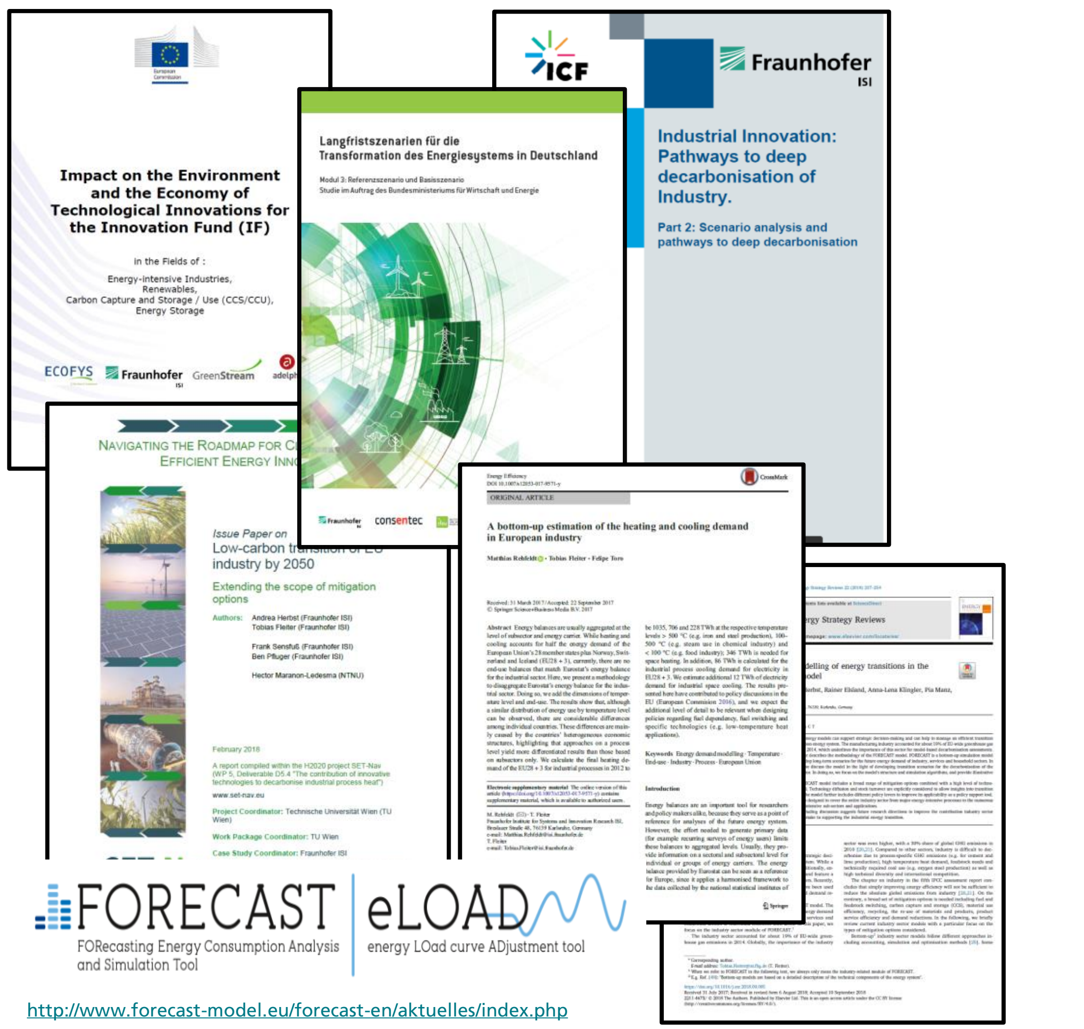
Brennstoffwechsel in Industrieöfen ist eine wichtige Handlungsoption für 1.5°C-Emissionspfade

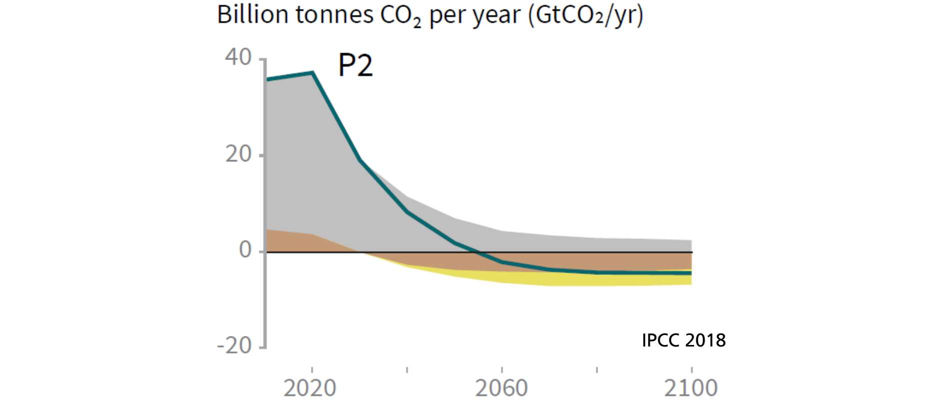
Matthias Rehfeldt, Ernst Worrell, Wolfgang Eichhammer, Tobias Fleiter

