



Ökonomische Evaluation klimapolitischer Instrumente

Am Beispiel der Chemie-, Zement- und Stahlindustrie

Impressum

© Februar 2023
Bertelsmann Stiftung, Gütersloh

Bertelsmann Stiftung
Carl-Bertelsmann-Straße 256
33311 Gütersloh
Telefon +49 5241 81-0

Verantwortlich

Andreas Esche
Daniel Posch
Dr. Marcus Wortmann

Autoren und Autorinnen

Jan Limbers
Dr. Michael Böhmer
Leilah Dismond
Dr. Alexander Piegsa

Grafikdesign

Sandhya Shah, Düsseldorf
Nicole Meyerholz, Bielefeld

Bildnachweis

Titelbild: © DedMityay – stock.adobe.com

DOI [10.11586/2023004](https://doi.org/10.11586/2023004)

Über uns

Nachhaltige Soziale Marktwirtschaft

Wirtschaftliche Leistungsfähigkeit und soziale Teilhabe produktiv miteinander zu verbinden – das ist der Kerngedanke und das Erfolgsrezept der Sozialen Marktwirtschaft. Doch der Klimawandel und die Begrenzung natürlicher Ressourcen, ein abnehmendes Erwerbspersonenpotenzial, Globalisierungsprozesse und der digitale Wandel setzen unser bisheriges Wirtschafts- und Gesellschaftsmodell unter Druck. Damit die Soziale Marktwirtschaft auch für künftige Generationen ein verlässliches Leitbild bleibt, müssen wir sie zu einer Nachhaltigen Sozialen Marktwirtschaft transformieren.

Die ökologische Transformation erzeugt Wechselwirkungen und Konflikte zwischen den verschiedenen Zieldimensionen einer Nachhaltigen Sozialen Marktwirtschaft. Der Arbeitsschwerpunkt „Economics of Transformation“ widmet sich den makroökonomischen Wirkungszusammenhängen zwischen verschiedenen Zielparametern und schafft empirisches Steuerungswissen zu wirtschaftspolitischen Maßnahmenbündeln, die den inhärenten Zielkonflikten vorbeugen, sie auflösen oder Synergiepotenziale freisetzen können. Diese Studie ist die erste von mehreren „Tiefenbohrungen“, die in wichtigen Transformationsfeldern – in diesem Fall den deutschen Grundstoffindustrien – zu einem besseren Verständnis der ökonomischen Effekte unterschiedlicher klimapolitischer Interventionen beitragen sollen.

Studie

Ökonomische Evaluation klimapolitischer Instrumente

Am Beispiel der Chemie-, Zement- und Stahlindustrie

Inhalt

Tabellenverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	7
Zusammenfassung	10
1. Hintergrund und Untersuchungsziel der Studie	12
2. Methodische Vorgehensweise	14
3. Charakteristika der drei Grundstoffindustrien	17
3.1. Grundstoffchemie	17
3.2. Zementherstellung	18
3.3. Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen	20
4. Rahmenbedingungen und Spezifikation der Szenarien	22
4.1. Die ökonomische Entwicklung im Referenzszenario	22
4.2. Entwicklung der Preise für Energieträger und Emissionszertifikate	24
4.3. Produktionskosten der Grundstoffchemie	27
4.4. Produktionskosten der Zementindustrie	28
4.5. Produktionskosten der Stahlindustrie	30
5. Erläuterung und Diskussion der politischen Instrumente	33
5.1. Emissionsbasierter Grenzausgleich (Carbon Border Adjustment Mechanism)	33
5.2. Klimaschutzverträge (Carbon Contract for Difference)	36
6. Ergebnisse für die Grundstoffchemie	40
7. Ergebnisse für die Zementindustrie	48
8. Ergebnisse für die Stahlindustrie	54
9. Fazit	61
Literaturverzeichnis	63

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1:	Proklamiertes Zieljahr der Klimaneutralität (Länderauswahl)	25
TABELLE 2:	Produktions- und Kostenstruktur der Grundstoffchemie nach Technikpfad 2020	27
TABELLE 3:	Produktions- und Kostenstruktur der Zementindustrie nach Technikpfad 2020	29
TABELLE 4:	Produktions- und Kostenstruktur der Stahlindustrie nach Technikpfad 2020	31
TABELLE 5:	Aufwand und Ertrag der klimapolitischen Instrumente: Grundstoffchemie	46
TABELLE 6:	Aufwand und Ertrag der klimapolitischen Instrumente: Zementindustrie	52
TABELLE 7:	Aufwand und Ertrag der klimapolitischen Instrumente: Stahlindustrie	59

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1:	Emissionsintensität der Wertschöpfung, Außenhandelsorientierung und Anteil an den industriellen Gesamtemissionen (Kugelgröße), ausgewählte Industriebranchen, Deutschland, 2018	12
ABBILDUNG 2:	Ökonomische Kenngrößen der Grundstoffchemie (WZ08: 20.1) Im Uhrzeigersinn: Umsatz (deflationiert), Beschäftigte, Produktivität und Umsatzrendite, Anteil Auslandsumsatz	18
ABBILDUNG 3:	Ökonomische Kenngrößen der Zementindustrie Im Uhrzeigersinn: Umsatz (deflationiert), Beschäftigte, Produktivität und Umsatzrendite, Anteil Auslandsumsatz	19
ABBILDUNG 4:	Ökonomische Kenngrößen der Stahlproduktion Im Uhrzeigersinn: Umsatz (deflationiert), Beschäftigte, Produktivität und Umsatzrendite, Anteil Auslandsumsatz	21
ABBILDUNG 5:	Wachstumszerlegung des Bruttoinlandprodukts in Deutschland Veränderung 2045 gegenüber 2019 in Prozent	22
ABBILDUNG 6:	Entwicklung der Wirtschaftsbereiche im Referenzszenario Veränderung 2045 gegenüber 2019 in Prozent	23
ABBILDUNG 7:	Großhandelspreise der Energieträger im Referenzszenario in Preisen des Jahres 2020	24
ABBILDUNG 8:	Preisbremse für Erdgas und Strom im Referenzszenario in Preisen des Jahres 2020	25
ABBILDUNG 9:	Zertifikatspreise im europäischen Emissionshandelssystem und im modellierten Ausland in Preisen des Jahres 2020	26
ABBILDUNG 10:	Anteil der freien Zertifikate im EU-ETS im Szenario „Abschmelz“ in Prozent des Gesamtbedarfs	26
ABBILDUNG 11:	Produktionskosten der Grundstoffchemie nach Technikpfad und Land 2020 bis 2045 Vorleistungen (energetisch & stofflich), zzgl. Abschreibungen, zzgl. Lohnkosten je Produktionseinheit	28
ABBILDUNG 12:	Produktionskosten der Zementindustrie nach Technikpfad und Land 2020 bis 2045 Vorleistungen (energetisch & stofflich), zzgl. Abschreibungen, zzgl. Lohnkosten je Produktionseinheit	30
ABBILDUNG 13:	Produktionskosten der Stahlindustrie nach Technikpfad und Land 2020 bis 2045 Vorleistungen (energetisch & stofflich), zzgl. Abschreibungen, zzgl. Lohnkosten je Produktionseinheit	32
ABBILDUNG 14:	Ausgleichswirkung des CBAM Gesamtkosten der Produktion innerhalb der EU und außerhalb der EU	33
ABBILDUNG 15:	Zeitplan des emissionsbasierten Grenzausgleichs (CBAM)	35

ABBILDUNG 16:	Ausgleichswirkung des CCfD Gesamtkosten der Produktion innerhalb der EU und außerhalb der EU, Zahlungsstrom aus Sicht des Unternehmens	36
ABBILDUNG 17:	Ausgleichswirkung von Klimaschutzverträgen Produktionskosten mittels konventioneller und klimafreundlicher Technologie im Vergleich	37
ABBILDUNG 18:	Emissionsintensität der Grundstoffchemie nach Szenario Tonnen Treibhausgase je Tonne HVC	41
ABBILDUNG 19:	Produktionskosten der Grundstoffchemie nach Szenario Euro in Preisen des Jahres 2020 je Tonne HVC	42
ABBILDUNG 20:	Abweichung der Produktion der Grundstoffchemie nach Szenario Gegenüber dem Referenzszenario	43
ABBILDUNG 21:	Aufwand und Ertrag des Instruments „Subvention“ (Grundstoffchemie) Abweichung der Wertschöpfung (Mrd. Euro) des Szenarios „Abschmelz & Subvention“ gegenüber dem Szenario „Abschmelz & Politik“ bzw. der THG-Emissionen (Mio. t) gegenüber dem Szenario „Abschmelz“	44
ABBILDUNG 22:	Aufwand und Ertrag des Instruments „CBAM“ (Grundstoffchemie) Abweichung Wertschöpfung (Mrd. Euro) des Szenarios „Abschmelz & Politik & CBAM“ gegenüber dem Szenario „Abschmelz & Politik“ bzw. der THG-Emissionen (Mio. t) gegenüber dem Szenario „Abschmelz“	45
ABBILDUNG 23:	Aufwand und Ertrag der Instrumente „Subvention & CBAM“ (Grundstoffchemie) Abweichung der Wertschöpfung (Mrd. Euro) des Szenarios „Abschmelz & Subvention & CBAM“ gegenüber dem Szenario „Abschmelz & Politik“ bzw. der THG-Emissionen (Mio. t) gegenüber dem Szenario „Abschmelz“	46
ABBILDUNG 24:	Emissionsintensität der Zementindustrie nach Szenario Tonnen Treibhausgase je Tonne Zement	49
ABBILDUNG 25:	Produktionskosten der Zementindustrie nach Szenario Euro in Preisen des Jahres 2020 je Tonne Zement	49
ABBILDUNG 26:	Abweichung der Produktion der Zementindustrie nach Szenario Gegenüber dem Referenzszenario	50
ABBILDUNG 27:	Aufwand und Ertrag des Instruments „Subvention“ (Zementindustrie) Abweichung der Wertschöpfung (Mrd. Euro) und der THG-Emissionen (Mio. t) des Szenarios „Abschmelz & Subvention“ gegenüber dem Szenario „Abschmelz“	51
ABBILDUNG 28:	Aufwand und Ertrag des Instruments „CBAM“ (Zementindustrie) Abweichung der Wertschöpfung (Mrd. Euro) und der THG-Emissionen (Mio. t) des Szenarios „Abschmelz & CBAM“ gegenüber dem Szenario „Abschmelz“	51

ABBILDUNG 29:	Aufwand und Ertrag der Instrumente „Subvention & CBAM“ (Zementindustrie) Abweichung Wertschöpfung (Mrd. Euro) und der THG-Emissionen (Mio. t) des Szenarios „Abschmelz & Subvention & CBAM“ gegenüber dem Szenario „Abschmelz“	52
ABBILDUNG 30:	Transformation der Stahlindustrie nach Szenario Anzahl der Anlagen nach Technik inkl. jeweiliger Sollgröße bei „optimaler“ Transformation des Anlagenparks	55
ABBILDUNG 31:	Produktionskosten der Stahlindustrie nach Szenario Euro in Preisen des Jahres 2020 je Tonne Stahl	56
ABBILDUNG 32:	Abweichung der Produktion der Stahlindustrie nach Szenario Gegenüber dem Referenzszenario	57
ABBILDUNG 33:	Aufwand und Ertrag des Instruments „Subvention“ (Stahlindustrie) Abweichung der Wertschöpfung (Mrd. Euro) und der THG-Emissionen (Mio. t) des Szenarios „Abschmelz & Subvention“ gegenüber dem Szenario „Abschmelz“	58
ABBILDUNG 34:	Aufwand und Ertrag des Instruments „CBAM“ (Stahlindustrie) Abweichung der Wertschöpfung (Mrd. Euro) und der THG-Emissionen (Mio. t) des Szenarios „Abschmelz & CBAM“ gegenüber dem Szenario „Abschmelz“	58
ABBILDUNG 35:	Aufwand und Ertrag der Instrumente „Subvention & CBAM“ (Stahlindustrie) Abweichung der Wertschöpfung (Mrd. Euro) und der THG-Emissionen (Mio. t) des Szenarios „Abschmelz & Subvention & CBAM“ gegenüber dem Szenario „Abschmelz“	59

Zusammenfassung

Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2045 Klimaneutralität in Deutschland zu erreichen. Aktuell ist der Industriesektor nach dem Energiesektor der zweitwichtigste Emittent von Treibhausgasen in Deutschland. Die Branchen Grundstoffchemie, Zement/Kalk und Roheisen/Stahl vereinen aktuell rund 71 Prozent der industriellen Gesamtemission auf sich. Der Dekarbonisierung dieser Branchen kommt daher eine zentrale Rolle für die Erreichung der Klimaneutralität in Deutschland zu.

Für den Großteil der aktuell eingesetzten emissionsintensiven Produktionsverfahren stehen emissionsarme oder -freie Alternativen in technischer Hinsicht prinzipiell zur Verfügung. In der Regel sind emissionsärmere Produktionsverfahren jedoch mit höheren Investitions- und Betriebskosten sowie weiteren Herausforderungen verbunden. Es kann daher nicht davon ausgegangen werden, dass die Unternehmen der Grundstoffindustrien von sich aus auf Grundlage betriebswirtschaftlicher Überlegungen auf emissionsärmere Verfahren umstellen. Politische Instrumente sind daher für die Dekarbonisierung der Grundstoffindustrie notwendig.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, mittels eines modellbasierten Szenarienvergleichs ein vorteilhaftes Design klimapolitischer Instrumente für die Dekarbonisierung der drei Industriebranchen Grundstoffchemie, Zement- und Stahlherstellung zu bestimmen. Kriterien für die Vorteilhaftigkeit sind ein möglichst geringer Instrumenteneinsatz, möglichst hohe vermiedene Treibhausgasemissionen sowie möglichst geringe Einbußen der Wertschöpfung und Beschäftigung in der betreffenden Industrie.

Als Maßstab für die Vorteilhaftigkeit der klimapolitischen Instrumente dient ein Referenzszenario, in welchem die voraussichtliche Entwicklung der drei Industrien bis zum Jahr 2045 ohne den Einfluss zusätzlicher klimapolitischer Maßnahmen abgebildet wird. Der Anteil der frei zugewiesenen Zertifikate im Rahmen des europäischen Emissionshandels (EU-ETS) verharrt hier auf dem aktuellen Niveau, die Zertifikatspreise steigen jedoch. Dieser Referenz werden Politiksznarien gegenübergestellt, in welchen die frei zugeteilten Zertifikate bis 2035 abgebaut werden und folgende klimapolitische Instrumente eingeführt werden: ein emissionsbasierter Grenzausgleich (CBAM), kompensierende Betriebskostenzuschüsse für transformierte Anlagen (z.B. Carbon Contracts for Difference) sowie ordnungsrechtliche Vorgaben, welche die konventionelle Technik verbieten. In den Politiksznarien werden die genannten Instrumente einzeln oder in Kombination eingesetzt.

Die Szenariorechnungen werden mit dem agentenbasierten Simulationsmodell „LABS“ (Large Agent Based Simulation) der Prognos durchgeführt. Das Modell ist für das Untersuchungsziel besonders geeignet, da es die Produktionsprozesse auf der Ebene einzelner, repräsentativer Unternehmen abbildet und letztere zugleich in einen gesamtwirtschaftlichen Analyserahmen eingebettet sind.

Die zukünftigen Preise für Energieträger und die Zertifikatspreise im EU-ETS folgen den aktuellen energiepolitischen Projektionen der Prognos. Für das außereuropäische Ausland ist unterstellt, dass ab 2030 THG-Emissionen mit einem Preis versehen werden, welcher allerdings bis 2045 unter dem europäischen Niveau verbleibt.

In der Grundstoffchemie wird bei einem Abschmelzen der freien Zertifikate erst 2042 die Kostenparität zwischen dem konventionellen und dem emissionsarmen Produktionsverfahren erreicht. Eine frühzeitigere Umstellung der Grundstoffchemie kann ordnungspolitisch erzwungen (z.B. durch ein Verbot des konventionellen Verfahrens) werden, was aber zu deutlichen Kostennachteilen gegenüber der außereuropäischen Konkurrenz und damit zu Umsatz- und Produktionseinbußen von bis zu fünfzig Prozent führt. Alternativ kann die Transformation durch entsprechende Unterstützungsleistungen finanziell angereizt werden. Eine Kombination aus einer Subventionierung des emissionsarmen Produktionsverfahrens und des emissionsbasierten Grenzausgleichs stellt sich am vorteilhaftesten für die Unternehmen der Grundstoffchemie dar, da sie sowohl vor als auch nach ihrem Technikwechsel auf dem Inlandsmarkt eine Kostenparität gegenüber den außereuropäischen Unternehmen aufweisen. Die Umsatz- und Produktionseinbußen belaufen sich in diesem Szenario auf maximal 7 Prozent. An Subventionsleistungen sind vom Staat insgesamt gut 10 Mrd. Euro aufzuwenden, während sich das CBAM-Aufkommen auf 1,4 Mrd. Euro beläuft. Dem stehen Wertschöpfungszugewinne gegenüber

dem rein ordnungspolitischen Szenario in Höhe von fast 100 Mrd. Euro gegenüber – die Effizienz der beiden Instrumente ist vergleichsweise hoch und ihr Einsatz ist somit auch politisch vorteilhaft.

Die Zementindustrie weist eine sehr geringe Außenhandelsorientierung auf und bei einem Abschmelzen der freien Zertifikate wird bereits 2029 die Kostenparität zwischen dem konventionellen und dem alternativen Produktionsverfahren erreicht. Nur fünf Jahre später wird auch im außereuropäischen Ausland die emissionsarme Produktionstechnik günstiger als die konventionelle. Der politische Handlungsbedarf für die Unterstützung des Transformationsprozesses ist entsprechend gering. Der Aufbau von Carbon-Capture-and-Storage-Kapazitäten ist sehr kapitalintensiv. Ein Investitionskostenzuschuss im Umfang von drei Mrd. Euro beschleunigt den Aufbau der CCS-Kapazitäten um vier bis fünf Jahre und vermeidet somit im Zeitverlauf THG-Emissionen. Ein flankierender emissionsbasierter Grenzausgleich für Zementprodukte, für welchen 0,4 Mrd. Euro aufgewendet werden müssten, erscheint auf Basis der hier angestellten Szenariorechnungen nicht notwendig. Den beiden genannten Aufkommen stehen Zugewinne auf Seiten der Wertschöpfung in Höhe von „lediglich“ 3,5 Mrd. Euro gegenüber (gegenüber einem Szenario mit reduzierten freien ohne Politikinstrumente).

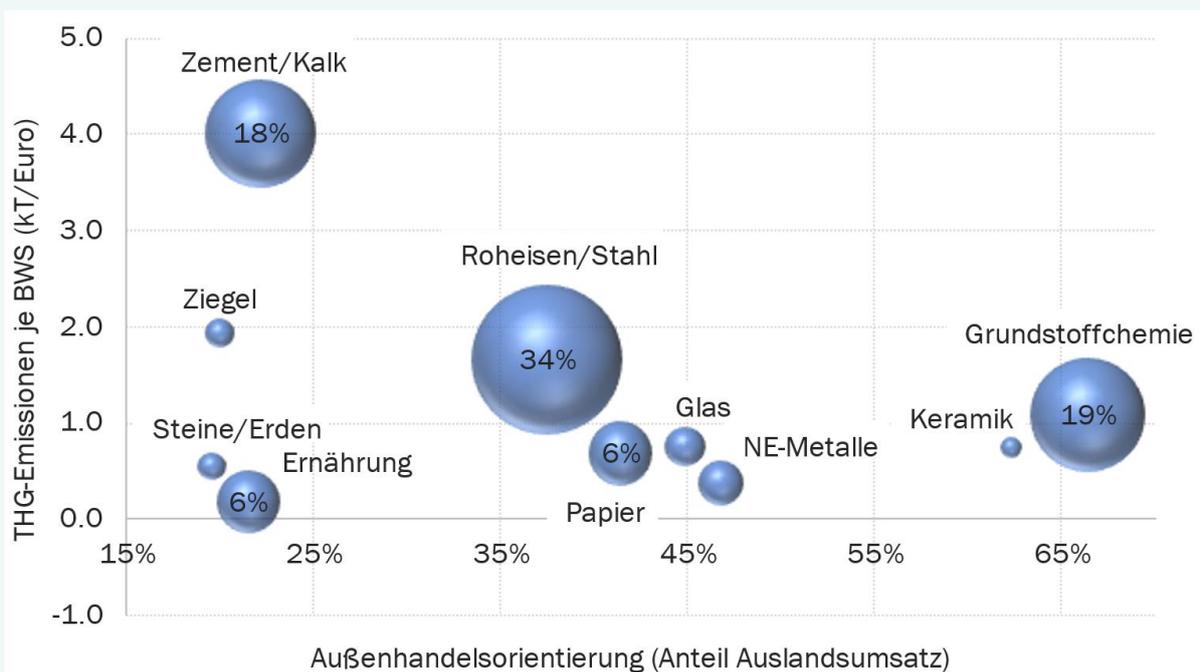
In der Primärstahlproduktion ist ein Technikwechseln ab Mitte der 2020er Jahre betriebswirtschaftlich vorteilhaft. Für den tatsächlichen Wechsel der Produktionstechnik ist jedoch das Alter der Bestandsanlage relevant, so dass sich die Umstellung über mehrere Jahre bis 2035 streckt. Diese Besonderheit im Transformationspfad der Stahlindustrie hat zur Folge, dass Bestandsanlagen bereits vor der Umstellung aufgrund des Abschmelzens der kostenlosen Zertifikate unter Druck geraten. Ohne Schutz würden viele konventionelle Anlagen vom Markt genommen werden. Die Transformation der Stahlindustrie wäre damit gescheitert. Bei einem Schutz auf dem Inlandsmarkt durch einen emissionsbasierten Grenzausgleich hingegen betragen die Umsatz- und Produktionsverluste maximal zehn Prozent. Bei einer zusätzlichen Gewährung von Investitions- und Betriebskostenzuschüssen kann das Produktionsniveau des Referenzszenarios gehalten werden. Knapp 15 Mrd. Euro sind in diesem Fall an Unterstützungsleistungen durch den Staat aufzuwenden, während sich das CBAM-Aufkommen auf knapp fünf Mrd. Euro beläuft. Durch den Einsatz der beiden Instrumente kann in der Stahlindustrie Wertschöpfung im Umfang von gut 220 Mrd. Euro gegenüber einem Szenario ohne unterstützende Maßnahmen bewahrt werden. Unter Effizienzgesichtspunkten ist der Einsatz beider Instrumente vorteilhaft.

Die Studie macht deutlich, dass die unterschiedlichen Charakteristika der betrachteten Industrien jeweils spezifisch abgestimmte Instrumente erfordern. Die öffentliche Unterstützung, die für die Transformation notwendig oder zumindest vorteilhaft ist, ist in allen Fällen zeitlich begrenzt. Die Studie zeigt Wege auf, diese Mittel wirksam und effizient einzusetzen, so dass die Transformation der Industrien hin zur Klimaneutralität unter Wahrung von Wertschöpfung und Beschäftigung in den Branchen gelingen kann.

1. Hintergrund und Untersuchungsziel der Studie

Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2045 Klimaneutralität in Deutschland zu erreichen. Aktuell ist der Industriesektor nach dem Energiesektor der zweitwichtigste Emittent von Treibhausgasen in Deutschland. Ein Großteil der dort anfallenden Emissionen verteilt sich auf wenige Branchen in den Grundstoffindustrien. **ABBILDUNG 1** zeigt die Bedeutung verschiedener Industrien an der industriellen Gesamtemission. Die Branchen Grundstoffchemie, Zement/Kalk und Roheisen/Stahl vereinen rund 71 Prozent der industriellen Gesamtemission auf sich. Der Dekarbonisierung dieser Branchen kommt daher eine zentrale Rolle für die Erreichung der Klimaneutralität zu.

ABBILDUNG 1: Emissionsintensität der Wertschöpfung, Außenhandelsorientierung und Anteil an den industriellen Gesamtemissionen (Kugelgröße), ausgewählte Industriebranchen, Deutschland, 2018



Quelle: Statistisches Bundesamt, Umweltbundesamt, eigene Berechnungen

Für den Großteil der aktuell eingesetzten emissionsintensiven Produktionsverfahren stehen emissionsarme oder -freie Alternativen in technischer Hinsicht prinzipiell zur Verfügung. Gegebenenfalls müssen Emissionen abgeschieden und (dauerhaft) gespeichert werden („Carbon Capture and Storage“). In der Regel sind emissionsärmere Produktionsverfahren jedoch mit höheren Investitions- und Betriebskosten sowie weiteren Herausforderungen verbunden. Es kann daher nicht davon ausgegangen werden, dass die Unternehmen der Grundstoffindustrien von sich aus auf Grundlage betriebswirtschaftlicher Überlegungen auf emissionsärmere Verfahren umstellen. Politische Instrumente erscheinen für die Dekarbonisierung notwendig.

