



**Wuppertal
Institut**

Agora
Energiewende



Technologie- und Politikoptionen für eine klimaneutrale Grundstoffindustrie

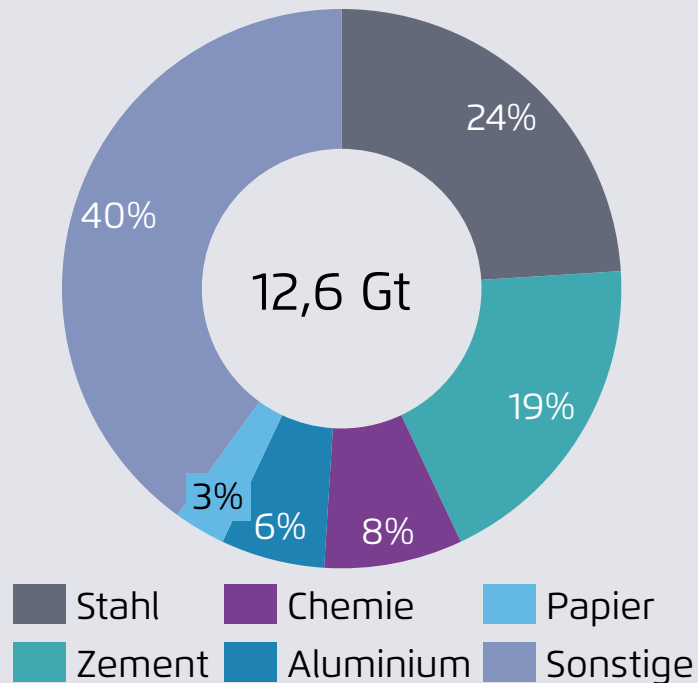
*Handlungsoptionen für die Stahl-, Zement-
und Chemieindustrie*

Prof. Dr. Stefan Lechtenböhmer, Frank Peter
ESSEN, 4. DEZEMBER 2019



Die Transformation der Industrie ist aus Gründen des Klimaschutzes zwingend notwendig, sie steht für 40 Prozent der weltweiten CO₂-Emissionen

Weltweite CO₂-Emissionen der Industrie

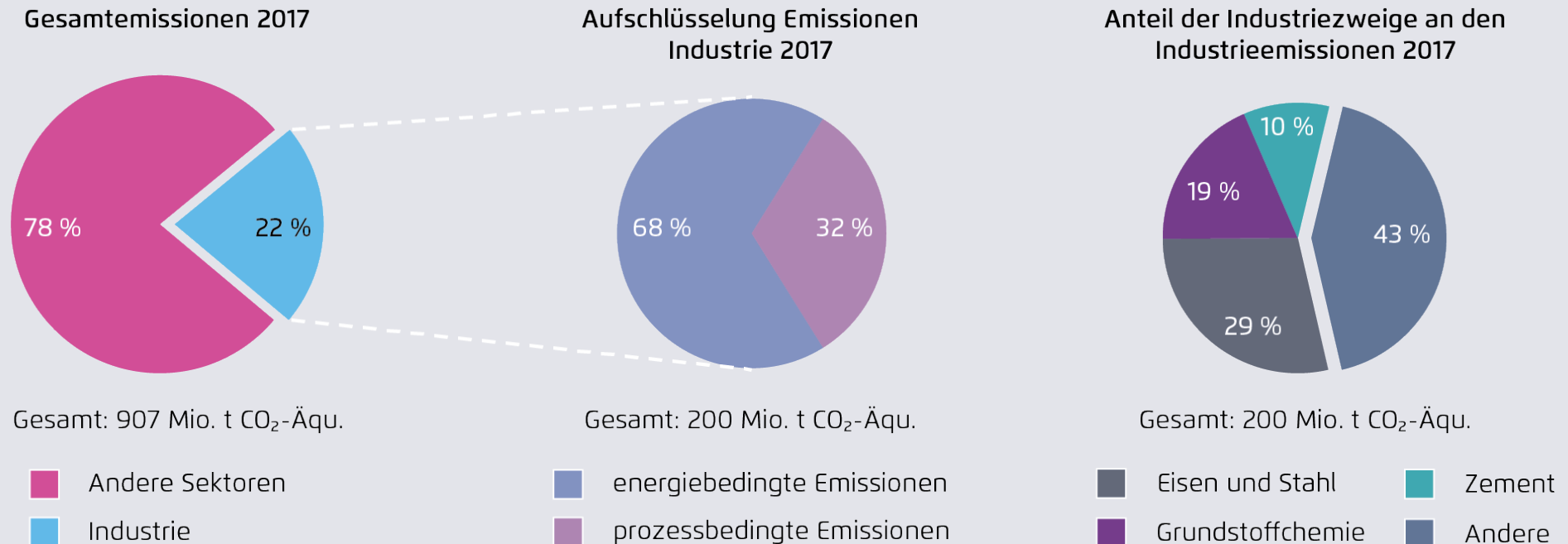


Quelle: IEA

- Wird der Strom- und Wärmebedarf der Industrie berücksichtigt, ist die Industrie für knapp 40 Prozent der weltweiten CO₂-Emissionen (33 Gt) verantwortlich.
- Die 5 Grundstoffindustrien Stahl, Zement, Chemie, Aluminium und Papier stehen allein für 20 Prozent der weltweiten CO₂-Emissionen.
- Die CO₂-Emissionen, die durch die Industrie ausgelöst werden, sind seit 1990 absolut am stärksten gewachsen.
- Ohne eine umfassende Transformation der Industrieproduktion sind die Klimaschutzziele des Pariser Abkommens nicht zu erreichen.

Die Industrie in Deutschland ist für über ein Fünftel der Gesamtemissionen verantwortlich – etwa 60 Prozent davon entfallen auf die Stahl-, Chemie- und Zementindustrie

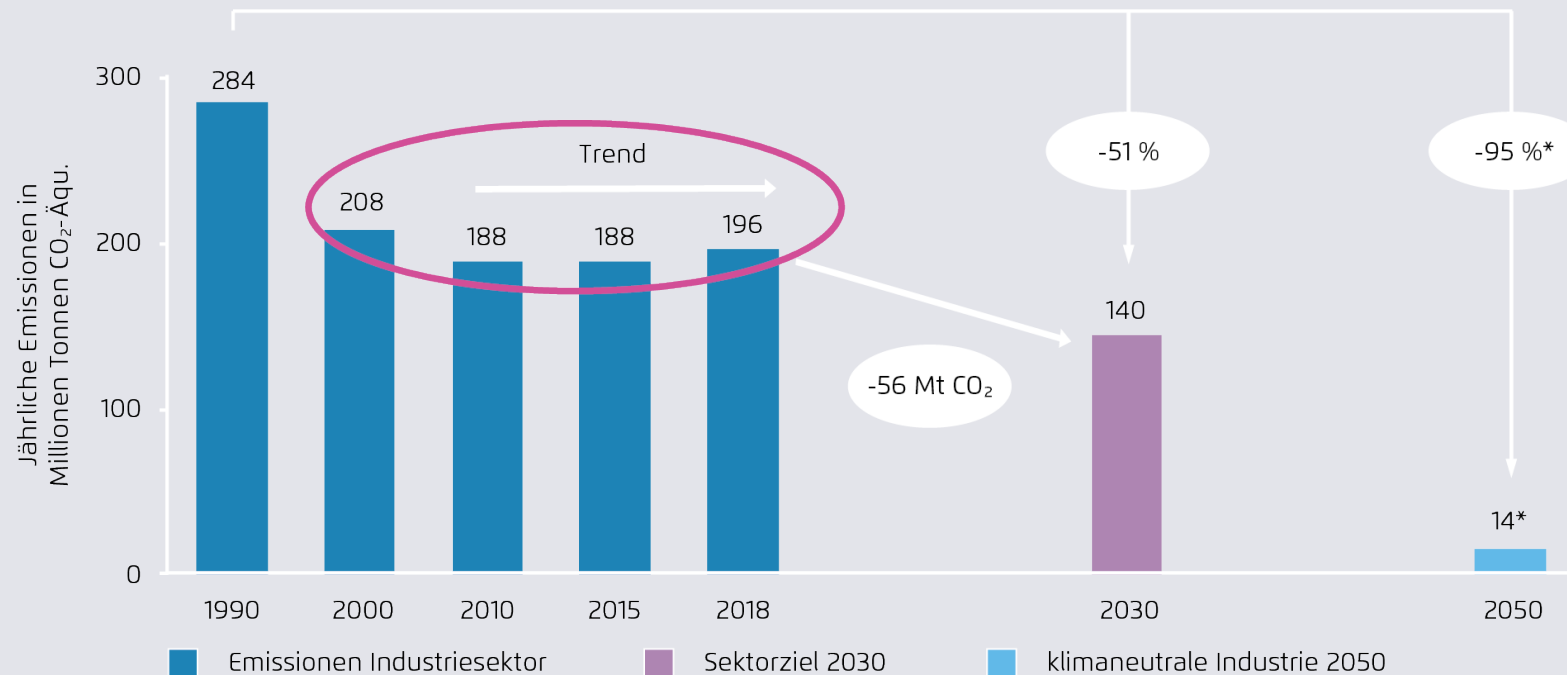
Emissionen des Industriesektors im Jahr 2017 in Mio. t CO₂-Äqu. (nach Quellenbilanz)