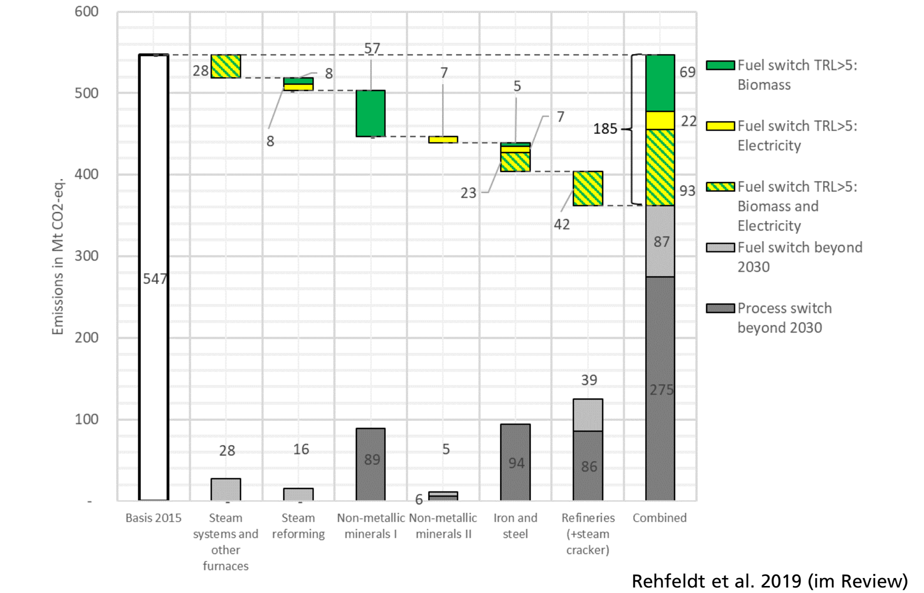
Fraunhofer ISI

Szenarioanalyse wird auf Mittelfristziel für 1.5°C-Szenarien angewendet



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





Rehfeldt et al. 2019 (im Review)

AGENDA

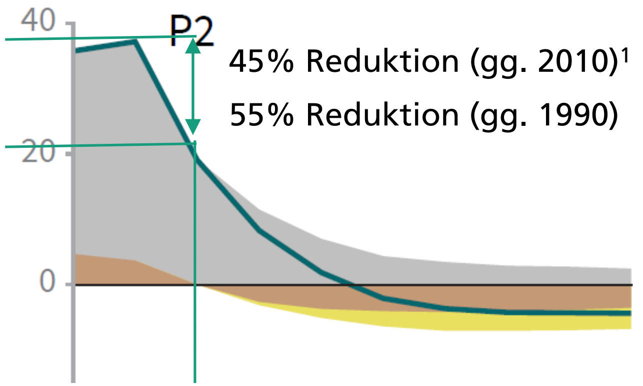
1. Motivation

2. Methodik
   1. Spezielle Industrieöfen
   2. Querschnittstechnologien

3. Ergebnisse und Schlussfolgerungen

1.5°C-Pfade erfordern ambitionierten Brennstoffwechsel der Industrie

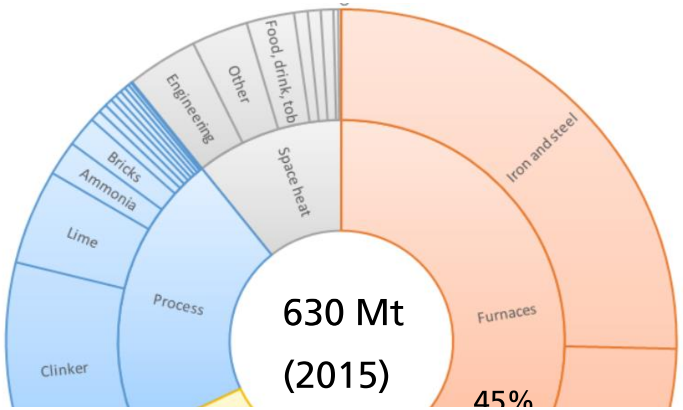
1.5°C-Pfad



- Bis 2030 weitere 35% (gg. 2015)

1: IPCC 2018
2: EEA 2018a

Emissionen Industrie (EU28)



Gesamtmenge ETS Aktivitäten 21-44 (2015): 574 Mt[1]