Verschiedene klimapolitische Instrumente und Maßnahmen stehen aktuell in der politischen Diskussion. Preisinstrumente verteuern emissionsintensive Produktionsverfahren respektive Produkte, können aber auch zu Produktionsverlagerungen führen („Carbon Leakage“), falls das außereuropäische Ausland keine vergleichbaren Instrumente einführt. Importabgaben können emissionsbasierte Kostennachteile zumindest auf den Inlandsmarkt ausgleichen. Kompensatorische Instrumente schließlich gewähren denjenigen Unternehmen, welche auf emissionsarme Verfahren umstellen, Zuschüsse zum Ausgleich eventueller Kostennachteile gegenüber konventionellen Produktionsverfahren.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, mittels eines modellbasierten Szenarienvergleichs ein vorteilhaftes Design klimapolitischer Instrumente für die Dekarbonisierung der deutschen Grundstoffindustrien zu bestimmen. Im

Zentrum stehen dabei die direkten Emissionen durch die betrachteten industriellen Produktionsprozesse. Kriterien für die Vorteilhaftigkeit sind ein möglichst geringer Instrumenteneinsatz, möglichst hohe vermiedene Treibhausgasemissionen sowie möglichst geringe Einbußen der Wertschöpfung und Beschäftigung in der betreffenden Industrie gegenüber einem Referenzszenario, in welchem die effektiven Emissionskosten bis 2045 nur moderat zunehmen. Die Analysen werden für die drei Grundstoffindustrien Grundstoffchemie, Zementindustrie sowie Primärstahlproduktion exemplarisch durchgeführt. Die drei Branchen unterscheiden sich teilweise deutlich hinsichtlich der Emissionsintensität ihrer Wertschöpfung und ihrer außenwirtschaftlichen Exposition. Dies wird im Rahmen der Studie berücksichtigt, indem branchenspezifische Charakteristika im Modell abgebildet und die einzelnen Branchen separat analysiert werden.

2. Methodische Vorgehensweise

Die ökonomische Evaluation der klimapolitischen Instrumente erfolgt mittels eines modellbasierten Szenarienvergleichs. Durch die Gegenüberstellung der Szenarien kann bestimmt werden, welche Instrumente am besten geeignet sind, eine Dekarbonisierung der Grundstoffindustrie bis 2045 unter der Aufrechterhaltung von Wertschöpfung und Beschäftigung zu ermöglichen.

Das Referenzszenario stellt den aktuellen Stand der betreffenden Grundstoffindustrie und ihre voraussichtliche Entwicklung bis zum Jahr 2045 ohne den Einfluss zusätzlicher klimapolitischer Maßnahmen dar. Auch in diesem Szenario steigt der EU-ETS-Preis im Zeitverlauf an. Emissionsminderungen sind in diesem Szenario nur möglich, wenn die Produktion der betreffenden Industrie etwa aufgrund einer trendmäßig rückläufigen Nachfrage sinkt, die exogen vorgegebenen Veränderungen der Energieträgerpreise einen Wechsel hin zu emissionsärmeren Energieträgern ökonomisch vorteilhaft machen oder Effizienzverbesserungen innerhalb der bestehenden Produktionstechnik erfolgen. In diesem Szenario werden somit vor allem weltwirtschaftliche Einflüsse, die Implikationen des sektoralen Strukturwandels, des technischen Fortschritts u.a.m. betrachtet. Das Referenzszenario dient als Benchmark für die nachfolgenden Szenarien, in welchen zusätzliche klimapolitische Instrumente eingeführt und bestehende ausgeweitet werden. Die Entwicklung der jeweiligen Grundstoffindustrie orientiert sich an den Ergebnissen des aktuellen Basisszenarios für Deutschland und die Weltwirtschaft, welches Prognos mit Hilfe des Weltwirtschaftsmodells VIEW regelmäßig erstellt (Prognos Economic Outlook, Frühjahr 2022). Bezüglich der klimapolitischen Rahmenbedingungen für die Industrien ist hier unterstellt, dass diese keine Kostennachteile und entsprechende Marktanteilsverluste zur Folge haben.

Dem Referenzszenario werden Politiksznarien gegenübergestellt. In diesen wird die bisherige in Teilen kostenfreie Zuteilung von Emissionszertifikaten für die Grundstoffindustrien bis 2035 sukzessive abgebaut („Abschmelz-Szenario“). Folgende politische Instrumente werden hierauf aufsetzend in der Studie untersucht:

- Ab 2025 wird ein emissionsbasierter Grenzausgleichsmechanismus (CBAM) eingeführt, welcher Importe in die Europäische Union mit einer Abgabe in Abhängigkeit von der Emissionsintensität der Produktion sowie der Differenz der Emissionskosten zwischen In- und Ausland belegt. Im Ergebnis entsprechen die Emissionskosten der importierten Produkte denen in der EU.
- Beim zweiten Instrument erhalten Unternehmen, welche auf emissionsarme und teurere Produktionsverfahren umstellen, kompensierende Betriebskostenzuschüsse, welche z.B. im Rahmen eines (Carbon) Contract for Difference (CCfD) von Seiten des Staates gewährt werden können.
- Das dritte Instrument ist ein ordnungsrechtliches Verbot des konventionellen Produktionsverfahrens. Den Unternehmen wird eine zeitliche Frist gewährt, innerhalb derer sie einen Technikwechsel hin zur THG-Neutralität vornehmen müssen.

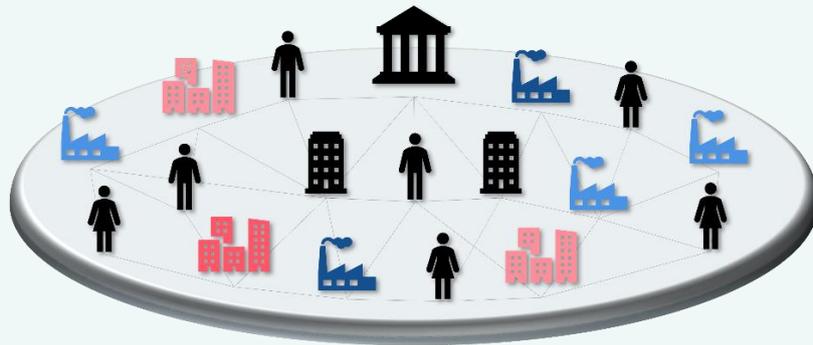
Die Politiksznarien zeigen – einzeln und in Kombination miteinander – durch ihre Gegenüberstellung mit dem Referenzszenario die branchenspezifischen Effekte auf, welche durch die Transformation der Branche hin zur Klimaneutralität unter den jeweiligen klimapolitischen Rahmenbedingungen verursacht werden. Da sich die ausgewählten Grundstoffindustrien zum Teil deutlich hinsichtlich ihrer verfahrenstechnischen, energetischen, emissionsspezifischen und ökonomischen Besonderheiten unterscheiden, kann die optimale Ausgestaltung der politischen Instrumente in der jeweiligen Branche eine andere sein.

Die Szenariorechnungen werden mit dem agentenbasierten Simulationsmodell „LABS“ (Large Agent Based Simulation) der Prognos durchgeführt. Das Modell ist für das Untersuchungsziel besonders geeignet, da es die Produktionsprozesse auf der Ebene einzelner, repräsentativer Unternehmen abbildet und letztere zugleich in einen gesamtwirtschaftlichen Analyserahmen eingebettet sind (siehe Infobox).

i

LABS – das agentenbasierte Simulationsmodell der Prognos

LABS ist ein Simulationsmodell, in welchem eine Vielzahl heterogener Unternehmen, privater Haushalte, von Banken und der Staat autonom mittels Handlungsregeln ihre jeweiligen Ziele verfolgen. Diese handelnden Einheiten – die Agenten – können sich innerhalb des Modells mittels sozialen Lernens an neue Rahmenbedingungen anpassen. Alle ökonomischen Prozesse werden in LABS auf der individuellen Ebene modelliert und der jeweilige Zustand des Gesamtsystems resultiert aus der Interaktion der Agenten (bottom-up-Perspektive). Das Gesamtsystem kann hierbei Eigenschaften aufweisen, welche von den Agenten nicht beabsichtigt und auch in ihren Handlungsregeln nicht direkt angelegt sind. Ökonomische Konjunkturzyklen sind Beispiele derartiger emergenter Phänomene. LABS bietet eine Laborumgebung, welche es ermöglicht, ökonomische Verhaltensweisen und ihre gesamtwirtschaftlichen Konsequenzen mikrofundiert zu analysieren.



Der Simulationszeitraum erstreckt sich in der hier durchzuführenden Studie über 25 Jahre. Der computative Aufwand für einen Modelldurchlauf ist vergleichsweise hoch, da jede Transaktion zwischen den einzelnen Agenten im Modell explizit abgebildet wird, die zeitliche Auflösung des Modells einen Monat beträgt und bestimmte Handlungen der Agenten wie etwa Einkaufsgänge mehrmals im Monat stattfinden. Genauso wie in der „echten“ Welt spielt auch in LABS der Zufall eine gewisse Rolle, kein Modelllauf gleicht exakt einem anderen. Um statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Szenarien bestimmen zu können, ist daher eine Vielzahl von Simulationsläufen je Szenario notwendig ($n = 200$).

LABS wird für die hier durchzuführende Analyse gegenüber der Basisvariante des Modells in den folgenden Hinsichten ausdifferenziert und neu kalibriert:

- Für jede zu betrachtende Grundstoffindustrie werden die Szenarioanalysen separat durchgeführt. Unter dieser Voraussetzung ist es hinreichend, im Modell zwischen der betreffenden Grundstoffindustrie, einem nachgelagerten Industriesektor sowie einem Dienstleistungsbereich zu unterscheiden. Der nachgelagerte Industriesektor produziert u. a. Investitionsgüter, welche auch von der betreffenden Grundstoffindustrie nachgefragt werden. Neben den Kostenaspekten alternativer Produktionsmethoden werden auch Refinanzierungsbedarfe sowie die durchschnittliche Lebensdauer der Anlagen in der Grundstoffindustrie berücksichtigt. Die Abbildung differenzierter industrieller Vorleistungsketten steigert die Modellkomplexität immens und wäre unseres Erachtens aufgrund der Positionierung der Grundstoffindustrie am Anfang der Wertschöpfungskette nur mit einem geringen analytischen Mehrwert verbunden.
- Das Modell wird nach zwei Ländern differenziert. Das Inland repräsentiert die deutsche bzw. europäische Volkswirtschaft, welche einheitlich bis 2045 Klimaneutralität erreichen möchte. Das Ausland strebt ebenfalls Klimaneutralität an, jedoch zeitverzögert. Die im Inland umgesetzten klimapolitischen Instrumente müssen sich somit in einem internationalen Umfeld der (temporär) fehlenden politischen Kooperation bewähren. Die sektorspezifische Bedeutung des Außenhandels wird über entsprechende Setzungen der spezifischen Transportkosten und der Größenverhältnisse der beiden modellierten Volkswirtschaften so

kalibriert, dass die statistisch vorliegenden Ex- und Importquoten durch das Modell näherungsweise reproduziert werden.

- Die modellseitige Reduktion der Weltwirtschaft auf zwei „Länder“ mit ähnlichen Kenngrößen ist im Kontext dieser Studie eine zulässige Vereinfachung, da hier ausschließlich die ökonomische Vorteilhaftigkeit der klimapolitischen Instrumente das Untersuchungsziel darstellt. Wettbewerbsbestimmende Faktoren jenseits der unterschiedlichen Klimapolitik wie etwa unterschiedliche Lohnsätze zwischen den Ländern können ohne weiteres im Modell implementiert werden, sie sind jedoch für das eigentliche Untersuchungsziel irrelevant und würden die Vermittlung der Szenarien nach außen unnötig erschweren.
- Die energie- und emissionspezifischen Kenngrößen der modellierten Unternehmen sowie alle weiteren ökonomischen Kenngrößen werden in LABS so kalibriert, dass diese zum Startpunkt der Simulation näherungsweise – mit geringen zufallsverteilten individuellen Abweichungen – den statistisch vorliegenden durchschnittlichen Kenngrößen des betreffenden Wirtschaftsbereiches entsprechen (bezogen auf das Basisjahr 2019). Analog wird mit den weiteren ökonomischen Kenngrößen der deutschen Volkswirtschaft verfahren. Für die Ökonomie des Auslands unterstellen wir, dass sich diese im Ausgangszustand lediglich durch die größere Anzahl an Agenten in den jeweiligen Sektoren von der des Inlands unterscheidet.
- Die Produktionstechniken bzw. -verfahren der Unternehmen eines Sektors werden im Modell explizit als technische Produktionsfunktionen definiert und können im Simulationsverlauf von den Unternehmen auf der Basis von Kostenoptimierungskalkülen verändert werden – etwa, indem kostengünstigere Betriebsmittel (i. e. Energieträger) zum Einsatz kommen oder mittels entsprechender Investitionen die im Kapitalstock inkorporierte Technik durch eine alternative ersetzt wird. Preise für Betriebsmittel und Investitionsgüter sowie technische Eigenschaften alternativer Produktionsverfahren können, sofern sie nicht modellendogen bestimmt werden, als exogene Größen dem Modell vorgegeben werden (z. B. Kostenkurven emissionsarmer Produktionsverfahren).
- Hinsichtlich der Kommunikation und Wahrnehmung der Klimapolitik der beiden Länder unterstellen wir, dass diese offen und glaubhaft durch den Staat proklamiert und von den übrigen Agenten als dauerhaft wahrgenommen wird. In der Konsequenz wird die aktuelle und für die Zukunft erwartete Klimapolitik auch bei den langfristigen Investitionsentscheidungen der Unternehmen einkalkuliert. So fließt beispielsweise beim Kostenvergleich konkurrierender Produktionsverfahren auch die erwartete Entwicklung eines CO₂-Preises mit ein.

Für den Szenarienvergleich werden eine Vielzahl einzelner Simulationsläufe durchgeführt ($n \approx 210$). Im Fokus der Szenarienvergleiche stehen die zentralen ökonomischen Kenngrößen der betreffenden Grundstoffindustrie sowie ihre Emissionen. Aufgrund der gesamtwirtschaftlich sehr geringen Bedeutung der drei hier betrachteten Industrien verzichten wir auf einen Ausweis eventueller gesamtwirtschaftlicher Effekte.

3. Charakteristika der drei Grundstoffindustrien

3.1. Grundstoffchemie

Betriebe der chemischen Industrie stellen eine Vielzahl an Vorleistungsprodukten her, die anschließend im In- und Ausland weiterverarbeitet werden. Die Herstellung chemischer Grundstoffe ist sowohl energie- als auch CO₂-intensiv, insbesondere die Herstellung von Kunststoffen in Primärform. Dabei werden mittels Steamcracker Ethylen, Propylen und andere High-Value Chemicals (HVC) hergestellt. Die Gruppe umfasst insgesamt die Herstellung von chemischen Grundstoffen, Düngemitteln und Stickstoffverbindungen, Kunststoffen in Primärform und synthetischen Kautschuk in Primärform.

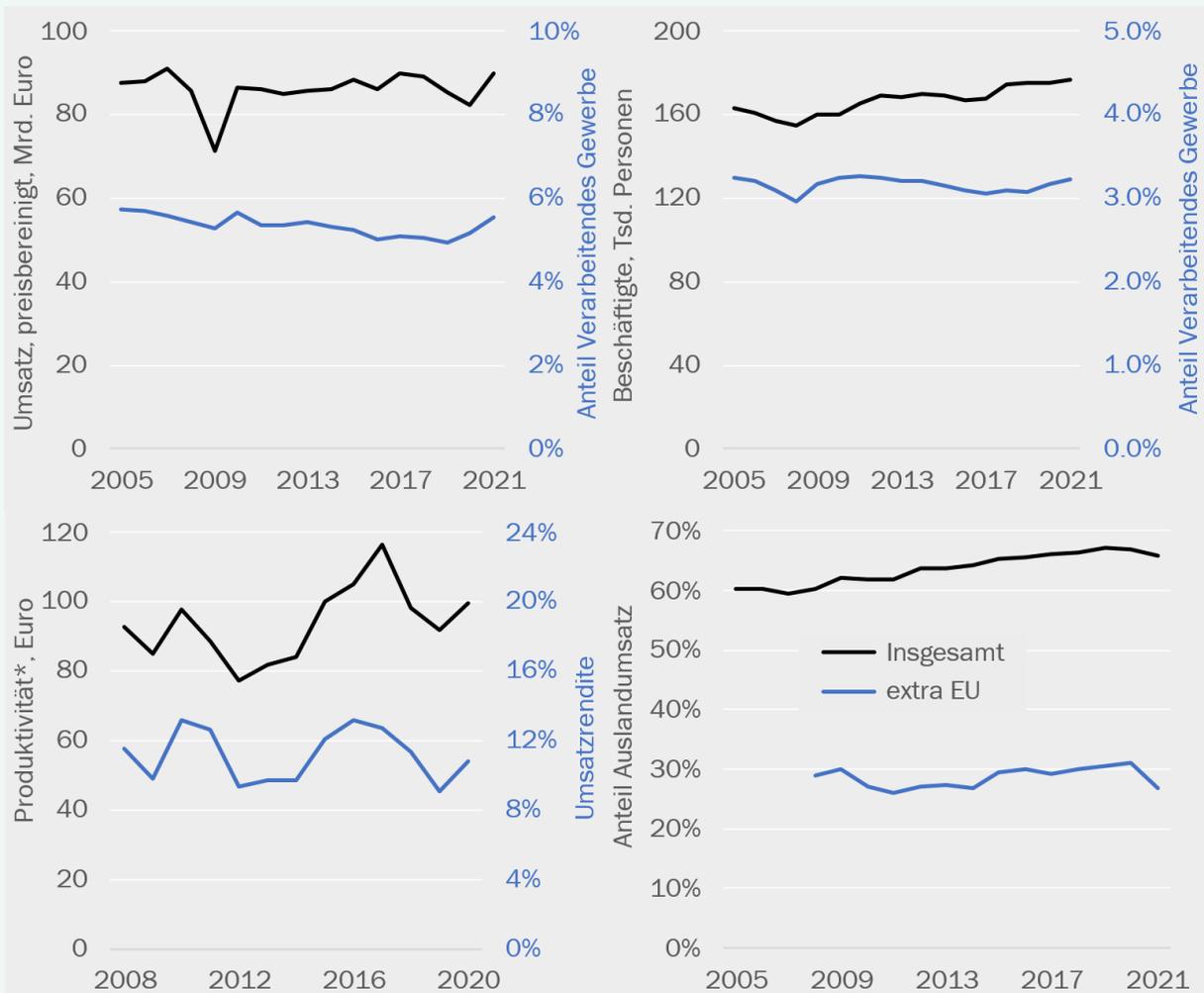
Ökonomische Bedeutung und Entwicklung

Der um Preisveränderungen bereinigte Umsatz der Grundstoffchemie liegt seit Mitte der 2000er Jahre relativ konstant bei 90 Mrd. Euro. Dies entspricht einem Anteil am Umsatz des Verarbeitenden Gewerbes insgesamt von etwas mehr als fünf Prozent. Der Beschäftigtenstand konnte im Betrachtungszeitraum leicht ausgeweitet werden. Aktuell sind 180 Tsd. Personen in der Grundstoffchemie beschäftigt. Der Beschäftigtenanteil am Verarbeitenden Gewerbe ist mit ca. drei Prozent geringer als der Umsatzanteil.

Die Branche ist stark exportorientiert. Der Anteil des Auslandsumsatzes ist im Betrachtungszeitraum trendmäßig gestiegen und liegt mit aktuell 67 Prozent deutlich über dem entsprechenden Wert für das Verarbeitende Gewerbe insgesamt (51 %). Etwa 30 Prozent des Umsatzes wird in Ländern außerhalb der Europäischen Union erzielt. Neben den Exporten wird der weit überwiegende Rest der Produktion als Vorleistungen für andere Branchen verwendet, von denen weitere Chemiesparten, Gummi- und Kunststoffwaren sowie pharmazeutische Erzeugnisse die bedeutendsten sind.

ABBILDUNG 2: Ökonomische Kenngrößen der Grundstoffchemie (WZ08: 20.1)

Im Uhrzeigersinn: Umsatz (deflationiert), Beschäftigte, Produktivität und Umsatzrendite, Anteil Auslandsumsatz



Quelle: Statistisches Bundesamt (Destatis), eigene Berechnungen
 * Bruttowertschöpfung (deflationiert) je Beschäftigtenstunde

© Prognos AG, 2022

Technische Minderungspotenziale der THG-Emissionen

Für Prozesse in der chemischen Grundstoffindustrie sind große Mengen an Strom und Dampf erforderlich. Als Ersatz für die fossile Dampferzeugung in Gaskesseln und KWK-Anlagen kommt die Wärme- und Dampferzeugung aus Power-to-Heat (E-Kesseln) in Betracht. Direkte Emissionen können hierdurch vollständig vermieden werden. Die technische Marktreife der Technologie ist Abschätzungen der Agora Energiewende zufolge ab Anfang der 2030er Jahre erreicht (vgl. Agora Energiewende 2019). In den nachfolgenden Politik-szenarien unterstellen wir, dass ein Technikwechsel vom konventionellen auf das klimafreundliche Verfahren ungeachtet der jeweiligen Produktionskosten erst ab 2030 möglich ist. Die Verläufe der Produktionskosten der beiden Verfahren werden in Kapitel 4.3 ausführlich diskutiert.

3.2. Zementherstellung

Betriebe der Zementherstellung erzeugen aus Kalkstein und Ton Zement. Zement gehört zu den meistverwendeten Baustoffen der Baubranche. Als Bindemittel wird es u.a. in der Herstellung von Beton, Mörtel und Estrich verwendet und ist entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Baubranche von zentraler Bedeutung. Die Herstellung von Zement wird nach WZ08-Klassifikation durch den Bereich WZ08-23.51 dargestellt

und ist eine Unterkategorie der Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden (WZ08-23). Im Herstellungsprozess von Zement wird eine erhebliche Menge des im Kalk gebundenen CO₂ freigesetzt.

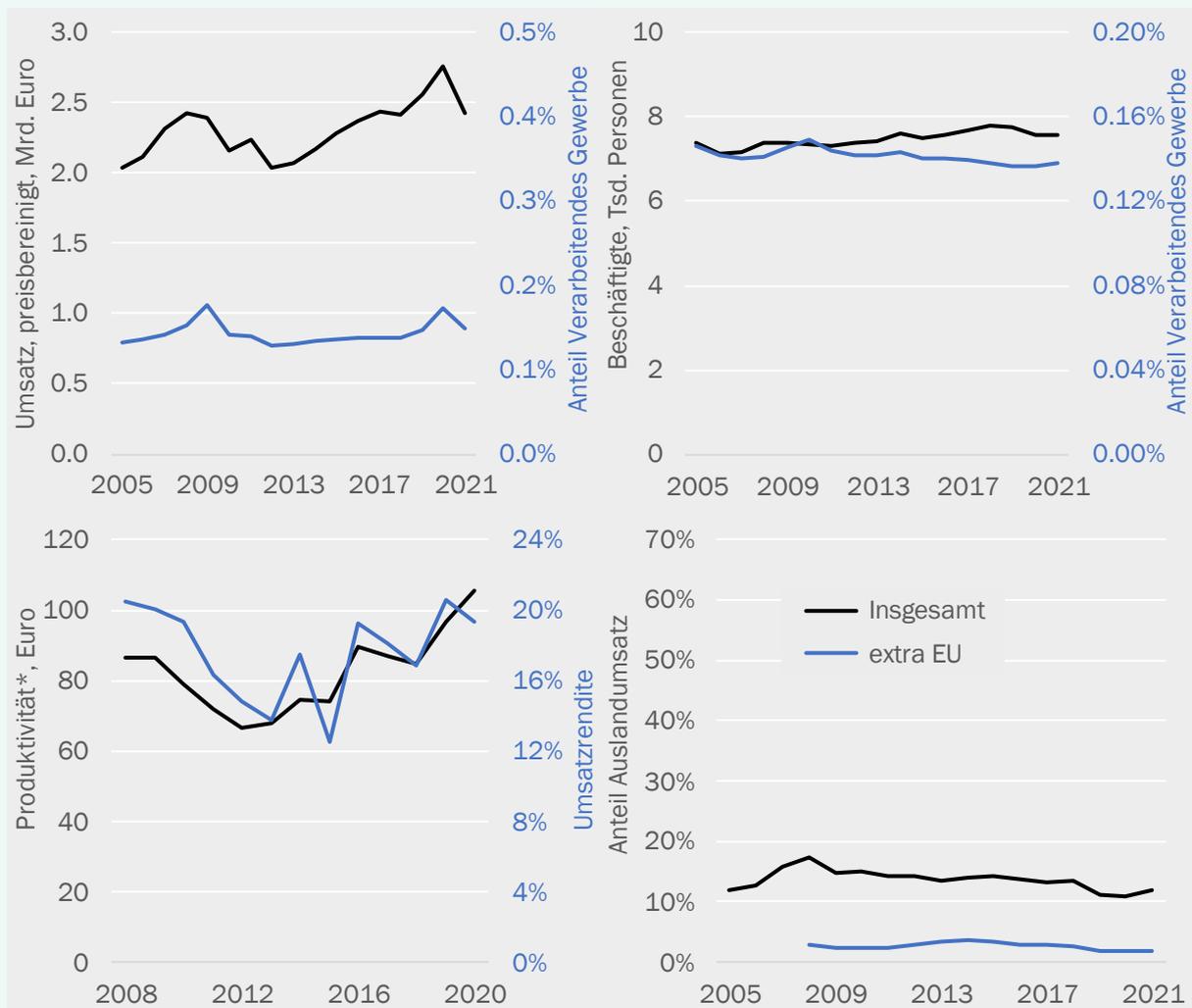
Ökonomische Bedeutung und Entwicklung

Die Branche ist für sich genommen gesamtwirtschaftlich von untergeordneter Bedeutung. Im Jahr 2019 waren lediglich 0,02 Prozent aller in Deutschland beschäftigten Personen in der Zementherstellung tätig (Anteil am Verarbeitenden Gewerbe: 0,14 Prozent). Im Schnitt der letzten Jahre waren rund 7.500 Personen in der Branche beschäftigt. Die Branche generierte 0,18 Prozent der gesamten Bruttowertschöpfung des Verarbeitendem Gewerbes und 0,04 Prozent der gesamten Bruttowertschöpfung Deutschlands. Die Bruttowertschöpfung und der Produktionswert stiegen in den letzten Jahren leicht an und lagen 2019 bei 1,2 Mrd. bzw. 3,3 Mrd. Euro.

