

FfE

Kosteneffiziente Industriewende

Tobias Hübner, FfE und TU München

11.09.2020

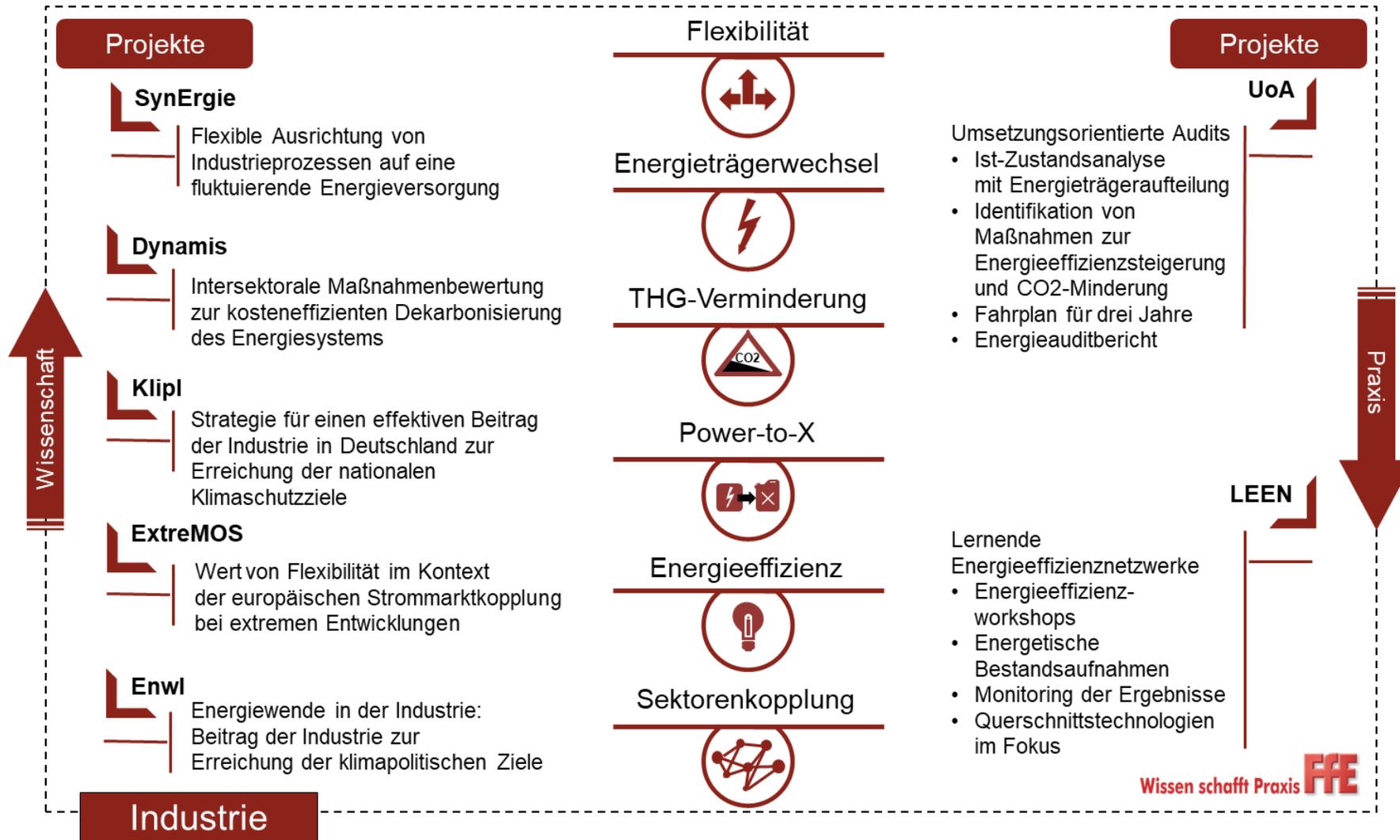
16. Symposium Energieinnovation, TU Graz

2020

Inhalt

- Forschung an der FfE
- Hintergrund: Industriewende
- Methoden in der Industriemodellierung
- Ergebnisse: Transformationspfad in der Industrie
- Zusammenfassung mit Fazit und Ausblick

Aktuelle Wissenschaft und Praxis an der FfE

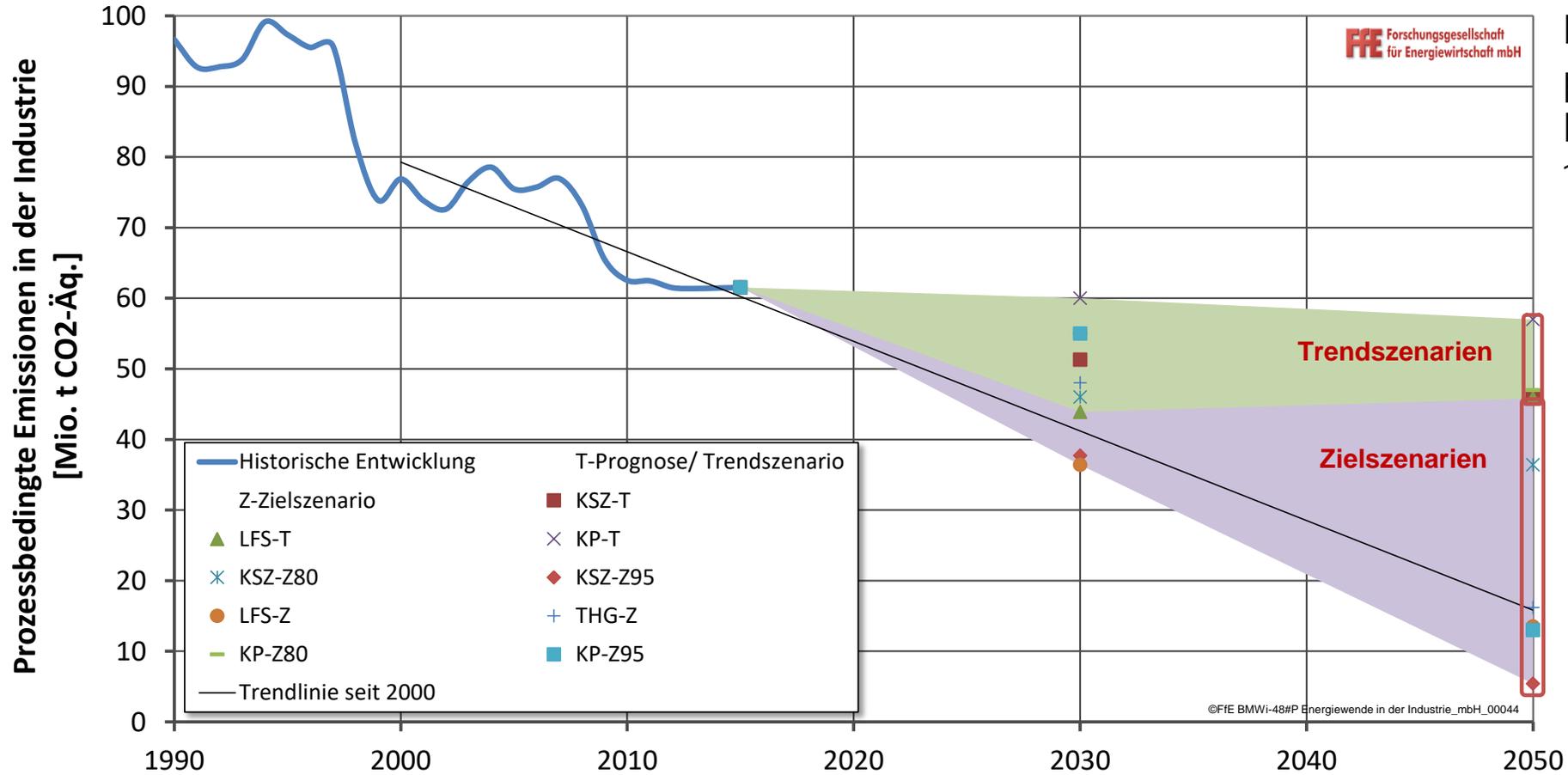


Industriewende

Hintergrund
und Motivation

Beitrag des deutschen Industriesektor: Wieviel bitte?

Metastudienanalyse von sechs energie- und klimapolitischen Szenarien



Entwicklung
prozessbedingter
Industrieemissionen
1990-2050

Einigkeit in der Uneinigkeit: Wie viel muss der Industriesektor leisten?

Defossilsierung der Industrie erfordert Maßnahmenmix

Um die ambitionierten industriellen Klimaziele kosteneffizient zu erreichen, sind technologieoffene Maßnahmenpakete zur THG-Vermeidung erforderlich, die neben der Elektrifizierung sowie inkrementeller Effizienz und Suffizienz, weitere THG-Vermeidungsmaßnahmen berücksichtigen.