1: EEA 2018b

Maßnahmen

- Effizienz
  - Notwendig, nicht hinreichend[1]
- Innovative Prozesse
  - Ab 2030 relevant[2]
- Brennstoffwechsel
  - 1990-2016 von Öl/Kohle zu Gas[3]
  - Emissionsfreie
  - NM-Mineralien
  - Raffinerien

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

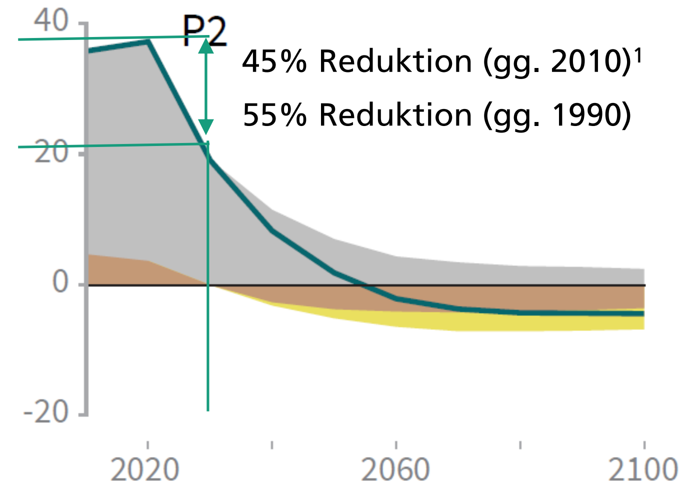
TWh	Space heating	Process heat < 100 °C	Process heat 100–200 °C	Process heat 200–500 °C	Process heat > 500 °C	Heating	Process cooling < − 30 °C	Process cooling − 30–0 °C	Process cooling 0–15 °C	Space cooling	Cooling	Heating and cooling
EU28 + 3	346.3	228.1	531.2	175.3	1034.6	2315.6	20.1	19.4	46.1	12.4	98.0	2413.6

Rehfeldt et al. 2017

Fraunhofer ISI

1.5°C-Pfade erfordern ambitionierten Brennstoffwechsel der Industrie

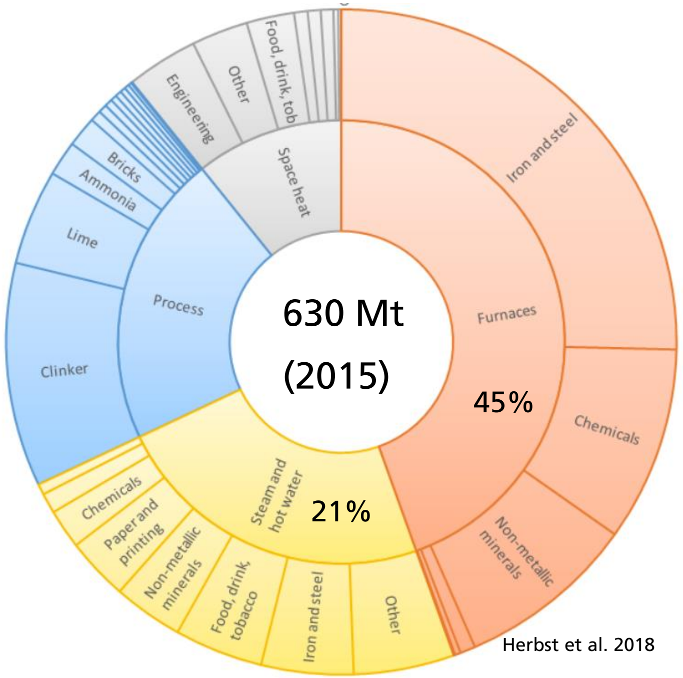
1.5°C-Pfad



- Industrie
  - 38% Reduktion seit 1990[2]
  - Bis 2030 weitere 35% (gg. 2015)

1: IPCC 2018
2: EEA 2018a

Emissionen Industrie (EU28)



Gesamtmenge ETS Aktivitäten 21-44 (2015): 574 Mt[1]

1: EEA 2018b

Maßnahmen

- Effizienz
  - Notwendig, nicht hinreichend[1]
- Innovative Prozesse
  - Ab 2030 relevant[2]
- Brennstoffwechsel
  - 1990-2016 von Öl/Kohle zu Gas[3]
  - Emissionsfreie Energieträger notwendig
- Wichtige Sektoren
  - Eisen/Stahl
  - NM-Mineralien
  - Raffinerien