Quellen: UBA, 2019a; WV Stahl, 2018; VDZ, 2018; Wuppertal Institut, 2019

Die Industrie muss für das Sektorziel 2030 die CO₂-Emissionen um 56 Millionen Tonnen mindern (gegenüber 2018), der Trend zeigt jedoch konstante bis steigende Emissionen

Emissionen des Industriesektors 1990 – 2018 (Sektorenabgrenzung Klimaschutzplan) sowie Sektorziele 2030/2050 des Industriesektors



Quellen: UBA (2019); BMU (2016); * Rest-Emissionen 2050 müssen kompensiert werden



**Wuppertal
Institut**

Agora
Energiewende

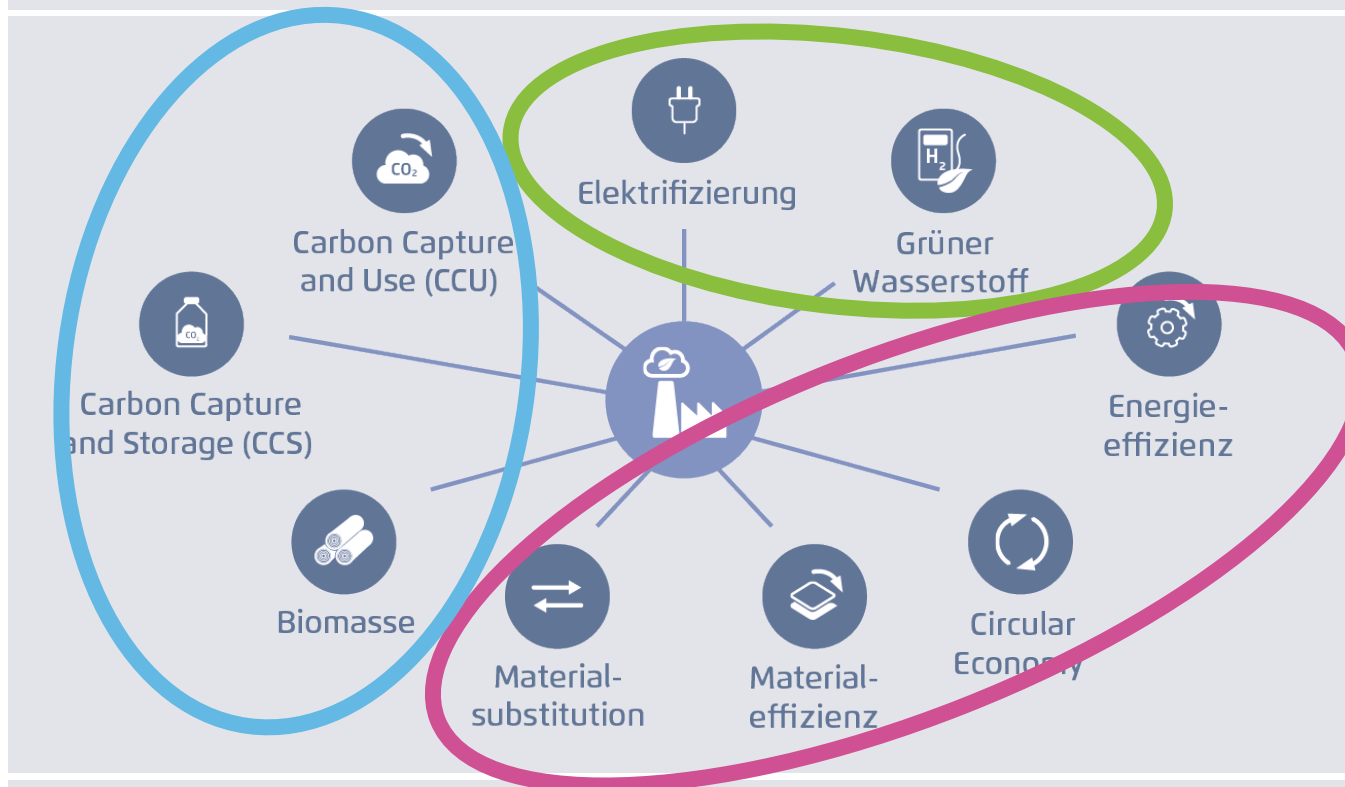


Strategien und Technologien für eine klimaneutrale Industrie



Eine Kombination unterschiedlicher Strategien ermöglicht eine klimaneutrale Industrie - je weniger auf Elektrifizierung gesetzt wird, desto mehr Kreislaufwirtschaft und CCS wird benötigt

Strategien für eine klimaneutrale Industrie












Quelle: Agora Energiewende (2019)

- 1. Strategie: Direkte und indirekte Nutzung von Erneuerbarem Strom**
 - Direkte Nutzung mit Grünstrom
 - Indirekte Nutzung von Strom durch grünen Wasserstoff
- 2. Strategie: Kreislaufwirtschaft etablieren, Effizienz verbessern**
 - Circular Economy
 - Energieeffizienz
 - Materialeffizienz
 - Materialsubstitution
- 3. Strategie: Kohlenstoffkreislauf schließen**
 - Carbon Capture and Storage (CCS)
 - Carbon Capture and Utilization (CCU)
 - Biomasse

Beispiel Grundstoffchemie: Es bestehen vielversprechende Technologien, um die Emissionen zu senken und die Stoffkreisläufe zu schließen

Übersicht möglicher Schlüsseltechnologien für einen (weitgehend) treibhausgasneutralen Chemiesektor

Chemie	Schlüsseltechnologie	Mögliche technische Verfügbarkeit
	Wärme- und Dampferzeugung aus <i>Power-to-Heat</i>	ab 2020 
	CO ₂ -Abscheidung an Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen	2035 – 2045 
	<i>Grüner</i> Wasserstoff auf Elektrolyse	2025 – 2035 
	<i>Methanol-to-Olefin/-Aromaten</i> -Route	2025 – 2030  
	Chemisches Recycling	2025 – 2030  
	Elektrische <i>Steamcracker</i>	2035 – 2045 

Quelle: Agora Energiewende/Wuppertal Institut (2019)

