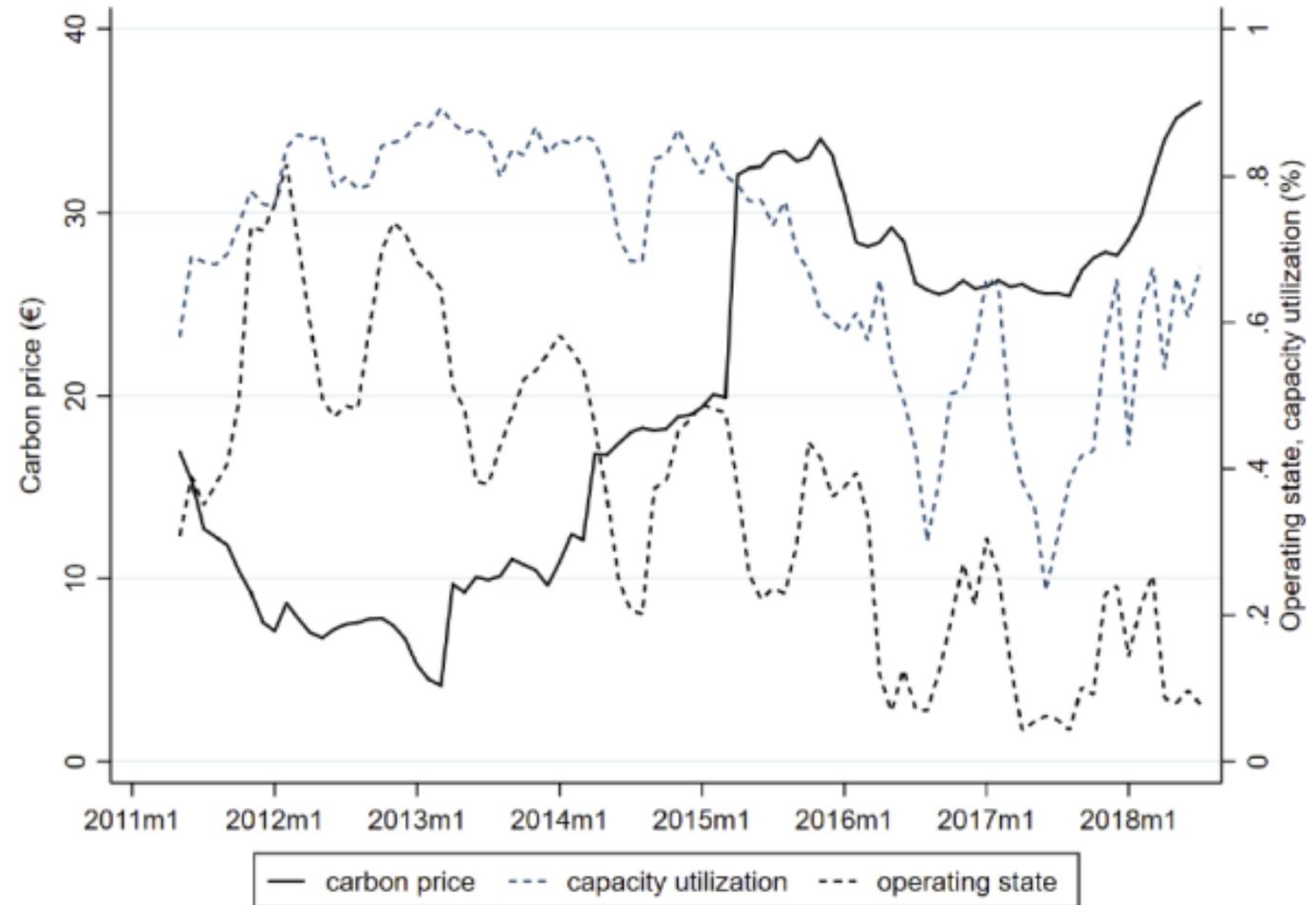
Carbon price (€)	Coal plants	Gas plants
5	38.5%	34.8%
7	37.5%	34.7%
9	36.5%	34.7%
11	35.3%	34.9%
13	34.1%	35.3%
15	32.8%	35.9%
17	31.4%	36.7%
19	29.9%	37.7%
21	28.4%	38.9%
23	26.8%	40.3%
25	25.2%	41.9%
27	23.6%	43.7%
29	21.9%	45.7%
31	20.3%	47.9%
33	18.6%	50.4%
35	17.0%	53.0%
37	15.3%	55.9%

This Table gives the probability of producing electricity from coal- or gas-fired power plants based on probit estimates of eq. 2 for the UK.

