

# Emissionsneutralität der deutschen Industrie bis 2050 benötigt die ambitionierte Entwicklung innovativer Produktionsprozesse

Matthias Rehfeldt, Tobias Fleiter, Andrea Herbst

# Politikberatung am Fraunhofer ISI: Energienachfragemodell FORECAST

**Impact on the Environment and the Economy of Technological Innovations for the Innovation Fund (IF)**

In the Fields of:  
Energy-intensive Industries,  
Renewables,  
Carbon Capture and Storage / Use (CCS/CCU),  
Energy Storage

ECOFYS Fraunhofer GreenStream adelphi

**Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland**

Modul 3: Referenzszenario und Basiszenario  
Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie

ICF Fraunhofer ISI

**Industrial Innovation: Pathways to deep decarbonisation of Industry.**

Part 2: Scenario analysis and pathways to deep decarbonisation

**Issue Paper on Low-carbon Transition of LED Industry by 2050**

Extending the scope of mitigation options

Authors: Andrea Herbst (Fraunhofer ISI), Tobias Fester (Fraunhofer ISI), Frank Scharif (Fraunhofer ISI), Ben Pfleger (Fraunhofer ISI), Hector Maranon-Ledesma (NTNU)

February 2016

A report compiled within the H2020 project SET-Nav (WP5, Deliverable D5.4 "The contribution of innovative technologies to decarbonise industrial process heat")

Project Coordinator: Technische Universität Wien (TU Wien)

Work Package Coordinator: TU Wien

Case Study Coordinator: Fraunhofer ISI

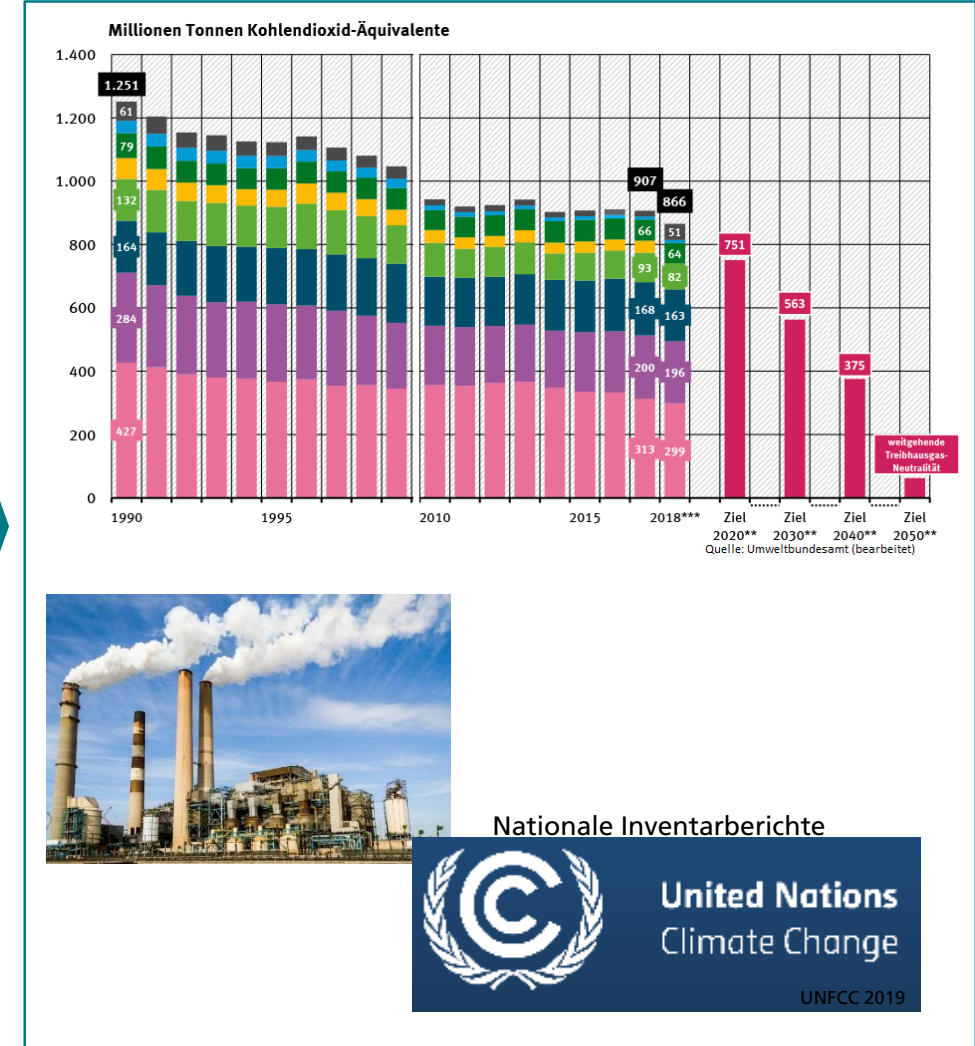
**A bottom-up estimation of the heating and cooling demand in European industry**

Marthinus Riddihough, Tobias Hoyer, Edgar Hein

Abstract: Energy balances are usually aggregated on the level of industrial sector and energy carrier. While heating and cooling accounts for 16% of the energy demand of the European Union's 23 member states plus Norway, Sweden and Iceland (EU+3), currently there are no coarse balance that match Europe's energy balance for the industrial sector. In this paper, we present a methodology to disaggregate Europe's energy balance for the industrial sector. Doing so, we add the dimension of temperature level and end-use. The results show that, although a similar distribution of energy use by temperature level can be observed, there are considerable differences among individual countries. These differences are mainly caused by the countries' heterogeneous economic structures, highlighting that approaches on a process level tend to be differentiated rather than those based on sectors only. We calculate the final heating demand of the EU+3 for industrial processes in 2013 to be 1015, 766 and 1237 TWh at the respective temperature levels > 300 °C (e.g. iron and steel production), 100-300 °C (e.g. glass use in chemical industry) and < 100 °C (e.g. food industry). 346 TWh is needed for space heating. In addition, 46 TWh is required for the industrial process cooling demand for electricity in EU+3. We present additional 12 TWh of electricity demand for industrial space cooling. The results presented here have contributed to policy discussions in the EU (European Commission 2016), and we expect the additional level of detail to be relevant when designing policies regarding fuel efficiency, fuel switching and specific technologies (e.g. low-temperature heat applications).