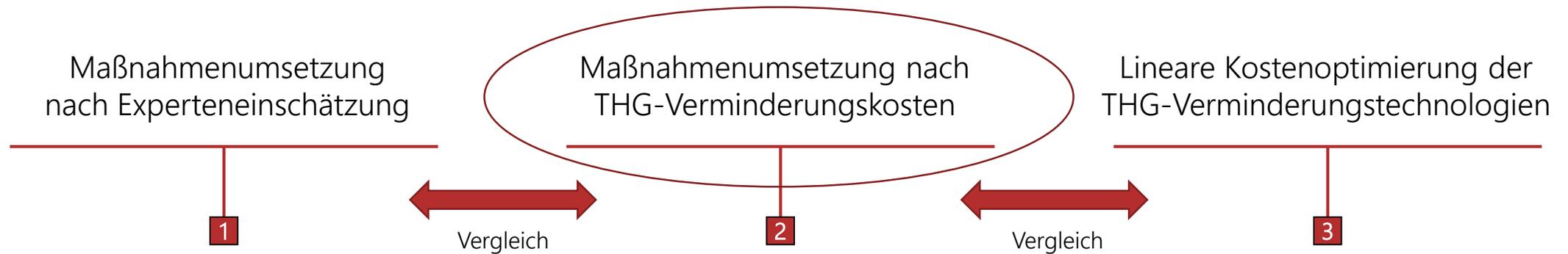
Im Sinne der Dynamis-Ergebnisse: 95% THG-Vermeidung

Methodik

Industriemodellierung



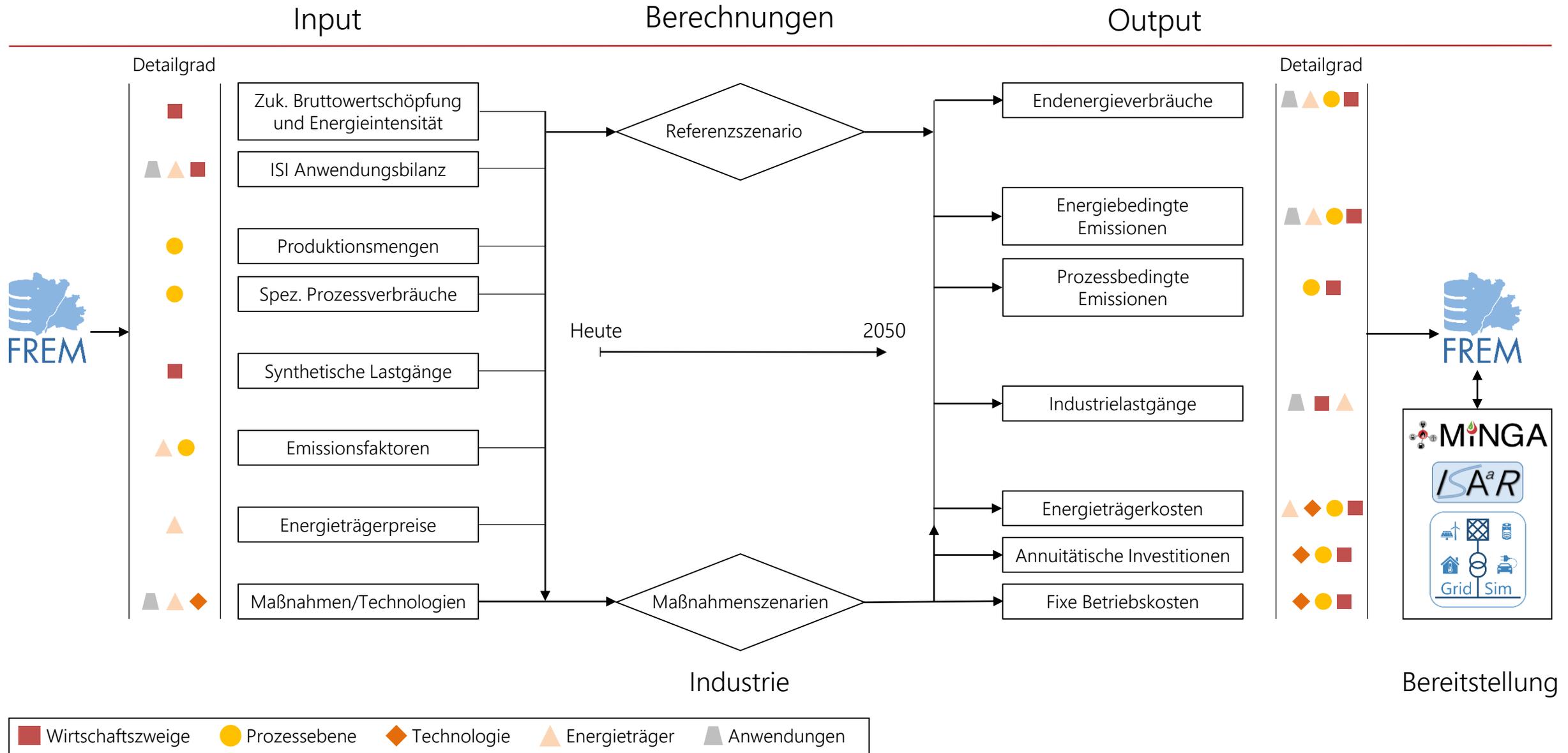
Methodik



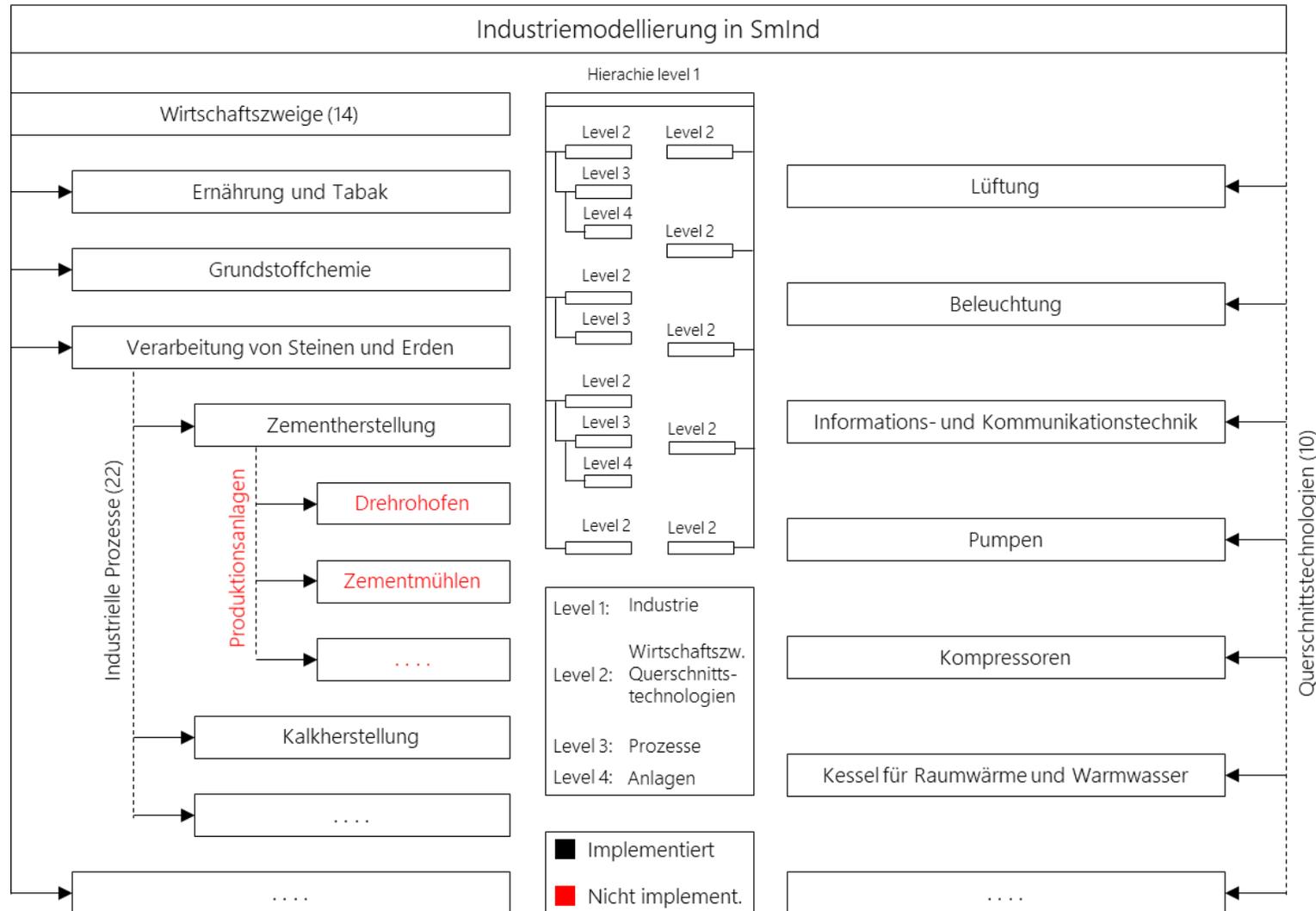
Kurzfristig: Mehrwert einer linearen Kostenoptimierung im Industriesektor herausarbeiten

Langfristig: Mehrwert einer linearen Kostenoptimierung im Industriesektor herausarbeiten

Das Sektormodell Industrie (Smlnd)