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

Wir differenzieren Brennstoffwechsel in vier Technologiegruppen der Industrie

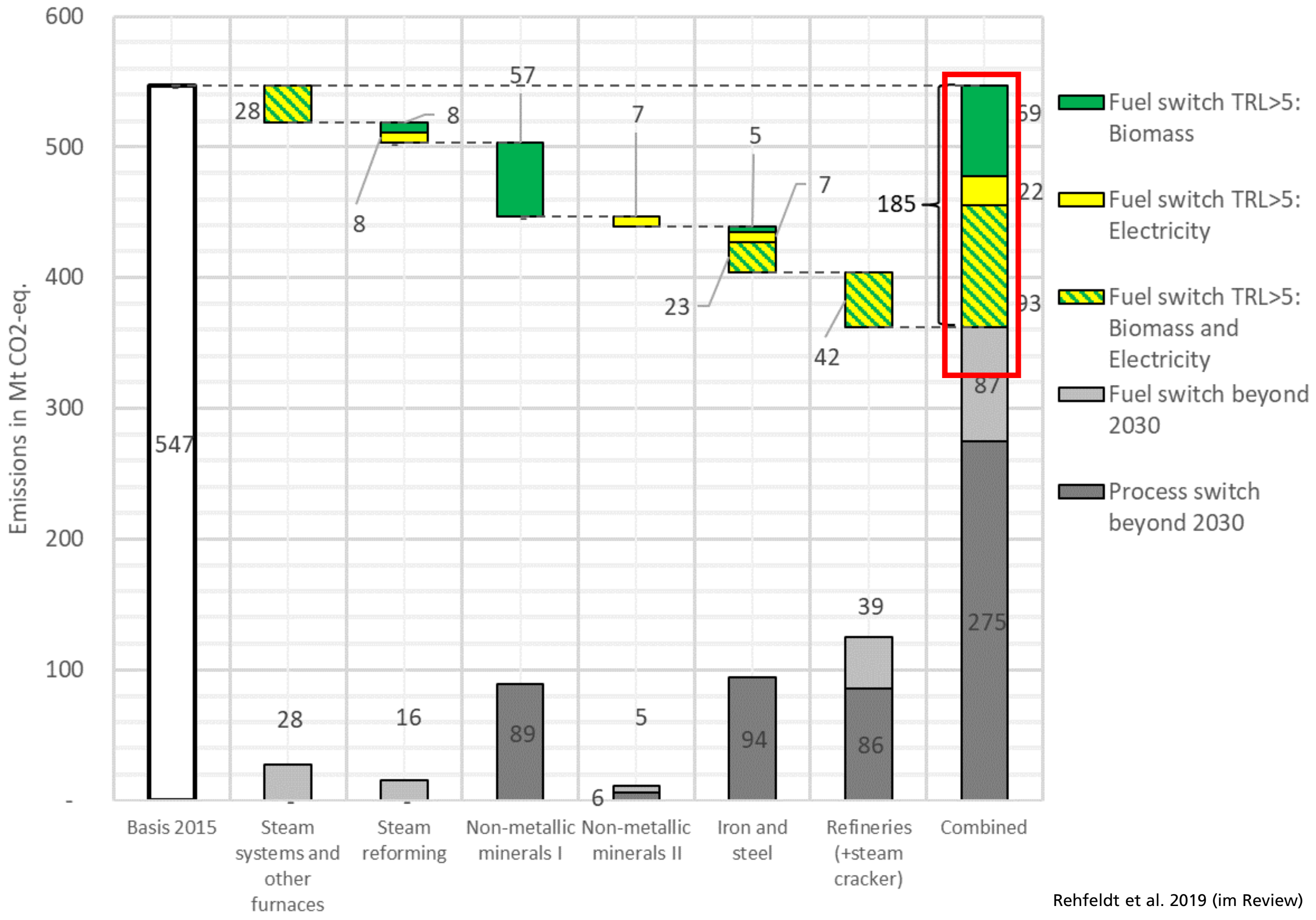
2020 – 2030

- Querschnitt: Industrieöfen und Dampferzeuger — Bereich 1
  - Gradueller Wechsel zu Biomasse in bestehenden Anlagen — Maßnahme 1.1
  - Neubau ausschließlich elektrisch und Biomasse — Maßnahme 1.2
  - Bestandsumwälzung (50%) — Maßnahme 1.3
- Stahlindustrie — Bereich 2
  - Biomasseeinsatz in Hochofen (PCI-Ersatz) — Maßnahme 2.1
  - Prozesswechsel zu Scrap/EAF — Maßnahme 2.2
- Nicht-metallische Mineralien — Bereich 3
  - Erhöhung biogene Anteile Ersatzbrennstoffe (Zement) — Maßnahme 3.1
  - Vollelektrische Öfen Glasschmelzen — Maßnahme 3.2
- Raffinerien: Verteilte Öfen — Bereich 4
  - Ersatz von zugekauften Energieträgern mit Biomasse oder Strom — Maßnahme 4.1

Definition: Technologien TRL>5 berücksichtigt

FORECAST: Szenariokonstruktion

Das mittelfristige Emissionsreduktionspotential durch Brennstoffwechsel ist erheblich



Rehfeldt et al. 2019 (im Review)

- Emissionsreduktion durch Brennstoffwechsel bis 2030
  - 69 Mt Biomasse
  - 22 Mt Strom
  - 93 Mt Schnittmenge