Keywords: Energy demand modelling; Temperature; End-use; Industry; Process; European Union

Anwendung



---

# AGENDA

---

1. Motivation
2. Kurzfristig: Brennstoffwechsel in bestehenden Prozessen
  1. Annahmen, Methodik
  2. Ergebnisse
3. Vermeidungslücke
  1. Hindernisse für Klimaneutralität 2050
  2. Lösungsansätze
4. Schlussfolgerungen

# Sektorziel der Bundesregierung erfordert Aktion vor 2030

## 2030 – Sektorziel Industrie

Industrie [MtCO <sub>2</sub> -Äq.]		1990	2010	2015	2030	2050
National	Emissionen	279	185	185	140	<20?
	Reduktion (1990)	-	34%	34%	50%	~95%
IPCC 1.5°C	Emissionen	279	185	-	102	???
	Reduktion (2010)	-	-	-	45%	???

- „Basiswert“ 1990 stark von DDR-Industrie geprägt:
  - 1995: 238 Mt
  - 2000: 204 Mt
  - Energiebedingt: 2016 gleiches Niveau wie 2000 (130 Mt)
- Festhalten an 2030-Zielen im Klimaschutzprogramm bestätigt, aber:
  - Unzureichende Maßnahmen in Verkehr und Haushalten
  - Neuverhandlung der Sektorziele?
  - Umwandlung und Industrie mit Mehrbelastung?

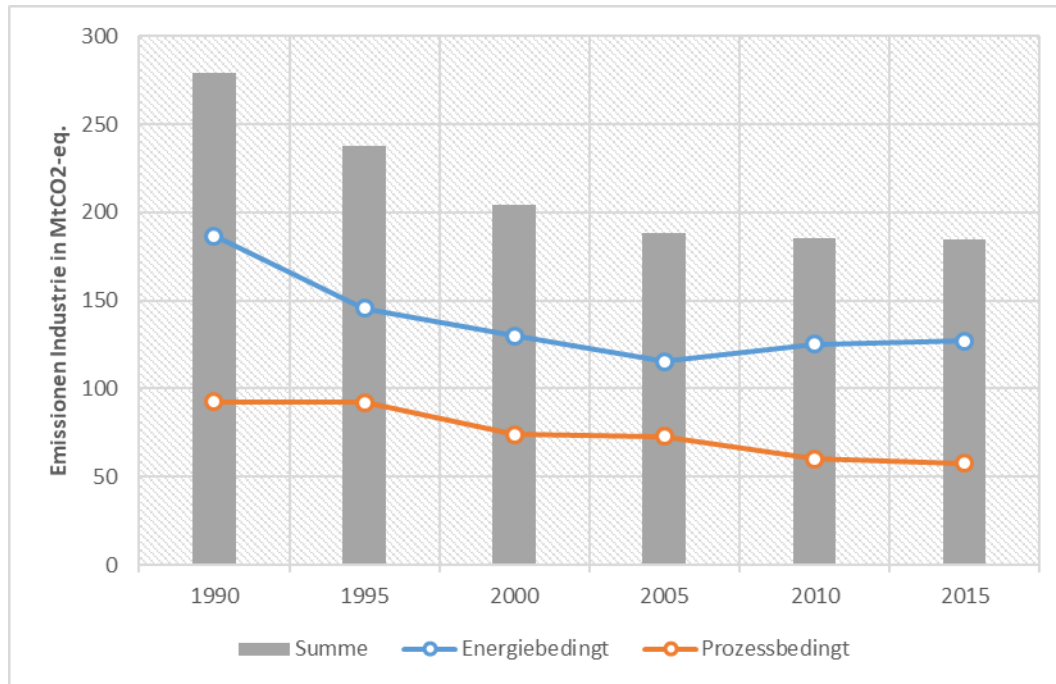


## Maßnahmen

- Effizienz
  - Notwendig, nicht hinreichend<sup>1</sup>
- Innovative Prozesse
  - Ab 2030 relevant<sup>2</sup>
- Brennstoffwechsel
  - verstärkte Anstrengung, emissionsarme Energieträger zu nutzen
- Herausforderungen
  - Biomasseverfügbarkeit ( Verteilung)
  - Strompreis
  - Transformationsgeschwindigkeit