Beispiel Stahl: Wasserstoff wird zentrale Rolle spielen

Beispiel Zement: Alternative Bindemittel und CCS sind nötig

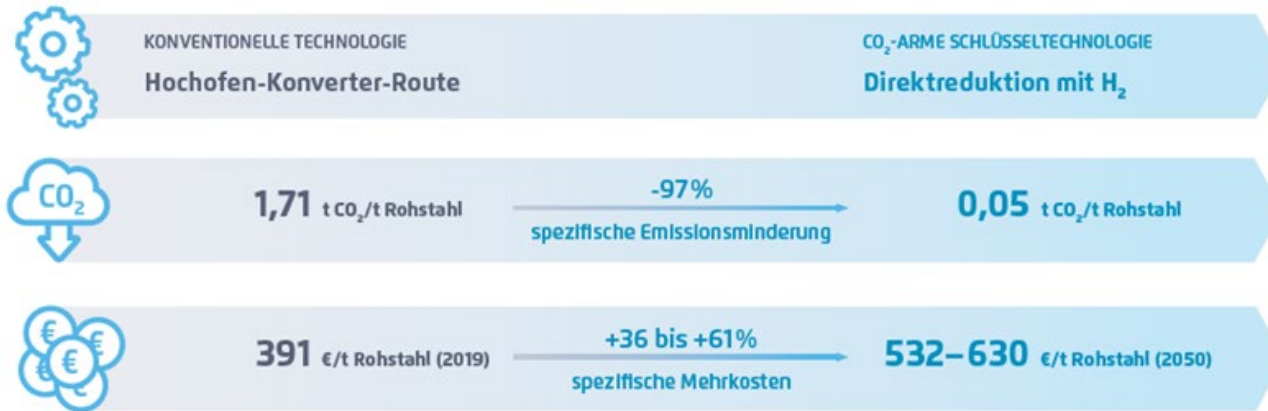
Übersicht möglicher Schlüsseltechnologien für einen (weitgehend) treibhausgasneutralen Stahl- und Zementsektor

Stahl	Schlüsseltechnologie	Mögliche technische Verfügbarkeit
	Direktreduktion mit Wasserstoff und Einschmelzen im Elektrolichtbogenofen	2025 – 2030 (evtl. Einstieg mit Erdgas) ●
	Alkalische Eisenelektrolyse	voraus. erst nach 2050 ●
	Hlsarna®-Verfahren in Kombination mit CO ₂ -Abscheidung und Speicherung	2035 – 2040 ●
	CO ₂ -Abscheidung und Nutzung von Hüttengasen aus integrierten Hochofenwerken	2025 – 2030 ●
Zement	Schlüsseltechnologie	Mögliche technische Verfügbarkeit
	CO ₂ -Abscheidung mit Oxyfuel-Verfahren (CCS)	2025 – 2030 ●
	CO ₂ -Abscheidung und Elektrifizierung der Hochtemperaturwärme am Kalzinator	2030 – 2035 ●●
	Alternative Bindemittel	2020 – 2030 (je nach Produkt) ●

Die verschiedenen CO₂-armen Schlüsseltechnologien der Zukunft haben unterschiedliche CO₂-Minderungspotenziale, Kosten und technologische Reifegrade

Vergleich der Direktreduktion mit Wasserstoff mit der Hochofenroute

Technologien im Vergleich

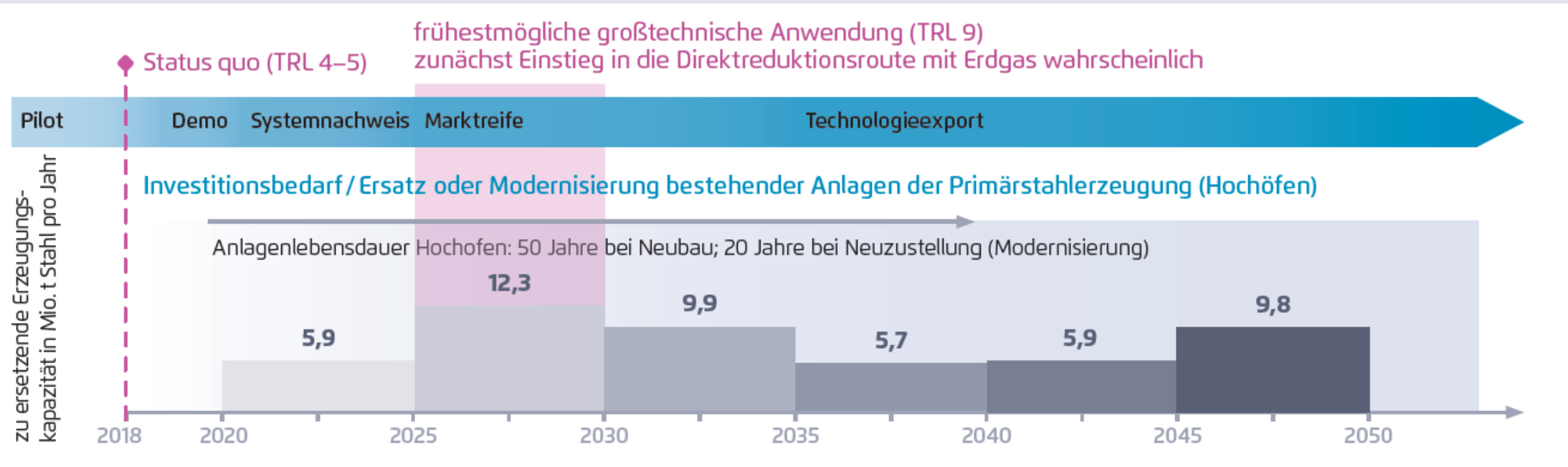


Wuppertal Institut

- Agora Energiewende und Wuppertal Institut haben für 13 potenziell CO₂-freie/arme Schlüsseltechnologie im Bereich Stahl, Chemie, Zement je eine kurze, verständliche Übersicht auf 2 Seiten erarbeitet
- Die Technologiesteckbriefe sollen Kernbotschaften zu den CO₂-armen Schlüsseltechnologien in den Sektoren Stahl, Chemie, Zement zusammenfassen
- Dazu gehören: CO₂-Vermeidungskosten, potenzieller CO₂-Minderungsbeitrag, spezifische Mehrkosten, existierende Pilotprojekte, Reinvestitionszyklen und Technologieentwicklungsgrad
- Zwischenergebnisse wurden Branchenverbänden und Unternehmen zur Konsultation zur Verfügung gestellt

Stahl: hohe Reinvestitionsbedarfe bis 2030 – klimaneutrale Technologie muss schnellstmöglich skaliert werden – Einstieg mit Erdgas möglich

Reinvestitionsbedarf und frühestmögliche Marktreife der **Direktreduktion mit Wasserstoff**



Wuppertal Institut/Agora Energiewende (2019)

Die deutsche Industrie steht mit zahlreichen Pilotprojekten in den Startlöchern – es fehlen aber die Rahmenbedingungen für die großtechnische Skalierung

Pilotprojekte der energieintensiven Industrie in Deutschland (Auswahl)