Technologieüberblick in Smlnd



- In Smlnd werden Prozess- und Querschnittstechnologien unterschieden
- THG-Verminderungsmaßnahmen und die Referenzentwicklung beeinflussen den Endenergieverbrauch von Prozessen, Wirtschaftszweigen und der Industrie
- Einzelne Produktionsanlagen sind (noch) nicht Bestandteil des Modells

Technologiemixszenario in der Industrie (1)

1. Liste aller relevanten THG-Minderungsmaßnahmen und der damit verbundenen Parameter wie potenzielle Energieeinsparungen, CAPEX und OPEX, Anwendungsfaktor, Austauschrate, Lebensdauer der Technologie uvm.
2. Jahresspezifische THG-Verminderungskosten je nach Maßnahmenkategorie berechnen und Liste danach priorisieren

$$AC_j = \frac{c_M - c_{Ref}}{em_{Ref} - em_M} = \frac{\Delta c}{\Delta em}$$

AC_j	[€/t _{CO2}]:	abatement costs of measure j	em_M	[t _{CO2}]:	emissions with measure
c_{Ref}	[€]:	costs of reference	em_{Ref}	[t _{CO2}]:	emissions reference
c_M	[€]:	costs of measure	Δem	[t _{CO2}]:	delta in emissions
Δc	[€]:	delta in costs			

3. Restriktionen definieren, die die Maßnahmenumsetzung steuern

$$3.1 \int MI(t)_j = Potential\ of\ MI(t)_j$$

$$3.2 \int TOTEX(t)_j = Budget(t)$$

$$3.3 \int CO2(t)_j = CO2target(t)$$

$MI(t)_j$	[tons/factories]:	Measure implementation measure j	$TOTEX(t)_j$	[t _{CO2}]:	Total costs of measure j
-----------	-------------------	----------------------------------	--------------	----------------------	--------------------------

4. Maßnahmen in Abhängigkeit der Restriktionen implementieren. Reinvestition nach auszutauschender Produktionskapazität

Technologiemixszenario in der Industrie (2)

5. Unterschiedliche Methoden je nach Maßnahmenkategorie erforderlich, um die Auswirkungen der einzelnen Maßnahmen auf den Energieverbrauch, die Temperaturverteilung der Prozesswärme, das Produktionsvolumen und Lastprofile unter der Berücksichtigung der Referenzentwicklung ermitteln

$$P_{TM,t} = P_{TM,t-1} + \Delta P_{Ref} + ME_{P,t}$$

$P_{TM,t}$: parameter in technology mix including reference change in t
 $ME_{P,t}$: measure effect on parameter P in t

ΔP_{Ref} : change of parameters in reference according to time step t

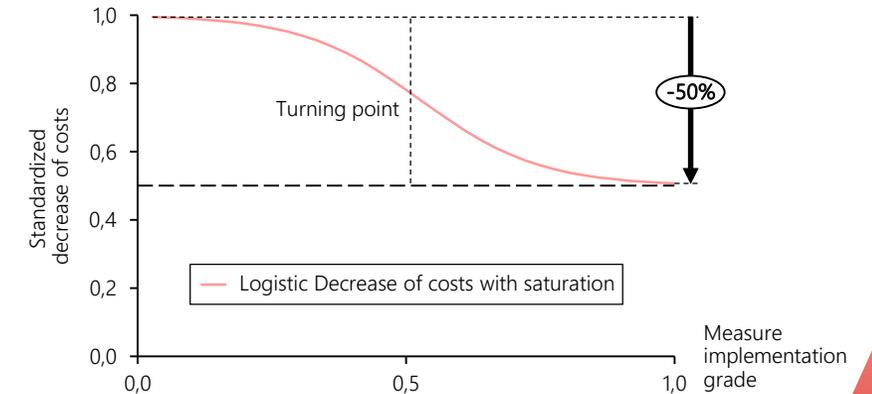
6. Zusätzlich: Lernkurven für die Investition in Abhängigkeit von der Ausbringungsmenge. Invertiertes logistisches Wachstum mit Sättigung (Differentialgleichung nach Bernoulli)

$$6.1 \quad f'(t) = k \cdot f(t) \cdot (G - f(t))$$

$$6.3 \quad MIG(t)_j = \frac{MI(t)_j}{MP_j}$$

$$6.2 \quad f(t) = G \cdot \frac{1}{1 + e^{-k \cdot G \cdot t} \cdot \left(\frac{G}{f(0)} - 1\right)}$$

$$6.4 \quad invest(t)_j = invest(t_o)_j - (invest(t_o)_j \cdot f(MIG))$$



$f'(t)$ [€]: change of the parameter
 k [€]: proportionality constant
 t [a]: time
 $MI(t)_{p,j}$ [t]: measure implementation according to production volume per year

G [1/a]: upper barrier for growth
 $f(t)$ [€/a]: current value of the parameter
 $MIG(t)_j$ [%]: Measure implementation grade in t of j
 MP_j [tons, factories or MWh]: measure potential of j

Ergebnisse

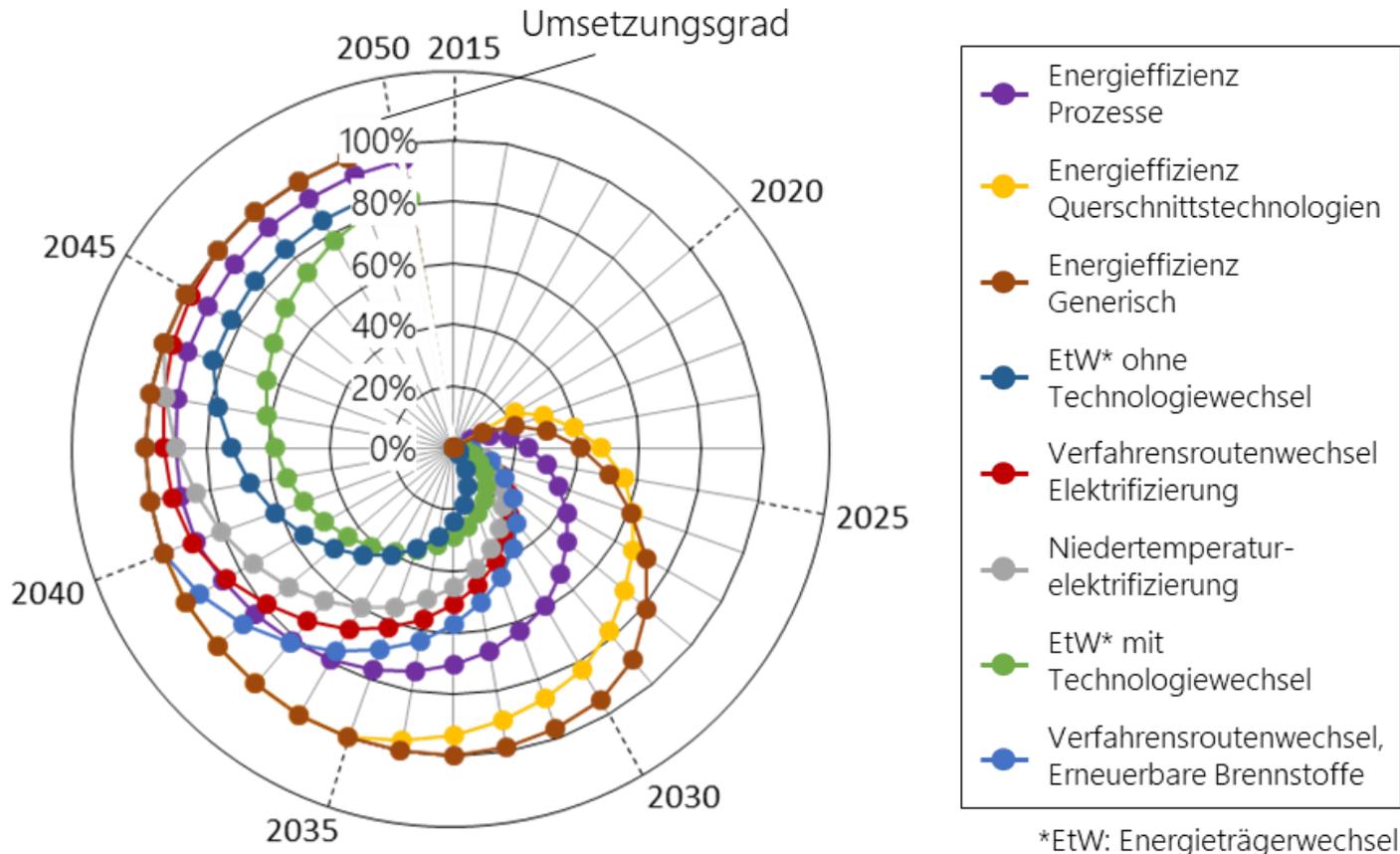
Technologiemixszenario

Technologiemixszenario – Perspektive und Rahmenbedingungen

Szenarienperspektive	Makroökonomisch	Budget	Unbegrenzt
Betrachteter Zeitraum	2015-2050	Zinssatz	3.5%
Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none">Keine Optimierung, Priorisierung nach statischen THG-Verminderungskosten	Energiepreise	Steigend
	<ul style="list-style-type: none">Implementierung zwischen 2021 und 2050	CO ₂ -Preis	Kein zusätzlicher CO ₂ -Preis, da makroökonomische Perspektive
	<ul style="list-style-type: none">Natürliche ReinvestitionMit Technologielernkurven		
Biomasse	Moderate Nutzung	Emissionsfaktoren	Konstant, Stromemissionsfaktor sinkt deutlich
CO ₂ -Abscheidung	Niedrig	Produktionsmenge	Exogen im Referenz-, endogen im Technologiemixszenario

Natürliche Reinvestitionszyklen, heißt?