1: Aden 2018  
2: z.B. Wesseling et al. 2017

# (Abbildungen aus Animation vorherige Folie)



# Marktbasierte Umsetzung von Brennstoffwechsel bis 2030 ist teuer

## Modellrechnung

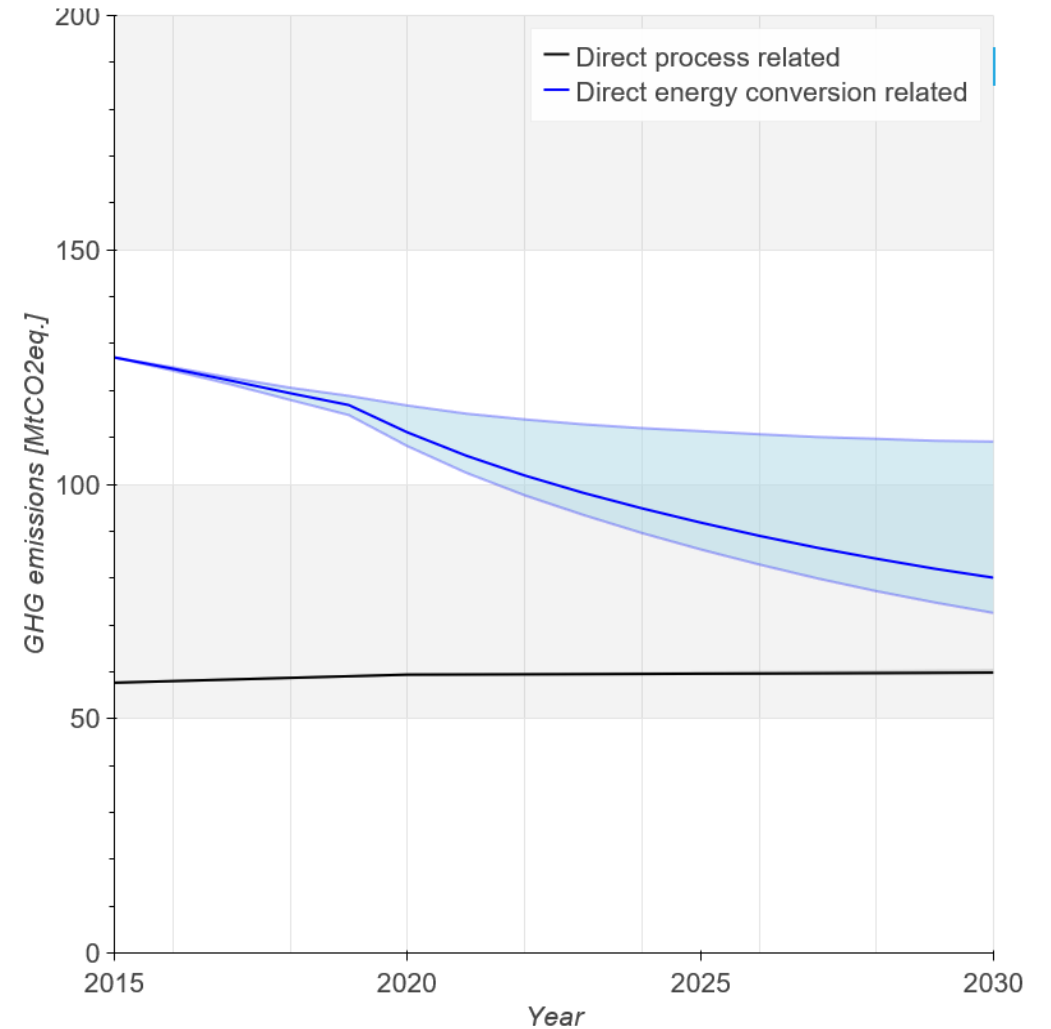
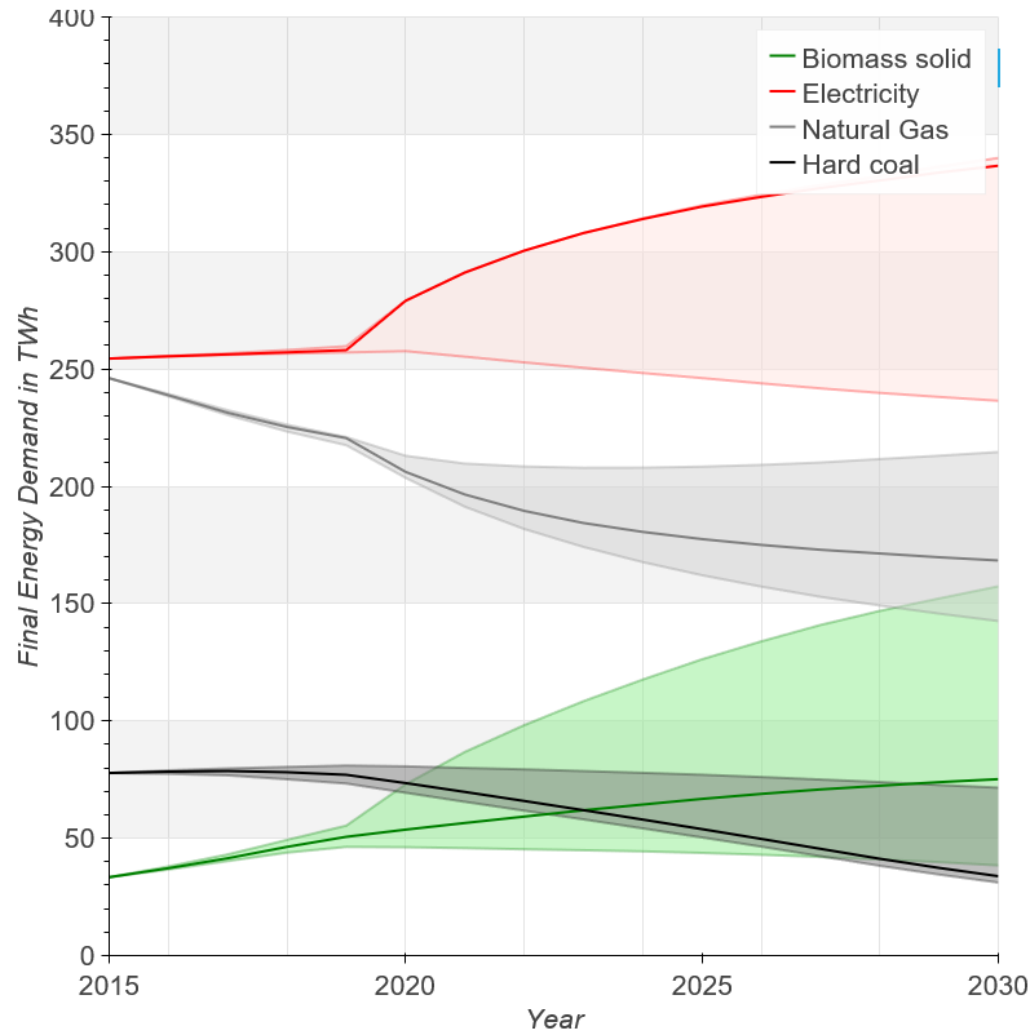
- Annahmen:
  - Beobachtete Präferenzen
  - Gleich bleibendes Produktionsniveau
  - Biomassepotential Industrie: 75 TWh (2015: ~30 TWh)
- Maßnahmen:
  - CO2-Preis (0-1053 €/tCO2)
  - Staatlich subventionierter Strompreis (bis nahezu kostenloser Strombezug)
- Rechnungen:
  - Variation der Stärke der Maßnahmen
  - Zielmarke: <140 Mt