Quelle: Fotolia

Salzgitter AG, ArcelorMittal

- *H2-DRI*: Stahlerzeugung durch Direktreduktion mit Wasserstoff

ThyssenKrupp, BASF, Linde, Covestro, Evonik

- *Carbon2Chem*: Nutzung von CO₂ aus Hochofenprozess für Chemikalienproduktion

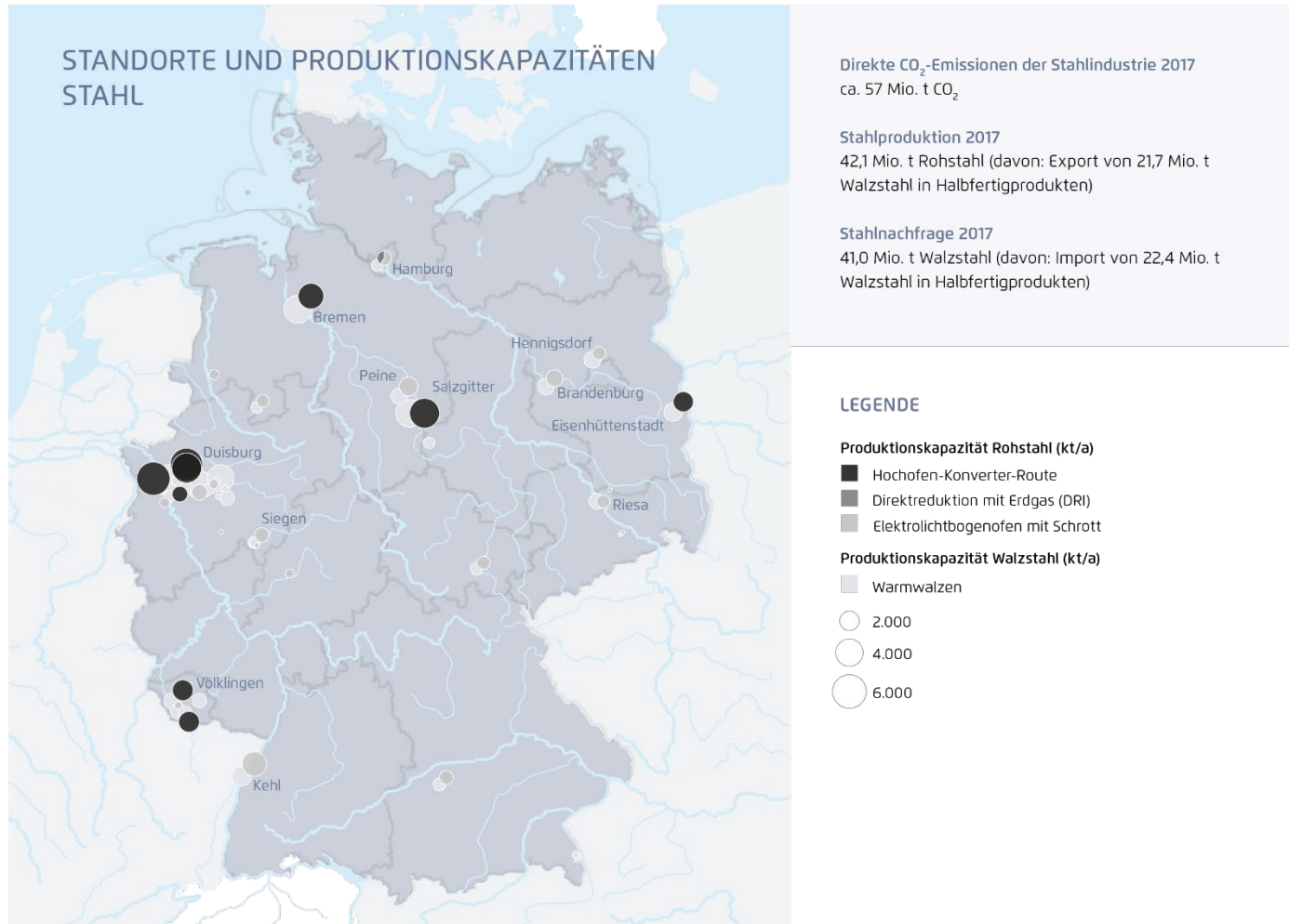
BASF, Remondis, Plastics Energy und weitere

- *ChemCycling*: chemisches Recycling von Altplastik zur stofflichen Wiederverwendung