Maßnahmenhochlauf der **Maßnahmenkategorien**
mit natürlichen Austauschraten



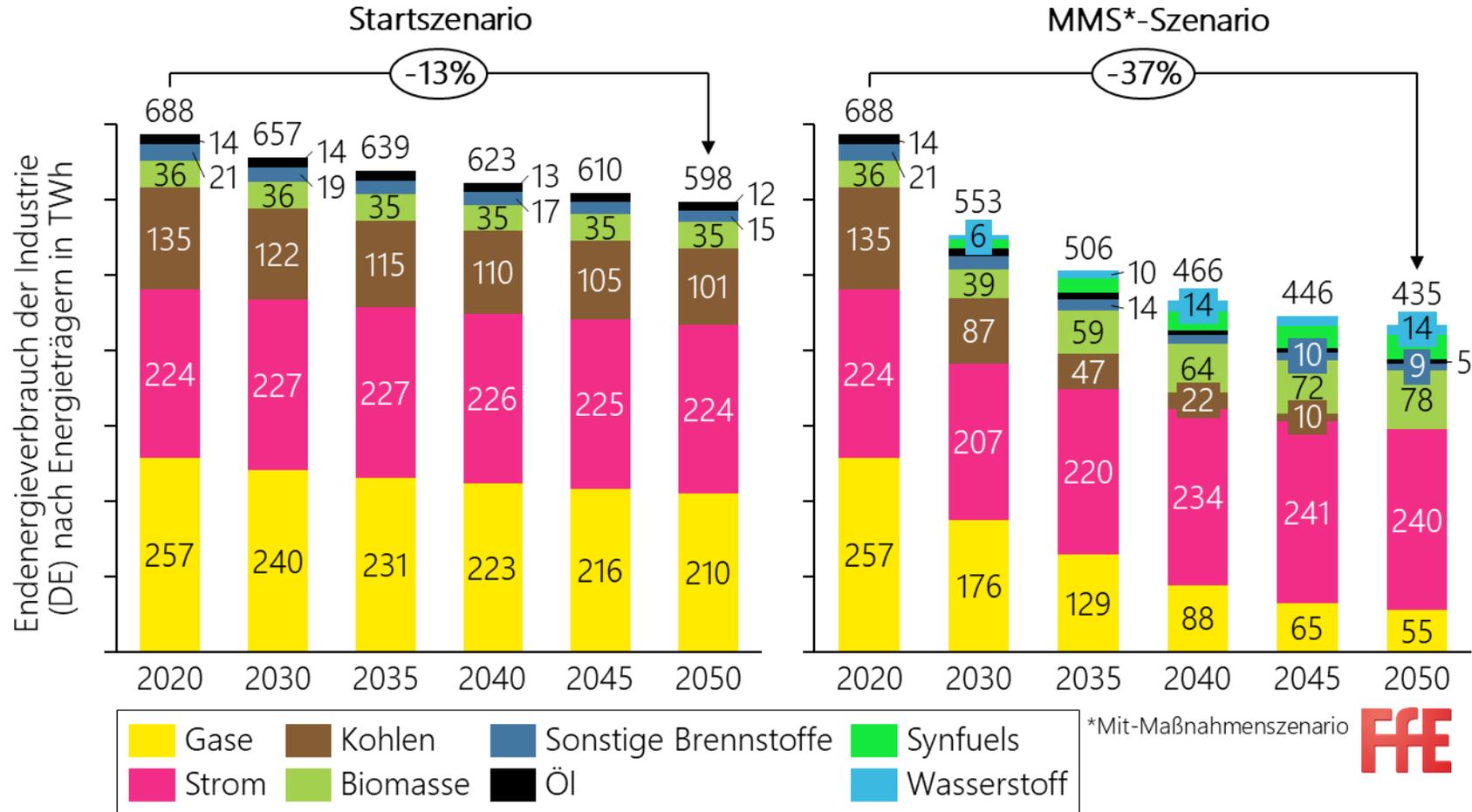
Gute Nachricht:

Viele THG-Verminderungsmaßnahmen können bis 2050 fast vollständig umgesetzt werden

Schlechte Nachricht:

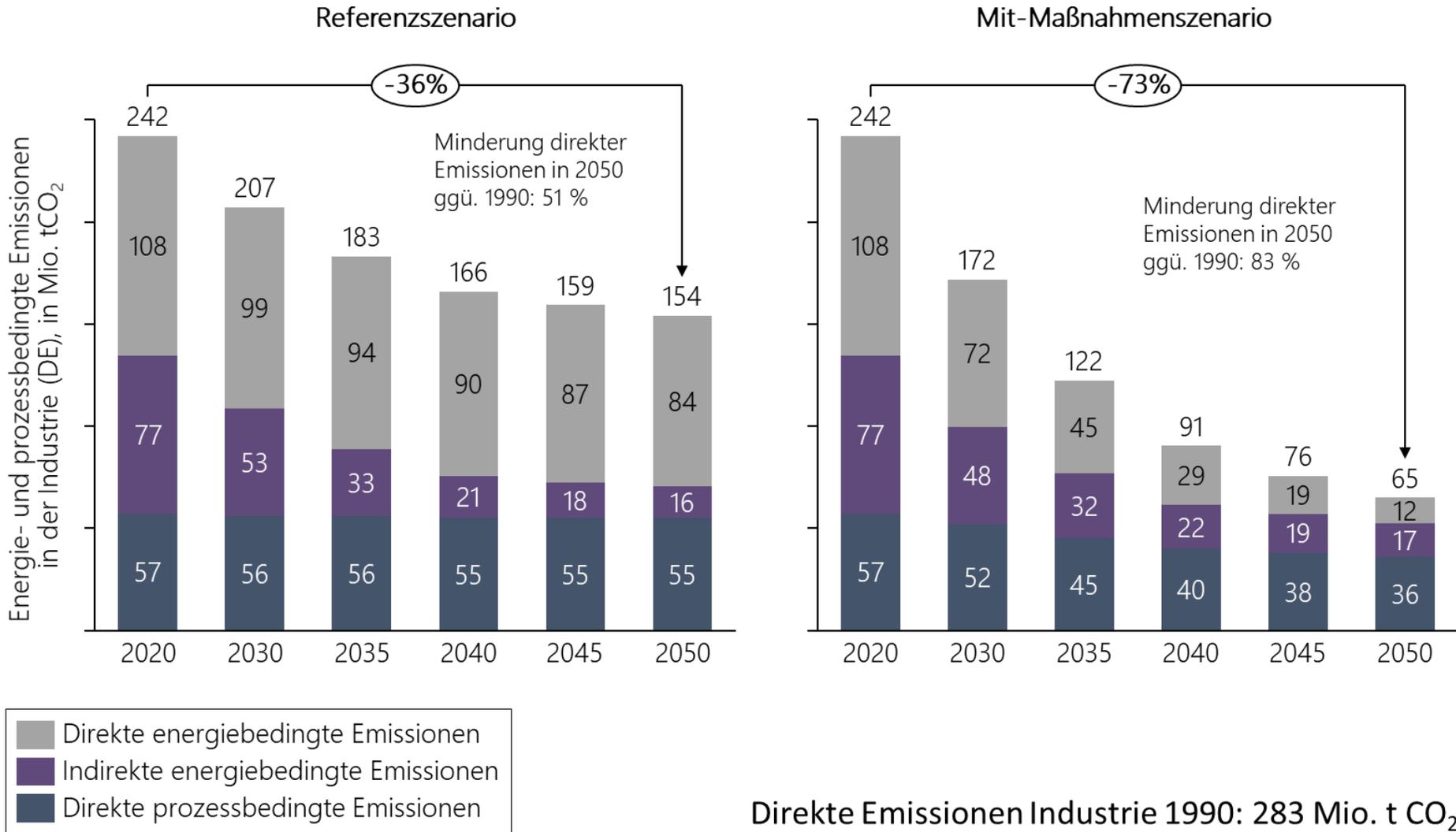
Zeit wird knapp, um Maßnahmenhochlauf zu starten

Energieverbrauchsentwicklung in den Szenarien



Strom und Erneuerbare Brennstoffe dominieren im Maßnahmenszenario....

Emissionsentwicklung in den Szenarien



Niedrigere Emissionsminderung im Vergleich zum Gesamtsystem, obwohl...