Der Fokus des Absatzes liegt auf den Binnenmarkt: knapp 90 Prozent des Umsatzes werden im Inland erzielt. Der weit überwiegende Teil der Exporte geht in die Länder der Europäischen Union, der Exportanteil mit Ländern außerhalb der Europäischen Union liegt bei drei Prozent (gemessen am Gesamtumsatz). Im Inland wird die Produktion der Branche zum weit überwiegenden Teil als Vorleistung für die Baubranche verwendet.

ABBILDUNG 3: Ökonomische Kenngrößen der Zementindustrie

Im Uhrzeigersinn: Umsatz (deflationiert), Beschäftigte, Produktivität und Umsatzrendite, Anteil Auslandsumsatz



Quelle: Statistisches Bundesamt (Destatis), eigene Berechnung
* Bruttowertschöpfung (deflationiert) je Beschäftigtenstunde

Mit 28 Prozent des Bruttoproduktionswertes stellen Materialkosten den größten Kostenblock dar. Die Herstellung von Zement ist materialintensiv. Der Personalkostenanteil entspricht mit knapp 20 Prozent in etwa dem Durchschnitt des Verarbeitenden Gewerbes. Kosten des Energieverbrauchs sind mit zehn Prozent überdurchschnittlich hoch.

Technische Minderungspotenziale der THG-Emissionen

Im Bereich der Zementherstellung stellen insbesondere prozessbedingte Emissionen eine Herausforderung dar. Durch CO₂-Abscheidung mit dem Oxyfuel-Verfahren (CCS) können rund 90 Prozent der anfallenden Emissionen abgeschieden werden. Die Technologie wird in Deutschland bereits in Pilot- und Demonstrationsprojekten eingesetzt. Ein kommerzieller Einsatz ist annahmegemäß erst ab 2030 möglich (vgl. Agora Energiewende 2019). Voraussetzung für die erfolgreiche Verbreitung der Technologie ist die Akzeptanz der Öffentlichkeit bezüglich des Transports und der Speicherung von CO₂ sowie eine Infrastruktur für den Transport. Zu beachten ist weiterhin der hohe Strombedarf des Verfahrens. (Für eine weiterführende Diskussion der technischen Minderungspotenziale siehe VDZ 2020.)

3.3. Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen

Stahl kann einerseits auf Basis von Eisenerz und andererseits auf Basis von Stahlschrott erzeugt werden. Beide Verfahren werden in Deutschland angewendet. Aufgrund der hohen CO₂-Intensität steht im Zentrum dieser Studie die Primärstahlproduktion basierend auf Eisenerz. Die Branche wird durch die Gruppe 24.1 „Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen“ der Wirtschaftszweigklassifikation repräsentiert, wobei die Primärstahlproduktion bezogen auf die Produktionsmenge einen Anteil von etwa 70 Prozent ausmacht. Zu den wichtigsten Abnehmern der Branche gehören das Baugewerbe, die Herstellung von Metall-erzeugnissen sowie der Fahrzeug- und Maschinenbau.

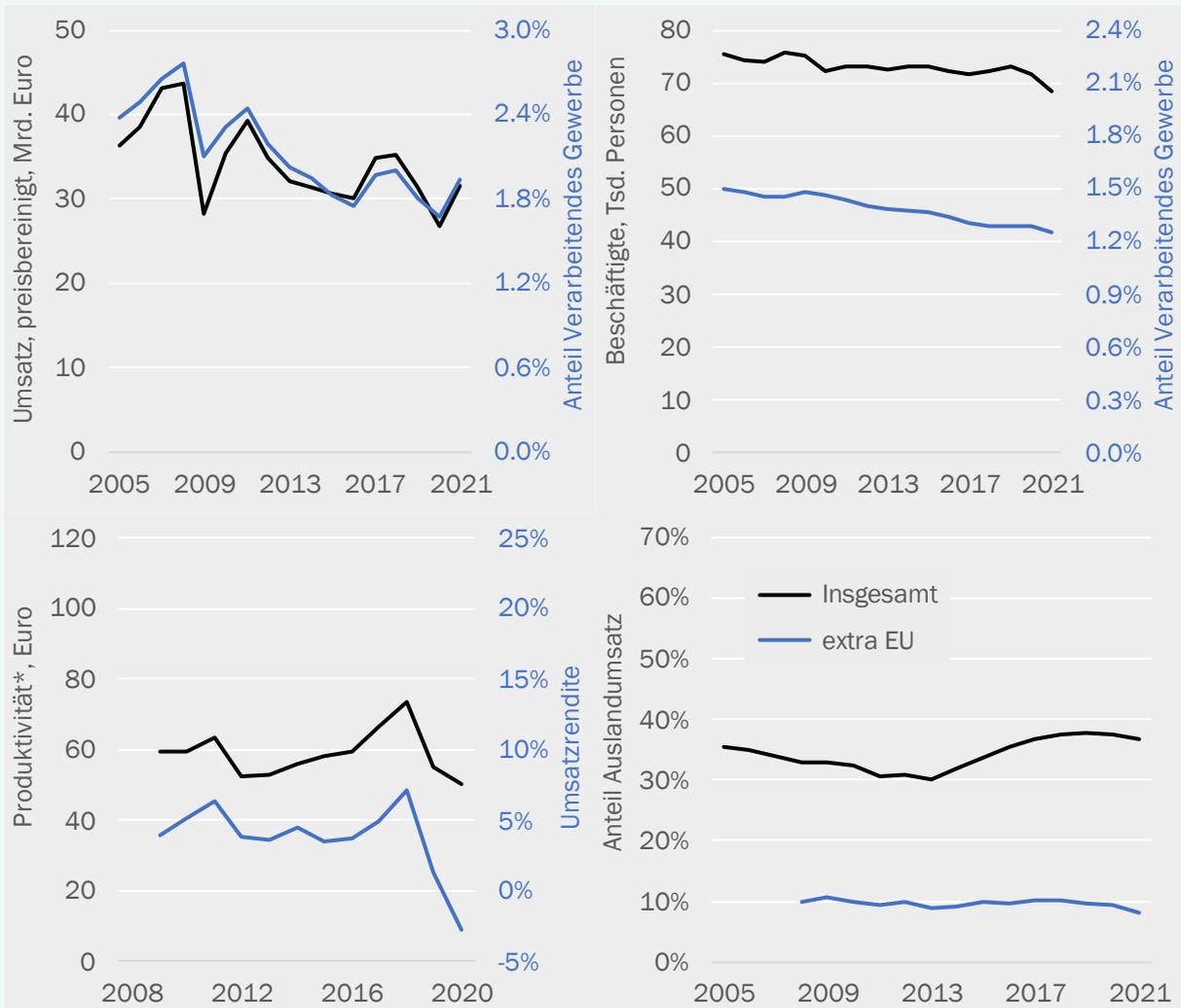
Ökonomische Bedeutung und Entwicklung

Die Branche beschäftigt mit etwa 75 Tsd. Personen rund 0,1 Prozent aller in Deutschland insgesamt erwerbstätigen Personen. Die Beschäftigtenzahl war in den letzten Jahren weitgehend stabil. Die Bruttowertschöpfung und der Produktionswert konnten geringfügig ausgeweitet werden und betragen 2019 ca. 6 bzw. 35 Mrd. Euro. Der Anteil an der gesamten Wertschöpfung in Deutschland liegt bei ebenfalls 0,1 Prozent. Die in den WZ-Gruppen 24.2 und 24.3 abgebildeten Betriebe der unmittelbaren Stahlbearbeitung können in einer erweiterten Abgrenzung ebenfalls der Branche zugerechnet werden, da diese oft einen räumlich-technischen Produktionsverbund mit den unmittelbaren Stahlerzeugern bilden.

Der Anteil des Auslandsumsatzes am Gesamtumsatz schwankte in den letzten Jahren zwischen 30 und 40 Prozent, der Anteil der Exporte in die Länder außerhalb der Europäischen Union lag vergleichsweise konstant bei 10 Prozent.

ABBILDUNG 4: Ökonomische Kenngrößen der Stahlproduktion

Im Uhrzeigersinn: Umsatz (deflationiert), Beschäftigte, Produktivität und Umsatzrendite, Anteil Auslandsumsatz



Quelle: Statistisches Bundesamt (Destatis), eigene Berechnung
* Bruttowertschöpfung (deflationiert) je Beschäftigtenstunde

© Prognos AG, 2022

Die Erzeugung von Stahl ist besonders materialintensiv. Mit einem Anteil von fast 68 Prozent des Bruttowertschöpfungswerts stellt der Materialverbrauch den größten Kostenblock dar und ist im Vergleich zum Verarbeitenden Gewerbe insgesamt überdurchschnittlich hoch. Der Anteil der Personalkosten entspricht mit 15 Prozent hingegen in etwa dem Durchschnitt. Der Energiekostenanteil liegt mit acht Prozent deutlich über dem Durchschnitt der übrigen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes.

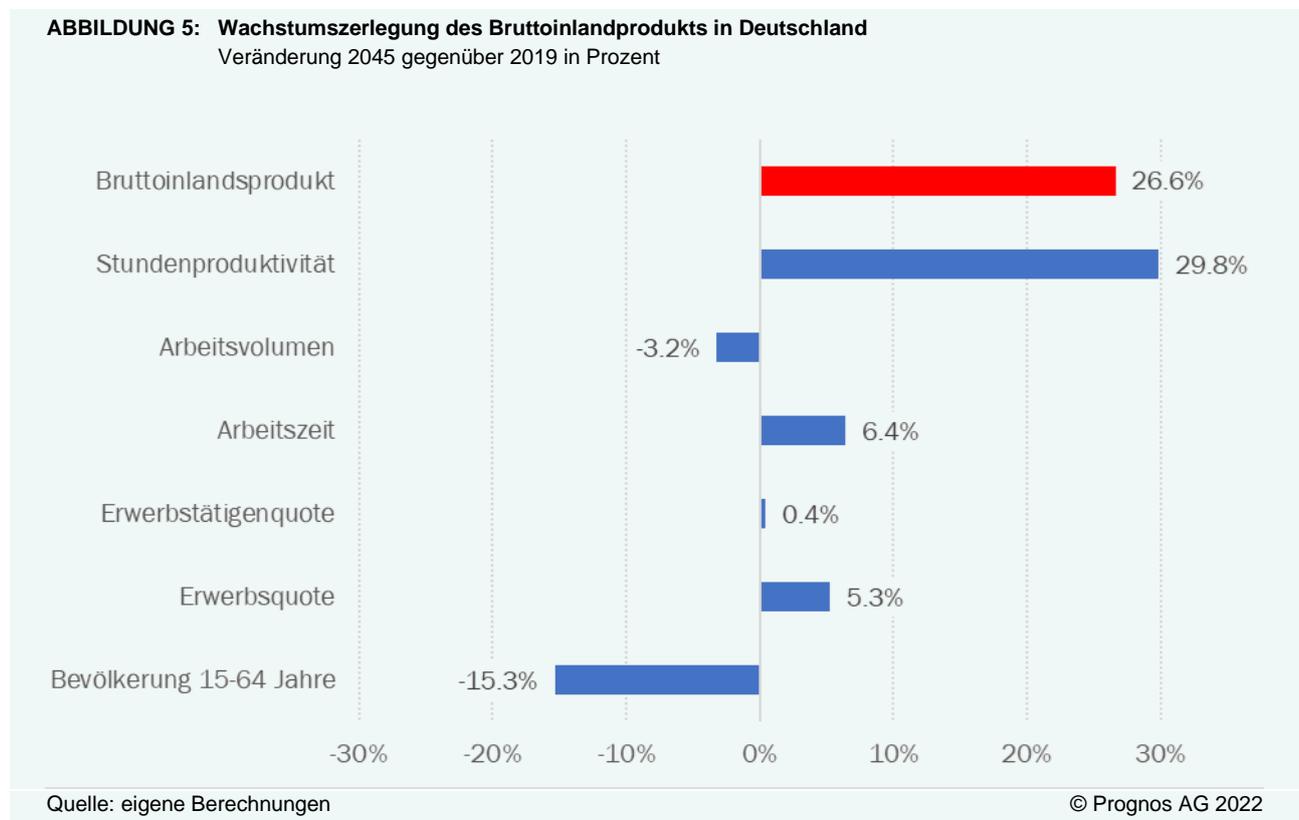
Technische Minderungspotenziale der THG-Emissionen

Im Bereich der Primärstahlproduktion kommt insbesondere die Direktreduktion von Eisenerz mit Wasserstoff und das Einschmelzen im Elektrolichtbogenofen (H₂-DRI) als emissionsarme Alternative für den Einsatz konventioneller Hochöfen (BF-BOF) in Betracht (vgl. Agora Energiewende 2019). Dadurch können prozessbedingte Emissionen weitgehend vermieden werden. Die Technologie wird in Deutschland bereits in Pilot- und Demonstrationsanlagen eingesetzt. Der großtechnische Einsatz ist bereits vor 2030 möglich. Wir unterstellen in den Politikscenarien, dass aufgrund der unzureichenden Verfügbarkeit von Wasserstoff zu Beginn des Betrachtungszeitraums die ersten Anlagen mit einem Erdgasanteil von 75 Prozent betrieben werden und dieser Anteil durch die gegenläufige Anhebung des Anteils des Wasserstoffs bis 2035 auf zwei Prozent reduziert wird – ein Rest Kohlenstoff ist prozessbedingt weiterhin notwendig.

4. Rahmenbedingungen und Spezifikation der Szenarien

4.1. Die ökonomische Entwicklung im Referenzszenario

Die Entwicklung der drei Grundstoffindustrien im Referenzszenario orientiert sich an den Ergebnissen der aktuellen Basisprognose für Deutschland und die Weltwirtschaft, welche Prognos mit Hilfe des Weltwirtschaftsmodells VIEW regelmäßig erstellt (Prognos Economic Outlook, Frühjahr 2022). Bezüglich der klimapolitischen Rahmenbedingungen für die Industrien ist hier unterstellt, dass diese keine Kostennachteile und entsprechende Marktanteilsverluste zur Folge haben. Die Grundstoffindustrien und die Gesamtwirtschaft (Deutschlands und der übrigen Welt) werden im Simulationsmodell LABS so kalibriert, dass die Dynamiken der Basisprognose bis zum Jahr 2045 approximativ nachvollzogen werden.



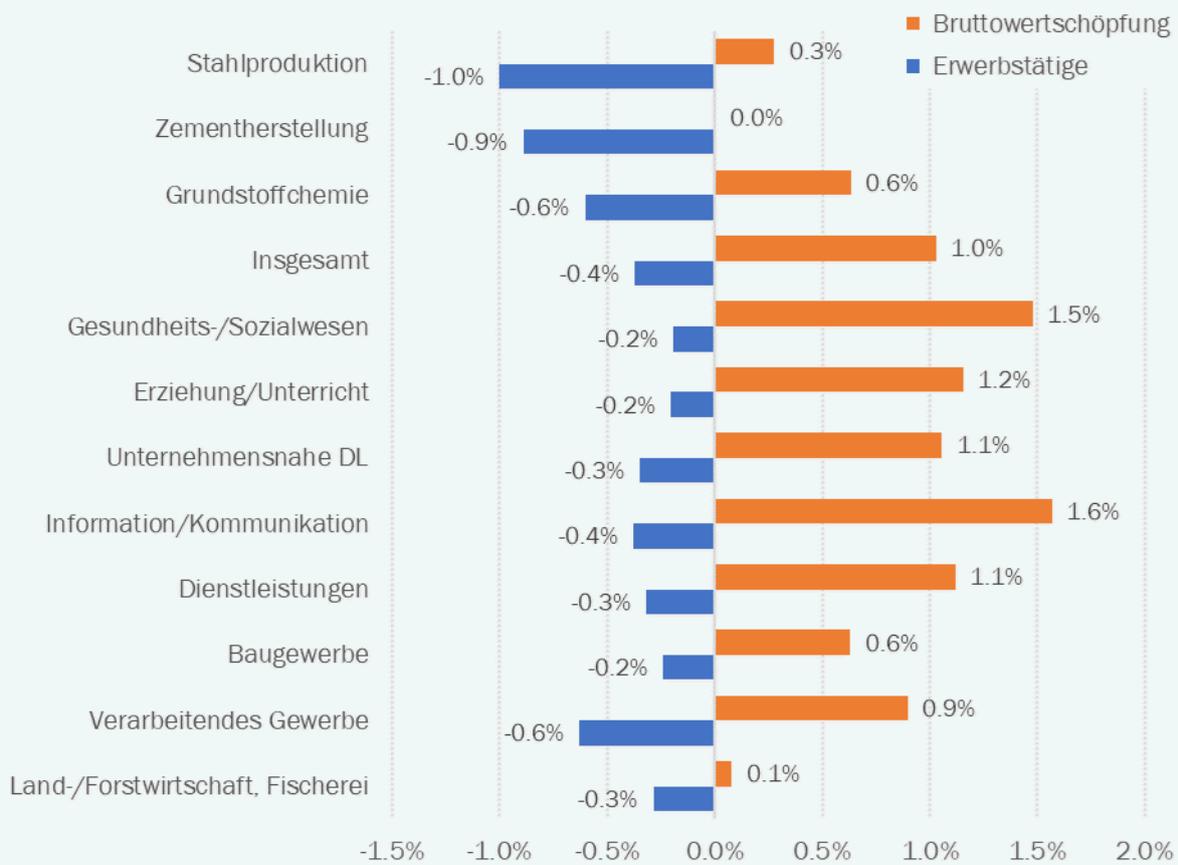
Wir erwarten, dass das Bruttoinlandsprodukt in Deutschland bis 2045 jahresdurchschnittlich um 1 Prozent wächst. Bei demografisch bedingt rückläufigem Erwerbsvolumen ist dieses Wachstum ausschließlich dem technischen Fortschritt und damit der Steigerung der Stundenproduktivität um 1,2 Prozent pro Jahr zuzuschreiben. Getrieben wird der technische Fortschritt durch eine Zunahme der Kapitalintensität der Produktion sowie der Digitalisierung.

In sektoraler Betrachtung wächst die Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland bis 2045 im Durchschnitt mit 0,9 Prozent p.a. und damit etwas schwächer als die Bruttowertschöpfung aller Wirtschaftsbereiche. Insbesondere die Gesundheitsdienstleistungen, unternehmensnahe Dienstleistungen sowie soziale Dienstleistungen erfahren ein überdurchschnittlich hohes Wachstum.

Auf Seiten der Erwerbstätigen zeigt sich ein deutlicher Bedeutungsverlust der deutschen Industrie, ihr Anteil an den Gesamterwerbstätigen in Deutschland sinkt um einen Prozentpunkt auf gut 16 Prozent im Jahre 2045.

Treiber der Industrieproduktion in Deutschland sind Leitbranchen mit einer hohen Wettbewerbsfähigkeit auf den Weltmärkten. Zu diesen zählen bislang der Fahrzeug- und Maschinenbau, die Elektrotechnik, die Chemische Industrie und die Kunststoffverarbeitung. Die zukünftige Entwicklung der preislichen Wettbewerbsfähigkeit – ausgedrückt in nominalen Lohnstückkosten – wird sich für deutsche Unternehmen nicht mehr so günstig darstellen wie in der Vergangenheit. Das knappere Arbeitsangebot und die niedrige Erwerbslosigkeit sorgen für höhere Lohnzuwächse bis 2045. Umso entscheidender werden die nicht-preislichen Aspekte der internationalen Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen. Wie alle anderen Industrieländer auch wird die deutsche Wirtschaft einen Anteilsverlust an den Weltexporten erfahren.

ABBILDUNG 6: Entwicklung der Wirtschaftsbereiche im Referenzszenario
Veränderung 2045 gegenüber 2019 in Prozent



Quelle: eigene Berechnungen

© Prognos AG 2022

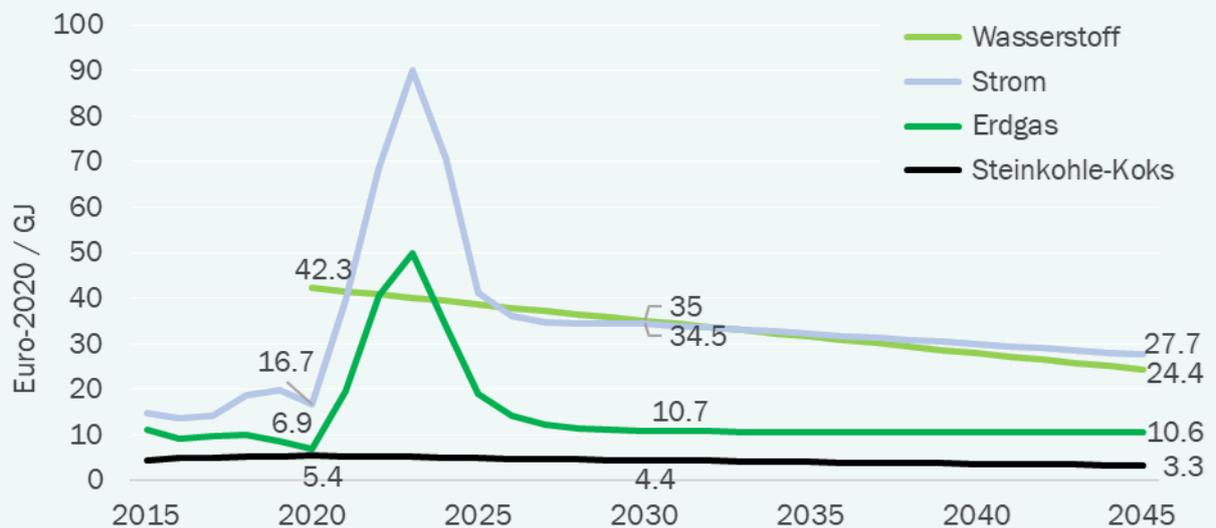
Unter diesen Rahmenbedingungen kann die Grundstoffchemie bis 2045 moderate Zuwächse ihrer Wertschöpfung verzeichnen (0,6 % p.a.). Die Sparte weist nur geringe Spezialisierungspotenziale und ein hohes Maß an internationaler Wettbewerbsintensität auf. Der Verlust von Marktanteilen im In- und Ausland ist die Folge. Vergleichsweise hohe Produktivitätszuwächse führen zu einem deutlicheren Rückgang der Beschäftigung in der Branche. Die Zementherstellung hängt im Wesentlichen von der inländischen Bautätigkeit ab, der Auslandsabsatz spielt eine nur untergeordnete Rolle. Demografisch bedingt nimmt das Bauvolumen bis 2045 nur geringfügig zu, entsprechend schwach entwickeln sich Produktion und Wertschöpfung in der Zementherstellung. Von energetischen Gebäudesanierungen profitiert die Branche nur unterproportional. Auch die Stahlproduktion stagniert mehr oder weniger bis 2045: Stahl steht unter Substitutionsdruck durch andere Werkstoffe, international gibt es ein hohes Maß an Überkapazitäten in der Stahlproduktion. Die inländischen Produzenten werden im In- und Ausland Marktanteile vor allem an Anbieter aus den Schwellenländern verlieren.

4.2. Entwicklung der Preise für Energieträger und Emissionszertifikate

Die Entwicklung der Energieträgerpreise bzw. ihrer Relation zueinander ist von hoher Bedeutung für die vorliegende Studie, da die Betriebskosten der verschiedenen Produktionsverfahren und damit auch die ökonomische Attraktivität der emissionsarmen Verfahren entscheidend hiervon abhängen (im Verbund mit den Emissionskosten).

Der massive Anstieg der Energieträgerpreise (insbesondere bei Erdgas) am aktuellen Rand ist den (antizipierten) Versorgungsengpässen in Folge des Krieges gegen die Ukraine geschuldet. In unseren aktuellen Energiepreisszenarien gehen wir davon aus, dass mittelfristig eine Reduktion des Gasverbrauchs im Verbund mit dem Ausbau von LNG-Importkapazitäten einen Preisrückgang zur Folge haben. Die Strompreise folgen in der kurzen Frist den Gaspreisen, mittel- und längerfristig trägt der Ausbau der erneuerbaren Energien zu rückläufigen Strompreisen bei. Die Kohlepreise sinken mittel- und langfristig aufgrund der rückläufigen Nachfrage. Die Preise für (grünen) Wasserstoff sind am aktuellen Rand hoch, bis 2045 ist hier allerdings eine deutliche Kostendegression zu erwarten.

ABBILDUNG 7: Großhandelspreise der Energieträger im Referenzszenario
in Preisen des Jahres 2020

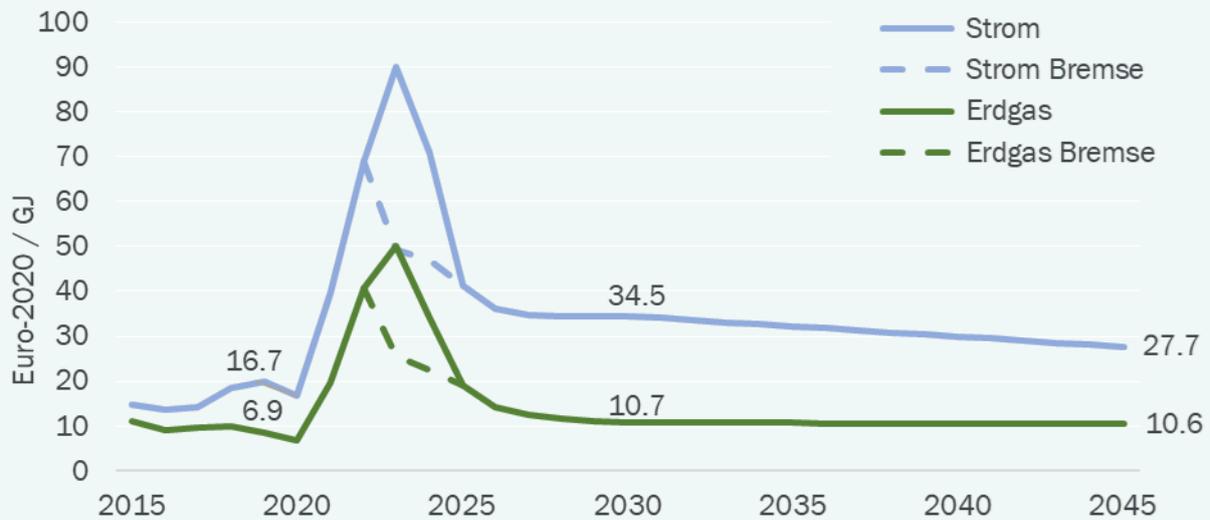


Quelle: eigene Berechnungen

© Prognos AG 2022

Für die Jahre 2023 und 2024 unterstellen wir eine Strom- und Gaspreisbremse für energieintensive Unternehmen, welche die effektiven Preise wie in **ABBILDUNG 8** gezeigt dämpft. Hierbei ist unterstellt, dass in den beiden Jahren 70 Prozent des Referenzverbrauchs des Jahres 2021 mit 7 Cent je kWh (Erdgas) respektive 14 Cent je kWh (Strom) vergütet werden.