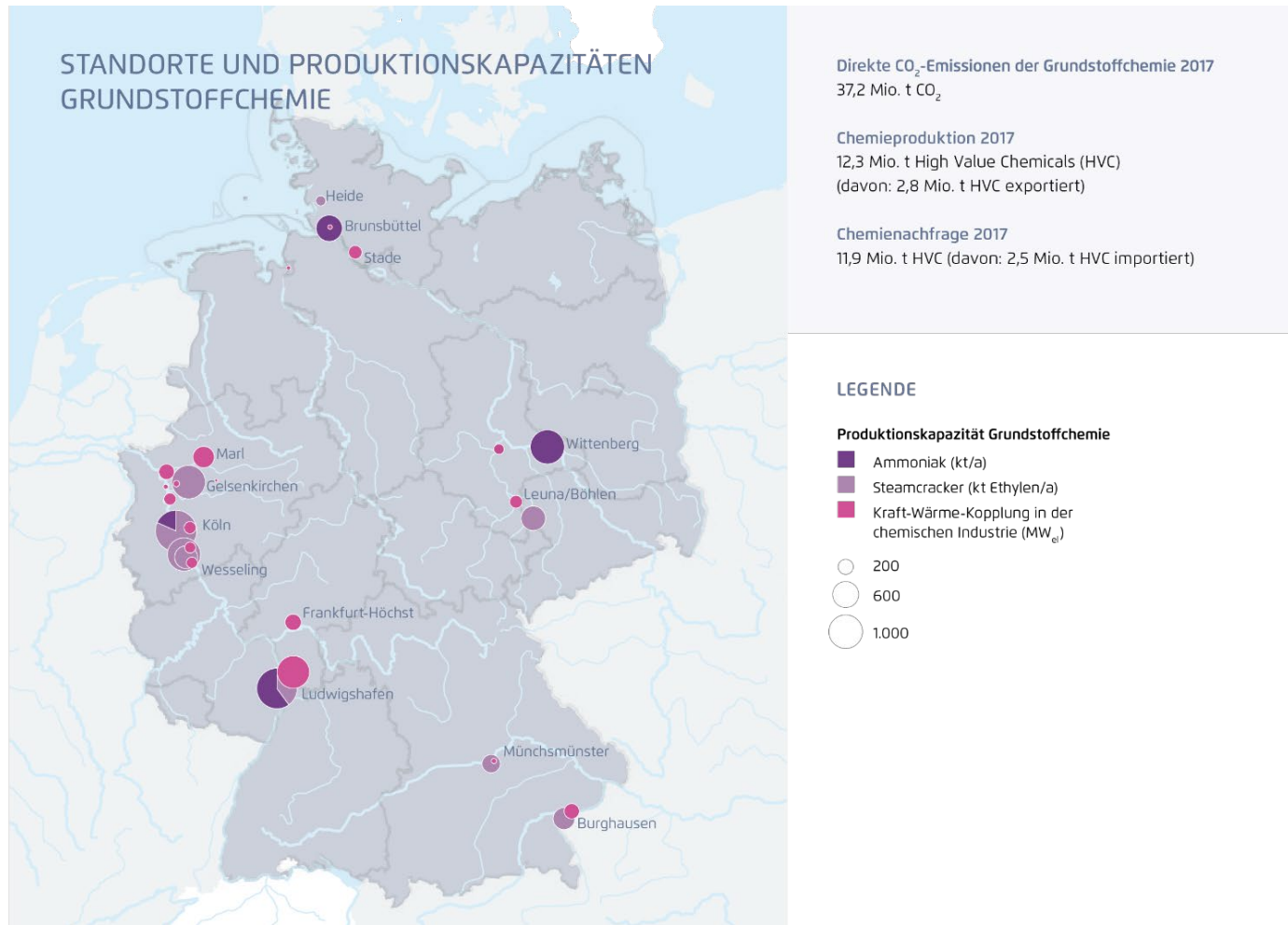
HeidelbergCement und weitere

- *CEMCAP*: Oxyfuel-CCS (Klinkerkühlung)
- *LEILAC*: Elektrifizierung Zementofen

Hoher Bedarf an grüner Energie konzentriert an an wenigen Standorten



Hoher Bedarf an grüner Energie konzentriert an an wenigen Standorten



Hoher Bedarf an grüner Energie konzentriert an an wenigen Standorten



Agora
Energiewende

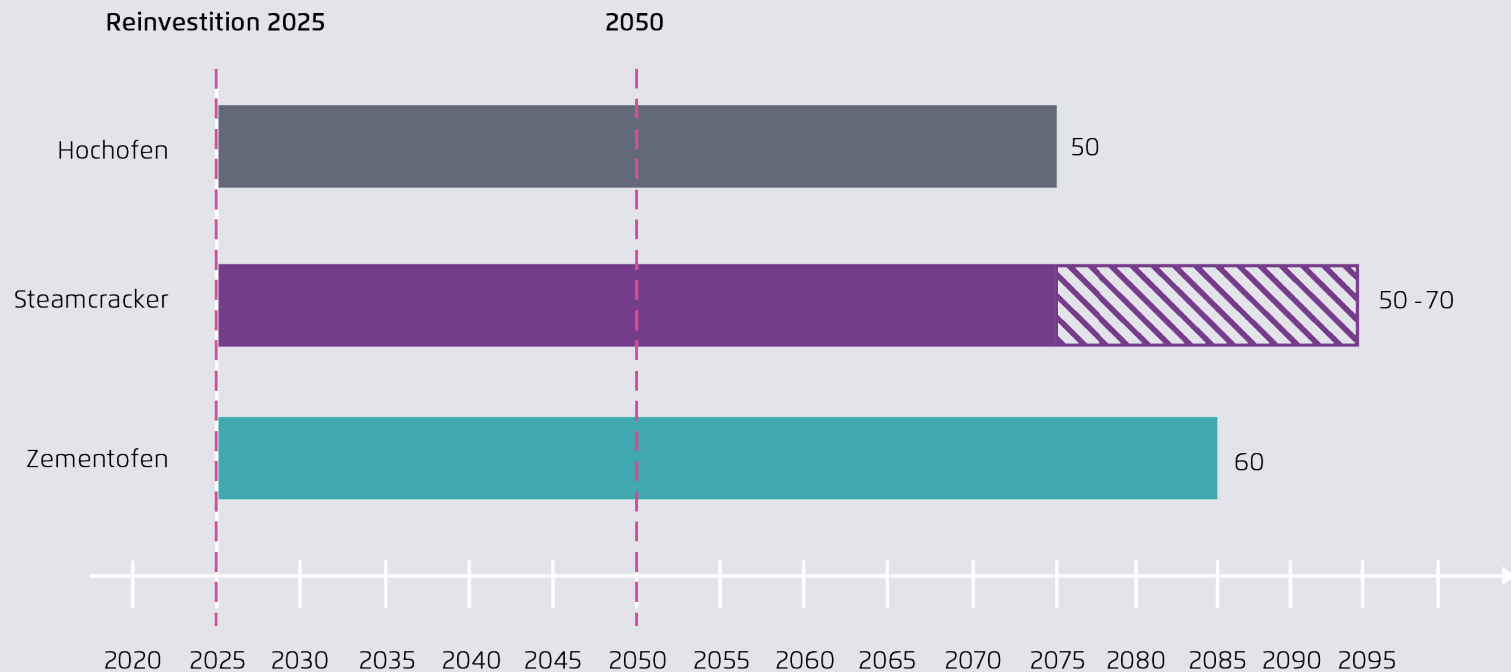


**Politikinstrumente für
eine klimaneutrale
Industrie**



Alle Anlagen, die heute gebaut werden, werden auch 2050 noch bestehen – jede zukünftige Investition muss deswegen klimaneutral sein

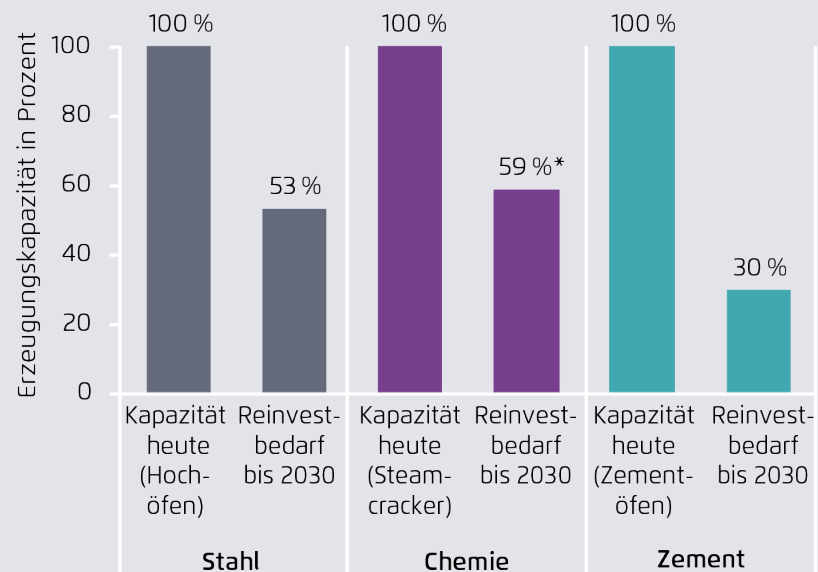
Technische Lebensdauer der Primärerzeugungsanlagen in den Sektoren Stahl, Chemie, Zement bei Reinvestition im Jahr 2025



Quelle: Agora Energiewende und Wuppertal Institut (2019)

Bis 2030 besteht sehr hoher Reinvestitionsbedarf in der energieintensiven Industrie – viele Arbeitsplätze sind betroffen

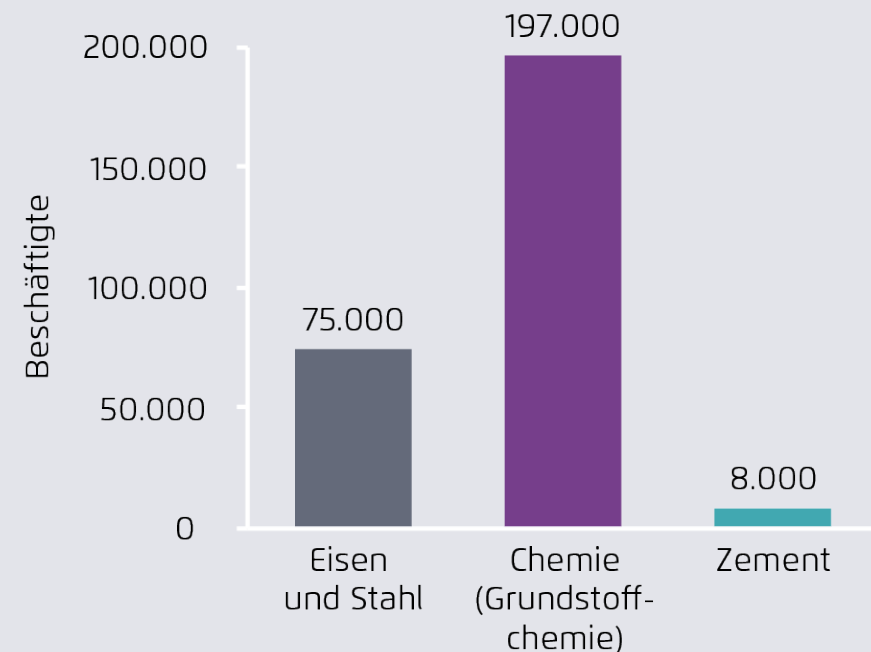
Reinvestitionsbedarf bis 2030 (Primärerzeugungskapazität)



* Steamcracker werden zwar normalerweise kontinuierlich gewartet und modernisiert, sodass sie nicht an einem Zeitpunkt komplett ausgetauscht werden. Dennoch vermitteln die Reinvestitionsbedarfe einen groben Eindruck des Modernisierungsbedarfs an Altanlagen.