Ergebnisse: UK

- ▶ Es steigen nicht nur viele Kohlekraftwerke aus dem Markt aus (schwarze gestrichelte Linie), sondern auch die aktiven Kohlekraftwerke produzieren deutlich weniger Strom (blaue gestrichelte Linie) bei steigendem CO₂ Preis (schwarze durchgezogene Linie)

Figure 6: UK coal plants: operating state and capacity utilization



Operating state refers to the percentage of coal plants being active (i.e. producing electricity 1/0). Capacity utilization gives the share of electricity produced relative to total available capacity for those coal plants that are active.

Ergebnisse: UK

- ▶ Im Durchschnitt ist der Wind in UK wirksamer als in DE
- ▶ Wir bewerten die Effekte der Windeinspeisung bei mittleren CO₂ Preis von €20/tCO₂:
 - ▶ bei diesem Preis haben viele Kohle- und Gaskraftwerke bereits ihre Position gewechselt, sodass die zusätzliche Windeinspeisung einen großen Teil der Kohleemissionen reduziert
- ▶ Bei der durchschnittlichen Windeinspeisung (60 GWh):
 - ▶ ersetzt eine zusätzliche GW 962 tCO₂
 - ▶ 17% der täglichen Gesamtemissionen (Integral bis zu 60 GWh)

Table 7: Marginal abatement effects of wind, UK

Wind (GWh)	Marginal abatement (tCO ₂)		
	Coal	Gas	Total
10	584	239	823
20	603	257	860
30	620	272	892
40	634	286	920
50	646	297	943
60	655	307	962
70	661	315	976
80	665	321	986
90	666	325	991
100	665	327	992
110	661	327	988
120	654	325	979
130	645	321	966
140	633	316	949
150	619	309	928

Marginal effects are evaluated at means for other control variables. The mean (median) value of wind is 59.32 GWh (49.25 GWh). All estimates are significant at the 5% level. Predicted emissions for zero wind feed-in are 313,494 tCO₂ per day.

Kosteneffektivität der Klimapolitik

Wir konzentrieren uns auf die direkt verbundenen Kosten der verschiedenen Massnahmen

- ▶ CO₂ Preis multipliziert mit dem Ausstoß von zugeordneten Emissionen
- ▶ Direkte Subventionen für Wind- und Solarstrom
- ▶ Wir berücksichtigen die Exporte & Importe

Grenzen

- ▶ Wir unterscheiden nicht, wer die Kosten trägt (Stromerzeuger oder -verbraucher)
- ▶ Wir berücksichtigen nicht die potentiellen negativen externen Effekte dieser Maßnahmen (z.B. Wasserbett-Effekt)

DE: Kosteneffektivität der Klimapolitik

CO₂ Preis:

- ▶ Abnehmende Kosten der marginalen Senkung innerhalb der beobachteten CO₂ Preise (€4-€16)
- ▶ Bei dem Durchschnittspreis von 8 €/tCO₂ kostet es € 52, eine Tonne CO₂ zu reduzieren
- ▶ Bei einem Preis von 16 €/tCO₂ kostet es € 41, eine Tonne CO₂ zu reduzieren

Wind:

- ▶ Im Durchschnitt kompensiert 1 MWh Windstrom 0,386 tCO₂
- ▶ Die Förderungen pro eingespeiste MWh Onshore- und Offshorewindstrom betragen 64,71 € und 159,07 € im Jahr 2017
- ▶ 84.4% und 15.6% des Windstrom kommt aus Offshore- bzw. Onshorewindanlagen
- ▶ Durchschnittskosten für Wind sind €204 pro tCO₂ ((€64.71 x 0.844 + €159.07 x 0.156)/0.386 tCO₂)

Solar:

- ▶ Im Durchschnitt kompensiert 1 MWh Solarstrom 0,270 tCO₂, bekommt aber €264.41 pro eingespeiste MWh
- ▶ Durchschnittskosten für Solar sind €979 pro tCO₂ (264.41/0.279 tCO₂)

UK: Kosteneffektivität der Klimapolitik

CO₂ Preis:

- ▶ Bei dem Durchschnittspreis von 20€/tCO₂ kostet es €66, eine Tonne CO₂ zu reduzieren
- ▶ Bei einem (relativ hohen) CO₂ Preis von 35 €/tCO₂ kostet es nur €30, eine Tonne CO₂ zu reduzieren
- ▶ Für einen CO₂ Preis über 35 €/tCO₂ steigen die Kosten pro reduzierte tCO₂
 - ▶ Es gibt sehr wenige Kohlekraftwerke, die noch Strom erzeugen

Wind:

- ▶ Durchschnittskosten für Wind sind €54 pro tCO₂
- ▶ Der Grund dafür ist, dass
 - ▶ (i) Windstrom effektiver bei der Emissionsminderung ist und
 - ▶ (ii) die Subventionen für Wind im Laufe der Zeit erheblich zurückgegangen sind (auf 52 €/MWh)
- ▶ Der Anteil von Windstrom in UK ist viel niedriger als in DE; bei höheren Windanteilen erwarten wir eine geringere Effizienz und damit höhere Kosten

Fazit

- ▶ Wir vergleichen die (Kosten-)Wirksamkeit der erst-besten Politik (CO₂ Preis) mit der weit verbreiteten zweit-besten Politik (Förderung von Wind- oder Solarstrom) auf den Strommärkten in DE und UK
 - ▶ DE konzentriert sich auf die Unterstützung von EE
 - ▶ UK führt einen Mindestpreis pro Tonne CO₂ ein
- ▶ Hauptergebnis: Ein ausreichend hoher CO₂ Preis ist die kostenwirksamste Politik zur Reduzierung von Emissionen
 - ▶ DE: Bei einem CO₂ Preis von 16€ betragen die Grenzvermeidungskosten 41 €/tCO₂. Diese Politik würde bereits 21% der Gesamtemissionen einsparen
 - ▶ Die marginalen Vermeidungskosten für Windstrom betragen 204 €/tCO₂ und für Solarstrom 979 €/tCO₂
 - ▶ Windstrom schneidet besser ab als Solarstrom in Bezug auf die Reduktion von Emissionen
 - ▶ Ähnliches gilt für UK: (bei 36 €/tCO₂ kostet es 30€, eine tCO₂ zu vermeiden); die Gesamtemissionen gingen um 31% zurück
 - ▶ Wind in UK: Wind ist effektiver für (noch) niedrige Einspeisung
 - ▶ Ihre Effektivität hängt stark vom CO₂ Preis ab
- ▶ Implikation für die Politik: unilaterale Politik kann funktionieren, aber bereits bestehende Strukturen sind wichtig

Appendix

Table 5: Marginal abatement effects of wind & solar for different carbon prices, DE

Carbon price (€)	Wind: mrg. abatem. (tCO ₂)			Carbon price (€)	Solar: mrg. abatement (tCO ₂)		
	Coal	Gas	Total		Coal	Gas	Total
4	318	53	370	4	124	115	239
5	325	51	376	5	137	111	248
6	333	49	382	6	151	106	257
7	340	47	387	7	164	101	265
8	348	45	393	8	177	97	274
9	356	43	398	9	190	92	282
10	363	41	404	10	203	87	290
11	370	39	409	11	215	83	298
12	378	37	415	12	228	78	306
13	385	35	420	13	240	73	313
14	393	33	425	14	252	69	321
15	400	31	431	15	264	64	329

Marginal effects are evaluated at means for other control variables. All estimates are significant at the 5% level. The mean (median) value of the carbon price is 7.82 €/tCO₂ (6.96 €/tCO₂).

Appendix

Table 8: Marginal abatement effects of wind for different carbon prices, UK

Carbon price (€)	Wind: marginal abatement (tCO ₂)		
	Coal	Gas	Total
4	898	255	1153
6	855	261	1116
8	812	267	1079
10	769	274	1042
12	726	280	1006
14	683	287	969
16	640	293	933
18	597	300	896
20	554	306	860
22	511	313	823
24	467	319	787
26	424	326	750
28	381	332	713
30	338	338	676
32	295	344	639
34	251	350	601
36	208	356	564

Marginal effects are evaluated at means for other control variables. The mean (median) carbon price is €19.71 (€19.07). All estimates are significant at the 5% level.