ABBILDUNG 8: Preisbremse für Erdgas und Strom im Referenzszenario
in Preisen des Jahres 2020



Quelle: eigene Berechnungen

© Prognos AG 2022

Die Energieträgerpreise sind im modellierten In- und Ausland annahmegemäß identisch. In der kurzen Frist gibt es in der Realität deutliche Abweichungen, mittel- und langfristig stellt diese Annahme aber eine gute Annäherung dar. Wichtiger: Wie bereits ausgeführt, stehen in dieser Studie lediglich die klimapolitisch induzierten Kosteneffekte im Zentrum des Interesses.

Die Zertifikatspreise im europäischen Emissionshandelssystem sind bereits am aktuellen Rand deutlich gestiegen. Mittel- und langfristig sind eine weitere deutliche Verknappung der Zertifikate und eine entsprechende Preissteigerung zu erwarten. Ab 2030 folgen die Zertifikatspreise näherungsweise dem „Net Zero Emissions“-Szenario des World Economic Outlook der Internationalen Energieagentur. Die deutlich steigenden Emissionskosten vergünstigen (relativ) Vermeidungstechnologien, welche sich andernfalls nicht durchsetzen würden.

TABELLE 1: Proklamiertes Zieljahr der Klimaneutralität (Länderauswahl)

Zieljahr	Länder
2050	Brasilien, Japan, Kanada, Südkorea, Vereinigtes Königreich, USA
2053	Türkei
2060	China, Russland
2070	Indien
2058	gewichteter Durchschnitt

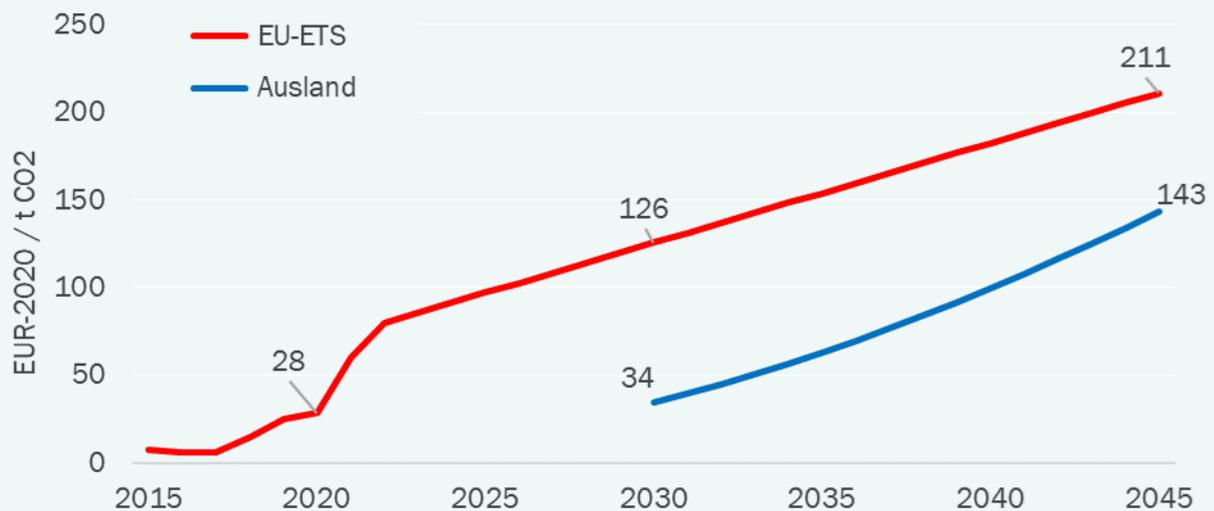
Quelle: eigene Recherchen

© Prognos AG 2022

Für das modellierte Ausland ist in den Politikszenerarien unterstellt, dass langfristig eine ähnliche Klimapolitik wie in Deutschland (Inland) umgesetzt wird. Hierbei wird berücksichtigt, dass die ökonomisch relevanten Länder außerhalb der Europäischen Union in der Regel ein späteres Zieljahr für die Klimaneutralität anstreben als Deutschland. **TABELLE 1** gibt die entsprechenden Zieljahre wieder sowie ein gewichtetes Zieljahr für den Durchschnitt der aufgeführten Länder. Als Gewicht dient der jeweilige Anteil der Länder am aggregierten Produktionswert des Industriesektors im Jahr 2045 (Quelle: Prognos Economic Outlook, Frühjahr 2022). Der Kalkulation zufolge kann für den Durchschnitt der aufgeführten Länder 2058 als Zieljahr für die Erreichung der Klimaneutralität unterstellt werden, sprich 13 Jahre später als für Deutschland. Geht man ferner von einem linearen Verlauf der Zielerreichung aus, kann für jedes Jahr im Simulationsverlauf ein Zielerreichungsgrad für das In- und Ausland bestimmt werden. Wenn beispielsweise 2045 in Deutschland die Klimaneutralität

erreicht ist, kann das Ausland noch ca. ein Drittel seiner Ausgangsemissionen (des Jahres 2020) aufweisen. Auf Basis dieser Annahmen und Berechnungen leiten wir einen Zertifikatspreis für das modellierte Ausland ab, welcher 2030 eingeführt wird und 2045 ein um ein Drittel niedrigeres Niveau aufweist als in der Europäischen Union. Unter diesen klimapolitisch induzierten Emissionskosten müssen sich die in den Politikscenarien evaluierten Instrumente bewähren. Damit ist auch impliziert, dass die Instrumente einen zeitlich beschränkten Charakter aufweisen und nur in einer Übergangsphase eingesetzt werden müssen.

ABBILDUNG 9: Zertifikatspreise im europäischen Emissionshandelssystem und im modellierten Ausland
in Preisen des Jahres 2020

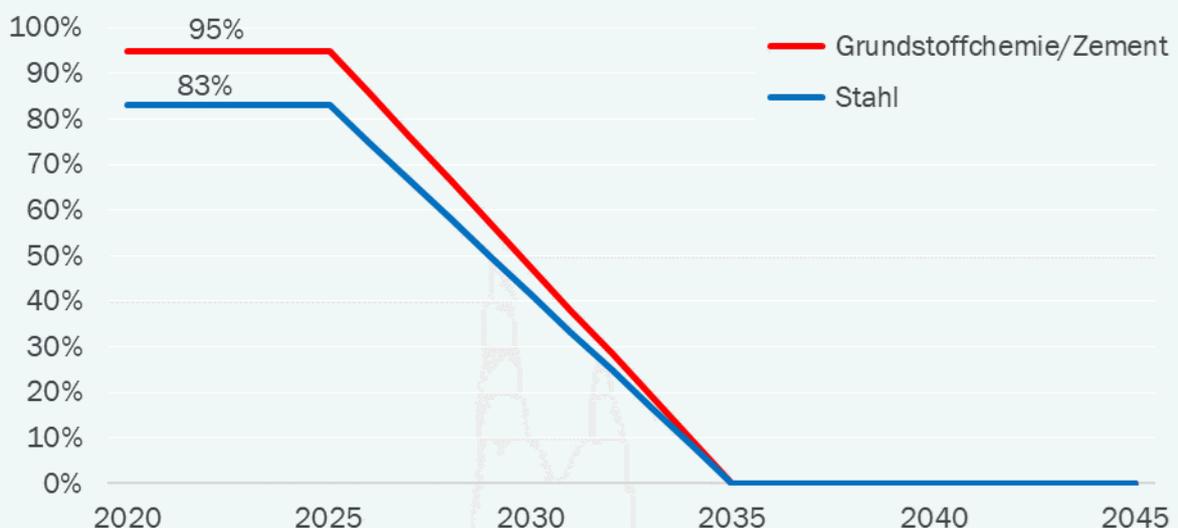


Quelle: eigene Berechnungen

© Prognos AG 2022

Aktuell erhalten die drei hier betrachteten Grundstoffindustrien den größten Teil ihrer benötigten Emissionszertifikate kostenfrei (vgl. **ABBILDUNG 10**). Für das Referenzszenario unterstellen wir, dass der Anteil der kostenfrei erhaltenen Zertifikate bis zum Ende des Betrachtungszeitraums beibehalten wird. Der Anstieg der Preise für Emissionszertifikate wird entsprechend deutlich gedämpft. Im Szenario „Abschmelz“ hingegen wird der kostenfrei Anteil bis 2035 sukzessive auf null abgesenkt. Im Zeitraum 2025 bis 2035 steigen die effektiven Emissionskosten der drei Industrien damit in diesem Szenario deutlich stärker als die Zertifikatspreise.

ABBILDUNG 10: Anteil der freien Zertifikate im EU-ETS im Szenario „Abschmelz“
in Prozent des Gesamtbedarfs



Quelle: eigene Berechnungen

© Prognos AG 2022

4.3. Produktionskosten der Grundstoffchemie

Wesentliches Kostenelement der Herstellung von High Value Chemicals (HVC) ist der „Feedstock“, welcher aus Naphta besteht und Laufe des Produktionsprozesses zu höherwertigen Chemikalien verarbeitet wird. Hier unterstellen wir spezifische Produktionskosten in Höhe von 750 Euro/t, welche für die beiden betrachteten Technikpfade identisch sind. Wir gehen weiter davon aus, dass sich die spezifischen Investitionsbedarfe sowie die Lohnstückkosten zwischen den beiden Technikoptionen nicht unterscheiden (vgl. Agora Energiewende 2019). Während in konventionell betriebenen Steamcrackern die benötigte Umwandlungswärme durch das Verbrennen von Erdgas bereitgestellt wird, erfolgt dies bei elektrisch beheizten Steamcrackern durch Strom. Etwa 15 Prozent der gesamten Produktionskosten müssen im letzteren Fall hierfür aufgewendet werden. Im Gegenzug kann Erdgas komplett eingespart werden. Legt man die Energieträgerpreise und die Emissionskosten des Jahres 2020 zugrunde, fallen die spezifischen Produktionskosten der elektrisch betriebenen Steamcracker um 80 Euro höher aus als die der konventionellen (vgl. **TABELLE 2**).

Da sich elektrisch betriebene Steamcracker noch in der Konzept- bzw. ersten Erprobungsphase befinden, ist die Datenlage bzgl. des spezifischen Investitionsaufwands (noch) unzureichend. Für den Wechsel der Beheizungsart des Steamcrackers unterstellen wir, dass ein Drittel des vorhandenen Kapitalstocks ausgetauscht werden muss. Diese Annahme dürfte vergleichsweise hoch angesetzt sein, da der Kapitalstock eines Unternehmens der Grundstoffchemie nicht nur den Steamcracker selbst umfasst, sondern auch weitere Produktionsabschnitte, Lagerhallen, Verwaltungsgebäude nebst Inventar, Straßen, etc. Da Steamcracker kontinuierlich gewartet werden, gehen sie hinsichtlich der Kalkulation der Vorteilhaftigkeit eines Technikwechsels mit ihrem vollen Wert ein (respektive die vorzeitige Abschreibung eines Drittels des vorhandenen Kapitalstocks).

TABELLE 2: Produktions- und Kostenstruktur der Grundstoffchemie nach Technikpfad 2020

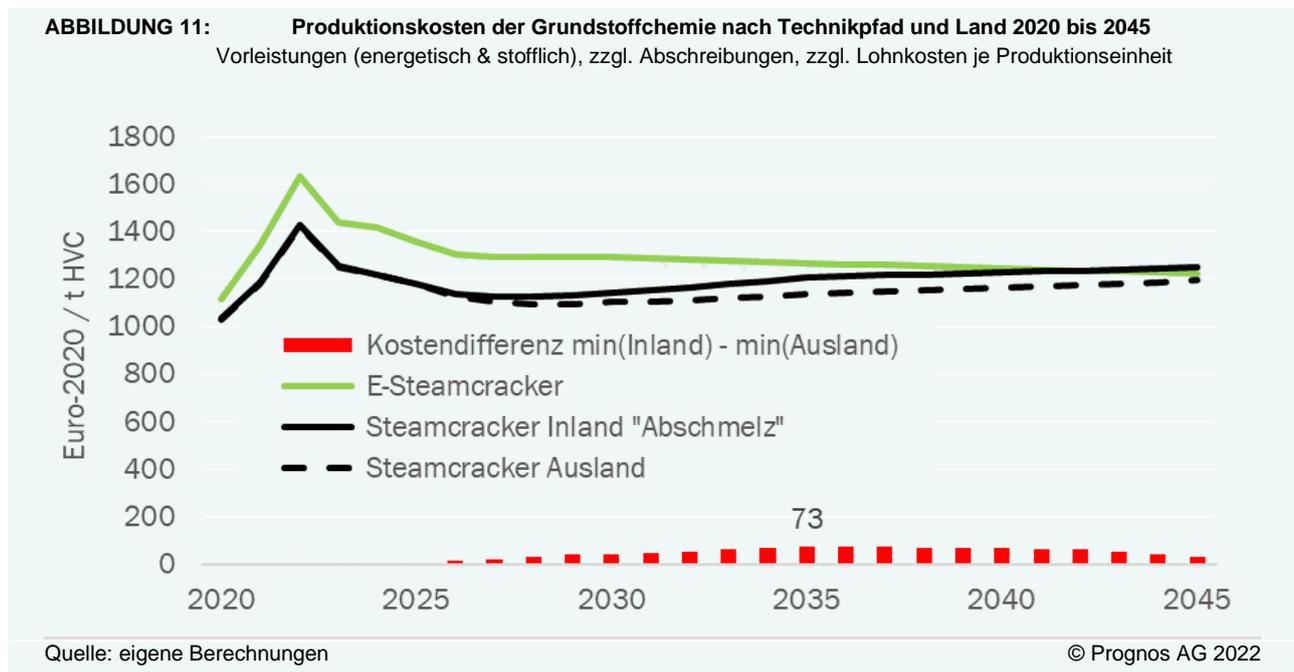
	Steamcracker	E-Steamcracker
Einsatzmengen je t HVC		
Naphta t/t	1,3	1,3
Strom GJ/t	1,0	10,0
Erdgas GJ/t	10,0	-
THG-Emissionen t/t HVC		
	0,8	-
Kostenkomponenten €/t HVC		
Naphta	750	750
Strom	17	167
Erdgas	69	-
Emissionskosten	1	-
Abschreibungen	27	27
Lohnstückkosten	170	170
Produktionskosten insg.	1034	1114
Quelle: eigene Berechnungen		© Prognos AG 2022

Wie oben dargelegt unterstellen wir als zentrale klimapolitische Rahmenbedingung das Abschmelzen des Anteils der frei zugeteilten Emissionszertifikate bis 2035. Unter dieser Vorgabe nehmen die effektiven Emissionskosten der Grundstoffchemie im Betrachtungszeitraum kontinuierlich zu, bis schließlich 2042 erstmals die Produktionskosten der E-Steamcracker niedriger ausfallen als die der konventionellen (vgl. **ABBILDUNG 11**). Mit der unterstellten Vorlaufzeit von zwei Jahren und unter Kenntnis der Kostenverläufe bereiten sich die Unternehmen im Modell entsprechend ab 2040 auf die Umstellung vor. Im Ausland sind die Emissionskosten bis zum Ende des Betrachtungszeitraums nicht hinreichend hoch, um einen Wechsel der Produktionstechnik

auszulösen. Unterstellt man eine Konstanz der Dynamik der Kostenverläufe, würde der Wechsel im Ausland wenige Jahre nach 2045 vollzogen werden.

Mit dem Abschmelzen der freien Zertifikate ab 2025 und den steigenden Zertifikatspreisen im EU-ETS verteuert sich die Produktion im Inland gegenüber dem Ausland bis 2035 um 73 Euro/t HVC (6,4 % über den Produktionskosten des Auslands). Im weiteren Verlauf reduziert sich der Kostennachteil des Inlands durch die steigenden Emissionskosten im Ausland. 2045 liegen die Produktionskosten der elektrisch betriebenen Steamcracker im Inland 28 Euro/t HVC (2,4 Prozent) über denen der konventionellen Anlagen im Ausland.

Ist der Zertifikatspreis im Ausland zum jeweiligen Zeitpunkt nur halb so hoch wie unterstellt, liegt das Maximum der Kostendifferenz erst 2042 vor und beträgt dann 109 Euro/t HVC (9,6 % über den Produktionskosten des Auslands).



Unter den genannten Rahmenbedingungen und Kostenverläufen und ohne zusätzliche klimapolitische Instrumente erfolgt in der Grundstoffchemie somit ein Technikwechsel hin zu emissionsarmen Verfahren innerhalb des Betrachtungszeitraums bis 2045.

4.4. Produktionskosten der Zementindustrie

Den größten Kostenblock der Zementproduktion stellen mit knapp 40 Euro je Tonne Zement die nicht-energetischen Rohstoffe dar, gefolgt von den Arbeitskosten mit 19 Euro je Tonne Zement. Die für den Produktionsprozess notwendige Wärme wird durch die Verbrennung eines Mixes aus fossilen und biogenen Brennstoffen sowie von Abfall bereitgestellt (vgl. **TABELLE 3**). Da rund zwei Drittel der Gesamtemissionen der Branche prozessbedingt sind (vgl. Agora Energiewende 2019), ist ein vollständiger Wechsel hin zu emissionsneutralen Brennstoffen unzureichend für die Erreichung der Klimaneutralität der Branche. Im hier unterstellten alternativen Technikpfad wird ein Großteil der Wärme durch die Verbrennung biogener Brennstoffe erzeugt. Zentral für die Erreichung der Klimaneutralität ist der Aufbau und Betrieb von CCS-Anlagen, welche im Verbund mit den biogenen Brennstoffen (welche bilanziell als klimaneutral eingestuft werden) insgesamt eine „Klimasenke“ darstellen: Bilanziell können mittels der CCS-Anlagen mehr Emissionen eingespeichert werden, als die Branche selbst erzeugt. Die „überschüssigen“ CCS-Kapazitäten können anderen Emittenten zur Verfügung gestellt werden, die hierfür veranschlagten Kosten richten sich nach den Zertifikatspreisen im EU-ETS.

Die CCS-Anlagen müssen zusätzlich zum bestehenden Kapitalstock der Unternehmen aufgebaut werden.¹ Der eigentliche Prozess der Zementproduktion verändert sich hierdurch nicht. Durch den Betrieb der CCS-Anlagen verdoppeln sich die spezifischen Stromkosten der Gesamtproduktion, während der zusätzliche Kapitalstock der CCS-Anlagen die kalkulatorischen Abschreibungen erhöht. Für den Betrieb der CCS-Anlagen (inkl. CO₂-Transport) unterstellen wir zusätzliche Betriebskosten in Höhe von 20 Euro je t Zement. Legt man die Preise des Jahres 2020 zugrunde, fallen die spezifischen Produktionskosten des alternativen Technikpfades knapp 28 Euro höher aus.

TABELLE 3: Produktions- und Kostenstruktur der Zementindustrie nach Technikpfad 2020

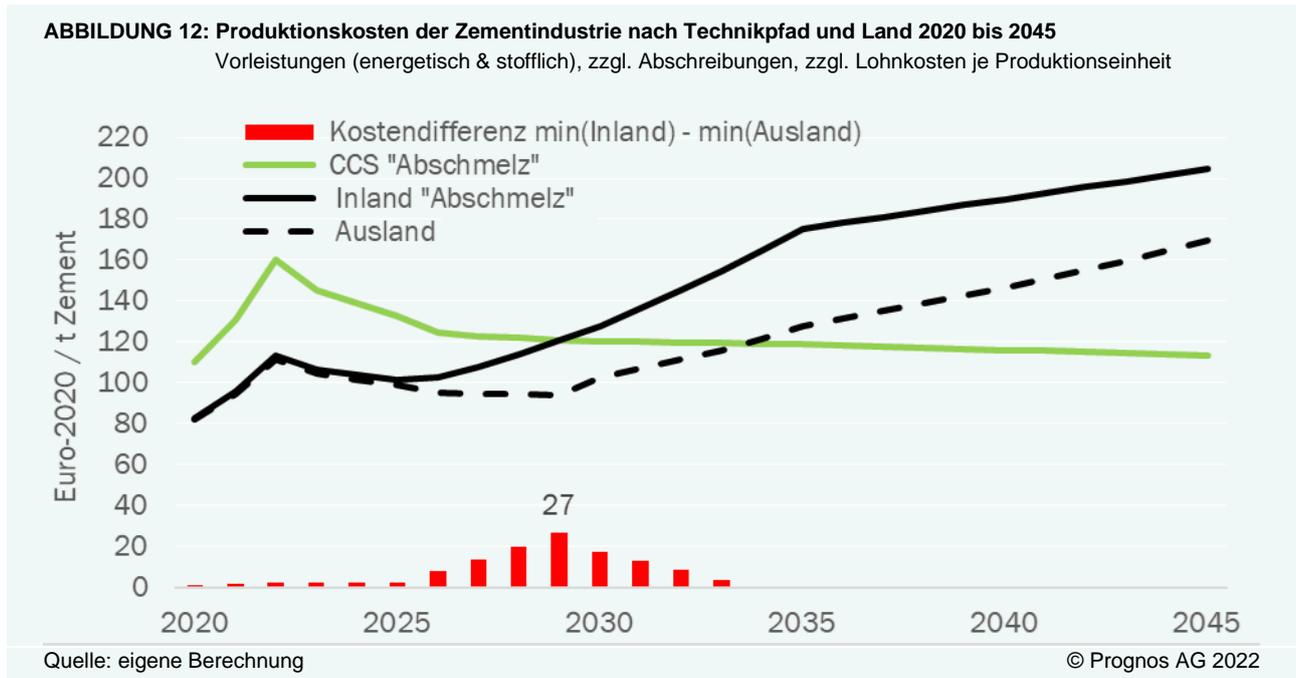
	konventionell	inkl. CCS
Einsatzmengen je t Zement		
Strom	0,37	0,72
Fossile Brennstoffe	1,08	0,05
Nichtererneuerbare Abfälle	0,89	0,66
Biogene Brennstoffe	0,40	0,74
THG-Emissionen t/t Zement		
	0,52	0,08
Kostenkomponenten €/t Zement		
Rohstoffe	39,6	39,6
Strom	6,2	12,0
Fossile Brennstoffe	5,2	0,3
Nichtererneuerbare Abfälle	3,8	2,8
Biogene Brennstoffe	3,4	6,2
Emissionskosten	0,7	-2,1
Betriebskosten CCS-Anlage	-	20,0
Abschreibungen	5,0	12,7
Lohnstückkosten	19,0	19,0
Produktionskosten insg.	82,9	110,5

Quelle: eigene Berechnungen

© Prognos AG 2022

Der Anstieg der Zertifikatspreise im EU-ETS ist verantwortlich dafür, dass für die Unternehmen ein Technikwechsel vergleichsweise früh im Betrachtungszeitraum lohnenswert ist. Bereits 2029 fallen die Produktionskosten des alternativen Technikpfades geringer aus als die des konventionellen. Im Ausland ist dies unter den hier zugrunde gelegten Preispfaden ab 2034 der Fall (vgl. **ABBILDUNG 12**). Der Verlust an preislicher Wettbewerbsfähigkeit gegenüber dem Ausland bei einem Technikwechsel ist damit nur von kurzer Dauer. Die maximale Abweichung der Produktionskosten zwischen In- und Ausland liegt 2029 vor und beträgt 27 Euro je t Zement (28 Prozent der Produktionskosten des Auslands). Bei einem nur halb so hohen Zertifikatspreis im Ausland ist der Technikwechsel dort ab 2038 vorteilhaft, auf die maximale Kostendifferenz hat dies keinen Einfluss, da diese zeitlich vor Einführung der Emissionskosten im Ausland vorliegen (2029 vs. 2030). Allerdings hält der Kostennachteil gegenüber dem Ausland vier Jahre länger an.

¹ Zu den technischen, praktischen und sonstigen Anforderungen hierzu siehe Arbeitsgruppe Kohlendioxidwirtschaft 2021.



4.5. Produktionskosten der Stahlindustrie

Im konventionellen Hochofen (Blast Furnace-Basic Oxygen Furnace (BF-BOF)) wird Eisenerz mittels Koks/Kohle reduziert und zu Stahl weiterverarbeitet. Legt man die Preise des Jahres 2020 zugrunde, machen die nicht-energetischen Rohstoffe (v.a. Eisenerz) mit 300 Euro je t Stahl die größte Kostenposition aus, gefolgt von Lohnkosten (121 Euro) und Koks/Kohle (106 Euro) (vgl. **TABELLE 4**). Insgesamt resultieren Produktionskosten für die BF-BOF-Route in Höhe von 565 Euro je t Stahl für 2020.

