

Do Subsidized Renewables Suppress Energy Storages and can Carbon Pricing be a Solution?

Adhurim Haxhimusa (FHGR)
Mario Liebensteiner (FAU Erlangen-Nürnberg)
Fabian Naumann (TU Kaiserslautern)

AlpEnForCe, Energieforschungsgespräche Disentis 2021

Einführung

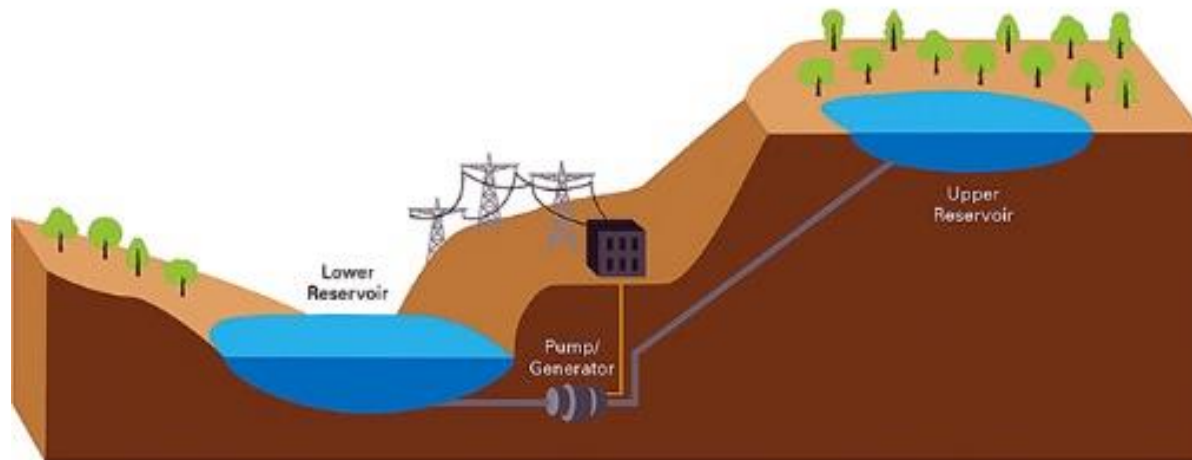
- Klimawandel → Energiesysteme sind im Wandel
- Europäische Länder haben verschiedene **Förderprogramme** für Erneuerbare Energien (EE) implementiert
 - **Dekarbonisierung** der Stromproduktion
 - Investitionen in EE (Wind und Solar) sind enorm angestiegen
 - Die Grosshandelspreise sinken
- Volatile Stromproduktion aus Wind- und Solaranlagen
- Netzbetreiber stehen vor einer grossen **Herausforderung**, die Stromsystemsicherheit zu jeder Zeit zu gewährleisten
- Mit steigendem Anteil an **volatilen Einspeisung** von EE steigt auch die Notwendigkeit nach mehr **Flexibilität im Stromsystem**
 - Durch **Pumpspeicherkraftwerke** (PSKW) können Schwankungen im Stromsystem ausgeglichen und die **Stromversorgungssicherheit** gewährleistet werden
- Wie überlebensfähig sind PSKW auf dem Markt der geförderten EE?
- Ist ein CO₂ Preis die Lösung?