Quelle: Wuppertal Institut (2019)

Direkt Beschäftigte relevanter Industrien 2018



Quelle: Statistisches Bundesamt (2018)

Die Transformation der Industrie wird innerhalb etablierter Unternehmen stattfinden – dafür ist ein zügiger *Phase-In* der neuen Technologien notwendig

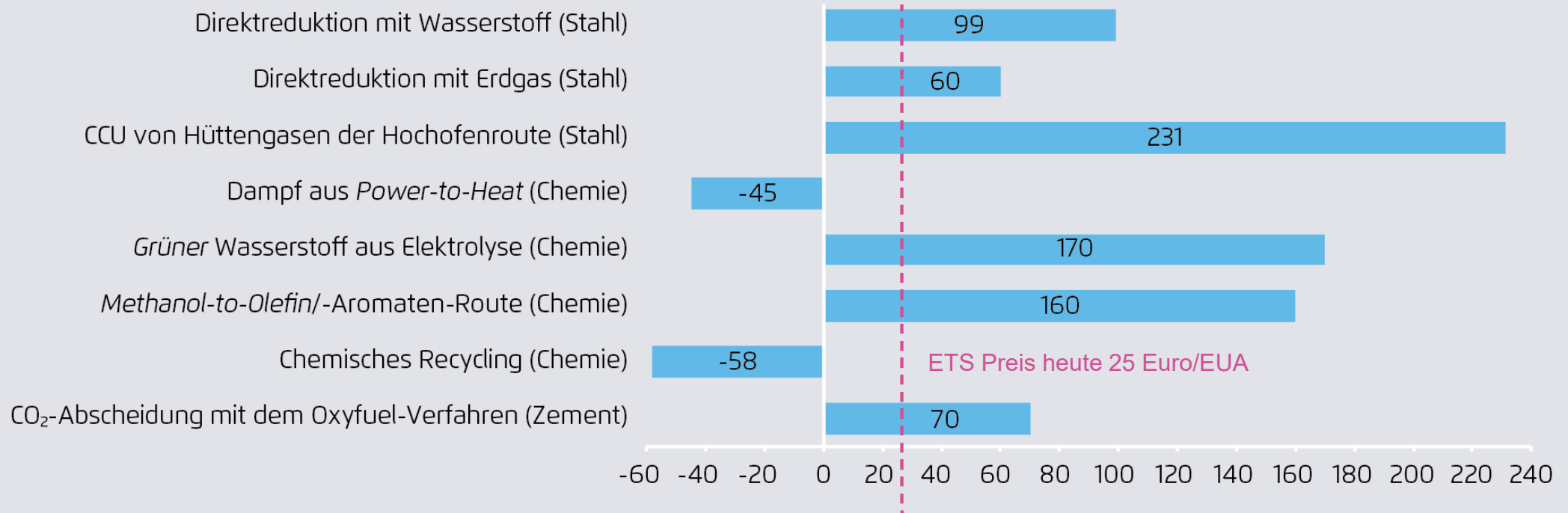
Transformation des Portfolios eines energieintensiven Unternehmens (indikative Darstellung)



Quelle: Agora Energiewende (2019)

Die Grenzvermeidungskosten von Sprunginnovationen liegen zum Teil deutlich über den aktuellen und absehbaren ETS-Preisen

Grenzvermeidungskosten neuer Technologien in der Industrie 2030, untere Bandbreite, in Euro/t CO₂



Wuppertal Institut und Agora 2019

Es gibt grundsätzlich zwei Optionen:

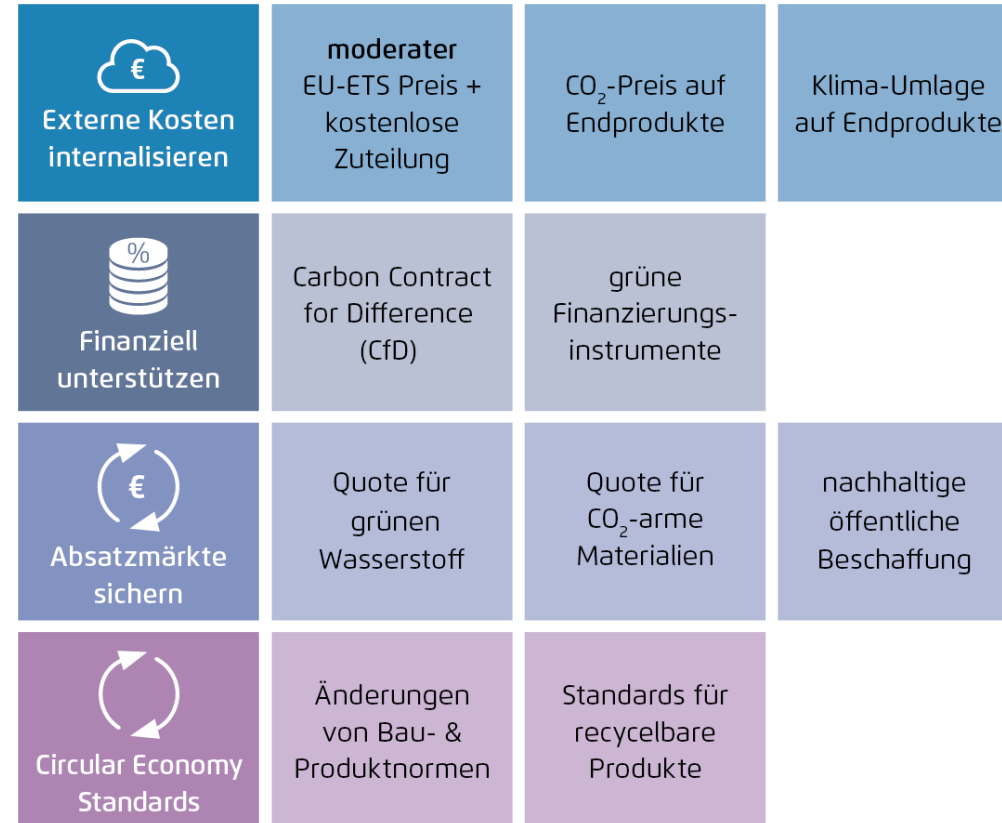
Option I: Sehr hoher CO₂-Preis mit Grenzausgleichsregime

Option II: Policy-Mix aus verschiedenen Instrumenten

Option 1: CO₂-Preis only



Option 2: Policy-Mix






**Grüne Energie und Rohstoffe
(Upstream)**

**Klimafreundliche Produktions-
prozesse (Midstream)**

**Klimafreundliche Endprodukte
(Downstream)**

Grüne Energie und Rohstoffe (Upstream)

-  international wettbewerbsfähige Preise für grünen Strom
-  Quote für grünen Wasserstoff *
-  Aufbau der benötigten Infrastrukturen

grüner Strom



grüner Wasserstoff und Feedstock



hochwertige Rohstoffe aus Recycling
(Stahlschrott, Kohlenstoff, Beton)



Klimafreundliche Produktions- prozesse (Midstream)

Klimafreundliche Endprodukte (Downstream)

Grüne Energie und Rohstoffe (Upstream)

- 🔧 international wettbewerbsfähige Preise für grünen Strom
- 🔧 Quote für grünen Wasserstoff*
- 🔧 Aufbau der benötigten Infrastrukturen

grüner Strom



grüner Wasserstoff und Feedstock

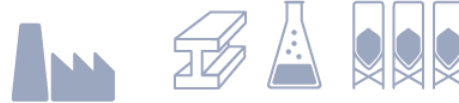


hochwertige Rohstoffe aus Recycling
(Stahlschrott, Kohlenstoff, Beton)



Klimafreundliche Produktions- prozesse (Midstream)

- 🔧 CO₂-Mindestpreis im EU-ETS*
- 🔧 *Carbon Contract for Difference* *
- 🔧 grüne Finanzierungsinstrumente*



Grundstoff-
industrie



Klimafreundliche Endprodukte (Downstream)

Grüne Energie und Rohstoffe (Upstream)

- international wettbewerbsfähige Preise für grünen Strom
- Quote für grünen Wasserstoff*
- Aufbau der benötigten Infrastrukturen

grüner Strom



grüner Wasserstoff und Feedstock



hochwertige Rohstoffe aus Recycling (Stahlschrott, Kohlenstoff, Beton)



Klimafreundliche Produktionsprozesse (Midstream)

- CO₂-Mindestpreis im EU-ETS*
- Carbon Contract for Difference*
- grüne Finanzierungsinstrumente*