Im alternativen H₂-DRI-Verfahren wird Eisenerz mittels Wasserstoff reduziert und der resultierende Eisenschwamm im Lichtbogenverfahren eingeschmolzen (für die technischen Details siehe Agora Energiewende 2019). Ein Vorteil dieses alternativen Verfahrens liegt darin, dass die H₂-DRI-Anlagen anfänglich auch mit Erdgas als Reduktionsmittel betrieben werden können und der Anteil des Wasserstoffes mit seiner in Zukunft höheren Verfügbarkeit sukzessive angehoben werden kann. Wir unterstellen diesbezüglich, dass zu Beginn des Betrachtungszeitraums der Erdgasanteil 75 Prozent beträgt und der Anteil ab 2026 linear bis 2034 auf zwei Prozent reduziert wird. Ein Rest eines kohlenstoffhaltigen Reduktionsmittels ist prozessbedingt weiterhin notwendig. Im alternativen Verfahren belaufen sich die Gaskosten 2020 auf insgesamt 97 Euro je t Stahl. Die Produktionstechnik ist auch kapitalintensiver, so dass die kalkulatorischen Abschreibungen 10 Euro über denen des BF-BOF-Verfahrens liegen. Insgesamt ist das H₂-DRI-Verfahren 2020 knapp 70 Euro je t Stahl teurer als das konventionelle Verfahren.

TABELLE 4: Produktions- und Kostenstruktur der Stahlindustrie nach Technikpfad 2020

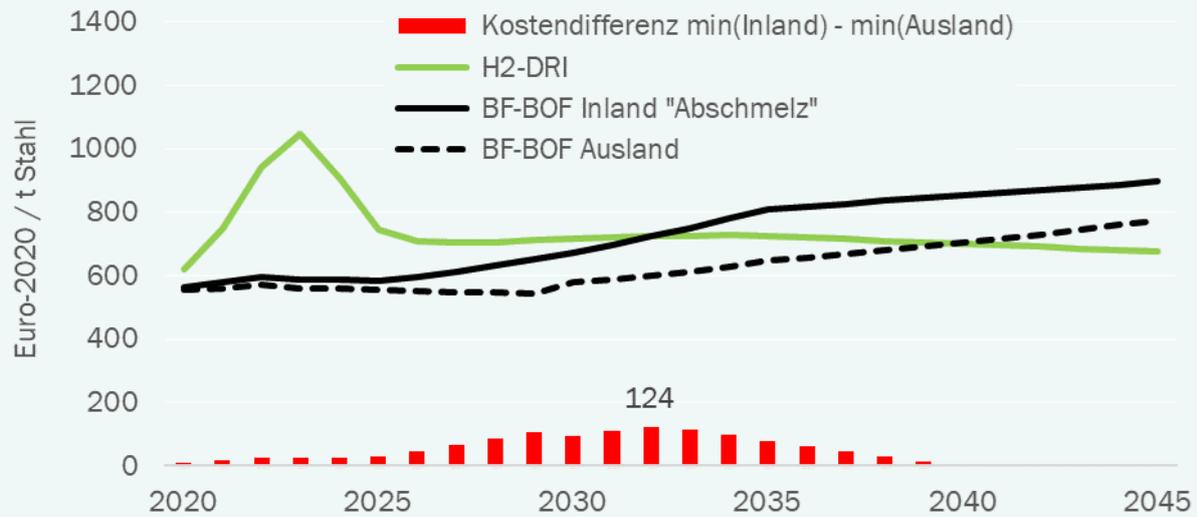
	BF-BOF	H ₂ -DRI
Einsatzmengen je t Stahl		
Koks GJ/t	13,1	-
Kohle GJ/t	7,2	-
Strom GJ/t	0,3	2,3
Erdgas GJ/t	0,03	8,0
Wasserstoff GJ/t	-	5,3
THG-Emissionen t/t Stahl		
	1,8	0,3
Kostenkomponenten €/t Stahl		
Rohstoffe (nicht-energetisch)	300	329
Koks	71	-
Kohle	35	-
Strom	5	39
Erdgas	0	41
Wasserstoff	-	56
Emissionskosten	9	3
Abschreibungen	24	34
Lohnstückkosten	121	121
Produktionskosten insg.	565	623

Quelle: eigene Berechnungen © Prognos AG 2022

Die am aktuellen Rand stark gestiegenen Preise für Erdgas führen zu einer deutlichen Verteuerung des H₂-DRI-Verfahrens (vgl. **ABBILDUNG 13**). Nach Auslaufen des Preisschocks 2025 führt die Kostendegression beim Wasserstoff zu einer allmählichen Reduktion der Produktionskosten des alternativen Verfahrens. Gegenläufig führen das Abschmelzen der freien Zertifikate und die steigenden Zertifikatspreise zu einer Annäherung der Produktionskosten der beiden Verfahren, bis schließlich ab 2032 das H₂-DRI-Verfahren kostengünstiger ist als das konventionelle. Im Ausland wird die Kostenparität unter den zugrunde gelegten Preispfaden 2040 erreicht. Ein durch einen Wechsel hin zu emissionsarmen Verfahren bedingter preislicher Wettbewerbsnachteil im Inland ist somit wie bereits in der Grundstoffchemie und der Zementindustrie auch in der Stahlindustrie von temporärer Natur. Das Maximum des Kostennachteils wird 2032 erreicht und beträgt dann 124 Euro je t Stahl. Bei einem halb so hohen Zertifikatspreis im Ausland beträgt der maximale Kostennachteil 154 Euro je t Stahl (27,1 Prozent der Produktionskosten des Auslands) und liegt ebenfalls 2032 vor.

ABBILDUNG 13: Produktionskosten der Stahlindustrie nach Technikpfad und Land 2020 bis 2045

Vorleistungen (energetisch & stofflich), zzgl. Abschreibungen, zzgl. Lohnkosten je Produktionseinheit



Quelle: eigene Berechnung

© Prognos AG 2022

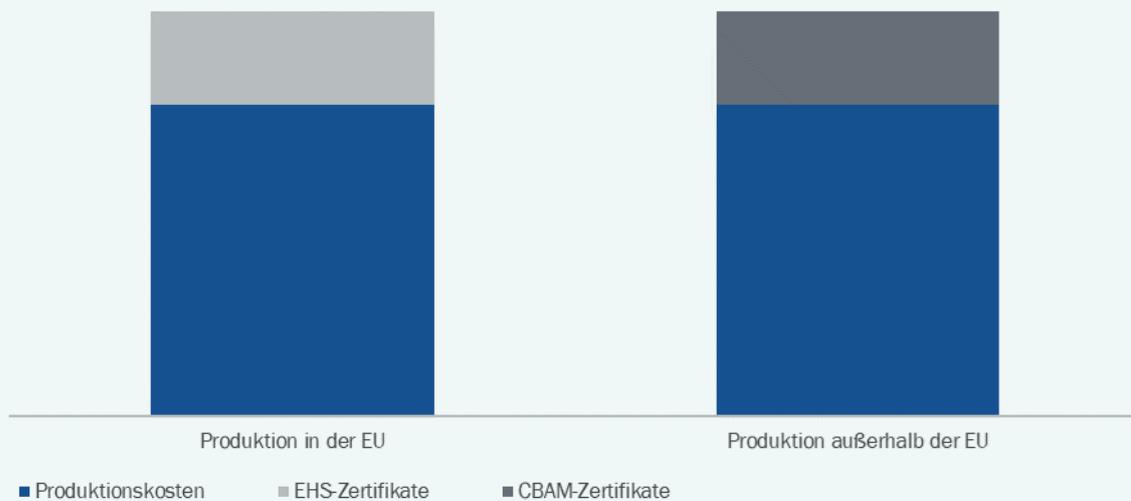
5. Erläuterung und Diskussion der politischen Instrumente

5.1. Emissionsbasierter Grenzausgleich (Carbon Border Adjustment Mechanism)

Das Europäische CO₂-Grenzausgleichssystem (CBAM) soll den bestehenden Europäischen Emissionshandel (EU-ETS) ergänzen und „Carbon Leakage“ vorbeugen.² Hintergrund ist das angestrebte CO₂-Reduktionsziel der EU, demzufolge die Emissionen bis 2030 um mindestens 55 Prozent im Vergleich zu 1990 gesenkt werden sollen. Um dieses erreichen zu können, ist das System so angelegt, dass sowohl die Preise für ETS-Zertifikate steigen als auch die frei zugeteilte Menge an Zertifikaten an besonders emissionsintensive Branchen abnimmt. Der CBAM soll die Funktionsweise des EU-ETS spiegeln und so einen Emissionspreis für bestimmte Importe erheben. Importeure müssen CBAM-Zertifikate kaufen, um Waren aus Drittstaaten in die EU einführen zu dürfen.³ Damit wird der Preisunterschied gegenüber ETS-Zertifikaten ausgeglichen, die Unternehmen in EU-Mitgliedsstaaten zur Deckung ihrer Emissionen kaufen müssen. Diese Pflicht beschränkt sich auf den Import bestimmter Waren, für deren herstellungsbedingte Emissionen Zertifikate gekauft werden müssen. Dabei sollen im Ursprungsland bereits bezahlte Emissionspreise anrechenbar sein.

ABBILDUNG 14: Ausgleichswirkung des CBAM

Gesamtkosten der Produktion innerhalb der EU und außerhalb der EU



Quelle: eigene Darstellung

© Prognos AG 2022

In der konkreten Umsetzung soll der CBAM wie folgt aussehen. Importeure registrieren sich bei einer Behörde, die die Registrierung der Anmelder im CBAM-System genehmigt, prüft und verifiziert. Die gleiche Behörde ist auch für den Zertifikatverkauf verantwortlich. Importeure müssen bis zum 31. Mai eine CBAM-Erklärung abgeben. Diese gibt Auskunft über die Anzahl der im Vorjahr importierten Güter und die bei der Produktion dieser Güter entstandenen Emissionen. Gleichzeitig müssen die im Voraus von der Behörde gekauften Zertifikate zurückgegeben werden. Der teilweise Rückkauf nicht benötigter CBAM-Zertifikate durch die EU-Kommission ist vorgesehen (EU-Kommission 2021).

² Dies umfasst sowohl die Verlagerung der Produktion als auch die vermehrte Einfuhr von emissionsintensiven Gütern aus Drittstaaten infolge asymmetrischer Klimapolitik.

³ Ausgenommen sind Länder, die am EU-ETS teilnehmen oder damit verknüpft sind.

Status quo

Am 14.07.2022 stellte die Europäische Kommission im Rahmen des Pakets «Fit für 55» eine Reihe an Maßnahmen vor, durch die das Erreichen der europäischen Klimaziele sichergestellt werden sollen. Dies umfasst neben der Aktualisierung und Überarbeitung des EU-ETS unter anderem die Einführung des CBAM. Neben der Europäischen Kommission kommt bei europäischen Gesetzgebungsverfahren dem Rat sowie dem Parlament eine entscheidende Rolle zu.

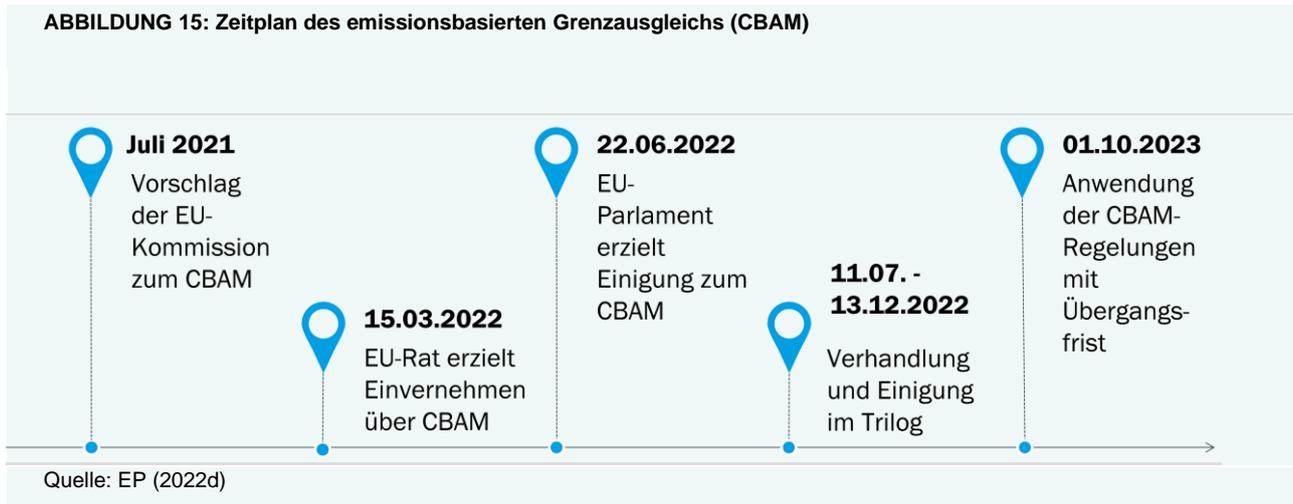
Gesetzesvorschläge der Kommission werden zunächst im Europäischen Parlament beraten. Änderungsvorschläge werden dem Ministerrat übermittelt. Ein Gesetz gilt als erlassen, wenn der Rat zustimmt. Grundsätzlich besteht Konsens zwischen den Organen, dass ein CBAM eingeführt werden soll. Zwischen Juli und Dezember 2022 wurde die konkrete finale Ausgestaltung und Änderungsvorschlägen gegenüber dem Entwurf der Kommission im Trilog zwischen Rat, Parlament und Kommission verhandelt. Im Zentrum der Verhandlung standen unter anderem die zeitliche Ausgestaltung. Dabei geht es um die Terminierung einer Übergangsphase und den Zeitplan für das Abschmelzen der freien Zuteilung von ETS-Zertifikaten.⁴ Auch die Festlegung der betreffenden Sektoren, die Berücksichtigung indirekter Emissionen, Bemessungsgrundlagen, der Grad an Zentralisierung der Verwaltung, die Bemessungsgrundlage, die Berücksichtigung indirekter Emissionen sowie Ausnahmeregelungen und der Umgang mit Exporten waren Gegenstand der Verhandlungen.⁵ Im Vergleich zum Vorschlag der EU-Kommission fordert das Parlament eine ambitioniertere Umsetzung des CBAM. Dazu gehört das Ende freier ETS-Zuteilungen bereits bis 2032, das Einbeziehen weiterer Sektoren und indirekter Emissionen sowie ein Exportausgleich (EP 2022).

Am 13. Dezember 2022 erzielten die Kommission und das Parlament eine vorläufige politische Einigung zum CBAM, welche noch förmlich durch beide Organe angenommen werden muss. Demnach werden CBAM-Regelungen ab dem 1. Oktober 2023 mit einer Übergangsfrist gelten und ab 2034 mit Ablauf der kostenlosen Zuteilung von ETS-Zertifikaten die vollständige Wirkung entfalten. Zu den betroffenen Sektoren zählen Eisen und Stahl, Zement, Aluminium, Düngemittel, Elektrizität sowie Wasserstoff. Während der Übergangsphase wird für Importeure lediglich eine Berichtspflicht entstehen. Die Reduktion der freien Zertifikate der dem Geltungsbereich des CBAM unterliegenden Produkte erfolgt schrittweise zwischen 2026 und 2034.⁶ Währenddessen werden CBAM-Regelungen nur für den Teil der Emissionen gelten, für die keine kostenlose Zertifikate gewährt werden. Dieses Vorgehen steht im Einklang mit WTO-Regelungen. Die Kommission prüft während der Übergangsphase die mögliche Ausweitung des Anwendungsbereichs auf weitere Produkte, unter anderem organische Chemikalien und Polymere, sowie die Methode zur Erhebung indirekter Emissionen, um gegebenenfalls weitere nachgelagerte Produkte zu ergänzen. Bis 2030 sollen alle unter den EU-ETS fallende Güter einbezogen werden. Die Verwaltung soll zentralisiert erfolgen, wobei der Großteil der Aufgaben in den Zuständigkeitsbereich der Kommission fallen wird. Aktuell ist keine Exportregelung vorgesehen. Sollte sich eine exportbedingte Verlagerung von CO₂-Emissionen einstellen, plant die Kommission entsprechend einen Legislativvorschlag mit weiteren Regelungen vorzulegen (EP 2022b, EP 2022c).

⁴ Während der Übergangsphase müssen Importeure eine CBAM-Erklärung abgeben, die finanzielle Belastung entfällt in dieser Zeit jedoch.

⁵ Ausschlaggebend sind das Risiko von „Carbon Leakage“ in der entsprechenden Branche, die Höhe der Emissionen sowie die administrative Machbarkeit.

⁶ Die kostenlose Zuteilung von Emissionszertifikaten für Unternehmen wird in folgenden Schritten erfolgen: 2026: 2,5 %, 2027: 5 %, 2028: 10 %, 2029: 22,5 %, 2030: 48,5 %, 2031: 61 %, 2032: 73,5 %, 2033: 86 %, 2034: 100 %.

ABBILDUNG 15: Zeitplan des emissionsbasierten Grenzausgleichs (CBAM)


Einschätzung der Legalität des CBAM

Es existiert eine Fülle an Literatur, die sich mit der Frage beschäftigt, ob Grenzausgleichsmechanismen in Einklang mit WTO-Regeln gebracht werden können. Dabei kommt die Mehrheit zu dem Schluss, dass dies unter bestimmten Voraussetzungen möglich ist, dies jedoch von der konkreten Ausgestaltung der Maßnahme abhängt.⁷ Ein anderer Literaturzweig beschäftigt sich mit der optimalen Ausgestaltung (Mehrlin et al. 2019, Pauwelyn und Kleinmann 2020, Balistrereri et al. 2014). Potenziell kann eine Reihe von WTO-Prinzipien verletzt werden, dazu gehört das generelle Diskriminierungsverbot, das Inländerprinzip (Artikel II GATT) und die Meistbegünstigung (Artikel I GATT). Teilweise könnte der CBAM unter Ausnahmeregelungen fallen, wenn nachgewiesen werden kann, dass er mit dem Ziel des Klimaschutzes einen triftigen Rechtfertigungsgrund hat. Eine abschließende Bewertung ist zum aktuellen Zeitpunkt nicht möglich, da der finale Vorschlag nicht vorliegt und es dabei auf die konkrete Ausgestaltung des CBAM ankommt. Sollte diese jedoch in Konflikt mit WTO-Recht stehen, hätte die EU die Möglichkeit nachzubessern (Markkanen et al. 2021, Nysten 2021).

Vor- und Nachteile CBAM

Der Grenzausgleich kann „Carbon Leakage“ zumindest auf dem Inlandsmarkt vorbeugen und Drittstaaten weltweit zu höheren Klimaanstrengungen motivieren. Er ermöglicht das Ende der kostenfreien Zuteilung von ETS-Zertifikaten, ohne dabei die Wettbewerbsfähigkeit international konkurrierender Unternehmen im Inland zu gefährden.

Auf der Kehrseite steht eine Reihe an Herausforderungen und potenziellen Risiken. In jedem Fall wird durch den CBAM für Importeure ein erhöhter Verwaltungsaufwand entstehen. Im aktuellen Entwurf des europäischen CBAM ist außerdem keine Regelung für Exporte vorgesehen. Somit könnten sich trotz CBAM CO₂-Emissionen ins Ausland verlagern. Eine weitere Herausforderung liegt darin, die Maßnahme so zu konzipieren, dass die Konformität mit WTO-Regeln garantiert ist. Weiterhin birgt die Einführung die Gefahr von handelspolitischen Konflikten. Im Ergebnis könnte sich eine protektionistische Wirkung entfalten. Schließlich wird das Argument einer asymmetrischen Belastungswirkung angeführt (Eicke et al. 2021): Länder des Globalen Südens würden am stärksten vom CBAM betroffen sein. Dies stünde im Gegensatz zum Pariser Abkommen, in dem von

⁷ Siehe dazu: Anna, Stéphanie Seeuws, Agnieszka Nosowicz (2020): EU Border Carbon Adjustment and the WTO: Hand in Hand Towards Tackling Climate Change, 15 Global Trade and Customs Journal, Issue 1, pp. 15–23. Porterfield, Matthew (2019): Border Adjustments for Carbon Taxes, PPMs, and the WTO, U. Pa. J. Int'l L. Vol. 41:1. Will, Ulrike (2019): Climate Border Adjustments and WTO Law: Extending the EU Emissions Trade System to Imported Goods and Services, Brill. Trachtman, Joel P. (2016): WTO Law Constraints on Border Tax Adjustment and Tax Credit Mechanisms to Reduce the Competitive Effects of Carbon Taxes, Resources for the Future Discussion Paper 16-03. Marceau, Gabrielle (2016): The Interface between the Trade Rules and Climate Change Actions, in: Park, Deok-Young (Ed.): Legal Issues on Climate Change and International Trade Law, Springer, 3-39. Pauwelyn, Joost (2013): Carbon Leakage Measures and Border Tax Adjustments under WTO Law, in: Van Calster, Geert & Denise Prévost (eds.), Research Handbook on Environment, Health and the WTO, 448.

„[...] Common but Differentiated Responsibilites“ zum Schutz der Umwelt und damit verbundenen Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen ausgegangen wird.

Umsetzung des Instruments im Modell

In den nachfolgenden Politikszenerarien wird unterstellt, dass die Emissionsintensitäten der Importe bekannt sind und keine Ausweichbemühungen unternommen werden. Die Höhe der Importabgabe entspricht dann den effektiven spezifischen Emissionskosten des Inlands abzüglich denen des Auslands.

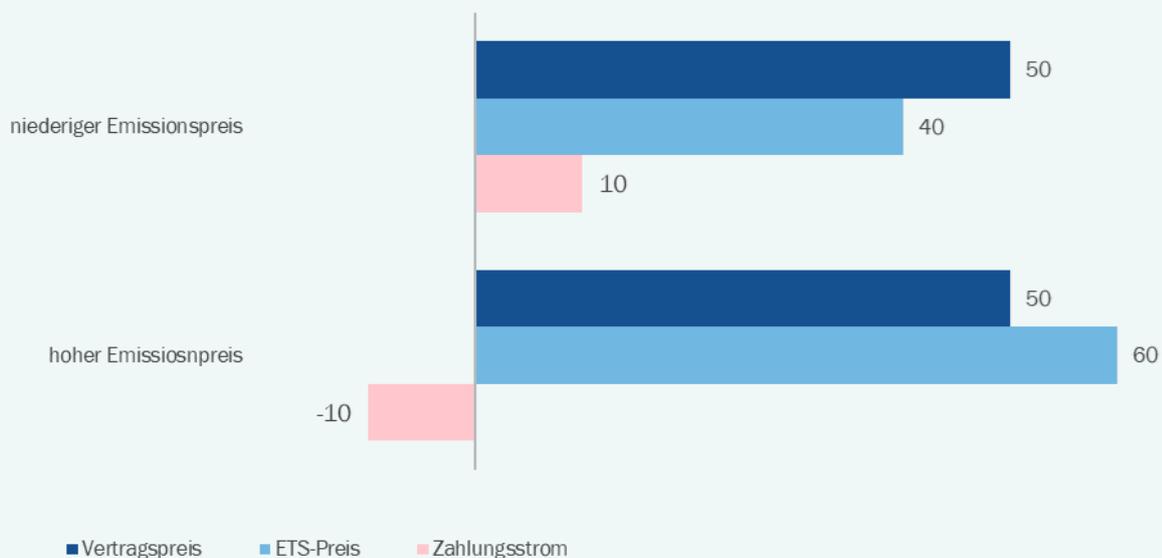
5.2. Klimaschutzverträge (Carbon Contract for Difference)

Klimaschutzverträge basieren auf der Idee von „Contracts for Difference“, welche ihren Ursprung in der Finanzwirtschaft haben. Sie dienen der Absicherung volatiler bzw. unsicherer Preise. Die Idee hielt bereits Einzug in die Energiewirtschaft und findet nun auch im Bereich der Klimapolitik Anklang. Bei den Vertragsparteien handelt es sich um Unternehmen und den Staat. Letzterer zielt darauf ab, klimafreundliche Investitionen zu fördern, indem er das Investitionsrisiko für Unternehmen durch Preisgarantieversprechen mindert.

Fördermaßnahmen zielen bislang auf Investitionskosten klimafreundlicher Technologien ab. Neben hohen Investitionskosten gehen klimafreundliche Technologien jedoch typischerweise mit höheren Betriebskosten als konventionelle Technologien einher. Die Höhe dieser Mehrkosten hängt maßgeblich von der Entwicklung von Emissionspreisen ab, welche mit Unsicherheit behaftet ist und daher für Unternehmen ein Investitionshemmnis darstellt. Denn die Umstellung auf emissionsarme Technologien rentiert sich für Unternehmen erst ab einem gewissen Emissionspreis. An dieser Stelle kommt das Garantieversprechen des Staates zu tragen. Er gleicht die Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion aus, schafft damit Investitionssicherheit und setzt Anreize für Unternehmen, klimafreundliche Investitionen zu tätigen. Der Staat garantiert Unternehmen über einen bestimmten Zeitraum einen gewissen Emissions-Vertragspreis. Übersteigt der Vertragspreis den Zertifikatspreis, kompensiert der Staat dem Unternehmen diese Differenz. Übersteigt hingegen der Zertifikatspreis den Vertragspreis, so kehrt sich der Zahlungsstrom um (**ABBILDUNG 16**).