Deutschland und Österreich

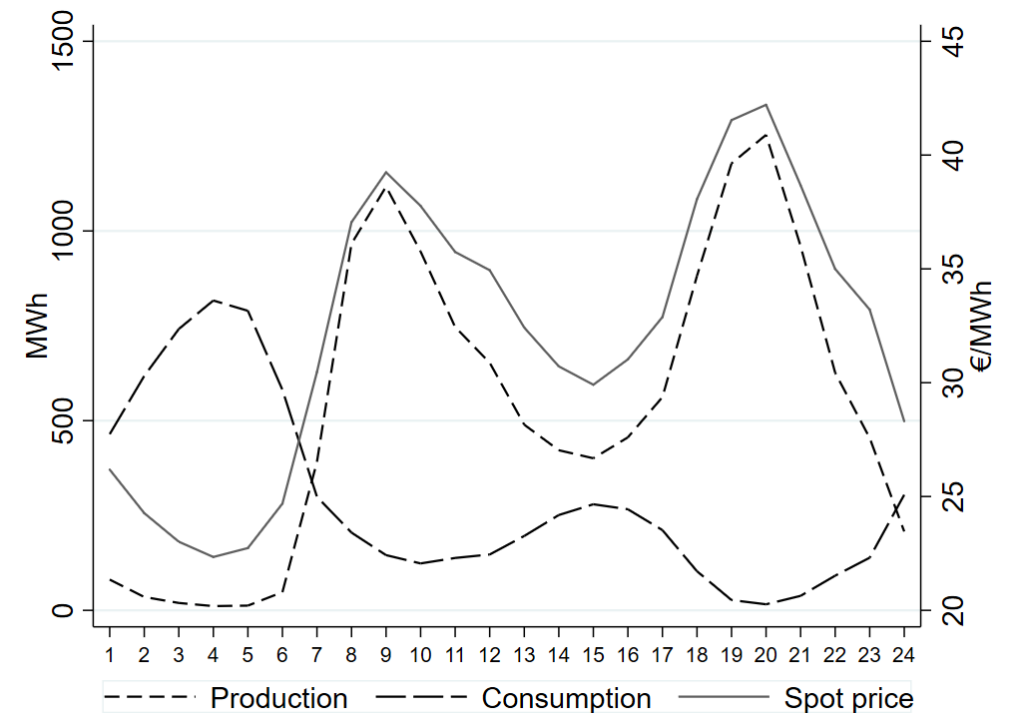
- Kraftwerke in DE und AT operieren auf einem **gemeinsamen** deutsch-österreichischen (DE/AT) **Großhandelsstrommarkt** (bis 01.10.2018)
- Der Anteil der EE (vor allem aus Wind & Solar) an der gesamten Stromerzeugung in DE:
 - ist von 6,3% im Jahr 2000 auf 37,8% im Jahr 2018 angestiegen und
 - wird voraussichtlich bis 2050 weiter auf mindestens **80% ansteigen**
- In Europa gibt es zirka 46 GW installierte Kapazitäten aus PSKW → 10% davon sind in Österreich
- PSKW sind in **ständiger Interaktion** mit hoch volatilen Stromeinspeisungen aus EE

Pumpspeicherkraftwerke

- PSKW machen zirka 96% der globalen Stromspeicherkapazitäten aus
- Geschäftsmodell basiert auf die (stündliche/monatliche) Strompreisabweichungen
 - Wasser wird hoch gepumpt, wenn Großhandelsstrompreis gering sind
 - Strom wird erzeugt, wenn Strombörsenpreise hoch sind
 - Je geringer diese Preisabweichung desto geringer die Profitabilität der PSKW