  - 185 Mt Summe
- Entspricht 34% der Emissionen 2015

Fraunhofer ISI

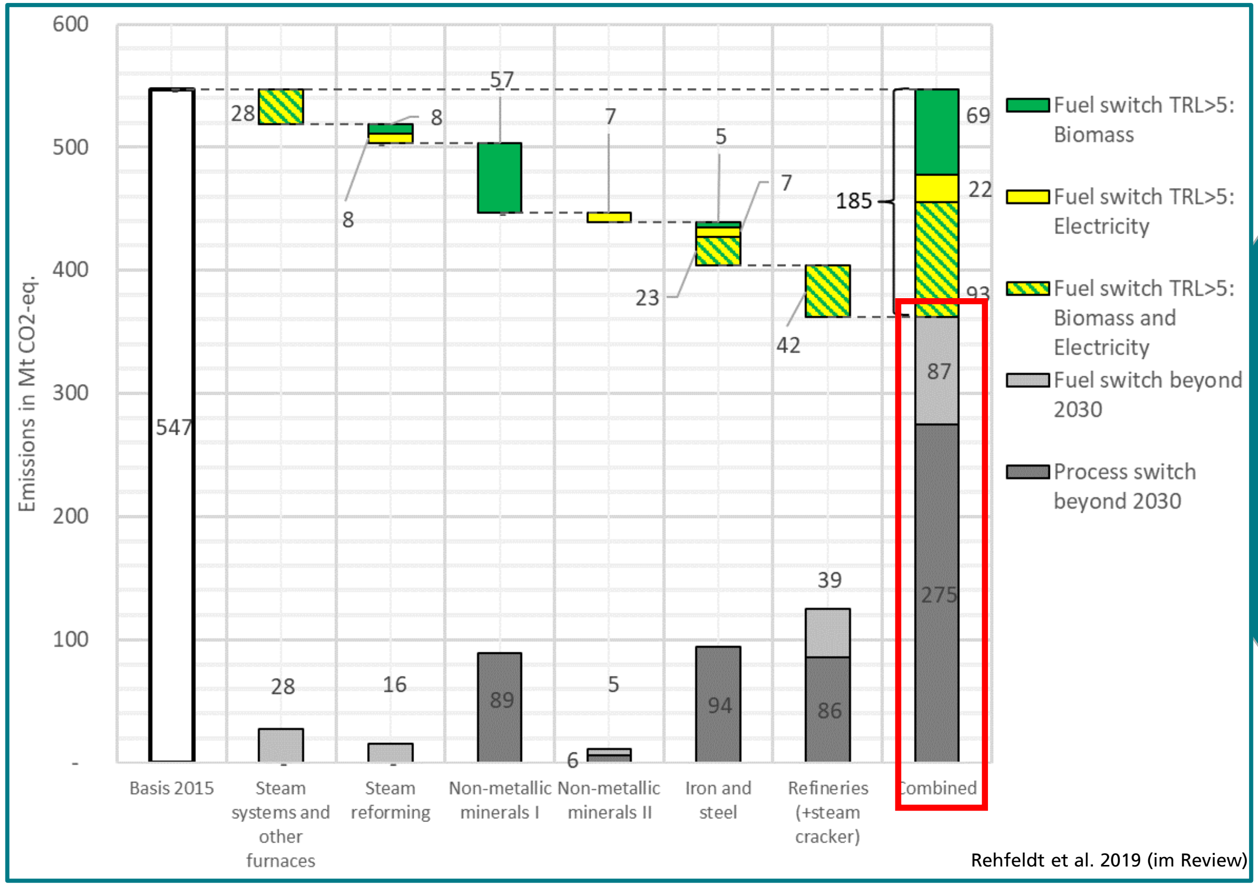
Technologiegruppen stellen individuelle Herausforderungen für weiteren Brennstoffwechsel

Brennstoffwechsel

Technologiegruppen	Herausforderungen
Querschnitt	Biomasse: Slagging/Fouling in Bestandsanlagen[1] Biomasse: Heizwert[2] Biomasse: Standardisierung[3] Strom: Wirtschaftlichkeit[4] Strom: Emissionsintensität Erzeugung
Stahl	Scrap/EAF: Schrottqualität begrenzt Wechsel[5] Hochofen: Koksanteil Kuppelgase werden integriert verwertet
NM-Mineralien	Zement: Elektrisch/indirekt beheizte Drehrohöfen noch in früher Entwicklung[6] (TRL ~4) bzw. in kleiner Kapazität für andere Prozesse[7] Zement: Energiebedingte Emissionen nur 35-40% der Emissionen Glas: Wirtschaftlichkeit strombetriebene Schmelzöfen[8]
Raffinerien	Raffineriegase benötigen Senke Verwendung als Rohstoff in Chemie