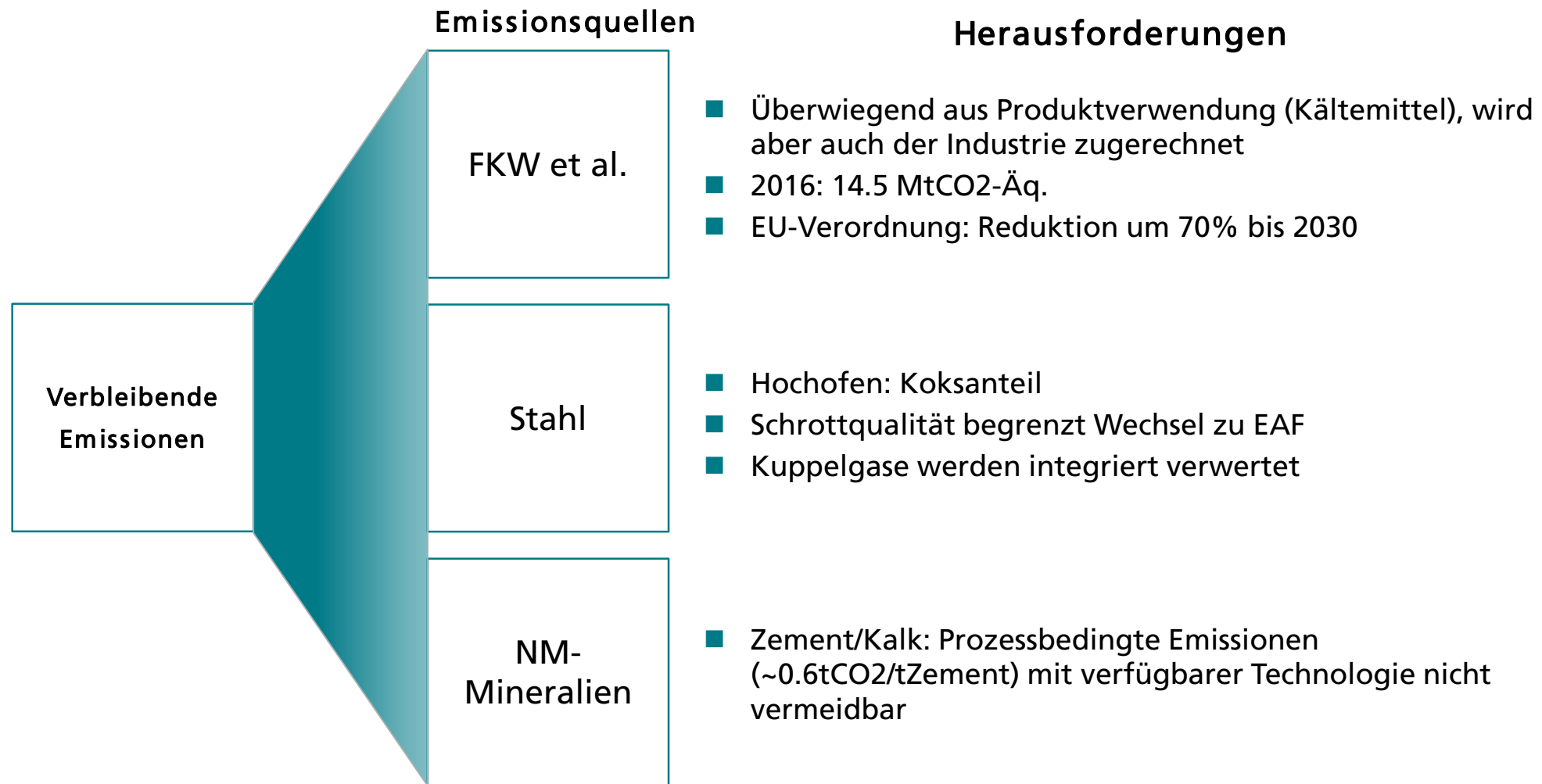
- Brennstoffwechsel und Energieeffizienz können Zielmarke erreichen
  - Aber: extrem hohe CO2-Preise
  - Aber: extrem hohe Stromsubvention
- Variationen zeigen verschiedene Pfade auf
  - Biomassebasiert: Potentialverschiebung notwendig
  - Strombasiert: 100 TWh zusätzliche Nachfrage für Prozesswärme
    - dennoch Ausschöpfung Biomassepotential der Industrie
- Hohe Kostenbelastung auf verbleibenden Emissionen!