ABBILDUNG 16: Ausgleichswirkung des CCfD

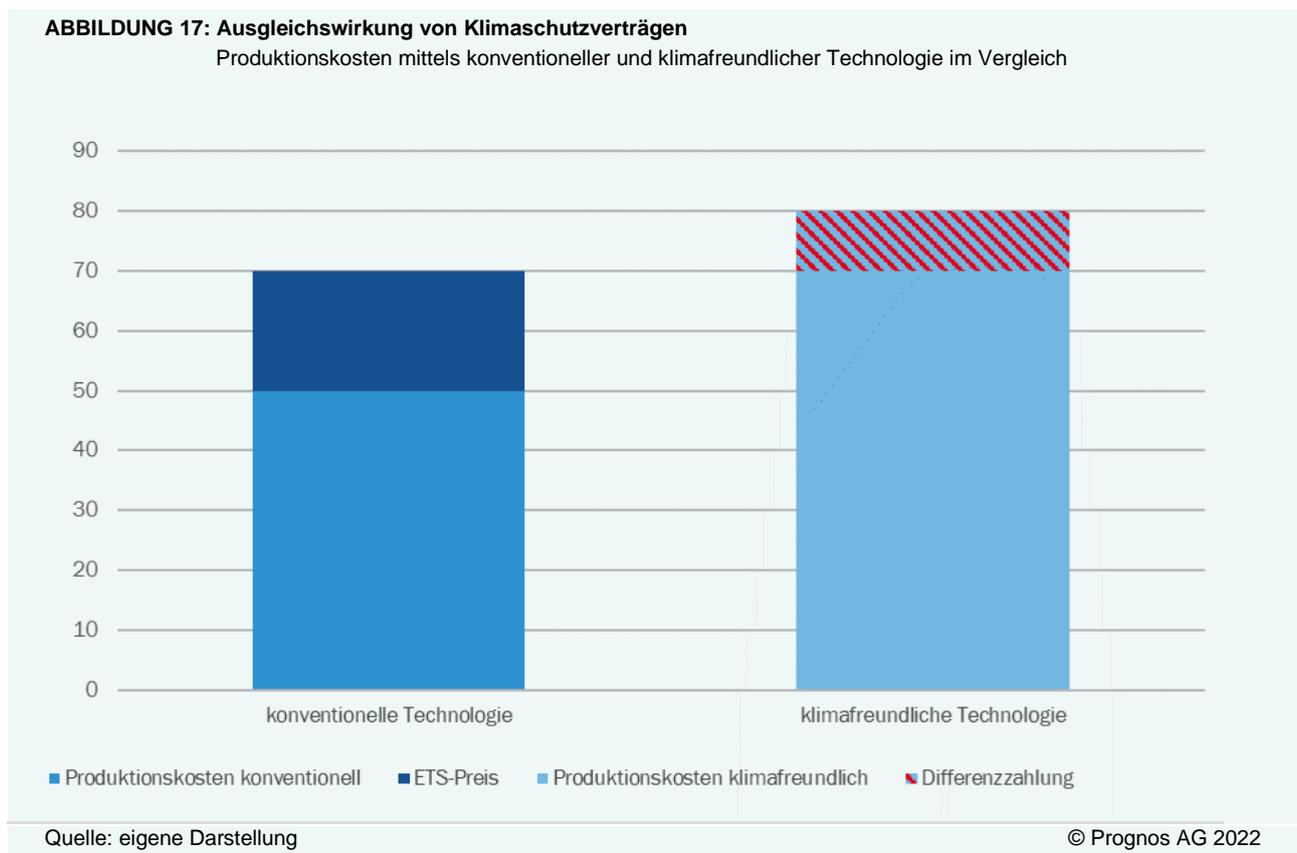
Gesamtkosten der Produktion innerhalb der EU und außerhalb der EU, Zahlungsstrom aus Sicht des Unternehmens



Quelle: eigene Darstellung

© Prognos AG 2022

Die Anreizwirkung verdeutlicht sich an folgendem Beispiel (siehe **ABBILDUNG 17**). Ein Unternehmen hat Produktionskosten zur Herstellung eines Gutes von 50 Euro mittels konventioneller Technologie zuzüglich 20 Euro, die für anfallende Emissionen entrichtet werden müssen. Insgesamt betragen die Produktionskosten damit 70 Euro. Das gleiche Gut kostet in der Herstellung mittels klimafreundlicher Technologien 80 Euro. Die Produktion ist mittels konventioneller Technologie für ein Unternehmen daher günstiger, da der Emissionspreis unterhalb der Vermeidungskosten der klimafreundlichen Technologie liegt. Die Idee des CCfD besteht darin, diese Differenz auszugleichen. In dem beschriebenen Fall, der aktuell weitgehend Realität ist, würde der Staat dem Unternehmen für ein bestimmtes Projekt die Differenz zwischen dem ETS-Marktpreis und einem vereinbarten Referenzpreis zahlen. Wäre der Marktpreis hinreichend hoch und die klimafreundliche Produktion günstiger als die konventionelle, würde sich der Zahlungsstrom umkehren. Das Unternehmen müsste die Differenz an den Staat entrichten.



Status quo

Im Juni 2020 beschloss die Bundesregierung die Nationale Wasserstoffstrategie (BMWK 2022a). Dabei wurde eine enge Koordinierung mit der Europäischen Kommission angestrebt. Ziel war es, neben Investitionskostenzuschüssen, auch den Betrieb teurerer, klimafreundlicher Industrieverfahren zu fördern. Dazu sollte ein Pilotprogramm aufgelegt werden, das den Fokus zunächst auf emissionsintensive Grundstoffbranchen legt, welches bei Erfolg auf weitere Industriebranchen ausgeweitet werden kann (BMWK 2020). Eckpunkte zur Umsetzung des Pilotprogramms „Carbon Contracts for Difference“ wurden vom BMU (2021) im April 2021 vorgelegt. Ein Interessenbekundungsverfahren des BMWK lief bis zum 25.05.2022. Es dient als Grundlage für die endgültige Ausgestaltung des Instruments. Hauptzielgruppe waren Unternehmen der Grundstoffindustrien mit hohen prozessbedingten Emissionen: Stahl, Zement, Kalk und Ammoniak (BMU 2022). Am 23. Dezember 2022 wurde ein Entwurf mit Förderrichtlinien zur Förderung von klimaneutralen Produktionsverfahren veröffentlicht (BMWK 2022b). Darin werden unter anderem die Rahmenbedingungen, Voraussetzungen, Mindestanforderungen an förderfähige Vorhaben sowie das Berechnungsverfahren der Aus- und Rückzahlungen festgelegt.



Förderrichtlinien Klimaschutzverträge (Entwurf – Stand 23.12.2022) (BMWK 2022b)

(Richtlinien zur Förderung von klimaneutralen Produktionsverfahren in der Industrie durch Klimaschutzverträge)

Allgemein:

- Zuwendungen sollen Mehrkosten, die sich durch die Errichtung und den Betrieb von klimafreundlichen Anlagen im Vergleich zu konventionellen Anlagen entstehen, kompensieren.
- Mehrkosten werden durch das Referenzsystem definiert.
- Förderfähige Projekte: Errichtung und Betrieb von klimafreundlichen Produktionsverfahren. Der Fokus liegt auf energieintensiven Branchen und Anlagen mit hohem Einsparungspotenzial
- Zuwendungen erfolgen in Form von Zuschüssen.

Vergabe:

Die Vergabe erfolgt im Einklang mit den Vorgaben des EU-Beihilferechts. Die Bewertung erfolgt anhand folgender Kriterien und Gewichtung:

- Förderkosteneffizienz (70 %)
- relative Treibhausgasemissionsminderung (15 %)
- relative Energieintensität (15 %)

Laufzeit: 15 Jahre

Mindestanforderung an Vorhaben:

- Eine relative Treibhausgasemissionsminderung von mindestens 95 % gegenüber dem konventionellen Referenzsystem muss technisch möglich sein.
- Ende des ersten operativen Jahres muss eine relative Emissionsminderung von mindestens 50 % gegenüber dem Referenzsystem realisiert werden.

Zahlungsströme:

Die maximal mögliche Fördersumme wird auf Grundlage des Basis-Vertragspreises begrenzt. Zahlungsströme werden jährlich angepasst. Dazu wird der Basis-Vertragspreis um eine Dynamisierungskomponente erweitert, um das Risiko einer Veränderung der Energieträgerpreise abzufedern. Bei der Berechnung des Auszahlungsbetrags wird der effektive CO₂-Preis, die kostenlose Zuteilung von ETS-Zertifikaten, das realisierte Produktionsvolumen sowie die Emissionsminderung im Vergleich zum Referenzsystem berücksichtigt. Übersteigt der effektive CO₂-Preis den Basis-Vertragspreis, kehrt sich der Zahlungsstrom um. Das Unternehmen zahlt die Differenz an den Staat.

Einschätzung der Legalität der Klimaschutzverträge

Der Vertrag über die Arbeitsweise der EU sieht grundsätzlich ein Verbot staatlicher Beihilfen vor. Bestimmte Beihilfen sind von diesem Gebot aber ausgenommen. Alle geplanten Beihilfen müssen bei der EU-Kommission angezeigt bzw. notifiziert werden und von ihr genehmigt werden. Am 01.01.2022 traten neue Leitlinien für staatliche Klima-, Umweltschutz- und Energiebeihilfen in Kraft. Diese stellt den Rahmen für Fördermittel zur Erreichung des europäischen Green Deals. Anfang 2022 wurden CO₂-Differenzverträge als grundsätzlich zulässiges Beihilfeinstrument in das EU-Recht eingeführt, um die Transformation der Industrie zu unterstützen. Die geplanten Klimaschutzverträge der Bundesregierung unterliegen als staatliche Beihilfe einer Notifizierungspflicht. Laut BMWK (2022c) soll die Vergabe im Einklang mit den Vorgaben des EU-Beihilferechts anhand wettbewerblicher Kriterien erfolgen. Neben dem geforderten CO₂-Vertragspreis wird eine Reihe weiterer Kriterien zur Beurteilung herangezogen: Projektreife, Skalierbarkeit, Innovationsgrad, Beitrag zu den langfristigen Klimazielen, Umsetzung der Wasserstoffstrategie. Damit soll die Einhaltung des EU-Beihilferechts gewährleistet werden.

Vor- und Nachteile von CCfD

Da sich Investitionen in klimafreundliche Technologien typischerweise erst ab einem bestimmten Emissionspreis lohnen, können Klimaschutzverträge den Markteintritt und die Marktdurchdringung ermöglichen und beschleunigen. Einerseits schafft dies für Unternehmen Investitionssicherheit. Dies zeigt Stechow et al. (2011) am Beispiel von «Carbon Capture and Storage». Andererseits senken Klimaschutzverträge die Finanzierungskosten für Unternehmen, wodurch sich der Einsatz klimafreundlicher Technologien bereits zu einem geringeren Emissionspreis lohnt (Neuhoff et al. 2019). Klimaschutzverträge können außerdem als «commitment device» des Staates fungieren und damit Innovationsanreize für alle Akteure aufrechterhalten (Chiappinelli und Neuhoff 2020). Die weitgehende Adaption klimafreundlicher Technologien wirkt sich außerdem positiv auf die Lernkurve aus und kann damit zu Spillover-Effekten führen. Gleichzeitig können Klimaschutzverträge eine stabile Nachfrage nach neuen Technologien schaffen und somit eine positive Wirkung auf die Angebotsseite haben. Im Ergebnis können sie einen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit von klimafreundlichen Technologien leisten.

Das Risiko der „Überforderung“ wird durch Begrenzung der Förderhöhe auf die tatsächlichen Kosten und der Umkehrung des Zahlungsstroms, sobald klimafreundliche Technologien kostengünstiger sind, begrenzt.

Umsetzung des Instruments im Modell

Die geplanten Klimaschutzverträge zielen darauf ab, die Differenz der Produktionskosten zwischen konventionellen und klimafreundlichen Technologien zu kompensieren. Während das BMWK dies durch die Zahlung der Differenz aus Garantiepries und ETS-Zertifikat kompensiert, wird im Modell die tatsächliche Differenz der Produktionskosten der Unternehmen kompensiert.

Im Modell wird die Differenz der Betriebskosten zwischen klimafreundlicher und konventioneller Technologie so lange vom Staat kompensiert, bis die Vermeidungskosten klimafreundlicher Technologien Null entsprechen. Es handelt sich um eine einseitige Zahlungsverpflichtung des Staates gegenüber dem Unternehmen. Von möglichen späteren Rückzahlungen der Unternehmen an den Staat kann in der Modellierung abstrahiert werden. Um diese quantifizieren zu können, müsste die Laufzeit der Verträge definiert werden. Hier bestünden erhebliche Spielräume. Zudem fokussiert die Untersuchung auf die Zeitpunkte der Umstellung hin zu klimaneutralen Produktionsverfahren. Diese wären von späteren Rückzahlungsverpflichtungen nicht betroffen. Schließlich würden die Rückzahlungsströme je nach Zeitpunkt der Umstellungen außerhalb des hier gewählten Betrachtungszeitraums bis 2045 liegen und könnten somit nicht vollständig abgebildet werden.

6. Ergebnisse für die Grundstoffchemie

Überblick über die Szenarien

Wird der Anteil der frei zugeteilten Emissionszertifikate bis 2035 auf null reduziert, sind unter den getroffenen Annahmen die im Zeitverlauf zunehmenden Emissionskosten im Fall der Grundstoffchemie noch nicht hinreichend, um einen frühen Wechsel der Produktionstechnik von sich aus einzuleiten. Erst gegen Ende des Betrachtungszeitraums (2042) sind emissionsarme elektrisch beheizte Steamcracker kostengünstiger. Vor diesem Hintergrund werden die folgenden klimapolitischen Szenarien im LABS-Modell implementiert und die Ergebnisse im Folgenden diskutiert:

- Im Szenario „**Abschmelz**“ wird der Anteil der frei zugeteilten Emissionszertifikate bis 2035 auf null reduziert.
- Im Szenario „**Abschmelz & Politik**“ verbietet die Politik zusätzlich das konventionelle Produktionsverfahren deutlich vor 2042. Den Unternehmen wird ein Stichtag vorgegeben (1. Januar 2030), ab welchem sie mit der Umstellung des Produktionsverfahrens beginnen müssen.
- Zusätzlich zum vorgenannten wird im Szenario „**Abschmelz & Politik & CBAM**“ ein emissionsbasierter Grenzausgleich eingeführt. Die Abgabe auf Importe entspricht der Differenz der spezifischen Emissionskosten zwischen In- und Ausland (siehe Kapitel 5.1).
- Im Szenario „**Abschmelz & Subvention**“ erhalten die Unternehmen, welche ihr Produktionsverfahren umstellen (ab 2030 technisch möglich), einen einmaligen Investitionskostenzuschuss in voller Höhe sowie einen vollständigen Ausgleich der Betriebskostendifferenz zwischen dem emissionsarmen und dem konventionellen Produktionsverfahren (bis zum Erreichen der Kostenparität).
- Im letzten Szenario „**Abschmelz & Subvention & CBAM**“ wird zusätzlich zur Subvention der emissionsbasierte Grenzausgleich eingeführt.

Für jedes Szenario wurden jeweils 210 Simulationsläufe durchgeführt, die monatlichen Zeitreihen zu Jahreswerten aggregiert und für den Ergebnisausweis die Durchschnittswerte der jeweiligen Simulationsläufe verwendet.

Auswirkungen auf die Grundstoffchemie

Werden außer dem Auslaufen der kostenfreien Zuteilung von Emissionszertifikaten keine weiteren klimapolitischen Instrumente eingesetzt (Szenario „**Abschmelz**“), erfolgt ein Technikwechsel in der Grundstoffchemie erst kurz vor Ende des Betrachtungszeitraums 2042 (vgl. **ABBILDUNG 18**). Die Kompensation der Produktionskostendifferenz in den Szenarien „**Abschmelz & Subvention**“ sowie „**Abschmelz & Subvention & CBAM**“ führt zu einem Vorziehen des Technikwechsels ab 2030, welcher von den Unternehmen schneller umgesetzt werden kann als im Fall der ordnungspolitischen Vorgabe eines Technikwechsels (Szenarien „**Abschmelz & Politik**“ sowie „**Abschmelz & Politik & CBAM**“). Für den Technikwechsel müssen Eigen- und Fremdkapital im Umfang von einem Drittel des Wertes des Bestandskapitalstocks mobilisiert werden, was ohne eine entsprechende Subventionierung den Unternehmen schwerer fällt und entsprechend länger dauert. In allen vier Politikszenerarien ist der Technikwechsel ab 2035 komplett abgeschlossen. Damit kann die Grundstoffchemie etwas weniger als zehn Jahre früher die Klimaneutralität erreichen.

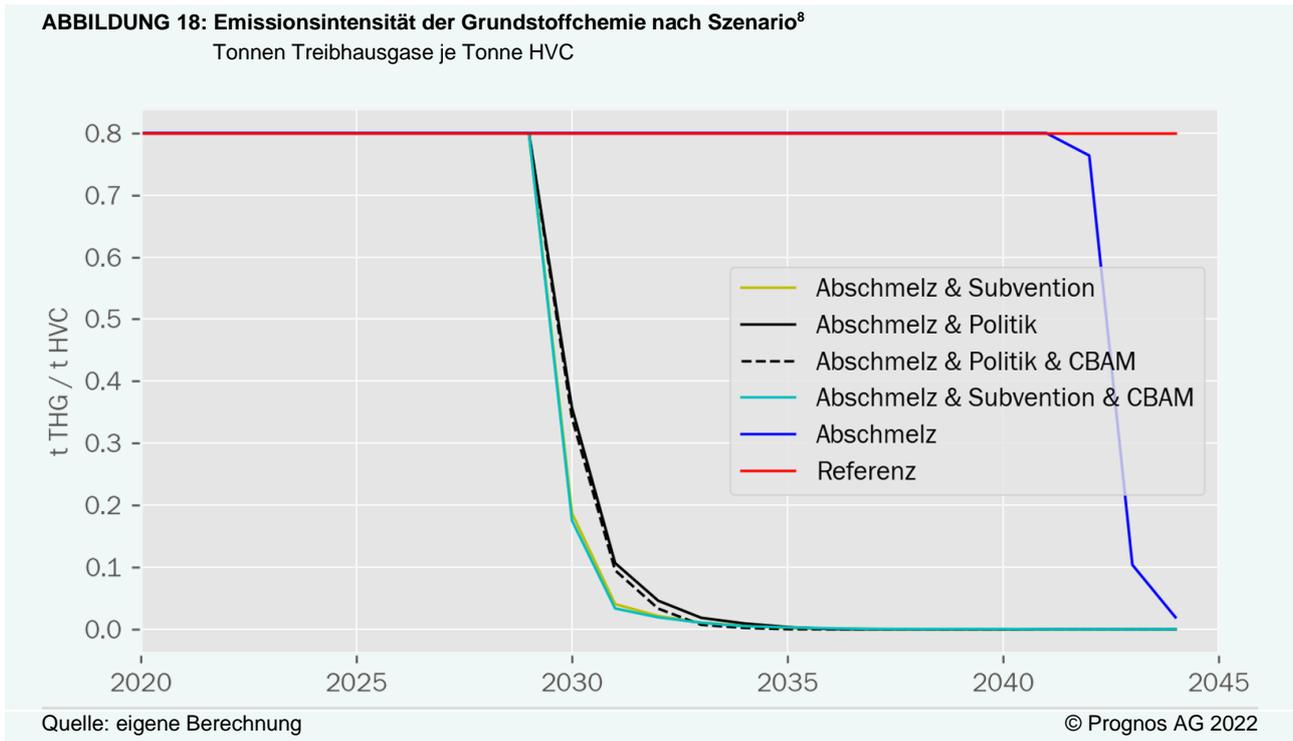
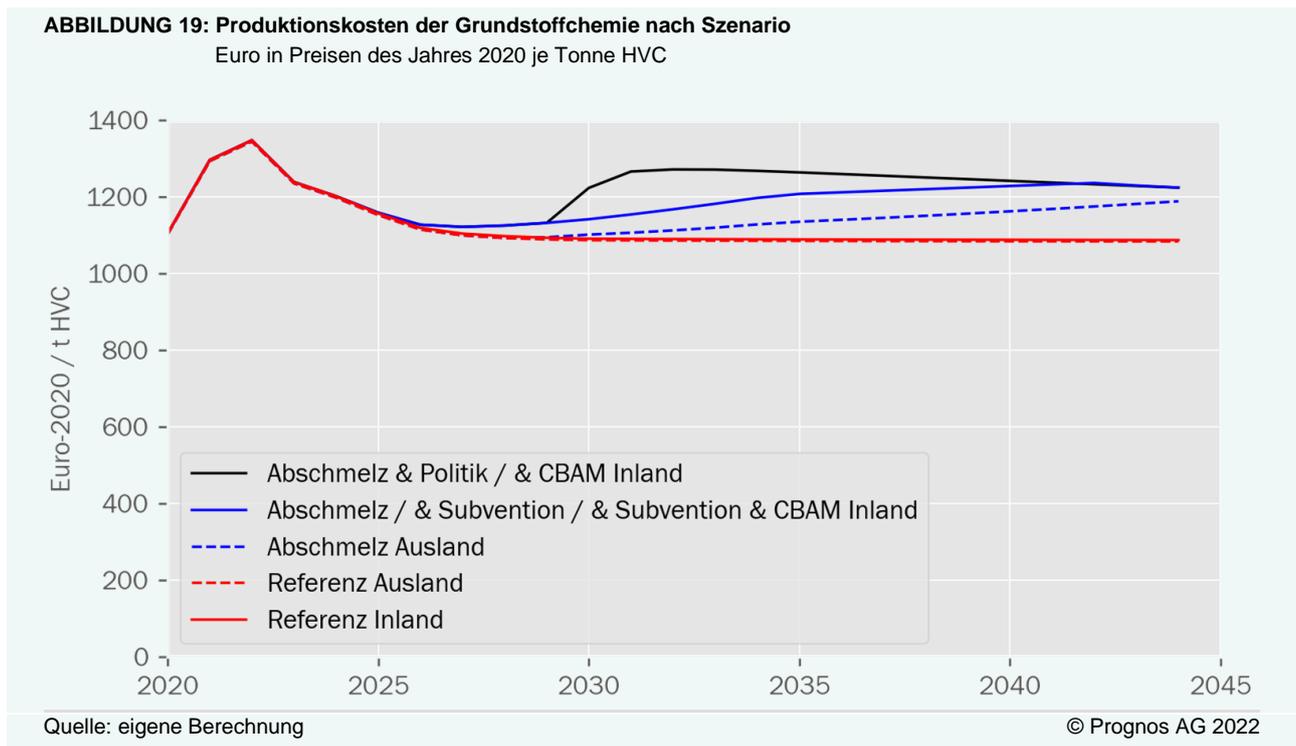


ABBILDUNG 19 gibt für die einzelnen Szenarien die Produktionskosten für den Durchschnitt der Unternehmen respektive Anlagen im Simulationsverlauf wieder. Die klimapolitischen Szenarien implizieren in bestimmten Fällen einen identischen Verlauf der Produktionskosten: So bewirkt zwar die politische Vorgabe, die Produktionstechnik bereits vor Erreichen der Kostenparität umzustellen, einen Anstieg der Produktionskosten gegenüber dem Szenario „**Abschmelz**“, in welchem die Technik erst 2042 gewechselt wird. Die zusätzliche Einführung des CBAM wirkt sich jedoch nicht auf die Produktionskosten der Unternehmen aus (Szenarien „**Abschmelz & Politik**“ sowie „**Abschmelz & Politik & CBAM**“). Ebenso sind die Produktionskosten in denjenigen Szenarien, in denen eine Subventionierung der emissionsarmen Technik erfolgt (Szenarien **Abschmelz & Subvention**“ sowie „**Abschmelz & Subvention & CBAM**“), identisch mit den Produktionskosten des Szenarios „**Abschmelz**“ im Inland, da die eigentlich teurere emissionsarme Technik auf das Kostenniveau der konventionellen Technik vergünstigt wird.

⁸ Die Abbildung gibt den Durchschnittswert über alle Anlagen wieder, welche in den Übergangsphasen nur zu einem Teil bereits umgestellt haben.

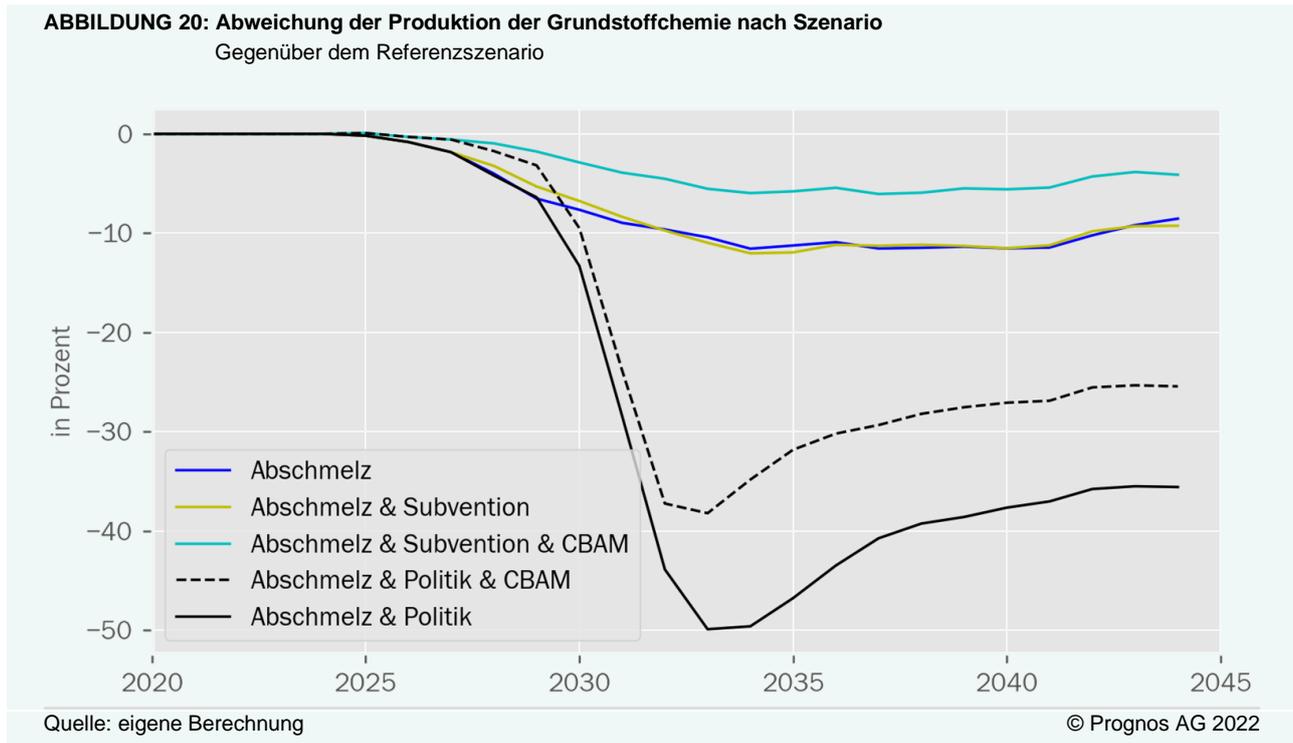


Bereits vor einem technisch möglichen Wechsel des Produktionsverfahrens ab 2030 erfährt die Grundstoffchemie einen zunehmenden preislichen Wettbewerbsnachteil aufgrund der im Inland stark steigenden Emissionskosten. Wird zusätzlich ab 2030 ein Wechsel hin zur zu diesem Zeitpunkt teureren emissionsarmen Produktionstechnik ordnungspolitisch vorgegeben, verschärft sich der Kostennachteil der Grundstoffchemie im Inland weiter. Marktanteilsverluste im In- und Ausland sind die Konsequenz. Ohne eine zusätzliche Unterstützung verliert die Grundstoffchemie im Inland bis zu 50 Prozent ihrer Produktion (Szenario „**Abschmelz & Politik**“) (vgl. **ABBILDUNG 20**). Produktivitätseffekte sind in den Szenarien zu vernachlässigen, so dass die (relativen) Beschäftigungsverluste annähernd den Einbußen auf Seiten der Produktion entsprechen. Durch die Einführung von Emissionskosten im Ausland ab 2030 reduziert sich im weiteren Simulationsverlauf der Kostennachteil des Inlands, so dass auch die Produktionsverluste wieder leicht zurück gehen.