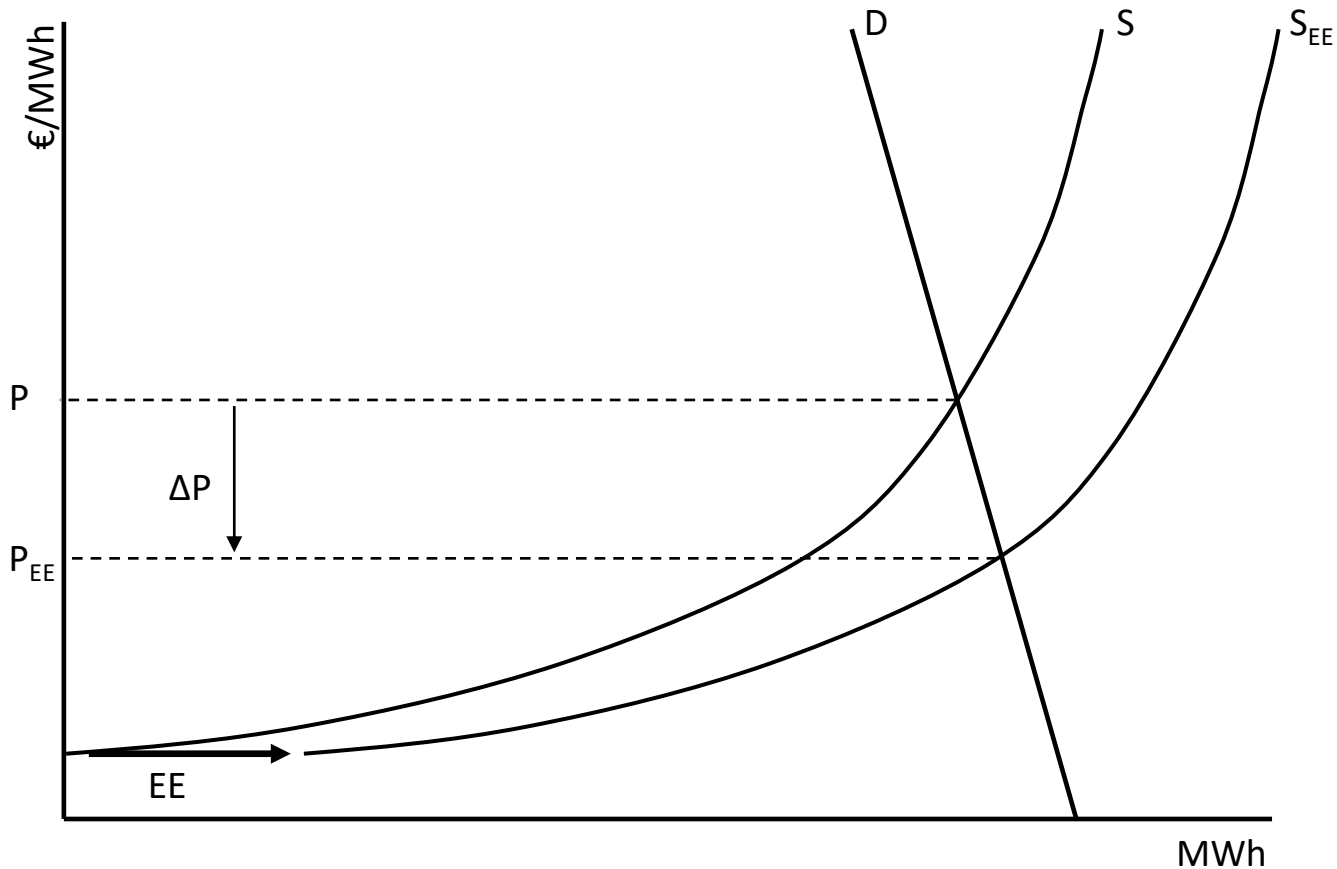


Source: theengineer



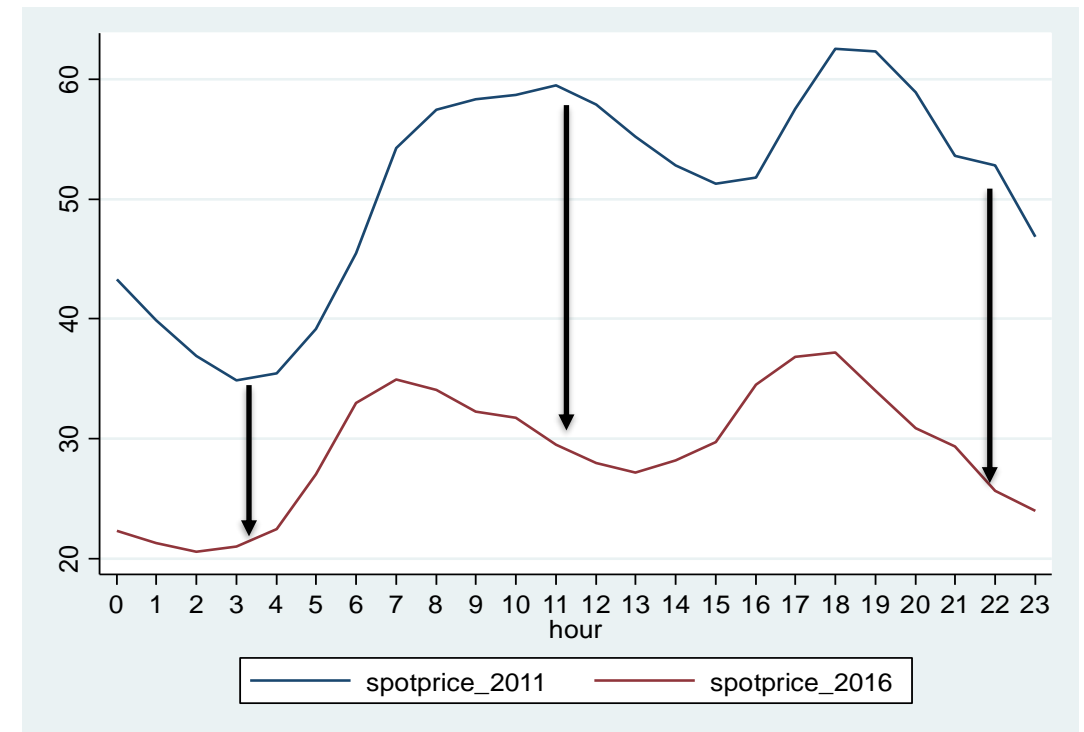
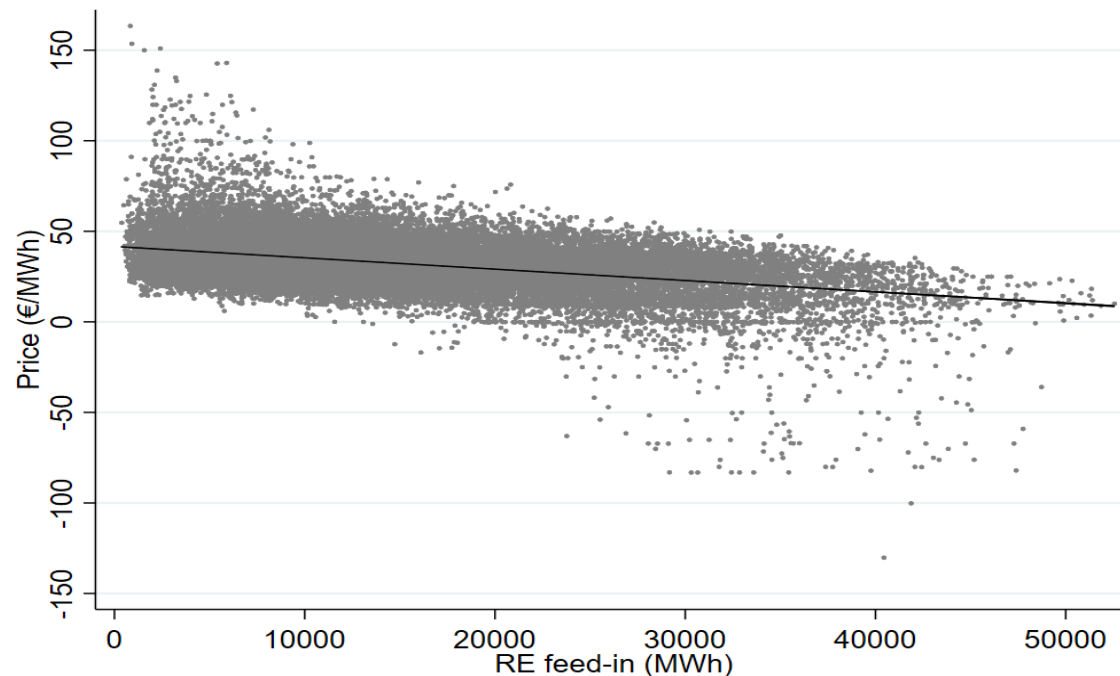
Merit-Order Effect

- Mit steigendem Anteil von EE sinken die Großhandelsstrompreis
→ «Merit-Order Effect»
 - Je höher die Einspeisung aus EE desto niedriger ist der Großhandelsstrompreis



Erneuerbare Energien

- Strom aus EE ist negativ mit dem Großhandelsstrompreis korreliert
- **Kontraproduktiver Effekt** → EE beschädigen die Rentabilität von PSKW
 - bis heute die einzigen rentablen Großspeicheranlagen
- **Minimierung der Investitionsanreize** in neue PSKW durch die Integration der EE



Daten

- Stündliche Daten: 01.01.2015 bis 30.06.2018
- Aggregierte Stromproduktion und -konsum der PSKW in AT → ENTSO-E
- Großhandelspreise → EPEX
- Wind- und Solareinspeisung → ENTSO-E
- Stromnachfrage → ENTSO-E
- CO₂ Preis, Gas- und Kohlepreis → Platts Powervision