1: z.B. Koppejan and Grem 2008
2: Scholz, Beckmann 1998
3: Jenkins et al. 1998
4: Han et al. 2017
5: Allwood 2016
6: Projekte Leilac, CemZero
7: z.B. IBU-tec
8: z.B. Stormont 2010

Nach dem Brennstoffwechsel kommt der Prozesswechsel



Bereich	
Querschnitt	■ Vollständiger Bestandsaustausch Dampferzeuger und Querschnittsöfen
Stahl	■ Phase-out von Hochöfen ■ H2-DRI, Plasma, elektrothermische Prozesse[1], Stahlschrottaufbereitung[2]
NM-Mineralien	■ Prozessemissionen: neue Rohstoffe, Zementsorten[3] ■ Vollständiger Austausch Glasschmelzöfen
Raffinerien	■ Umbau von Mineralöl- zu Bioraffinerien?

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

2: Allwood 2016

3: z.B. Lechtenböhmer 2016, Bataille 2018

5/11

Brennstoffwechsel in Industrieöfen ist eine wichtige Handlungsoption für 1.5°C-Emissionspfade

Konkretisierung von 1.5°C - Szenarien

	Fragestellung	Schlussfolgerung
1	Zielsetzung	1.5°C-Pfade erfordern ambitionierten Brennstoffwechsel der Industrie
2	Zielkonkretisierung Industrie	Wir differenzieren Brennstoffwechsel in vier Technologiegruppen der Industrie
3	Handlungsoptionen	Das mittelfristige Emissionsreduktionspotential durch Brennstoffwechsel ist erheblich
4	Herausforderungen	Technologiegruppen stellen individuelle Herausforderungen für weiteren Brennstoffwechsel
5	Ausblick	Nach dem Brennstoffwechsel kommt der Prozesswechsel

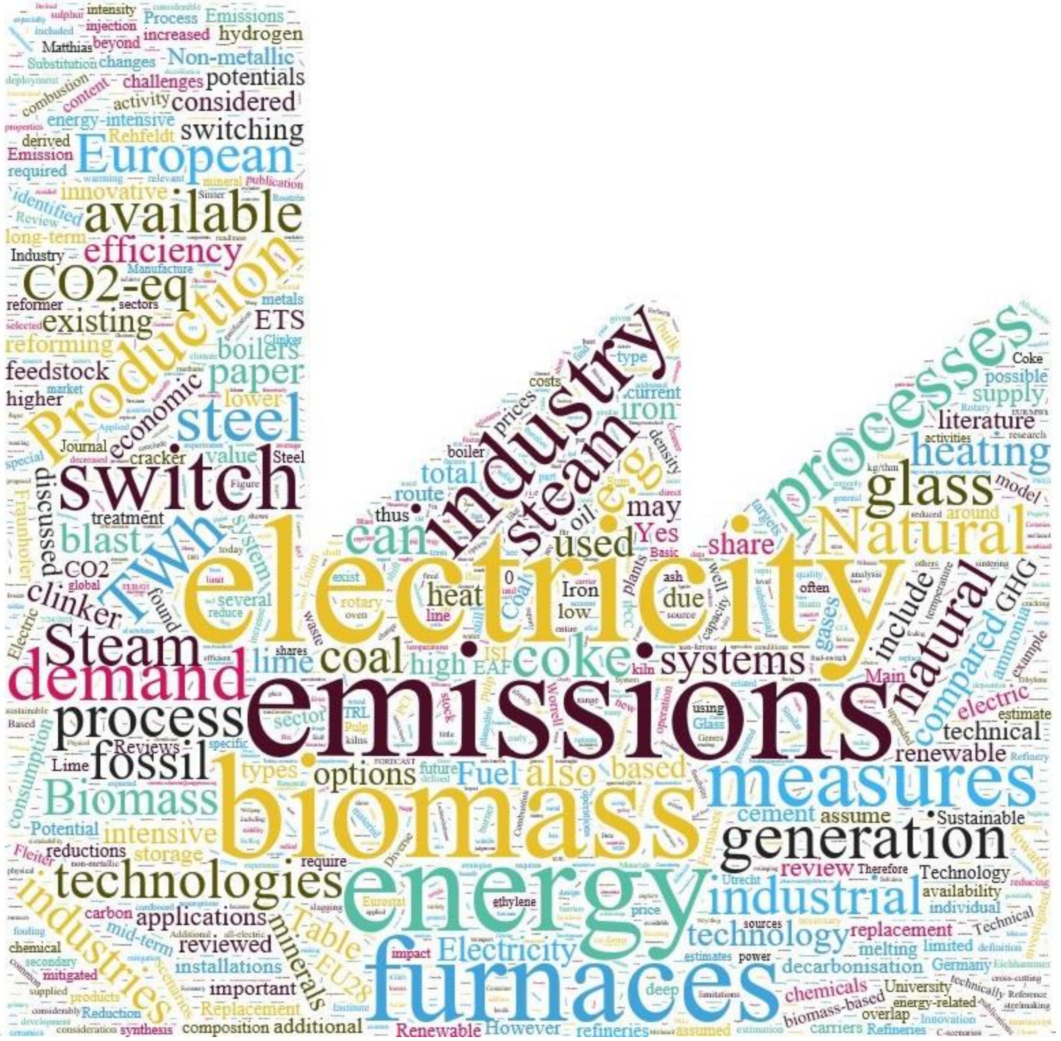
Brennstoffwechsel in Industrieöfen ist eine wichtige Handlungsoption für 1.5°C-Emissionspfade