Grundstoff-industrie



Klimafreundliche Endprodukte (Downstream)

- Quote für CO₂-arme Materialien*



Verbraucher



Herstellung von Endprodukten

- Klima-Umlage auf Endprodukte*
- CO₂-Preis auf Endprodukte*
- Vorgaben für recycelbare Produkte*
- Änderung von Bau- und Produktnormen*



Staat

- nachhaltige öffentliche Beschaffung*

Grüne Energie und Rohstoffe (Upstream)

- international wettbewerbsfähige Preise für grünen Strom
- Quote für grünen Wasserstoff*
- Aufbau der benötigten Infrastrukturen

grüner Strom



grüner Wasserstoff und Feedstock



hochwertige Rohstoffe aus Recycling (Stahlschrott, Kohlenstoff, Beton)



Klimafreundliche Produktionsprozesse (Midstream)

- CO₂-Mindestpreis im EU-ETS*
- Carbon Contract for Difference*
- grüne Finanzierungsinstrumente*



Grundstoff-industrie



Klimafreundliche Endprodukte (Downstream)

- Quote für CO₂-arme Materialien*



Verbraucher

- Klima-Umlage auf Endprodukte*
- CO₂-Preis auf Endprodukte*
- Vorgaben für recycelbare Produkte*
- Änderung von Bau- und Produktnormen*

Herstellung von Endprodukten



Staat

- nachhaltige öffentliche Beschaffung*

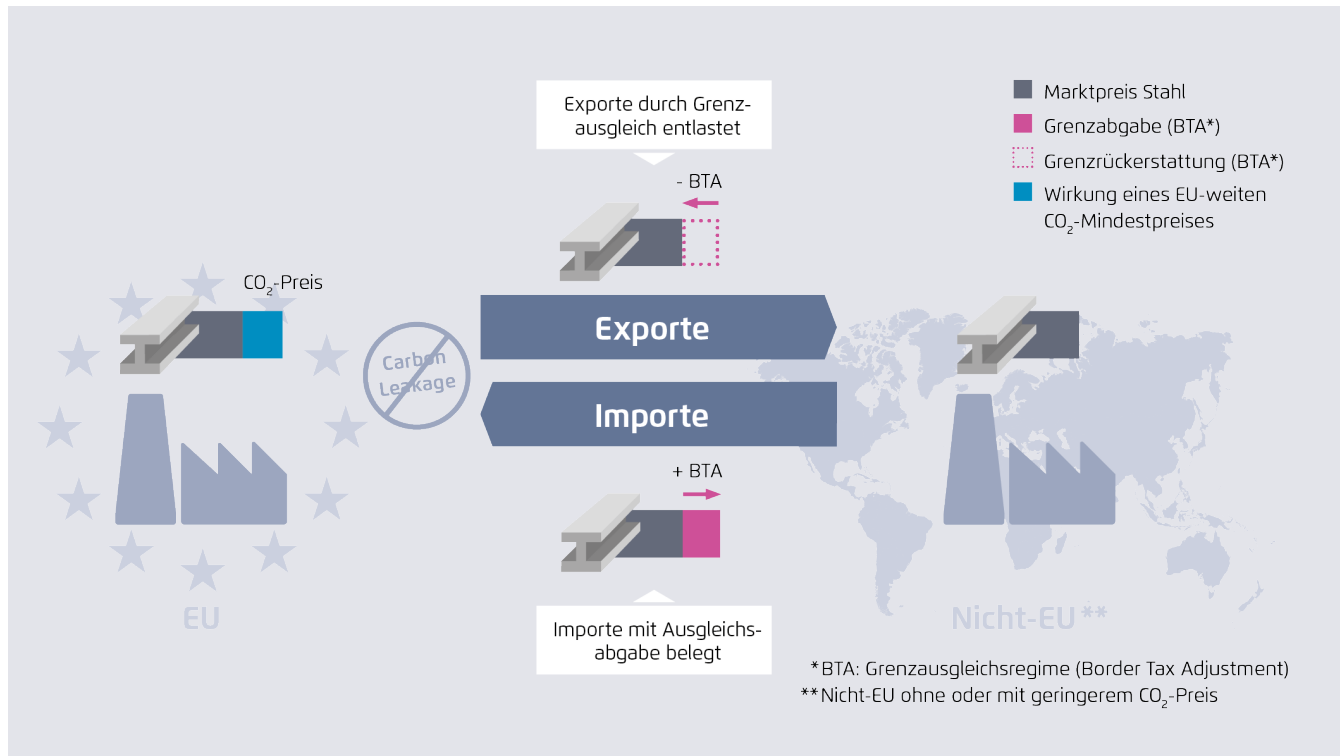
End-of-Life (Recycling)

Stahlschrott, Altplastik, Bauabbruch

*genauere Erläuterung in Politikinstrumente-Steckbriefen in Teil D

Option I: Ein hoher CO₂-Preis im EU-ETS, gekoppelt mit einem Grenzausgleichsregime, ist theoretisch optimal – aber mit hohen Hürden und Handelskrieg-Risiken verbunden

Hoher CO₂-Preis im EU ETS mit Grenzausgleichsregime

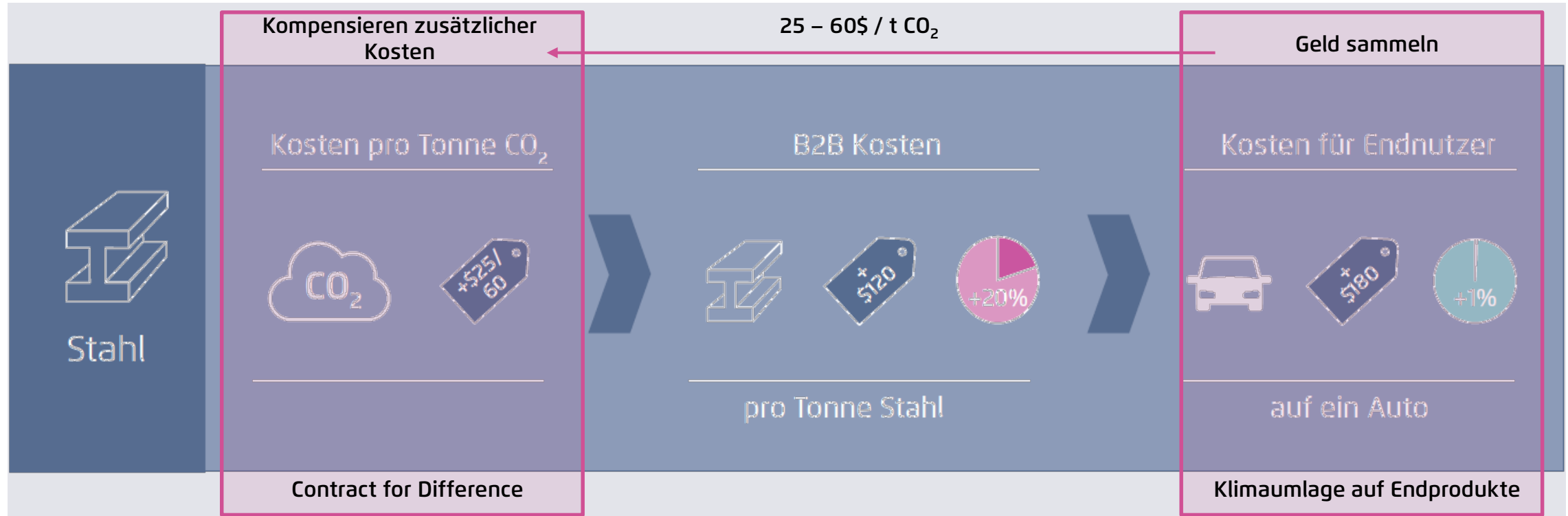


Quelle: Agora Energiewende

- Ein hoher CO₂-Preis mit Grenzausgleichsregime ist die ökonomisch effizienteste Lösung und garantiert ein Level Playing Field
- Ein Grenzausgleichsregime wird aktuell in der EU-Kommission diskutiert und auch von der französischen Regierung gefordert
- Transparenz und Validität der CO₂-Daten ist sehr schwierig, zudem besteht Möglichkeit, System zu unterlaufen
- Die Einführung (vor allem der Ausgleich für Exporte) ist mit hohen handelsrechtlichen Hürden verbunden
- Es besteht das Risiko, dass Handelspartner ein CO₂-Ausgleichsregime als nicht-tarifäres Hindernis ansehen und mit Gegenmaßnahmen reagieren → Gefahr eines Handelskriegs