Table 1: Sample statistics

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
<i>Dependent variable</i>					
Variable profit (€) ^a	30,592	18,557	42,940	-88,345	445,249
<i>Variable of Interest</i>					
Renewables infeed (MWh) ^{a,c}	30,592	15,072	9,563	372	52,550
<i>Control variables</i>					
Wholesale price (\euro/MWh)	30,592	32.19	14.77	-130.09	163.52
Load (MWh) ^a	30,592	65,800	10,184	36,241	102,567
Price of coal (€/MWh) ^b	30,592	7.61	1.77	4.62	11.32
Price of gas (€/MWh) ^b	30,592	17.50	3.17	10.83	43.86
Price of CO ₂ (€/tCO ₂) ^b	30,592	7.12	2.57	3.93	16.28
Temperature (°C) ^a	30,592	10.20	7.42	-11.68	35.59
<i>Instrumental variables</i>					
Wind speed (m/s) ^a	30,592	3.97	1.65	1.09	14.08
Sunshine (min) ^a	30,592	11.88	17.02	0.00	60.00

Sample period: 2015/01/01,01h–2018/06/30,24h. ^a Hourly resolution. ^b Daily resolution. ^c Day-ahead forecast.

Methode

- Zweistufige ökonometrische Methode (2SLS):

- Erste Stufe: $P_t = \gamma_{RE}^{1st} RE + X_t \gamma^{1st} + \epsilon_t^{1st}$

- Zweite Stufe: $\log(\pi_t) = \gamma_P^{2nd} \hat{P}_t + X_t \gamma^{2nd} + \epsilon_t^{2nd}$

- Profitabilität: $\pi_t = (q_{Gen,t} - q_{Pump,t}) \times p_t$

- Causal chain: $\gamma_{RE}^{1st} \times \gamma_P^{2nd} (\times RE)$ (Kling, 2001)



Ergebnisse: EE

1MWh mehr Strom aus EE

Sinkt der Strompreis um 0.13 Cent/MWh

Sinkt der Gewinn von PSKW um 1.28%

- Wenn dieser Effekt auf die durchschnittliche Einspeisung aus EE von 15,072 MWh evaluiert wird, dann:

15,072 MWh Strom aus EE

Sinkt der Strompreis um 20.1 €/MWh

Sinkt der Gewinn von PSKW um 25.6%

Table 1: Two-stage estimates of the effect of renewables on pumped-storage profitability

	Causal chain via <i>price</i>			
	(1) IV: 1 st stage Price		(2) IV: 2 nd stage log(π)	
RE	-0.00133 (1.12e-05)	***		
Price			0.0128 (0.000250)	***
VarP				
Load	0.000844 (1.50e-05)	***	-1.35e-07 (3.66e-07)	
Temp	-0.129 (0.0278)	***	0.00767 (0.00102)	***
Temp ²	0.00588 (0.000847)	***	-0.000408 (3.30e-05)	***
P _{Coal}	1.752 (0.0656)	***	-0.0332 (0.00239)	***
P _{Gas}	0.0591 (0.0341)	*	-0.00194 (0.00116)	*
P _{CO2}	1.007 (0.0479)	***	-0.0120 (0.00152)	***
Year FE	yes		yes	
Month FE	yes		yes	
Day-of-week FE	yes		yes	
Hour-of-day FE	yes		yes	
Observations	30,592		30,592	
R ²			0.523	
F statistic	14,210			
Effect ØRE on P	-20.1 €/MWh			
Effect ØRE on VarP				
Effect ØRE on π	-25.6%			

Ergebnisse: EE

1MWh mehr Strom aus EE

Sinkt die Strompreisvarianz um 0.04 Cent/MWh

Sinkt der Gewinn von PSKW um 4.34%

- Wenn dieser Effekt auf die durchschnittliche Einspeisung aus EE von 15,072 MWh evaluiert wird, dann:

15,072 MWh Strom aus EE

Sinkt die Strompreisvarianz um 5.9 €/MWh

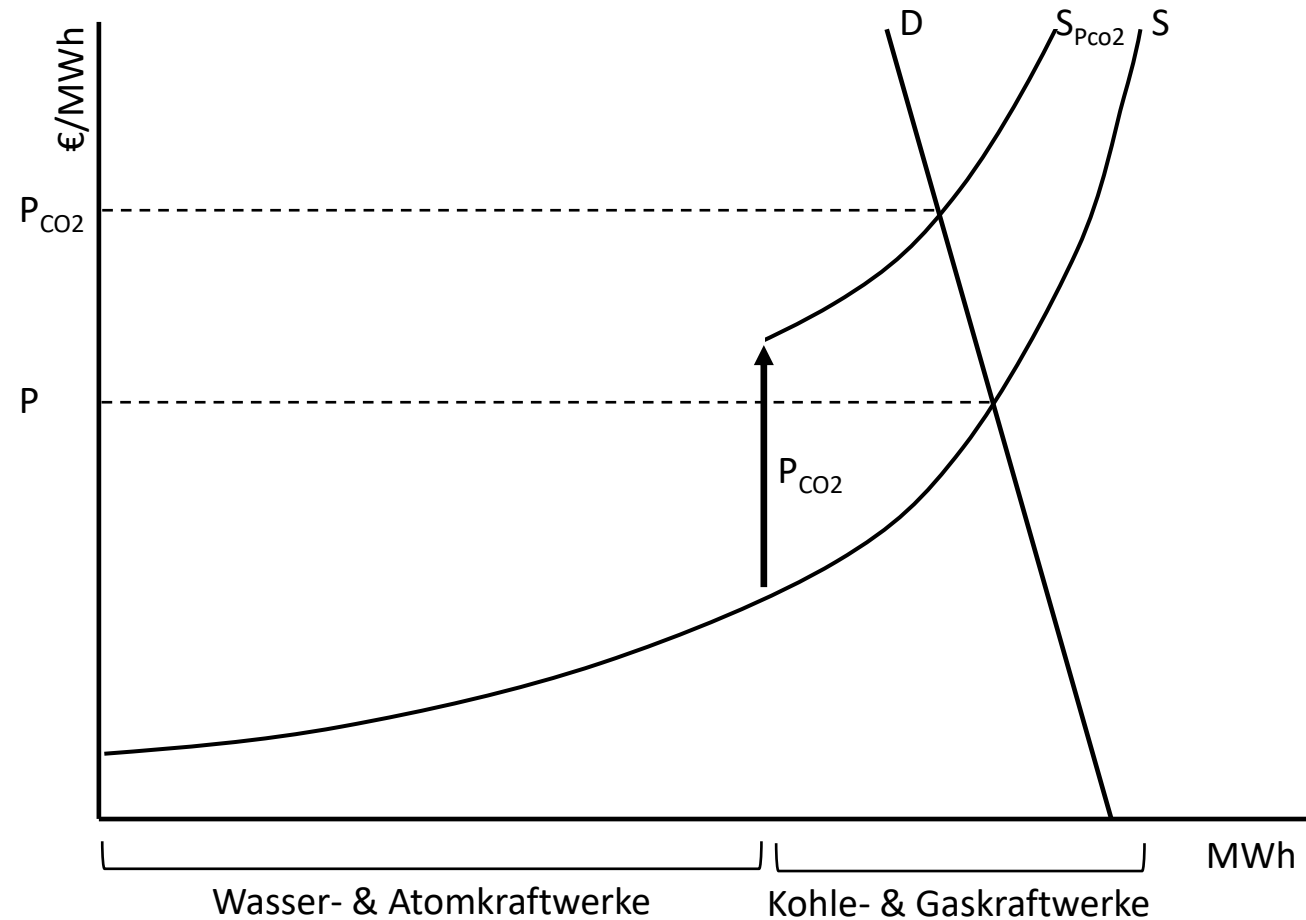
Sinkt der Gewinn von PSKW um 25.6%

Table 1: Two-stage estimates of the effect of renewables on pumped-storage profitability

	Causal chain via <i>price variance</i>	
	(3) IV: 1 st stage VarP	(4) IV: 2 nd stage log(π)
RE	-0.000391 (8.71e-06)	***
Price		
VarP		0.0434 (0.00118) ***
Load	0.000248 (1.22e-05)	*** -1.27e-07 (4.70e-07)
Temp	0.297 (0.0259)	*** -0.00687 (0.00118) ***
Temp ²	-0.0178 (0.000816)	*** 0.000441 (4.06e-05) ***
P _{Coal}	-0.233 (0.0686)	*** -0.000694 (0.00296)
P _{Gas}	0.00202 (0.0374)	-0.00127 (0.00160)
P _{CO2}	0.0550 (0.0463)	-0.00153 (0.00216)
Year FE	yes	yes
Month FE	yes	yes
Day-of-week FE	yes	yes
Hour-of-day FE	yes	yes
Observations	30,592	30,592
R ²		0.290
F statistic	2,019	
Effect ØRE on P	-5.9 €/MWh	
Effect ØRE on VarP		
Effect ØRE on π		-25.6%