Die Einführung eines emissionsbasierten Grenzausgleichs (CBAM) ab 2025 im Szenario „**Abschmelz & Politik & CBAM**“ egalisiert den emissionsbedingten Kostennachteil der inländischen Unternehmen auf dem Inlandsmarkt – falls sie mit der konventionellen Technik produzieren. Durch den ordnungspolitisch verordneten Umstieg ist dies nach 2030 nicht mehr der Fall, und der CBAM bietet nur einen teilweisen Schutz auf dem Inlandsmarkt, während der Auslandsumsatz stark unter Druck gerät. Insgesamt sind die Produktionsverluste bei einer Kombination von Ordnungspolitik und CBAM immer noch erheblich.

Eine Subventionierung des emissionsarmen Produktionsverfahrens im Szenario „**Abschmelz & Subvention**“ gleicht die Differenzkosten zur konventionellen Technik im Inland aus. Es bleibt damit die in **ABBILDUNG 19** gezeigte Kostendifferenz zwischen dem In- und Ausland bestehen. Die Produktionsverluste der beiden Szenarien entsprechen näherungsweise einander (Szenario „**Abschmelz**“ und Szenario „**Abschmelz & Subvention**“). Sie belaufen sich maximal auf zehn Prozent.

Am geringsten fallen die Produktionsverluste aus, wenn im Szenario „**Abschmelz & Subvention & CBAM**“ die Subventionierung der emissionsarmen Technik und der emissionsbasierte Grenzausgleich kombiniert werden (ca. 5-6 Prozent Outputabweichung maximal). Auf dem Auslandsmarkt hat die inländische Grundstoffchemie in diesem Fall den Nachteil der höheren Emissionskosten (des Inlands), während auf dem Inlandsmarkt Kosteneutralität hergestellt wird.



Bewertung der Instrumente

Für die Bewertung der klimapolitischen Instrumente „Subvention“ und „CBAM“ werden nachfolgend Aufwand und Ertrag der beiden Instrumente gegenübergestellt.

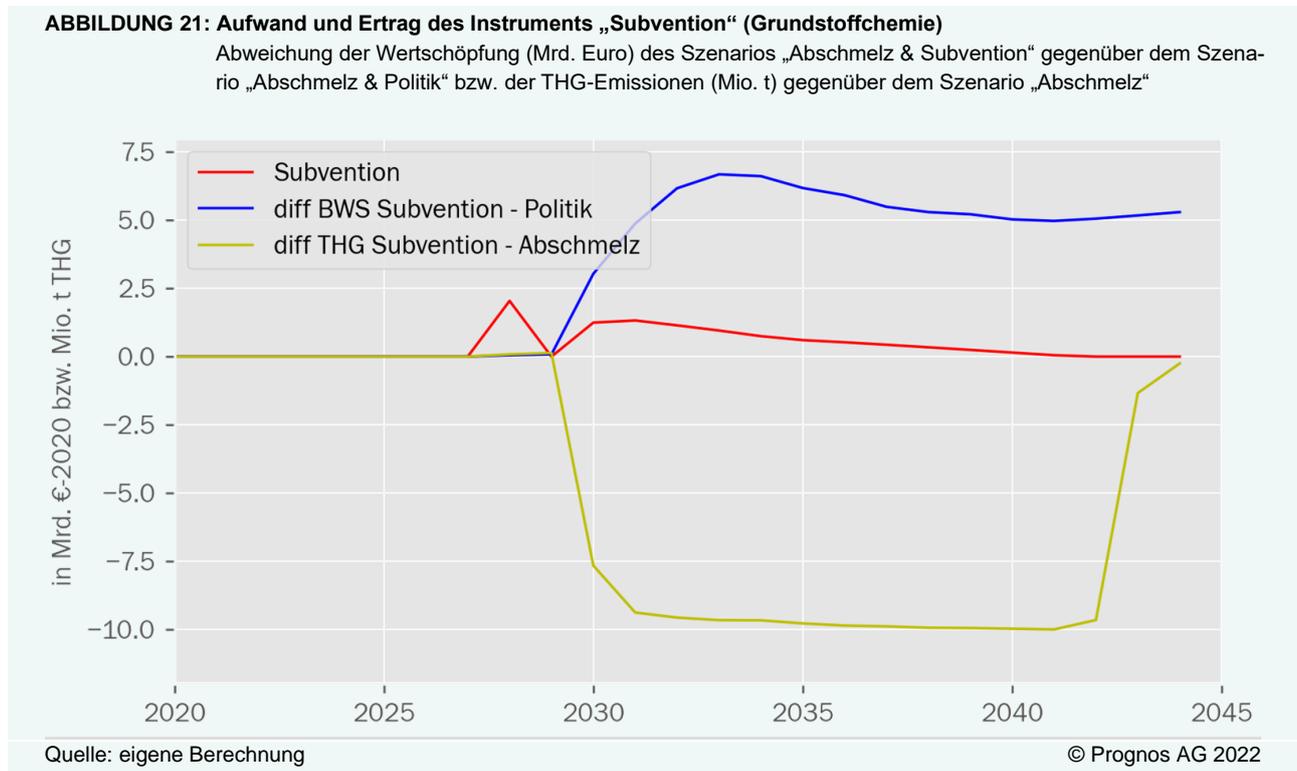
Die Subventionierung der emissionsarmen Produktionstechnik entspricht einem Zahlungsstrom von Seiten des Staates an diejenigen Unternehmen, welche einen Technikwechsel durchführen bzw. durchgeführt haben. Die Subventionsleistung wird so lange gewährt, bis die Kostenparität zwischen den beiden Produktionstechniken erreicht ist (unter Berücksichtigung der Emissionskosten). Im Fall der Grundstoffchemie ist dies 2042 der Fall. Die Subvention setzt sich zusammen aus einem Investitionskostenzuschuss in voller Höhe sowie nach erfolgter Umstellung einem Zuschuss für die Differenz der Betriebskosten in voller Höhe. Der Investitionskostenzuschuss beläuft sich auf insgesamt etwas mehr als zwei Mrd. Euro, während der Betriebskostenzuschuss 2032 sein Maximum in Höhe von 1,3 Mrd. Euro aufweist (vgl. Abbildung 21). Kumuliert muss der Staat 9,8 Mrd. Euro bis 2042 für dieses Instrument aufwenden.

Auf der Ertragsseite des Instruments stehen die Zugewinne auf Seiten der Produktion und Wertschöpfung sowie die vorzeitige Reduktion der THG-Emissionen. Die Zugewinne der beiden ökonomischen Kenngrößen werden gegenüber dem Szenario „**Abschmelz & Politik**“ berechnet, da in diesem auch ein Technikwechsel erfolgt, die Unternehmen hierbei jedoch keine Unterstützung erfahren. Die Verringerung der THG-Emissionen wird gegenüber dem Szenario „**Abschmelz**“ gemessen, da in diesem ein Technikwechsel erst 2042 erfolgt und der Vergleich deutlich macht, in welchem Umfang Emissionen durch das Instrument „Subvention“ eingespart werden können.

Die Subventionierung hat einen dauerhaft positiven Effekt auf die Wertschöpfung in der Grundstoffchemie (vgl. **ABBILDUNG 21**). Für die Gegenüberstellung mit dem Subventionsaufwand berücksichtigen wir die Abweichung auf Seiten der Wertschöpfung entsprechend nur bis 2041 (ab dem Folgejahr werden keine Subventionen mehr gezahlt). Kumuliert betragen die Zugewinne auf Seiten der Wertschöpfung 65,6 Mrd. Euro. Die sehr hohe Relation zwischen ökonomischem Ertrag und Subventionsaufwand (65,6 zu 9,8 Mrd. Euro) erklärt sich dadurch, dass die Subvention eine in Relation zum Produktionswert bzw. zur Wertschöpfung

geringe Kostendifferenz ausgleicht, welche jedoch für den „binären“ Markterfolg (Verkauf oder Nicht-Verkauf) maßgeblich ist.

Durch die Subventionierung der Grundstoffchemie werden kumuliert 126 Mio. t THG gegenüber dem Szenario „Abschmelz“ eingespart. Das Umweltbundesamt empfiehlt, für klimawandelverursachte Wohlfahrtseinbußen einen Kostensatz von 201 Euro je t CO₂ für 2021 anzusetzen (bei einer Zeitpräferenzrate von 1 Prozent). Bei Zugrundelegung dieses Kostensatzes können durch das Instrument 25,3 Mrd. Euro an Wohlfahrtseinbußen vermieden werden.



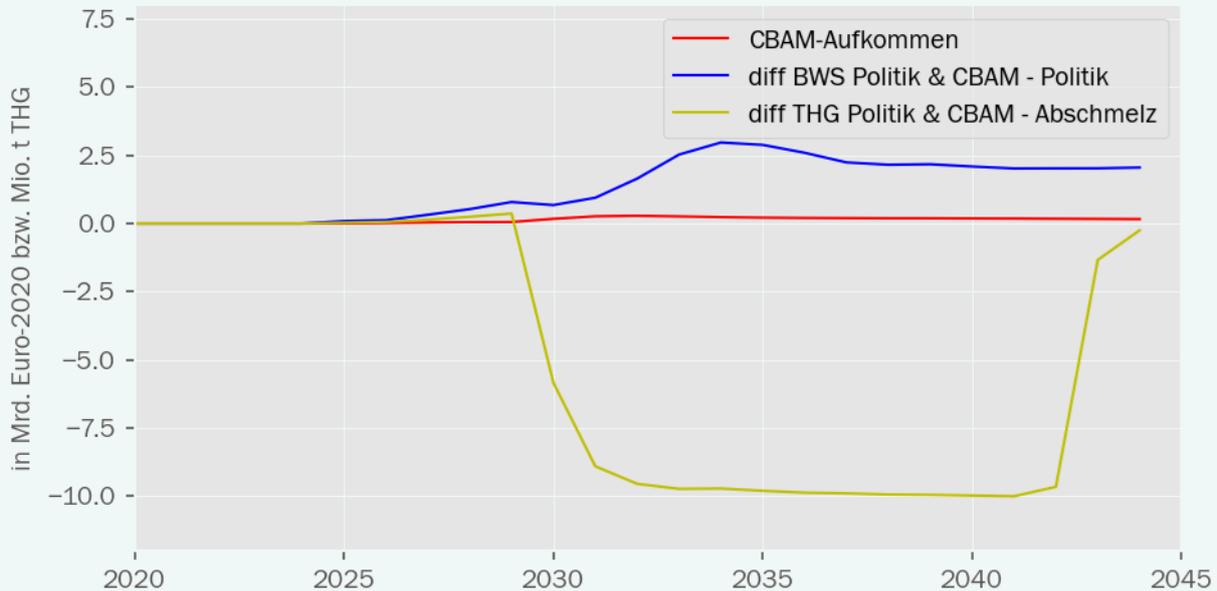
Das anfallende CBAM-Aufkommen ist vom Importvolumen, der Emissionsintensität der Importe sowie der Differenz der Emissionskosten zwischen In- und Ausland abhängig. Zu leisten haben dieses Aufkommen alle Nachfrager des entsprechenden Produktes, sprich die Unternehmen, die privaten Haushalte und der Staat des Inlands. Für sie verteuern sich die Importe um die Abgabe, welche dem Staat zufließt. Kumuliert beläuft sich das CBAM-Aufkommen im Szenario „Abschmelz & Politik & CBAM“ auf 3,2 Mrd. Euro (2025 bis 2045). Das Maximum des jährlichen Aufkommens liegt 2032 mit 0,3 Mrd. Euro vor.

Die Importabgabe egalisiert die höheren Emissionskosten im Inland und entsprechend können die Unternehmen der Grundstoffchemie dort mehr Marktanteile halten als im Politik-Szenario ohne CBAM. In der kumulierten Betrachtung fällt die Wertschöpfung der Branche um 32,8 Mrd. Euro höher aus (2025 bis 2045). Im gleichen Zeitraum können insgesamt 123,5 Mio. t THG gegenüber dem Szenario „Abschmelz“ eingespart werden – eine ähnliche Größenordnung wie im vorangegangenen Subventions-Szenario.

Hinsichtlich der ökonomischen Effizienz fällt damit das Instrument CBAM günstiger aus als das Instrument der Subvention. Bei letzterem werden die Investitionskosten und die Differenz der Betriebskosten in voller Höhe erstattet. In weiterführenden Studien kann untersucht werden, ob die Abweichung auf Seiten der Wertschöpfung unterproportional auf eine Reduktion des Fördersatzes reagiert und durch eine entsprechende Senkung des Fördersatzes die Effizienz des Instruments erhöht werden kann.

ABBILDUNG 22: Aufwand und Ertrag des Instruments „CBAM“ (Grundstoffchemie)

Abweichung Wertschöpfung (Mrd. Euro) des Szenarios „Abschmelz & Politik & CBAM“ gegenüber dem Szenario „Abschmelz & Politik“ bzw. der THG-Emissionen (Mio. t) gegenüber dem Szenario „Abschmelz“



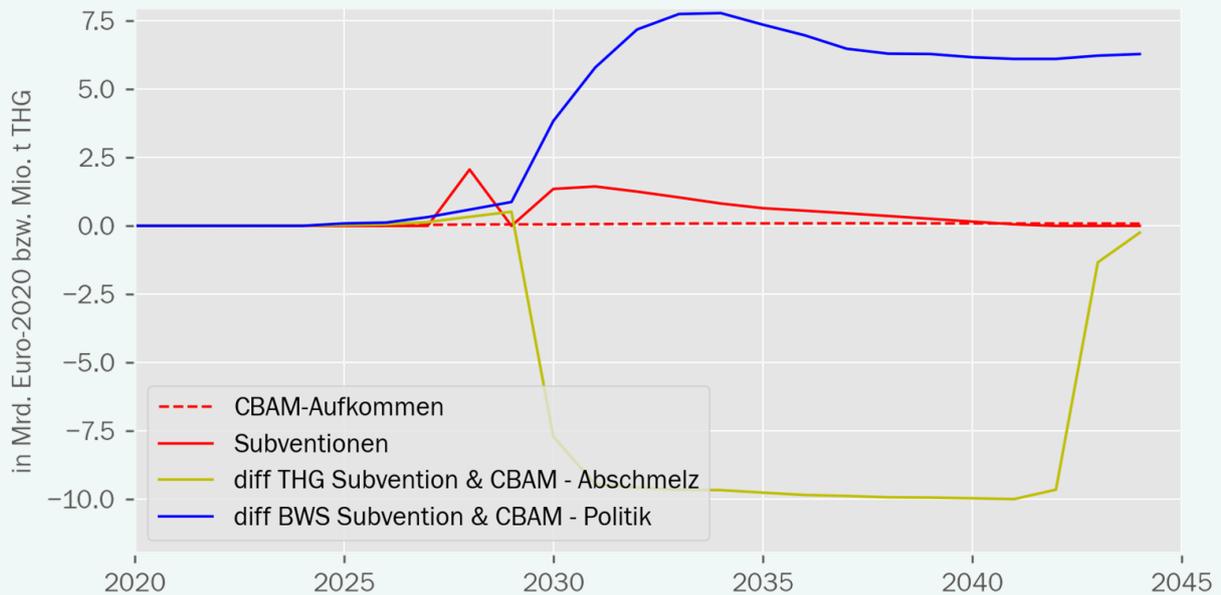
Quelle: eigene Berechnung

© Prognos AG 2022

Zusätzlich können die Subventionen und der Grenzausgleich als Instrumente miteinander kombiniert werden. In diesem Fall weisen die Unternehmen des Inlands bereits ab 2025 keinen (emissionsbasierten) Kostennachteil auf dem Inlandsmarkt auf (wovon ihr Umsatz und Produktion profitieren) und nach der Umstellung sind sie kostenseitig auf dem Inlandsmarkt den Unternehmen des Auslands komplett gleichgestellt. Die nachfolgende **ABBILDUNG 23** gibt die entsprechenden Verläufe der Aufwände und Erträge dieser Instrumentenkombination wieder. Die Reduktion der THG-Emissionen entspricht mit 125,5 Mio. t (2025 bis 2045, kumuliert) in etwa den Werten der beiden vorangegangenen Szenarien. Die Subventionszahlungen des Staates belaufen sich auf 10,4 Mrd. Euro und das CBAM-Aufkommen auf 1,4 Mrd. Euro (jeweils 2025-2045, kumuliert). Die Wertschöpfung fällt kumuliert um 98,6 Mrd. Euro höher aus als im Szenario „**Abschmelz & Politik**“, in welchem ein Technikwechsel ordnungspolitisch vorgegeben wird, aber den betreffenden Unternehmen keine Unterstützung gewährt wird. Die Abweichung auf Seiten der Wertschöpfung entspricht in etwa der Summe der jeweiligen Wertschöpfungseffekte im Fall der isolierten Anwendung der beiden Instrumente. Das CBAM-Aufkommen ist in der kombinierten Anwendung deutlich geringer (1,4 zu 3,2 Mrd. Euro), da die inländischen Unternehmen auf dem Inlandsmarkt kostenseitig den ausländischen Unternehmen gleichgestellt sind und die Importe entsprechend geringer ausfallen.

ABBILDUNG 23: Aufwand und Ertrag der Instrumente „Subvention & CBAM“ (Grundstoffchemie)

Abweichung der Wertschöpfung (Mrd. Euro) des Szenarios „Abschmelz & Subvention & CBAM“ gegenüber dem Szenario „Abschmelz & Politik“ bzw. der THG-Emissionen (Mio. t) gegenüber dem Szenario „Abschmelz“



Quelle: eigene Berechnung

© Prognos AG 2022

Die Gegenüberstellung der kumulierten Aufwendungen und Erträge der beiden klimapolitischen Instrumente in bringt die vorangegangenen diskutierten Ergebnisse auf den Punkt: Hinsichtlich der vermiedenen THG-Emissionen unterscheiden sich die Instrumente kaum. Eine Subventionierung des Technikwechsels der Grundstoffchemie ist dreimal so aufwändig wie das CBAM-Instrument, bedingt aber nur doppelt so hohe Zugewinne auf Seiten der Wertschöpfung. Allerdings ist der alleinige Einsatz des CBAM-Instruments auch mit dem Verlust von bis zu 40 Prozent der Produktion des Referenzszenarios verbunden.

TABELLE 5: Aufwand und Ertrag der klimapolitischen Instrumente: Grundstoffchemie

	Subvention (Mrd. Euro)	CBAM (Mrd. Euro)	Wertschöpfung (Mrd. Euro)	THG-Emissionen (Mio. t)
Subvention	9,8	-	65,6	126,0
Politik & CBAM	-	3,2	32,8	123,5
Subvention & CBAM	10,4	1,4	98,6	125,5

Quelle: eigene Berechnungen, kumulierte Abweichung gegenüber dem Szenario „Abschmelz“ (THG-Emissionen bzw. „Abschmelz & Politik (Wertschöpfung)“)

© Prognos AG 2022

i

Zentrale Ergebnisse für die Grundstoffchemie

- Bei einem Beibehalten des aktuellen Anteils der freien Emissionszertifikate (95 Prozent) erfolgt bis 2045 in der Grundstoffchemie kein Technikwechsel hin zu emissionsarmen Produktionsverfahren.
- Bei einem Abschmelzen der freien Zertifikate bis 2035 wird erst 2042 die Kostenparität zwischen dem konventionellen und dem emissionsarmen Produktionsverfahren erreicht.
- Technisch ist ein Wechsel der Produktionstechnik im industriellen Maßstab ab Ende der 2020er Jahre möglich.
- Ein ordnungspolitisch erzwungener Technikwechsel ab 2030 erhöht die Produktionskosten der inländischen Unternehmen gegenüber dem Ausland und führt zu Umsatz- und Produktionseinbußen von bis zu 50 Prozent.
- Wird der ordnungspolitisch erzwungene Technikwechsel durch einen emissionsbasierten Grenzausgleich für Importe ergänzt, weisen die Unternehmen einen geringeren Kostennachteil auf dem Inlandsmarkt auf. Das kumulierte CBAM-Aufkommen, welches von den Abnehmern der importierten Produkte aufzuwenden ist, beläuft sich auf 3,2 Mrd. Euro. Dem stehen Wertschöpfungsgewinne in Höhe von knapp 33 Mrd. Euro gegenüber (im Vergleich mit dem ordnungspolitischen Szenario ohne CBAM). Etwa 124 Mio. t. THG-Emissionen können gegenüber dem Szenario „Abschmelz“ ohne einen vorzeitigen Technikwechsel eingespart werden.
- Eine vollständige Subventionierung der emissionsarmen Produktionstechnik (Investitionskostenzuschuss zzgl. Differenzzahlung der Betriebskosten) ermöglicht einen Technikwechsel ab 2030 und kostet den Staat knapp 10 Mrd. Euro (kumuliert). Hierdurch können gegenüber dem ordnungspolitischen Verbot 66 Mrd. Euro Wertschöpfung in der Grundstoffchemie bewahrt werden. Die Einsparung auf Seiten der THG-Emissionen fällt ähnlich hoch aus wie im vorherigen Szenario.
- Eine Kombination aus Subventionierung des emissionsarmen Produktionsverfahrens und emissionsbasierten Grenzausgleich ist am vorteilhaftesten für die Unternehmen des Inlands, da sie sowohl vor als auch nach ihrem Technikwechsel auf dem Inlandsmarkt eine Kostenparität gegenüber den Unternehmen des Auslands aufweisen. Lediglich auf Drittmärkten weisen sie Kostennachteile auf. Gegenüber dem rein ordnungspolitischen Szenario fällt die Wertschöpfung in der Grundstoffchemie um knapp 99 Mrd. Euro höher aus, die Subventionsleistungen sind ähnlich hoch wie im reinen Subventionsszenario und das CBAM-Aufkommen ist deutlich kleiner, da die Unternehmen des Inlands größere Marktanteile auf dem Inlandsmarkt aufweisen (und entsprechend weniger importiert wird).

7. Ergebnisse für die Zementindustrie

Überblick über die Szenarien

Beim unterstellten Verlauf der Energieträger- und der Zertifikatspreise im EU-ETS ist der Betrieb einer CCS-Anlage für die Unternehmen der Zementindustrie bereits ab 2029 betriebswirtschaftlich vorteilhaft. Im außer-europäischen Ausland ist dies ab 2034 der Fall. Ein ordnungsrechtlich erzwungener Technikwechsel ist vor diesem Hintergrund im Gegensatz zur Grundstoffchemie nicht notwendig, auf die Erstellung eines entsprechenden Szenarios verzichten wir. Die folgenden Politiksznarien werden für die Zementindustrie betrachtet:

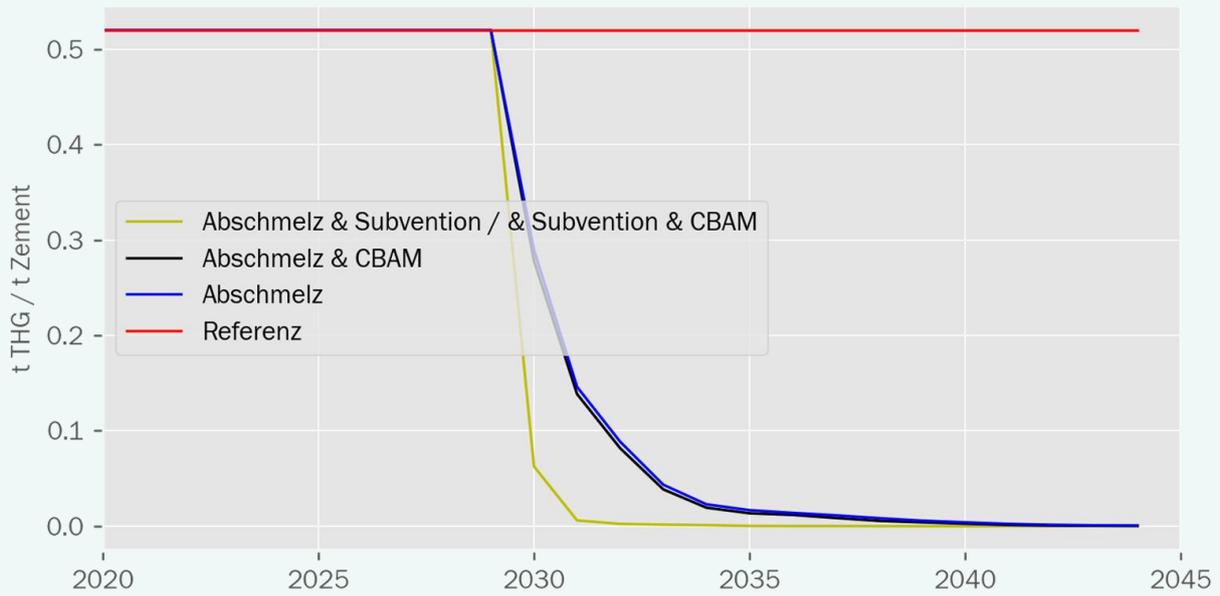
- Allen Politiksznarien gleich ist das Abschmelzen des Anteils der frei zugeteilten Emissionszertifikate bis 2035 auf null (Szenario „**Abschmelz**“).
- Im Szenario „**Abschmelz & Subvention**“ erhalten die Unternehmen, welche ihr Produktionsverfahren umstellen, einen einmaligen Investitionskostenzuschuss in voller Höhe sowie einen vollständigen Ausgleich der Betriebskostendifferenz zwischen dem emissionsarmen und dem konventionellen Produktionsverfahren (bis zum Erreichen der Kostenparität).
- Im Szenario „**Abschmelz & CBAM**“ wird ein emissionsbasierter Grenzausgleich ab 2025 eingeführt. Die Abgabe auf Importe entspricht der Differenz der spezifischen Emissionskosten zwischen In- und Ausland (siehe Kapitel 5.1).
- Im Szenario „**Abschmelz & Subvention & CBAM**“ schließlich werden die Kostenzuschüsse und der emissionsbasierte Grenzausgleich kombiniert.