Verschiedene Maßnahmen zur Defossilisierung der Industrie

117 Einzelmaßnahmen zur Reduktion der industriellen CO₂-Emissionen

■ Strom ■ Brennstoffe ↑ Zunahme ↓ Abnahme → Keine Änderung



Energieeffizienz (99)*

- Prozesse wie die Produktion von Chlor und Zement
- Querschnittstechnologien wie RW&WW, Druckluft und Pumpen
- Generisch, ohne Technologieabbildung

Elektrifizierung (6)

- 6,8 Mio. t Elektrogas, 22 Mio. t Recyclingstahl
- Vollständige Elektrifizierung RW&WW und der Prozesswärme <100°C
- Weitestgehende Elektrifizierung der Prozesswärme <500°C

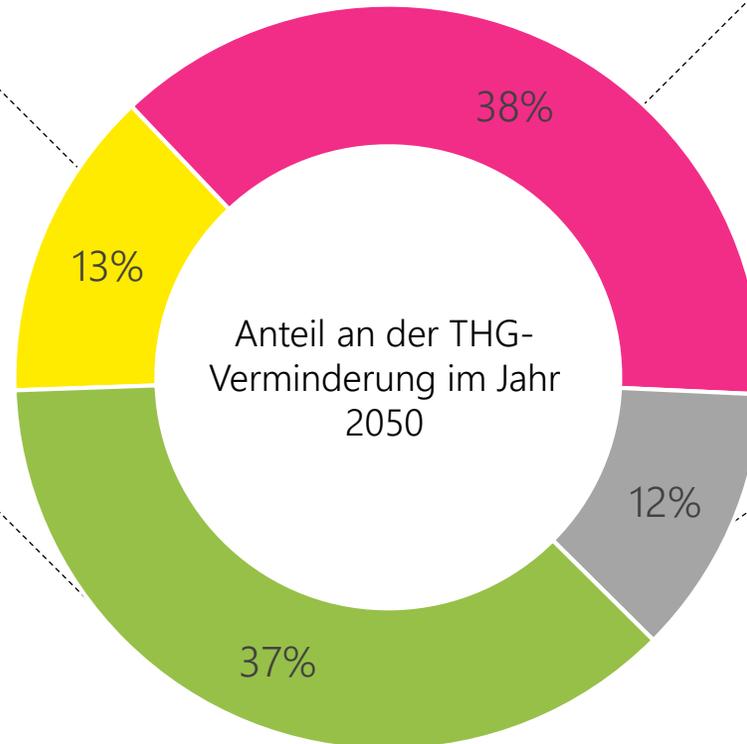
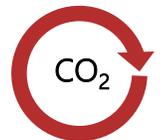


Erneuerbare Brennstoffe (10)

- Verfahrensroutenwechsel in der Stahlindustrie auf H₂-Route (10 Mio. t H₂-Stahl)
- Brennertausch in der Zement- und Kalkindustrie, um Gas einzusetzen
- Energieträgerwechsel ohne Technologiewechsel von Kohle auf Biomasse, Hochtemperatur

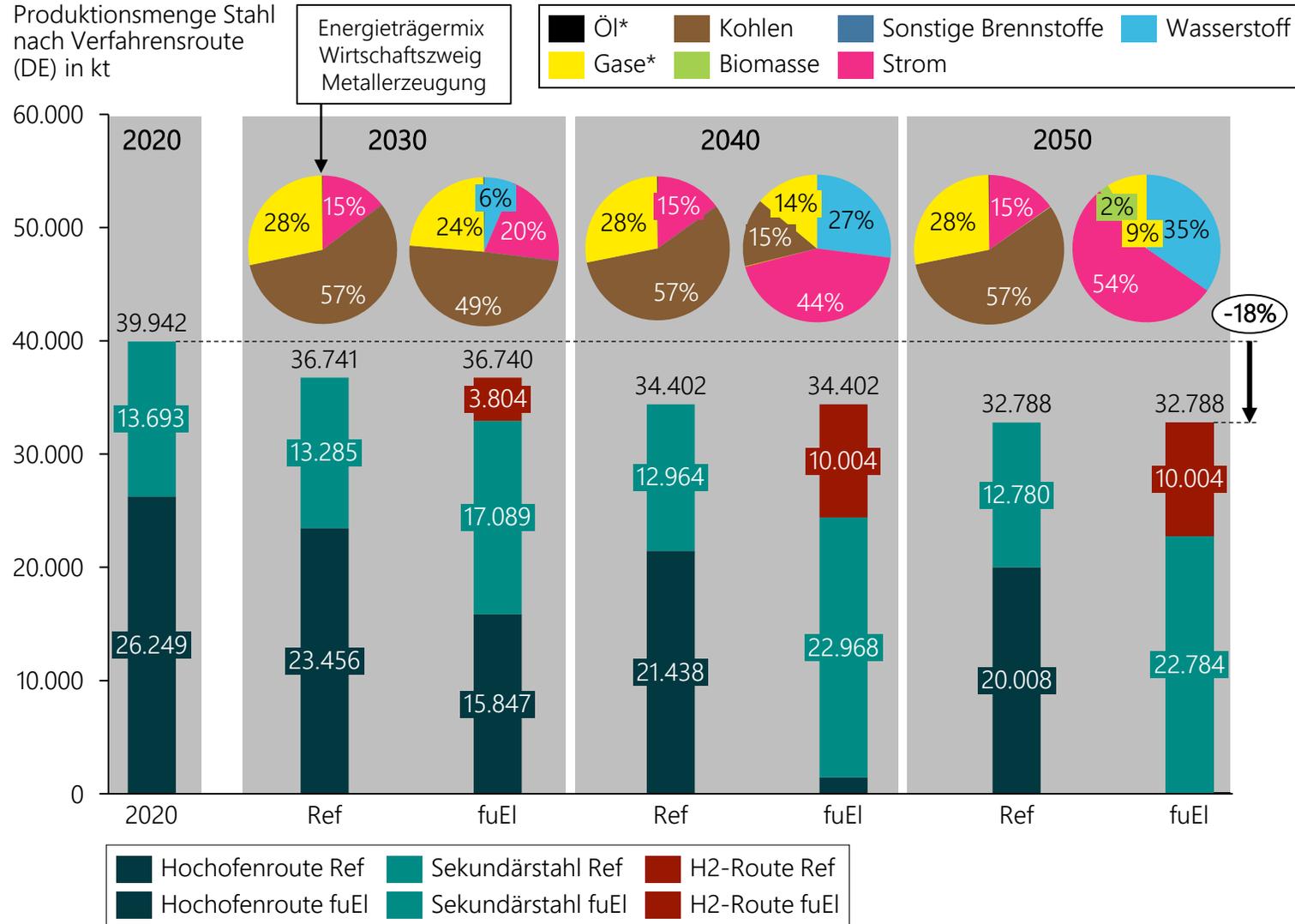
CO₂-Abscheidung (2)