Option IIa: Ein *Carbon Contract for Difference* für CO₂-arme Schlüsseltechnologien, refinanziert durch eine *Klima-Umlage* auf Endprodukte

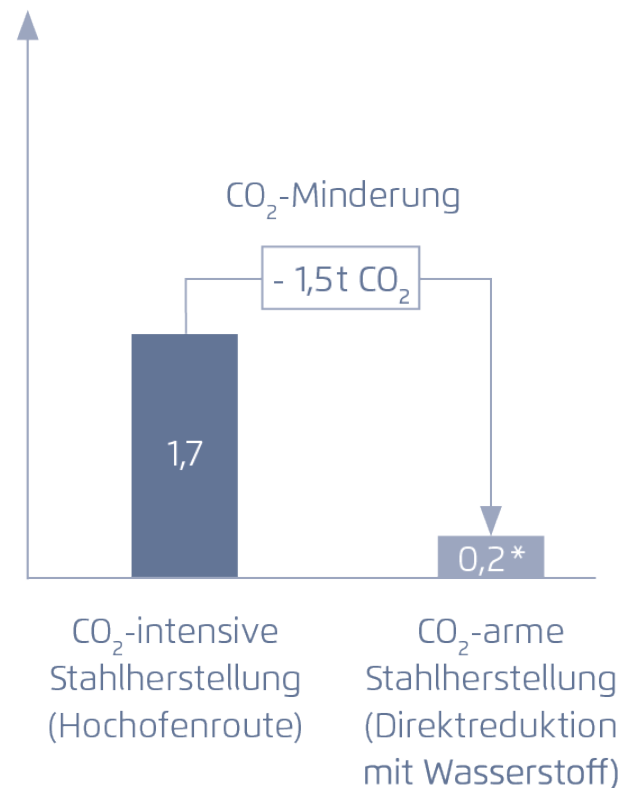
Politikmechanismus des Vertrags über Differenz- und Verbrauchsabgabe auf die Stahl-Wertschöpfungskette



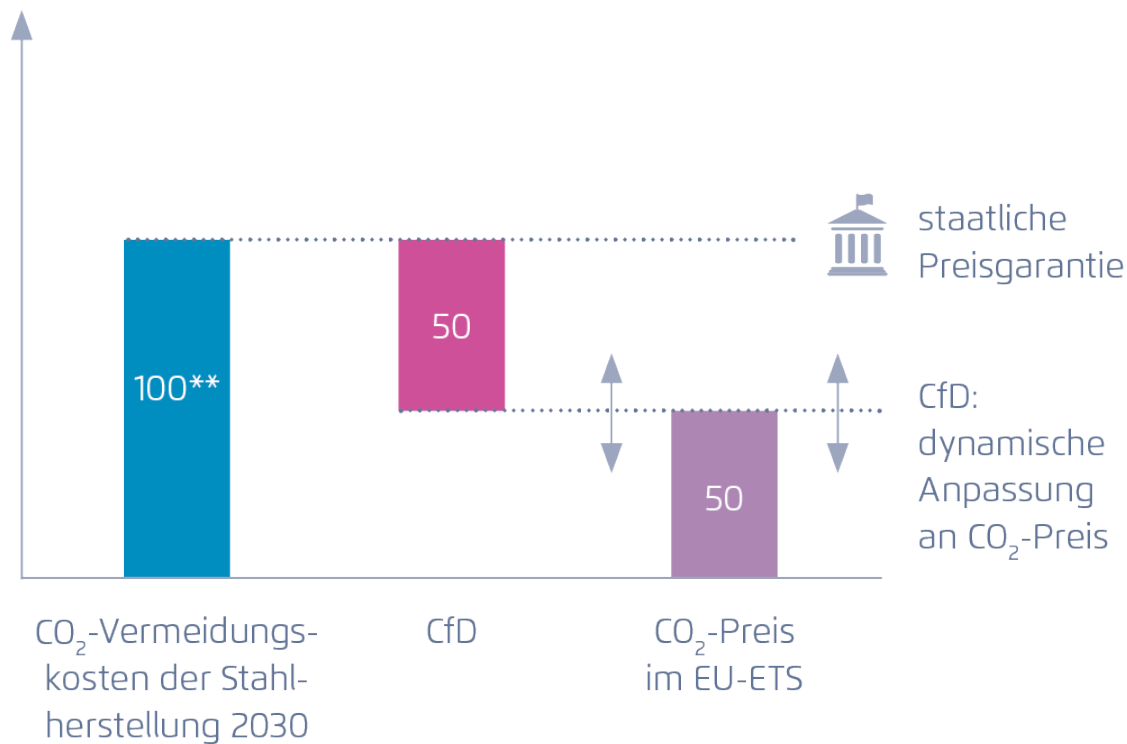
Quelle: Energy Transitions Commission (2018)

Exkurs: Wirkungsmechanismus des *Carbon Contract for Difference* zur Finanzierung neuer CO₂-armer Schlüsseltechnologien

CO₂-Emissionen pro Tonne Rohstahl
in t CO₂



CO₂-Kosten bzw. CO₂-Preis
in €/t CO₂



* Annahme: Reduktionsmitteleinsatz von 65% grünem Wasserstoff und 35% fossilem Erdgas bei der Direktreduktion

** Annahme: 150€ Mehrkosten pro t Rohstahl / 1,52t eingespartes CO₂ pro t Rohstahl

Fazit und Fragen für die Diskussion

- Das Sektorziel der Industrie 2030 ist ambitioniert – mit Effizienzverbesserungen allein werden bei einer guten Konjunktur die Ziele nur schwer zu erreichen sein. Für die angestrebte Klimaneutralität sind ohnehin grundlegend neue Prozesse und Produktionsverfahren notwendig.
- Strategien und Techniken für eine klimaneutrale energieintensive Industrie sind bekannt. Die anstehende Re-Investitionswelle bis 2030 muss vor dem Hintergrund der Klimaneutralität 2050 gleich in die Zukunftstechnologien erfolgen.
- Forschungsförderung und Innovationsfonds bringen die Technologien bis in die Pilot- und Demonstrationsphase. Es fehlt jedoch bislang an den entsprechenden Markteinführungsinstrumenten, die Investitionen im Industriemaßstab ermöglichen.

Fragen für die Diskussion:

- Welches politische Instrumentarium ist am besten geeignet für eine klimaneutrale Industrie?
- Wie sollte das Verhältnis zwischen EU-ETS und möglichen neuen Instrumenten sein?
- Was ist der zeitliche Rahmen für die Einführung neuer Instrumente?

Agora Energiewende
Anna-Louisa-Karsch-Str. 2
10178 Berlin

T +49 (0)30 700 1435 - 000
F +49 (0)30 700 1435 - 129
www.agora-energiewende.de

✉ Abonnieren sie unseren Newsletter unter
www.agora-energiewende.de
🐦 www.twitter.com/AgoraEW



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Haben Sie noch Fragen oder Kommentare?
Kontaktieren Sie mich gerne:

frank.peter@agora-energiewende.de
stefan.lechtenboehmer@wupperinst.org

Agora Energiewende ist eine gemeinsame Initiative der
Stiftung Mercator und der European Climate Foundation.