CO₂ Preis

- **EE zerstören die Wettbewerbsfähigkeit von PSKW** durch den «Merit-Order Effekt»
- Implementierung des Preises für Emissionszertifikate im **EU-Emissionshandelssystem** (EU ETS in €/tCO₂)
- Mit der Bepreisung von CO₂ Emissionen steigen die Grenzkosten der fossilen Energieträger (Kohle & Gas):
 - Senkung der Emissionen
 - Vermeidung des Merit-Order Effektes
 - Anreize in neuen PSKW zu investieren



Methode

- Zweistufige ökonometrische Methode (2SLS):

- Erste Stufe:
$$P_t = \gamma_{RE}^{1st} P_{CO_2} + X_t \gamma^{1st} + \epsilon_t^{1st}$$

- Zweite Stufe:
$$\log(\pi_t) = \gamma_P^{2nd} \hat{P}_t + X_t \gamma^{2nd} + \epsilon_t^{2nd}$$

- Causal chain:
$$\gamma_{RE}^{1st} \times \gamma_P^{2nd} (\times P_{CO_2}) \quad (\text{Kling, 2001})$$



Ergebnisse: EE

Steigt der CO2 Preis um 1 €/tCO2

Steigt der Strompreis um 1.007 €/MWh

Steigt der Gewinn von PSKW um 1.26%

- Für einen Preis von 7.12 €/tCO₂

7.12 €/tCO2

Steigt der Strompreis um 7.17 €/MWh

Steigt der Gewinn von PSKW um 9.0%

- Für einen Preis von 16 €/tCO₂

16 €/tCO2

Steigt der Strompreis um 16.11 €/MWh

Steigt der Gewinn von PSKW um 20.3%

Table 2: Two-stage estimates of the effect of carbon pricing

	(1) IV: 1 st stage Price		(2) IV: 2 nd stage log(π)	
Price			0.0126	***
			(0.000249)	
RE	-0.00133	***		
	(1.12e-05)			
P _{CO2}	1.007	***		
	(0.0479)			
Load	0.000844	***	3.33e-08	
	(1.50e-05)		(3.64e-07)	
Temp	-0.129	***	0.00649	***
	(0.0278)		(0.000993)	
Temp ²	0.00588	***	-0.000387	***
	(0.000847)		(3.26e-05)	
P _{Coal}	1.752	***	-0.0250	***
	(0.0656)		(0.00221)	
P _{Gas}	0.0591	*	-0.00671	***
	(0.0341)		(0.00103)	
Year FE	yes		yes	
Month FE	yes		yes	
Day-of-week FE	yes		yes	
Hour-of-day FE	yes		yes	
Observations	30,592		30,592	
R ²			0.523	
F statistic	7,112			
Effect ØRE on P	-20.1 €/MWh			
Effect ØP _{CO2} on P	7.2 €/MWh			
Effect ØRE on π			-25.2%	
Effect ØP _{CO2} on π			9.0%	

Zusammenfassung

- Die Stromeinspeisung von EE (aus W & S) senkt den Großhandelspreis in DE und AT insbesondere bei **Spitzenlast**, was letztlich das Kerngeschäftsmodell von PSKW gefährdet
- EE haben den **Großhandelspreis um zirka 20 €/MWh reduziert**
 - Was zu einer **Senkung der Gewinne von PSKW um 25.6%** geführt hat
 - Dieser Effekt ist wirtschaftlich beträchtlich und daher alarmierend
- Dieser Effekt wird bei einem weiteren Ausbau der EE verstärkt
 - Deutschland plant, seinen Stromanteil aus EE von derzeit 37,8% (2018) auf mindestens 80% bis 2050 zu erhöhen, was den politischen Handlungsbedarf erhöht
- Es scheint **paradox**, dass einerseits die Integration der EE mit ihrer volatilen Stromeinspeisung Systemflexibilität benötigt, und diese durch Energiespeicher erhält, gleichzeitig aber die Integration der EE die Profitabilität der PSKW konterkariert
- Eine **staatliche Förderung für PSKW könnte gerechtfertigt** werden, um die Lage zu verbessern
- Der **CO₂ Preis** wird Investitionsanreize in EE erhöhen, Emissionen verringern, und das Geschäftsmodell der Energiespeicher retten, indem er den Rückgang des Großhandelspreis verhindert

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr. Adhurim Haxhimusa

Comercialstrasse 22

7000 Chur

Tel. +41 81 28 63 76 1

adhurim.haxhimusa@fhgr.ch