Emissionen [MtCO2-Äq.]		CO2-Preis 2030 [EUR/tCO2-eq.]									
		0	117	234	351	468	585	702	819	936	1053
Subventionen 2020-2030 [EUR/kWh]	0	169	155	149	145	143	140	139	137	136	135
	5.4	169	155	149	145	142	140	138	137	135	134
	10.8	166	153	147	143	141	139	137	136	135	134
	16.2	161	150	145	142	139	138	136	135	134	133
	21.6	157	146	142	<b>140</b>	138	136	135	134	133	132

# (Abbildungen aus Animation vorherige Folie)



# Einige Emissionsquellen sind nicht durch Brennstoffwechsel adressierbar





# (Abbildungen aus Animation vorherige Folie)

---

Emissions in MtCO <sub>2</sub> -eq.	Emissions 2015	Emissions 2030
NM-minerals: process emissions	25.31	27.51
Chemical industry: process emissions	9.29	9.24
Iron and steel: process emissions	2.92	3.09
Non-ferrous metals: process emissions	1.85	1.76
Other (mainly HFC)	14.45	14.45
<b>Sum process-related</b>	<b>53.82</b>	<b>56.05</b>
Iron and steel: coal and coke use	30.42	21.67
<b>Sum</b>	<b>84.24</b>	<b>77.72</b>

# Innovative Technologien können prozessbedingte Emissionen vermeiden

Emissions 2030 [Mt]	Process	Subsector	Address with
4.22	Ammonia	Chemical industry	H2-feedstock
1.81	Carbon black	Chemical industry	Biomass as C-source?
0.54	Poly ethylene	Chemical industry	H2-feedstock
0.46	Soda ash	Chemical industry	-
0.19	Nitric acid	Chemical industry	-
0.01	Calcium carbide	Chemical industry	-
0	Adipic acid	Chemical industry	-
1.72	Sinter	Iron and steel	Replacing BF
0.47	BF	Iron and steel	Replacing BF
0.11	EAF	Iron and steel	-
1.1	Aluminum, primary	NF-metals	Inert anode
0.29	Zinc, primary	NF-metals	-
16.36	Clinker calcination	NM-minerals	New binder, CCS
7.13	Lime burning	NM-minerals	CCS
1.18	Tiles, plates, refractories	NM-minerals	-
1.15	Other ceramics	NM-minerals	-
0.52	Flat glass	NM-minerals	Cold top-furnace
0.48	Bricks	NM-minerals	-
0.34	Container glass	NM-minerals	Cold top-furnace
0.14	Fiber glass	NM-minerals	-
0.14	Sanitary ware	NM-minerals	-
0.06	Other glass	NM-minerals	-
14.45	Product use	-	Replace Coolant
<b>52.87</b>	<b>Sum</b>		<b>48.66</b>



## Technologien

- Phase-out von Hochöfen
- H2-DRI, Plasma, elektrothermische Prozesse<sup>1</sup>, Stahlschrottaufbereitung<sup>2</sup>
- Prozessemissionen: neue Rohstoffe, Zementsorten<sup>3</sup>
- Vollständiger Austausch Glasschmelzöfen
- CCS? Elektrisch beheizte Drehrohröfen?
- Neue Kältemittel (CO2)
- Gerätelebensdauer: frühzeitiges Einstellen des Inverkehrbringens!

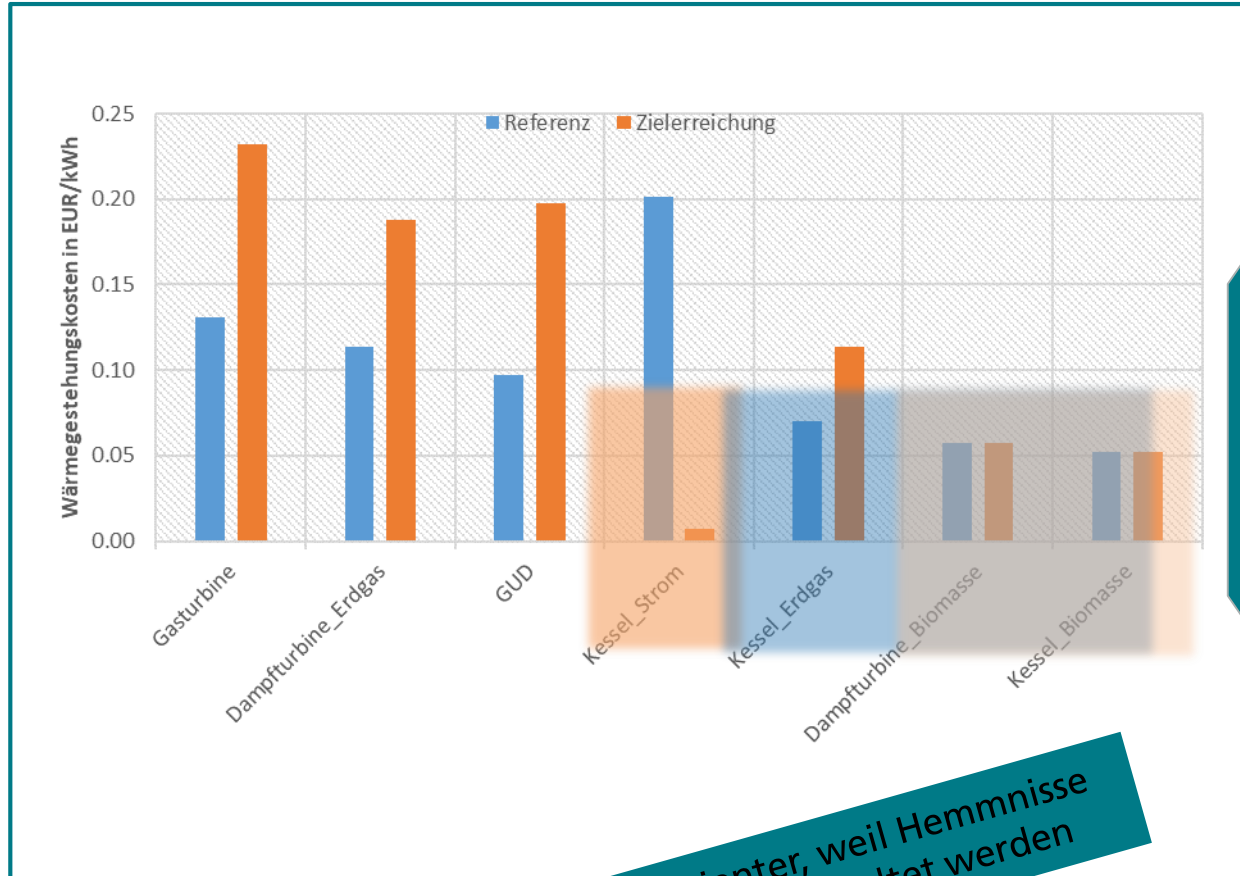
1: z.B. HYBRIT, SALCOS, SUSTEEL, SIDERWIN