Konkretisierung von 1.5°C - Szenarien

	Fragestellung	Schlussfolgerung
1	Zielsetzung	1.5°C-Pfade erfordern ambitionierten Brennstoffwechsel der Industrie
2	Zielkonkretisierung Industrie	Wir differenzieren Brennstoffwechsel in vier Technologiegruppen der Industrie
3	Handlungsoptionen	Das mittelfristige Emissionsreduktionspotential durch Brennstoffwechsel ist erheblich
4	Herausforderungen	Technologiegruppen stellen individuel Herausforderungen für weiteren
5	Ausblick	Nach dem Brennst Prozesswechsel

Voraussetzung: Emissionsarmer Strom vor 2030

Haben wir etwas vergessen?



Wordcloud aus Rehfeldt et al. 2019 (im Review)

- Technische Limitierungen?
- Weitere Handlungsoptionen?
- Aktuelle Entwicklungen?
- Wirtschaftliche Trends?

Kontaktieren Sie mich bei Fragen, Anregungen oder Diskussionsbedarf

Fragen?

Anregungen?

Diskussionsbedarf?

Kontakt

FORECAST
FORecasting Energy Consumption Analysis and Simulation Tool

eLOAD
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

IPCC 2018: *Global Warming of* 1.5°C – *Summary for Policymakers*.

EEA 2018a: Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2016 and inventory report 2018

EEA 2018b: EU Emissions Trading System (ETS) data viewer. Available at: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1, last checked 4/4/2019.

Herbst, Andrea; Fleiter, Tobias; Sensfuß, Frank; Pfluger, Ben; Maranon-Ledesma, Hector 2018: *Low-carbon transition of EU industry by 2050.*

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.; Fischedick, Manfred; Lechtenböhmer, Stefan; Solano-Rodriquez, 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.

Koppejan, Jaap; Grem, Gerrit 2008: *Cofiring and co-processing biomass with coal.*

Scholz, R.; Beckmann, M. 1998: *Substitution von Brennstoffen und Rohstoffen durch Abfälle in Hochtemperaturprozessen*. In: 11. DVV-Kolloquium Stoffliche und thermische Verwertung von Abfällen in industriellen Hochtemperaturprozessen. Braunschweig.

Jenkins, B.M; Baxter, L.L; Miles, T.R 1998: *Combustion properties of biomass*. In: Fuel Processing Technology 54 (1-3), 17–46. 10.1016/S0378-3820(97)00059-3.

Han, Yafeng; Shen, Bo; Zhang, Tong 2017: *A Techno-economic Assessment of Fuel Switching Options of Addressing Environmental Challenges of Coal-Fired Industrial Boilers*. In: Energy Procedia 142, 3083–3087. 10.1016/j.egypro.2017.12.448.

Stormont, Richard 2010: *Electric melting and boosting for glass quality improvement*. In: Glass Worldwide.

Rehfeldt, M.; Worrell, E; Eichhammer, W.; Fleiter, T. 2019: *Review of the Emission Reduction Potential of Fuel Switch towards Biomass and Electricity in European Basic Materials Industry until 2030*. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews (under consideration for publication).

Backup: Technology Readiness Level

- TRL 1 – basic principles observed
- TRL 2 – technology concept formulated
- TRL 3 – experimental proof of concept
- TRL 4 – technology validated in lab
- TRL 5 – technology validated in relevant environment (industrially relevant environment)

- TRL 6 – technology demonstrated in relevant environment (industrially relevant environment)
- TRL 7 – system prototype demonstration in operational environment
- TRL 8 – system complete and qualified
- TRL 9 – actual system proven in operational environment

Quelle: European Commission. Impact on the Environment and the Economy of Technological Innovations for the Innovation Fund (IF); 2018.