- 11. Mio. t CO₂-Abscheidung in der Zementherstellung

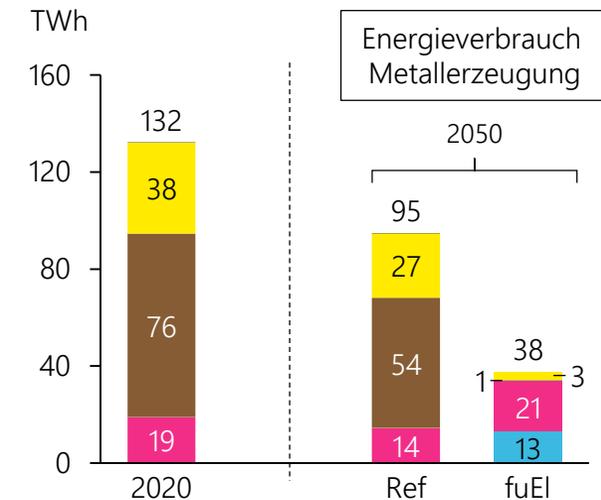


*Anzahl der in Smlnd hinterlegten Einzelmaßnahmen

Revolution statt Evolution in der Stahlindustrie

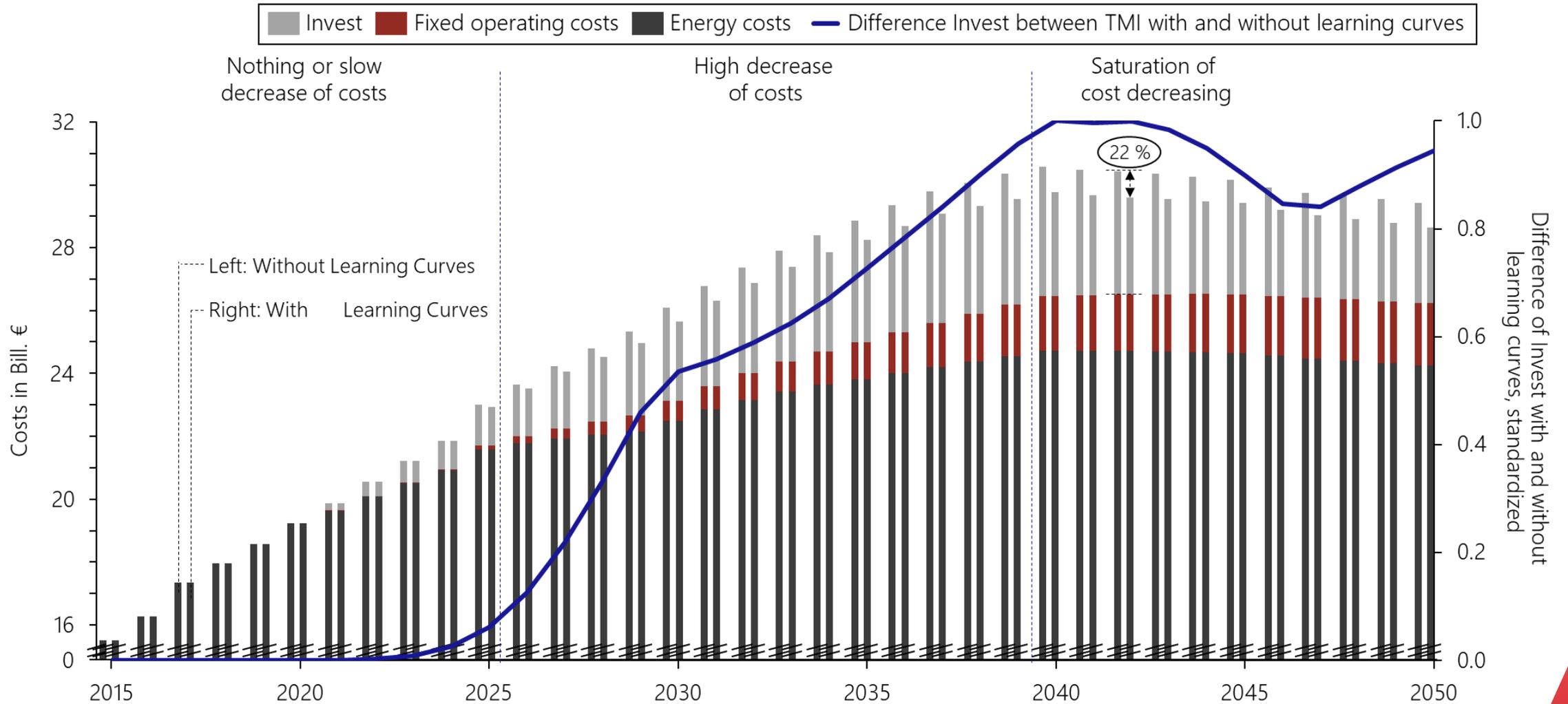


fuEl 2050: Keine Stahlproduktion mehr in der Hochofenroute



- Elektrifizierung +
- Energieeffizienz +
- Erneuerbare Brennstoffe +
- Exogene Minderung Produktion = Defossilisierung Stahlindustrie

Entwicklung der Kosten: Wirkung von Technologielernkurven



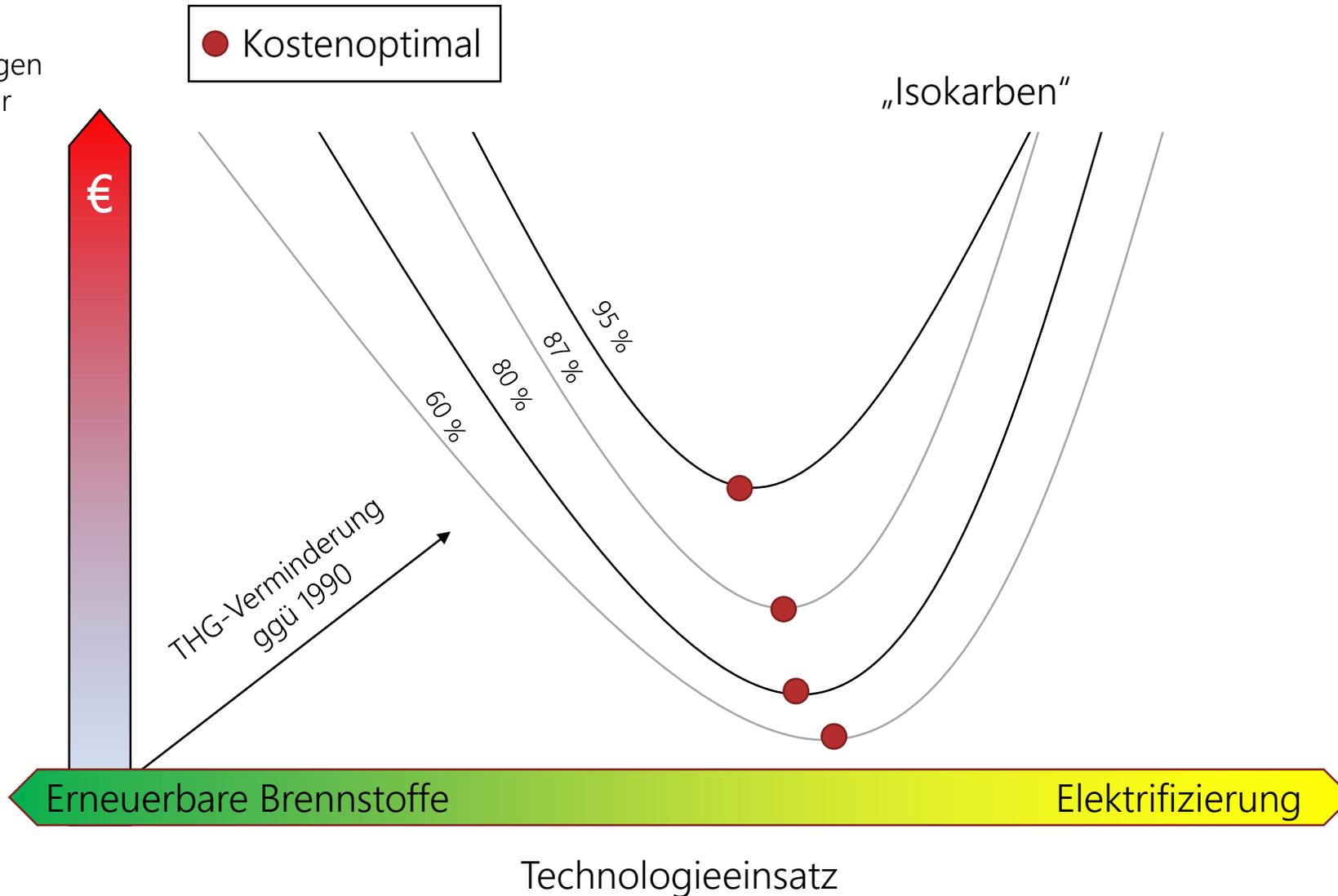
Zusammenfassung

Fazit und Ausblick

Kostenoptimaler Transformationspfad in der Industrie

Kosten

- 1) Anwendungen
- 2) Infrastruktur



Fazit und Ausblick

Fazit

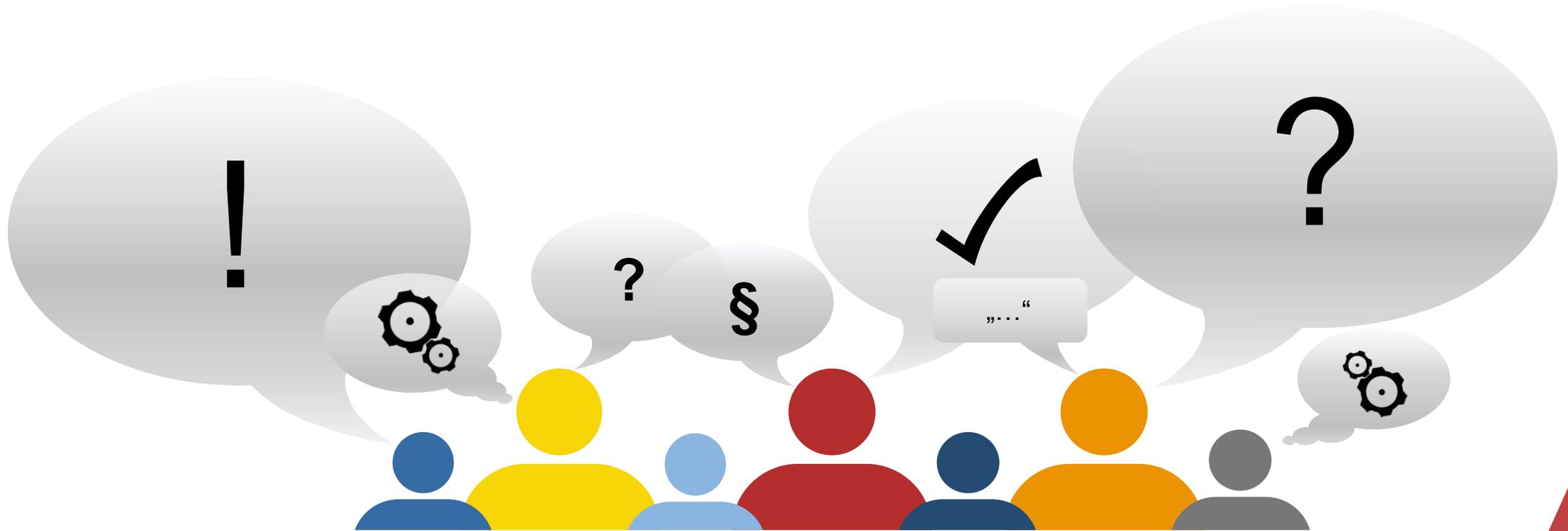
Die Defossilisierung der Industrie ist aufgrund deren Heterogenität besonders anspruchsvoll. Industriemodelle und verschiedene Umsetzungslogiken können als politische Entscheidungsgrundlage für die Förderung von Technologieinvestitionen genutzt werden