2: Allwood 2016

3: z.B. Lechtenböhmer 2016, Bataille 2018

# Regulatorische Maßnahmen könnten Technologien effizienter in den Markt einführen

## Beispiel Technologieeinführung: strombasierte Prozessdampferzeugung



Effizienter, weil Hemmnisse ausgeschaltet werden

### Schlussfolgerung

Allgemein

- Industrie ist heterogen
- Bandbreite der Energiebezugspreise ist groß
- Betrachtung auf Standortebene notwendig

Strom

- Extrem unattraktiv in der Breite
- Für ausreichend schnelle Diffusion quasi-kostenloser Strombezug

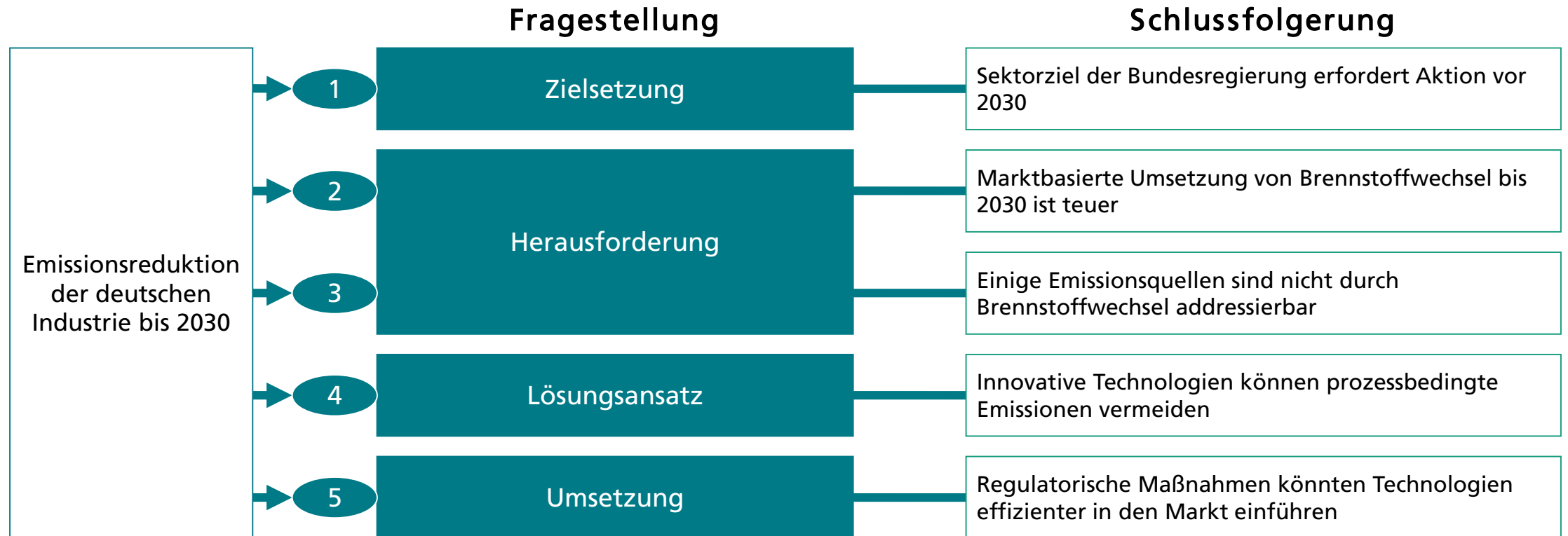
Biomasse

- Überwiegend attraktiv
- Reagiert stark auf Preissignale
- Begrenztes Potential

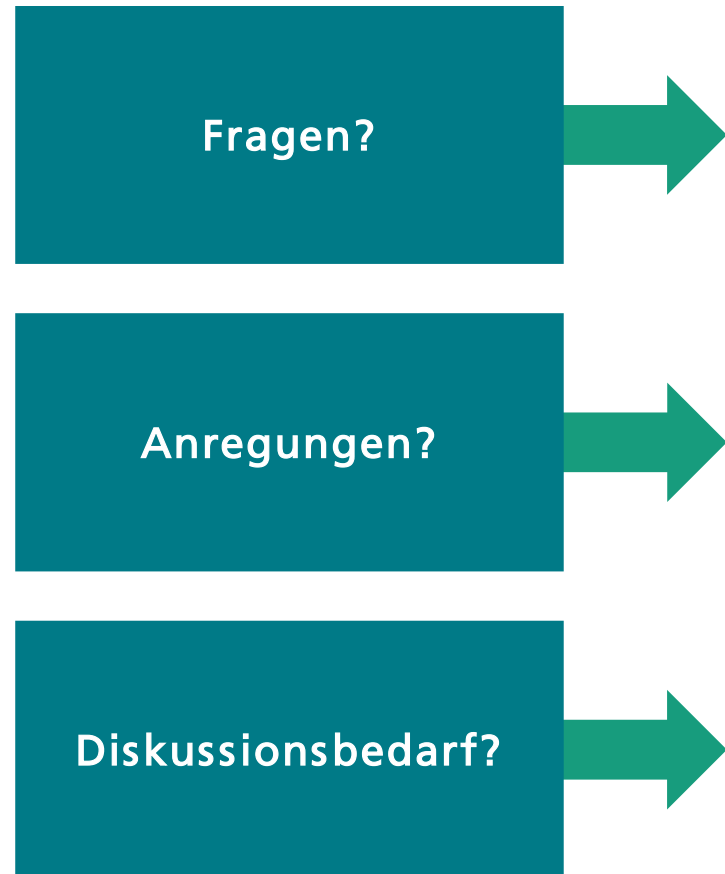
Alternative?