Backup: Industrieöfen - Klassifikation

- Angelehnt an VDMA 24202 sind ‚Querschnittsöfen' solche mit den Verfahren
  - Erwärmen
  - Trocknen
  - Wärmebehandeln
  - Brennen
  - Verdampfen
  - ...
- Abgrenzung zu den besonders wichtigen Ofentypen
  - Drehrohrofen (Verfahren ‚Sintern')
  - Hochofen (Verfahren ‚Schmelzen', ‚Reduzieren')
  - Glasschmelzofen

Backup: Emissionen nach ETS-Aktivitäten

Activity		Emissions 2015 [Mt CO2-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
21-44	**SUM**	**574**

Backup: Brennstoffwechsel 1990-2016

1990-2016[1]	Änderung Gasanteil	Änderung Erneuerbare Anteil	Änderung fest/flüssig Anteil
Industrie	**8%**	**7%**	**-14%**
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

Brennstoffwechselpotentiale sind wichtige Handlungsoptionen für 1.5°C-Emissionspfade

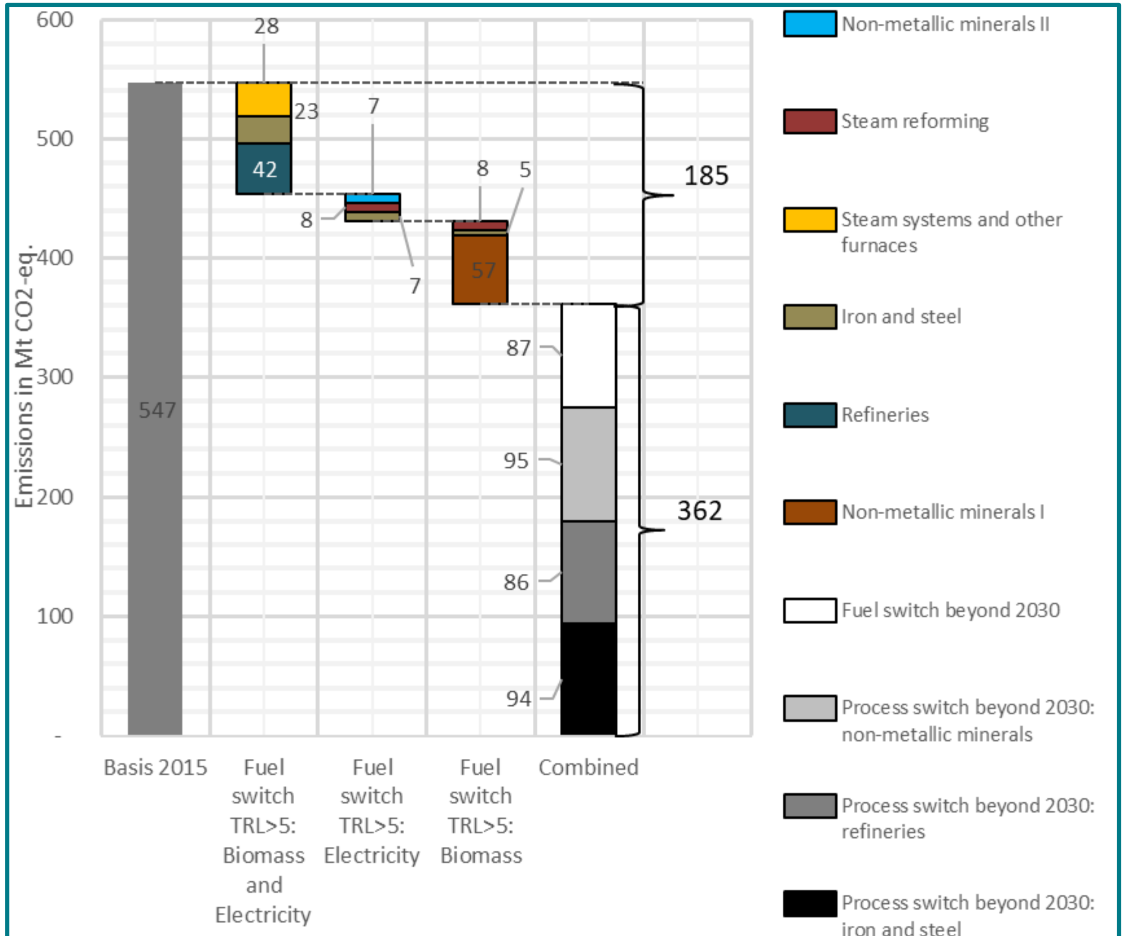
Titel	FORECAST-Methodik wird auf Mittelfristziel für 1.5°C-Szenarien angewendet	Agenda
1.5°C-Pfade erfordern ambitionierten Brennstoffwechsel der Industrie	Wir differenzieren Brennstoffwechsel in vier Technologiegruppen	Das mittelfristige Emissionsreduktions-potential durch Brennstoffwechsel ist erheblich
Technologiegruppen stellen individuelle Herausforderungen für weiteren Brennstoffwechsel	Nach dem Brennstoffwechsel kommt der Prozesswechsel	
	Abbinder	Schluss

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



Rehfeldt et al. 2019 (im Review)