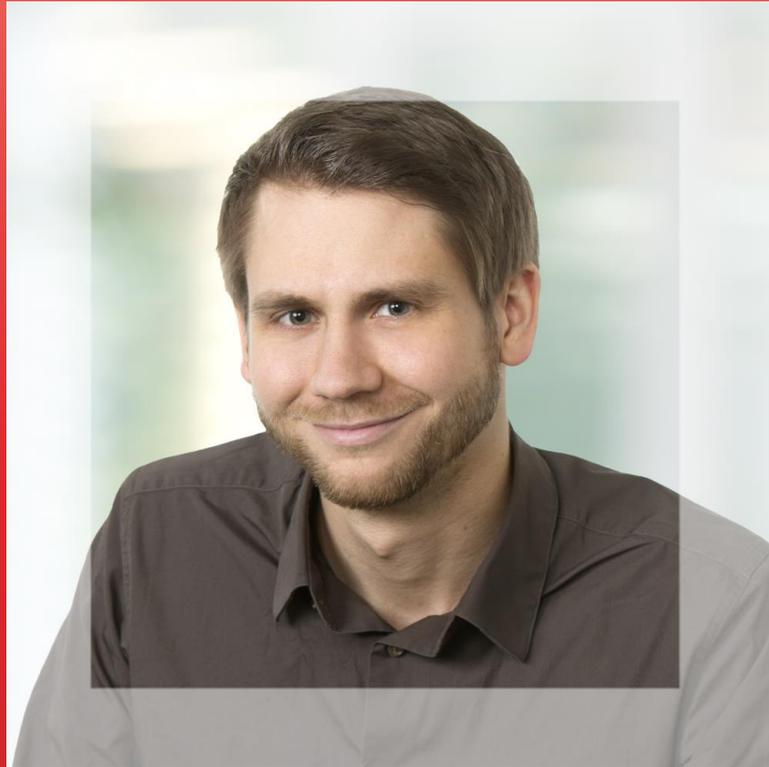
Letztendlich ist nicht absehbar, welchen Beitrag der Industriesektor leisten "muss". Eine vollständige Defossilisierung ist unter der Berücksichtigung von Carbon Capture aber auch aus heutiger Technologiesicht bereits möglich

Ausblick

Mehrwert der linearen Optimierung im Industriesektor herausarbeiten

Vielen Dank für ihr Interesse





Tobias Hübner, M. Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Promovend
 Forschungsgesellschaft für
 Energiewirtschaft mbH

Tel.: +49(0)89 15 81 21 – 36

Email: thuebner@ffe.de



Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH

Am Blütenanger 71

80995 München

Tel.: +49(0)89 15 81 21 – 36

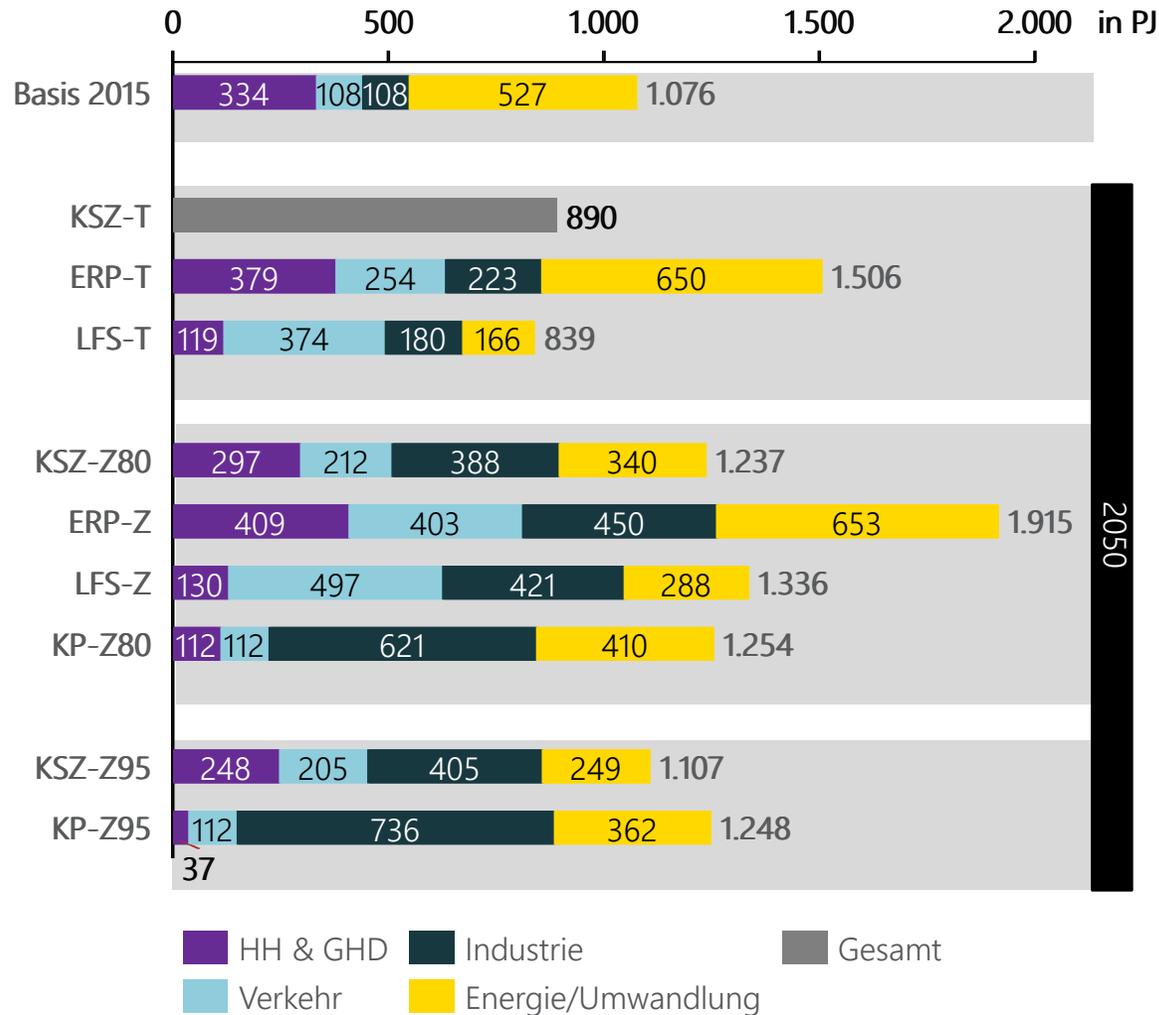
Email: info@ffe.de

Internet: www.ffegmbh.de

Twitter: @FfE_Muenchen

Backup

Warum nicht Biomasse?



Ausgangsbasis:

- Begrenzte Verfügbarkeit von Anbauflächen
- Anbau hat negative Konsequenzen auf Wasser, Boden und Biodiversität
- Nutzungskonkurrenzen (Intersektoral, Lebensmittel)
- Deutlicher THG-Minderungsbeitrag durch Biomasse in den Sektoren

Absolut:

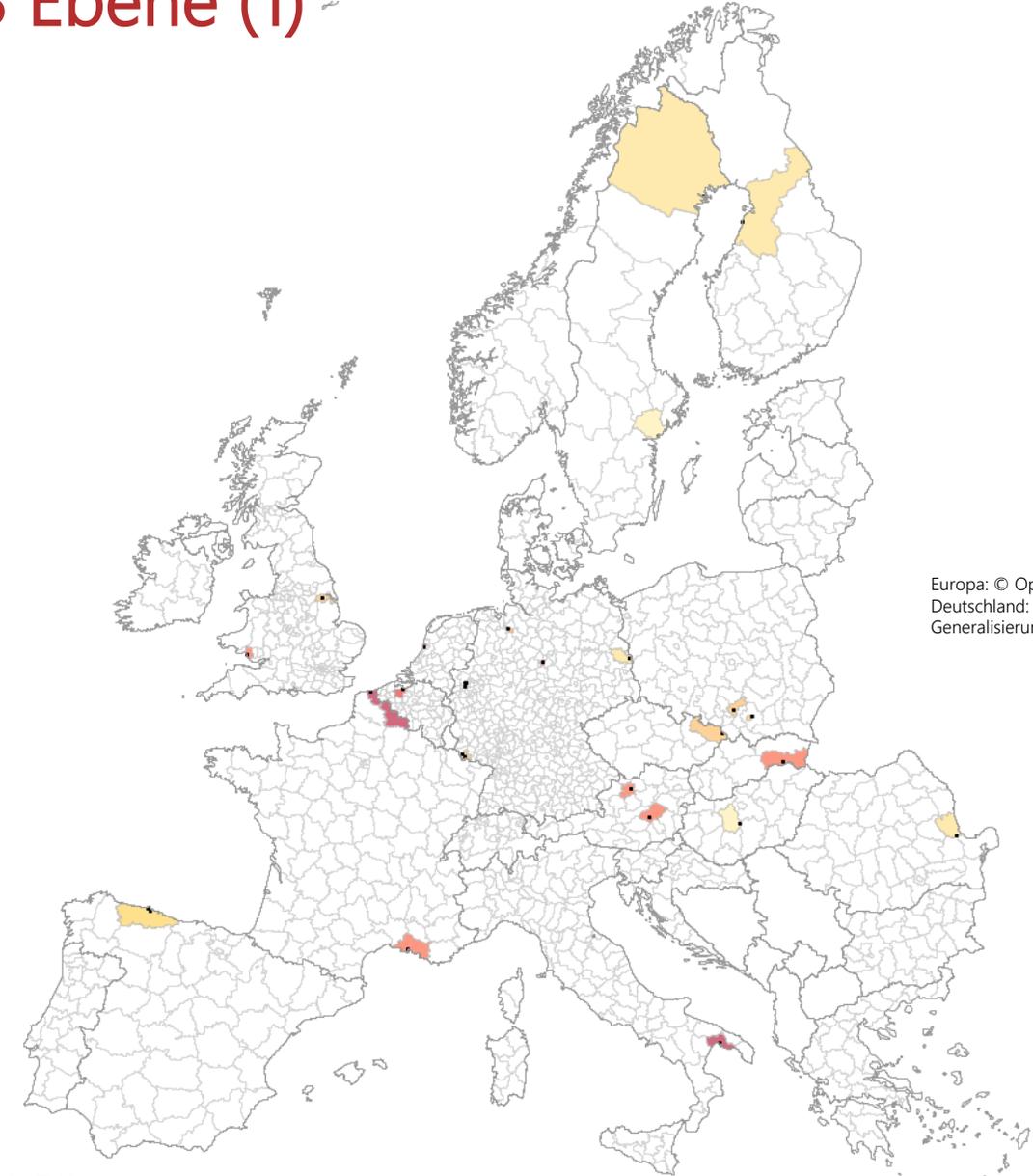
Keine generelle Aussage möglich.
Tendenziell erhöhte Biomassennutzung in den Zielszenarien (Bis auf KSZ)

Intersektoral

- Verschiebung vom Energiesektor in den Industriesektor
- Verschiebung von Energie zum Verkehrssektor (Bis auf Klimapfade)

Wasserstoffverbrauch auf NUTS-3 Ebene (1)

- Zukünftiger Wasserstoffverbrauch der Stahlindustrie ist in Europa verteilt
- Einzelne Lastzentren in den Niederlanden, Belgien und im Ruhrgebiet
- Einzelner großer Standort in Italien



Europa: © OpenStreetMap-Mitwirkende
 Deutschland: © GeoBasis-DE / BKG 2017
 Generalisierung: FFE e.V.

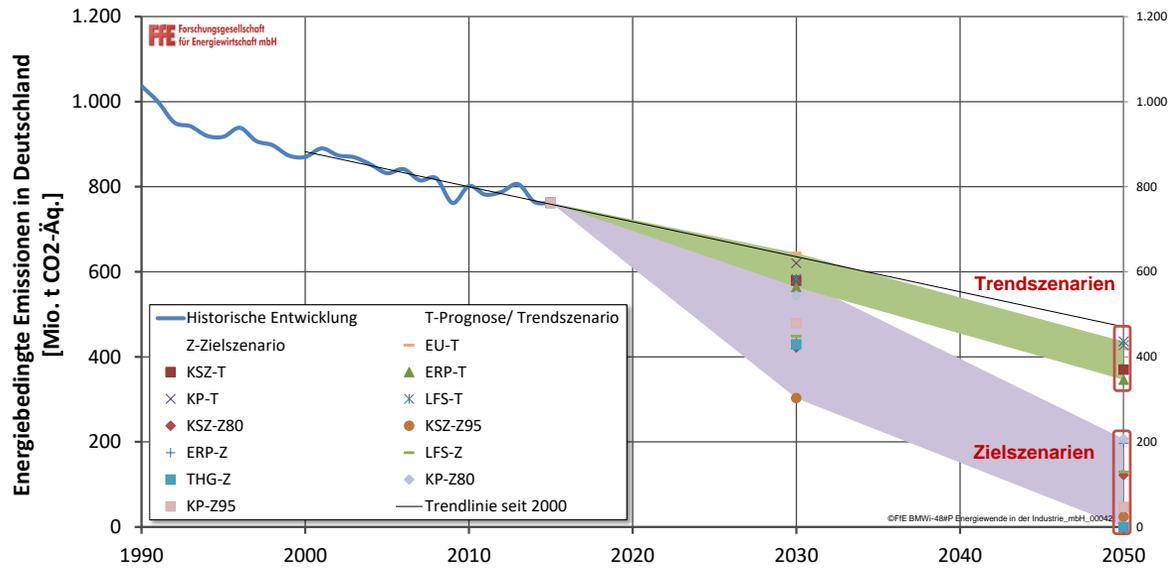


in TWh

Beitrag des deutschen Industriesektor: Wieviel bitte?

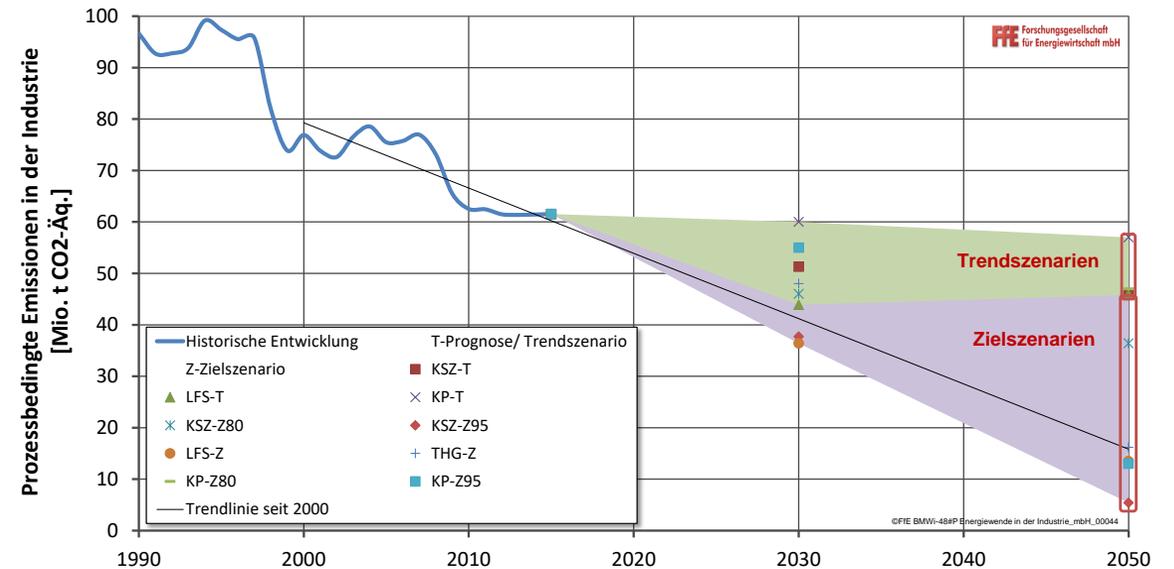
Meta-Studienanalyse von sechs energie- und klimapolitischen Szenarien

Entwicklung energiebedingter Industrieemissionen



1990-2050

Entwicklung prozessbedingter Industrieemissionen



1990-2050

Einigkeit in der Uneinigkeit: Wie viel muss der Industriesektor leisten?

Defossilisierungsoptionen in den Endenergiesektoren

<u>Lösungsoption</u>	<u>Beispiele</u>	<u>Relevanz Defoss.</u>
Effizienz	Abwärmenutzung, Prozesssteuerung, Querschnittseffizienz	Gering, da Stromemissionsfaktor nahe Null; hoch, um Druck auf Bereitstellungssektor zu mindern
Direkte Elektrifizierung	Wärme und mechanische Energie + Solare Wärme	Sehr hohe Relevanz, effiziente Nutzung erneuerbarer Energien
Indirekte Elektrifizierung	Wasserstoff, synthetisches Methan	Sehr hohe Relevanz, Nutzung EE + kurz und langfristige Flexibilität
Biomasse	Rohbiomasse, Biogas	Hohe Relevanz, Grundlastfähig – aber nachhaltiges Potenzial begrenzt
Carbon Capture	Pre-Combustion, Oxyfuel Combustion, Post-Combustion	Relevant, aber gesellschaftlich nicht akzeptiert
Suffizienz	Verzicht auf Fleisch, Mobilität, Konsum usw.	Relevant, aber gesellschaftlich nicht akzeptiert
Sonstige	Bspw. Methanpille für Kühe oder veränderte Landnutzung	Beitrag nicht abzuschätzen