- Verbot von (neuen) fossilen Anlagen
  - Geringere Preisdifferenz notwendig
  - Erwartung: sinkende CO2-Preise und Subvention des Strompreises

# Emissionsneutralität der deutschen Industrie bis 2050 benötigt die ambitionierte Entwicklung innovativer Produktionsprozesse



# Kontaktieren Sie mich bei Fragen, Anregungen oder Diskussionsbedarf



## Kontakt



**FORECAST** | **eLOAD**  
FORecasting Energy Consumption Analysis and Simulation Tool | energy LOad curve ADjustment tool

<http://www.forecast-model.eu/forecast-en/index.php>

Name:	Matthias Rehfeldt
Abteilung:	CCE, Geschäftsfeld Nachfrageanalysen und -projektionen
Telefon:	+49 721 6809-412
E-Mail:	matthias.rehfeldt@isi.fraunhofer.de

# Literatur

---

Allwood 2016: *A bright future for UK steel*.

Lechtenböhmer, Stefan; Nilsson, Lars J.; Åhman, Max; Schneider, Clemens 2016: *Decarbonising the energy intensive basic materials industry through electrification – Implications for future EU electricity demand*. In: *Energy* 115, 1623–1631. 10.1016/j.energy.2016.07.110

Bataille, Chris; Åhman, Max; Neuhoff, Karsten; Nilsson, Lars J.; Fishedick, Manfred; Lechtenböhmer, Stefan; Solano-Rodriguez, Baltazar; Denis-Ryan, Amandine; Stiebert, Seton; Waisman, Henri; Sartor, Oliver; Rahbar, Shahrzad 2018: *A review of technology and policy deep decarbonization pathway options for making energy-intensive industry production consistent with the Paris Agreement*. In: *Journal of Cleaner Production* 187, 960–973. 10.1016/j.jclepro.2018.03.107.

Aden N. Necessary but not sufficient: the role of energy efficiency in industrial sector low-carbon transformation: *Energy Efficiency* 2018;11(5):1083–101.

Wesseling JH, Lechtenböhmer S, Åhman M, Nilsson LJ, Worrell E, Coenen L. The transition of energy intensive processing industries towards deep decarbonization: Characteristics and implications for future research: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2017;79:1303–13.

# Backup: CRF-Tabellen 2000 und 2016

	2000				2016			
	SUM [ktCo2eq.]	CO <sub>2</sub> <sup>(2)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SUM [ktCo2eq.]	CO <sub>2</sub> <sup>(2)</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
<b>INDUSTRY</b>	<b>130107</b>	129043	9	3	<b>130391</b>	129186	12	3
a. Iron and steel	32722	32525	3	0	37599	37422	2	0
b. Non-ferrous metals	702	695	0	0	170	168	0	0
c. Chemicals	0							
d. Pulp, paper and print	21	14	0	0	19	4	0	0
e. Food processing, beverages and tobacco	1501	1485	0	0	170	168	0	0
f. Non-metallic minerals	17034	16859	1	1	14234	14085	1	0
g. Other (please specify) <sup>(9)</sup>	78128	77465	6	2	78198	77338	8	2

	SUM [ktCo2eq.]	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(1)</sup>	PFCs <sup>(1)</sup>	Mix	SUM [ktCo2eq.]	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs <sup>(1)</sup>	PFCs <sup>(1)</sup>	Mix
<b>INDUSTRY</b>	<b>74013</b>	57695	23	22	6009	546	2650	<b>59424</b>	45664	21	4	11258	103	707
<b>A. Mineral industry</b>	23395	23395						19526	19526					
<b>B. Chemical industry</b>	15785	8443	21	18			1521	6916	5629	20	2			62
<b>C. Metal industry</b>	23902	23460	0	0		413		18568	18420	0	0	31	95	
<b>D. Non-energy products from fuels and solvent use</b>	2397	2396		0				2091	2089		0			
<b>E. Electronics industry</b>	1808	1808						0						
<b>F. Product uses as substitutes for ODS<sup>(2)</sup></b>	6123				6009	114		11236				11228	8	
<b>G. Other product manufacture and use</b>	1262		1	4				442		1	1	0		
<b>H. Other (as specified in tables 2(I).A-H and 2(II))<sup>(3)</sup></b>	1130						1130	645						645

# Backup: Emissionen nach ETS-Aktivitäten

Activity		Emissions 2015 [Mt CO <sub>2</sub> -eq.]
21	Mineral oil	128
24	Pig iron or steel	115
29	Cement clinker	114
42	Bulk chemicals	39
30	Lime/dolomite/magnesite	31
41	Ammonia	23
36	Paper or cardboard	22
31	Glass	18
32	Ceramics	16
25	Ferrous metals	12
22	Coke	12
43	Hydrogen and synthesis gas	9
26	Primary aluminium	7
28	Non-ferrous metals	7
35	Pulp	5
38	Nitric acid	5
44	Soda ash and sodium bicarbonate	3
23	Metal ore roasting or sintering	3
33	Mineral wool	2
37	Carbon black	2
27	Secondary aluminium	1
34	Gypsum or plasterboard	1
39	Adipic acid	0
40	Glyoxal and glyoxylic acid	0
<b>21-44</b>	<b>SUM</b>	<b>574</b>



# Backup: Brennstoffwechsel 1990-2016

1990-2016 <sup>1</sup>	Änderung Gasanteil	Änderung Erneuerbare Anteil	Änderung fest/flüssig Anteil
<b>Industrie</b>	<b>8%</b>	<b>7%</b>	<b>-14%</b>
Eisen und Stahl	2%	0%	2%
Chemie	-3%	0%	-5%
NE-Metalle	41%	0%	-42%
NM-Mineralien	10%	5%	-14%
Transport	22%	0%	-25%
Maschinenbau	35%	2%	-32%
Bergbau	15%	4%	-3%
Nahrung	30%	5%	-32%
Papier	-3%	23%	-24%
Holz	1%	21%	-19%
Bau	24%	2%	-19%
Textil	45%	0%	-38%
Andere	-13%	-1%	3%

- Brennstoffwechsel von Kohle und Öl zu Gas
  - Nicht-energieintensive Industrie
  - NE-Metalle
    - Erklärungsansatz: Flexibel befeuerbare Industrieöfen
  - Nahrung
    - Erklärungsansatz: Flexibel befeuerbare Dampferzeuger
  - Teilweise NM-Mineralien
    - Glasschmelzöfen, Verschiebung Produktionsanteile?
- Brennstoffwechsel zu Biomasse
  - Papier
    - Erklärungsansatz: Verfügbarkeit
- Wenig Änderungen
  - Eisen/Stahl
    - Wechsel von Koks zu Kohle
    - Weniger schweres Heizöl

1: Eurostat Energiebilanzen 2018

# Wärme-/Kältebedarf Industrie in EU 28+3

Table 6 Industrial process and space heating/cooling demand by country and temperature level EU28 + 3 (Fraunhofer ISI, Fraunhofer ISE, TU Wien, TEP Energy, IREES, Observer 2016)

TWh	Space heating	Process heat < 100 °C	Process heat 100–200 °C	Process heat 200–500 °C	Process heat > 500 °C	Heating	Process cooling < – 30 °C	Process cooling – 30–0 °C	Process cooling 0–15 °C	Space cooling	Cooling	Heating and cooling
Austria	13.4	3.3	22.0	5.3	35.5	79.4	0.7	0.4	0.7	0.1	1.9	81.3
Belgium	13.9	7.1	14.8	6.7	42.4	84.8	1.6	0.9	1.9	0.1	4.5	89.3
Bulgaria	5.4	5.1	3.5	1.5	6.9	22.5	0.3	0.2	0.4	0.2	1.0	23.5
Switzerland	2.0	2.8	6.1	2.2	9.6	22.7	0.1	0.3	0.6	0.0	1.0	23.7
Cyprus	0.1	0.1	0.2	0.2	0.9	1.5	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	1.7
Czech Republic	9.4	7.7	13.1	5.5	30.3	66.0	1.0	0.4	0.8	0.1	2.3	68.3
Germany	58.3	64.3	92.1	34.6	251.1	500.3	5.3	3.9	9.2	0.1	18.5	518.8
Denmark	3.5	3.1	5.6	1.8	4.3	18.4	0.0	0.3	0.8	0.0	1.2	19.6
Estonia	1.6	0.4	1.3	0.4	0.9	4.5	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	4.7
Greece	4.2	2.7	5.6	2.0	9.7	24.2	0.1	0.2	0.5	0.7	1.4	25.6
Spain	31.4	4.4	45.3	14.5	82.3	177.8	1.1	1.5	3.8	3.5	9.9	187.7
Finland	6.2	16.1	45.7	5.3	15.6	89.0	0.8	0.4	1.1	0.0	2.2	91.2
France	46.8	8.6	38.5	15.8	97.7	207.3	0.7	2.7	6.3	1.7	11.3	218.7
Croatia	1.3	1.4	2.9	1.1	3.6	10.3	0.0	0.1	0.2	0.1	0.4	10.7
Hungary	4.7	3.8	2.3	1.1	9.3	21.2	0.1	0.2	0.4	0.1	0.8	22.0
Ireland	3.9	1.4	4.5	1.7	5.3	16.8	0.0	0.3	0.6	0.0	1.0	17.8
Iceland	0.4	0.1	0.1	0.0	1.5	2.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	2.5
Italy	47.7	27.9	26.5	16.6	117.7	236.4	3.2	2.0	5.2	4.5	14.9	251.3
Lithuania	1.7	2.7	1.7	0.6	2.2	8.8	0.0	0.1	0.2	0.0	0.3	9.2
Luxembourg	0.6	0.1	0.5	0.7	3.9	5.7	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	5.8
Latvia	1.4	0.5	3.0	1.0	2.2	8.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	8.3
Malta	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Netherlands	14.9	17.4	21.1	7.6	66.5	127.6	2.3	1.2	2.4	0.1	5.8	133.4
Norway	5.6	0.5	5.0	1.1	14.8	27.0	0.2	0.5	0.9	0.0	1.5	28.6
Poland	10.0	15.4	29.5	10.7	62.0	127.6	1.4	1.1	2.4	0.1	4.9	132.5
Portugal	6.7	4.0	15.0	2.5	13.1	41.4	0.1	0.3	0.6	0.6	1.7	43.0
Romania	10.4	4.0	8.5	4.0	33.1	60.0	0.4	0.3	0.7	0.0	1.4	61.4
Sweden	7.6	4.9	49.6	7.0	15.4	84.4	0.1	0.4	1.0	0.0	1.5	85.9
Slovenia	1.7	0.6	2.2	0.5	3.6	8.6	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	8.8
Slovakia	6.1	1.7	4.0	0.9	26.7	39.4	0.4	0.1	0.2	0.1	0.9	40.4
UK	25.6	16.4	61.0	22.1	66.3	191.3	0.3	1.7	4.5	0.0	6.6	197.9
EU28 + 3	346.3	228.1	531.2	175.3	1034.6	2315.6	20.1	19.4	46.1	12.4	98.0	2413.6

# Backup: Transponierte Effekte