Die Szenarienerstellung- und auswertung folgt dem gleichen Vorgehen wie im Fall der Grundstoffchemie.

Auswirkungen auf die Zementindustrie

Der Aufbau einer CCS-Anlage zusätzlich zum bestehenden Kapitalstock bedeutet einen erheblichen Investitionsaufwand für die Unternehmen der Zementindustrie: Der Wert der CCS-Anlage macht das ca. 1,5-fache des Wertes des ursprünglichen Kapitalstocks aus. Eine vollständige Subventionierung der Investitionskosten ermöglicht einen schnellen Aufbau der CCS-Anlagen und bilanziell eine zügige Reduktion der Emissionsintensität der Produktion (vgl. **ABBILDUNG 24**). Ab 2031 ist die Zementproduktion damit emissionsneutral respektive stellt eine Emissionssenke dar. Dies gilt für die beiden Szenarien „**Abschmelz & Subvention**“ sowie „**Abschmelz & Subvention & CBAM**“. Ohne einen Investitionskostenzuschuss benötigen die Unternehmen mehr Zeit, um das notwendige Eigen- und Fremdkapital zu mobilisieren. In den Szenarien ist eine maximale Kreditlaufzeit von 20 Jahren unterstellt und die Kreditannuitäten müssen aus den laufenden Gewinnen bedient werden. Die Unternehmen sind zudem in der Regel bereits vor der Umstellung Kreditnehmer. Ihre Kreditrückzahlungsfähigkeit ist damit limitiert, und damit auch die Höhe der neuen für den Aufbau der CCS-Anlagen benötigten Kredite. Im Ergebnis zieht sich in den beiden Szenarien „**Abschmelz**“ und „**Abschmelz & CBAM**“ der Umbau der Produktion bis gegen Ende der 2030er Jahre.

ABBILDUNG 24: Emissionsintensität der Zementindustrie nach Szenario
Tonnen Treibhausgase je Tonne Zement

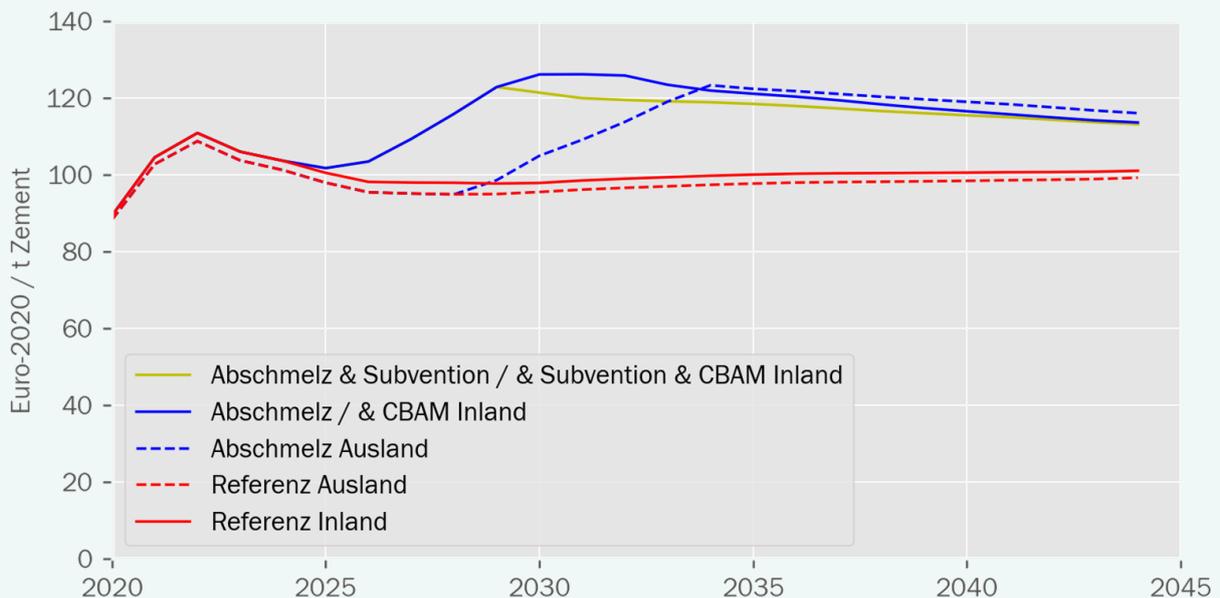


Quelle: eigene Berechnung

© Prognos AG 2022

ABBILDUNG 25 visualisiert die resultierenden Produktionskosten in den Szenarien: Ohne eine Subventionierung der Investitionskosten verzögert sich die Umstellung der Produktion und die Produktionskosten liegen aufgrund der steigenden Emissionskosten über dem Niveau (Szenarien „Abschmelz“ und „Abschmelz & CBAM“), welches bei einem zügigen Umstieg resultiert (Szenarien „Abschmelz & Subvention“ und „Abschmelz & Subvention & CBAM“). Nach der vollständigen Umstellung aller Anlagen liegen die Produktionskosten im Inland gleich auf. Im Ausland wird die Zementproduktion ab 2034 ebenfalls um CCS-Anlagen erweitert, die dort niedrigeren Zertifikatspreise bedingen jedoch geringere Erlöse für die bilanziell „freien“ CCS-Kapazitäten – im Ergebnis liegen die Produktionskosten des Auslands geringfügig über denen des Inlands.

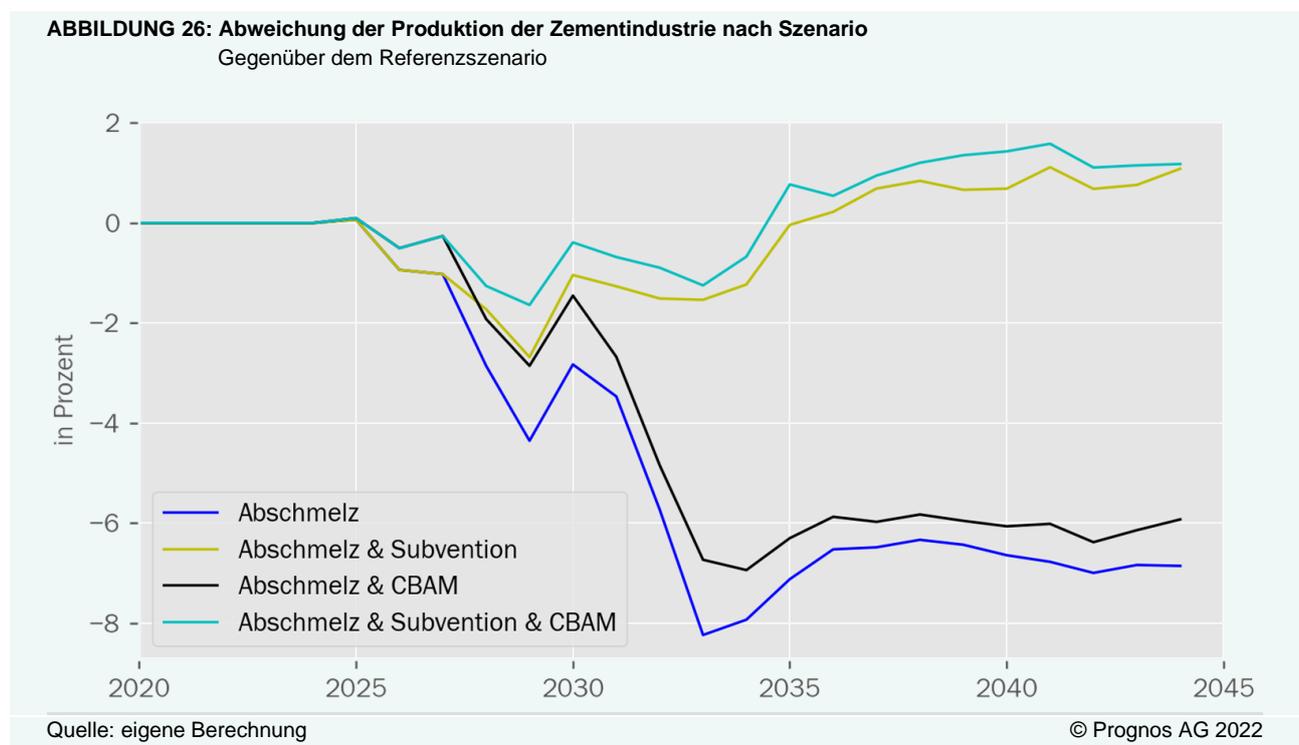
ABBILDUNG 25: Produktionskosten der Zementindustrie nach Szenario
Euro in Preisen des Jahres 2020 je Tonne Zement



Quelle: eigene Berechnung

© Prognos AG 2022

Ohne ein weiteres klimapolitisches Instrument ist der preisliche Wettbewerbsdruck in der Phase zwischen 2025 und 2034 am größten. Die Umsatz- respektive Produktionsverluste sind im Szenario „**Abschmelz**“ entsprechend mit 8 Prozent am höchsten. Nach 2034 stabilisieren sich die Verluste auf einem Niveau von etwa 6 Prozent. Aufgrund der geringen internationalen Handelsintensität auf den Zementmärkten ändert die zusätzliche Einführung eines emissionsbasierten Grenzausgleichs (Szenario „**Abschmelz & CBAM**“) an diesem Verlauf nur wenig (vgl. **ABBILDUNG 26**). Dass die inländischen Unternehmen trotz ihrer Kostenvorteile ab 2034 gegenüber dem Ausland nicht deutlicher Marktanteile zurückgewinnen, ist auf ihren hohen Verschuldungsgrad zurückzuführen: Für eine Expansion der Zementproduktion müsste weiteres Kapital mobilisiert werden, was nur eingeschränkt möglich ist. In den beiden Politikenszenarien mit Subventionierung („**Abschmelz & Subvention**“ und „**Abschmelz & Subvention & CBAM**“) fallen die Produktionsverluste klein aus (maximal 2 Prozent) und nach 2034 können gegenüber dem Referenzszenario in geringem Maße Marktanteile hinzugewonnen werden. Allen Politikenszenarien für die Zementindustrie gemein ist, dass die Umsatz- respektive Produktionsverluste kein sehr großes Ausmaß annehmen und im Fall der Subventionsszenarien zudem von temporärer Natur sind.

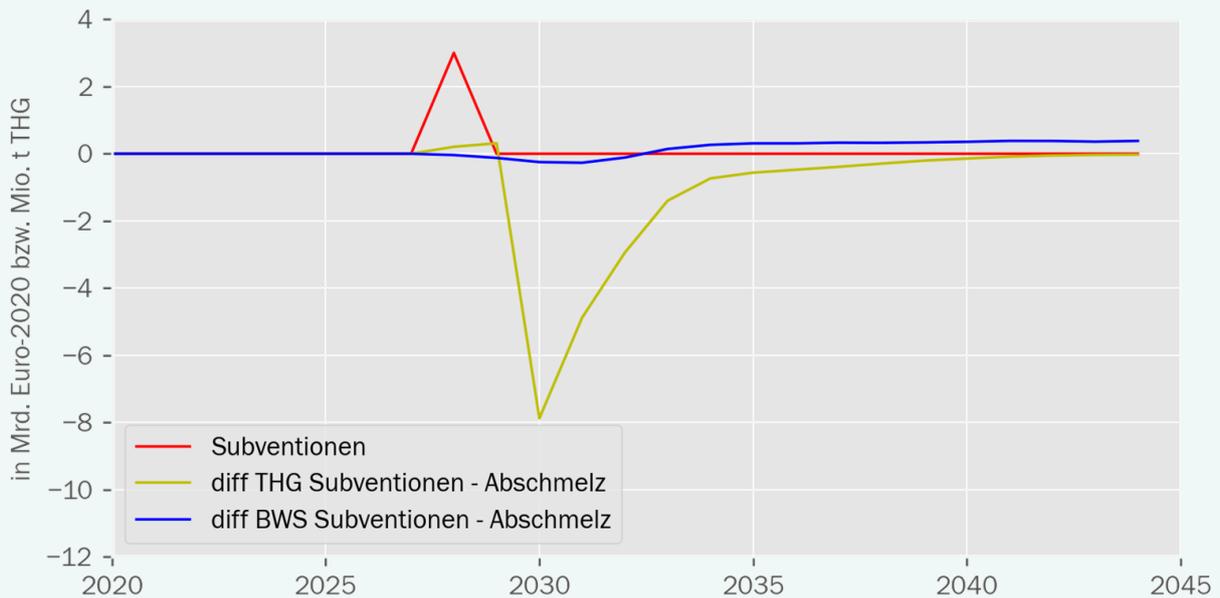


Bewertung der Instrumente

Im Politikenszenario „**Abschmelz & Subvention**“ fallen nur Investitionskostenzuschüsse in Höhe von drei Mrd. Euro an, da der Betrieb der CCS-Anlagen ab 2029 kostendeckend ist (siehe **ABBILDUNG 27**). Diesen Ausgaben des Staates stehen Zugewinne auf Seiten der Wertschöpfung der Branche von (kumuliert) 3,1 Mrd. Euro gegenüber. Durch den beschleunigten Bau der CCS-Anlagen können (kumuliert) 19,6 Mio. t THG-Emissionen gegenüber dem Szenario „**Abschmelz**“ eingespart werden. Diese Einsparung entspricht in etwa der Emissionsmenge, welche die Branche vor der Umstellung in einem Jahr emittiert.

ABBILDUNG 27: Aufwand und Ertrag des Instruments „Subvention“ (Zementindustrie)

Abweichung der Wertschöpfung (Mrd. Euro) und der THG-Emissionen (Mio. t) des Szenarios „Abschmelz & Subvention“ gegenüber dem Szenario „Abschmelz“



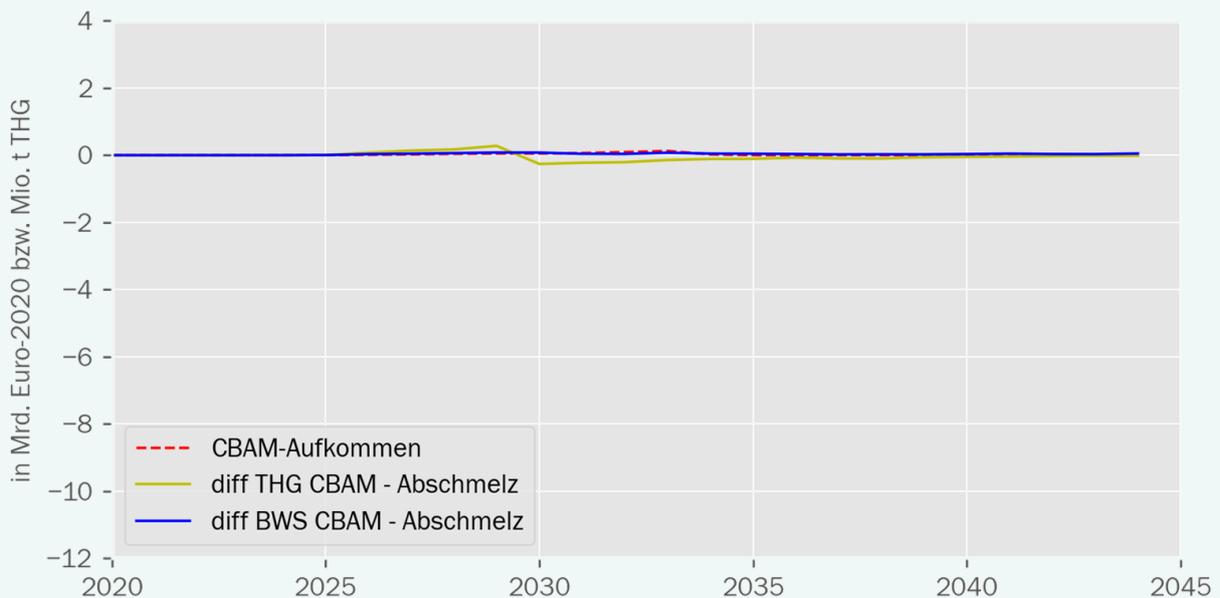
Quelle: eigene Berechnung

© Prognos AG 2022

Angesichts der sehr geringen Handelsintensität des Zementmarktes sind das Aufkommen und die Effekte eines emissionsbasierten Grenzausgleichs sehr gering (vgl. **ABBILDUNG 28**).

ABBILDUNG 28: Aufwand und Ertrag des Instruments „CBAM“ (Zementindustrie)

Abweichung der Wertschöpfung (Mrd. Euro) und der THG-Emissionen (Mio. t) des Szenarios „Abschmelz & CBAM“ gegenüber dem Szenario „Abschmelz“



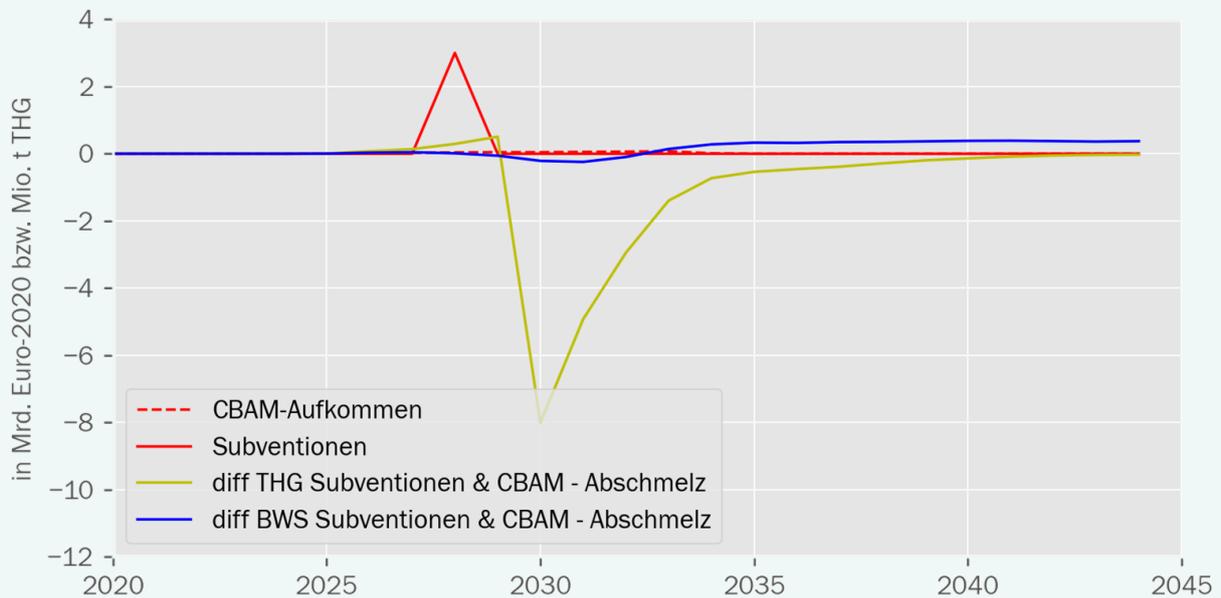
Quelle: eigene Berechnung

© Prognos AG 2022

Entsprechend unterscheiden sich die Ergebnisse für die Kombination der beiden Instrumente (Szenario „**Abschmelz & Subvention & CBAM**“ nur unwesentlich vom klimapolitischen Szenario mit ausschließlicher Subvention (vgl. **ABBILDUNG 29** vs. **ABBILDUNG 27**).

ABBILDUNG 29: Aufwand und Ertrag der Instrumente „Subvention & CBAM“ (Zementindustrie)

Abweichung Wertschöpfung (Mrd. Euro) und der THG-Emissionen (Mio. t) des Szenarios „Abschmelz & Subvention & CBAM“ gegenüber dem Szenario „Abschmelz“



Quelle: eigene Berechnung

© Prognos AG 2022

Die nachfolgende **TABELLE 6** gibt die kumulierten Aufwände und Effekte der klimapolitischen Instrumente auf die Wertschöpfung und THG-Emissionen der Zementindustrie wieder (als Abweichung gegenüber dem Szenario „Abschmelz“). Der emissionsbasierte Grenzausgleich ist hinsichtlich seiner Wirkung auf die Wertschöpfung effizienter, ist jedoch auch unzureichend hinsichtlich eines zügigen Technikwechsels in der Branche. Entsprechend ist die Effizienz in Bezug auf die vermiedenen THG-Emissionen wesentlich geringer als beim Subventionsinstrument. Bei letzterem werden nur Investitionskostenzuschüsse gewährt.

TABELLE 6: Aufwand und Ertrag der klimapolitischen Instrumente: Zementindustrie

	Subvention (Mrd. Euro)	CBAM (Mrd. Euro)	Wertschöpfung (Mrd. Euro)	THG-Emissionen (Mio. t)
Subvention	3,0	-	3,1	-19,6
CBAM	-	0,5	0,9	-0,8
Subvention & CBAM	3,0	0,4	3,5	-19,2

Quelle: eigene Berechnungen, kumulierte Abweichung gegenüber dem Szenario „Abschmelz“

© Prognos AG 2022

i

Zentrale Ergebnisse für die Zementindustrie

- Bei einem Abschmelzen des Anteils der frei zugeteilten Emissionszertifikate bis 2035 ist die Umstellung auf emissionsarme Produktionsverfahren in der Zementindustrie ab 2029 kostengünstiger als das konventionelle Verfahren.
- Beim unterstellten Verlauf der Emissionskosten im Ausland erfolgt die Umstellung dort ab 2034. Im Anschluss sind die Produktionskosten im In- und Ausland näherungsweise identisch.
- Angesichts der sehr geringen Handelsintensität auf dem Zementmarkt hat der temporäre Kostennachteil der Unternehmen im Inland geringe Auswirkungen auf deren Umsatz und Produktion.
- Die Einführung eines emissionsbasierten Grenzausgleichs ist für die Zementindustrie von untergeordneter Bedeutung.
- Der Aufbau der CCS-Anlagen ist sehr kapitalintensiv und ein Investitionskostenzuschuss (in voller Höhe) beschleunigt die Umstellung um 4-5 Jahre. Die hierdurch eingesparten THG-Emissionen entsprechen kumuliert in etwa den aktuellen jährlichen THG-Emissionen der Zementindustrie.

8. Ergebnisse für die Stahlindustrie

Überblick über die Szenarien

Die Stahlindustrie stellt insofern gegenüber der Grundstoffchemie und der Zementindustrie einen Sonderfall dar, als hier das Alter bzw. der Restwert der Bestandsanlage in den Kostenvergleich der Produktionstechniken eingeht und hierbei auch die zukünftigen Kostenverläufe über den Abschreibungszeitraum eines Hochofens (18 Jahre) hinweg berücksichtigt werden. Zudem wird ein Technikwechsel annahmegemäß erst dann von dem betreffenden Unternehmen in Betracht gezogen, wenn der bestehende Hochofen sich dem Ende seiner „Ofenreise“ nähert. Mit der gegebenen Altersstruktur der bestehenden Hochofen und den unterstellten Energie-träger- und Zertifikatspreisen im EU-ETS nehmen im Szenario „**Abschmelz**“ alle Hochofen in den kommenden Jahren einen Wechsel hin zur emissionsarmen Wasserstoffdirektreduktion vor – eine ordnungsrechtliche oder zusätzlich finanziell angereizte Beschleunigung des Umstiegs ist nicht notwendig. Vor diesem Hintergrund werden die folgenden Politiksznarien für die Stahlindustrie erstellt und nachfolgend analysiert:

- Ausgehend von einem Zuteilungsniveau von 83 Prozent wird in allen Politiksznarien der Anteil der frei zugeteilten Emissionszertifikate bis 2035 auf null reduziert (Szenario „**Abschmelz**“).
- Im Szenario „**Abschmelz & Subvention**“ erhalten die Unternehmen, welche ihr Produktionsverfahren umstellen, einen einmaligen Investitionskostenzuschuss in voller Höhe sowie einen vollständigen Ausgleich der Betriebskostendifferenz zwischen dem emissionsarmen und dem konventionellen Produktionsverfahren im Inland.
- Im Szenario „**Abschmelz & CBAM**“ wird parallel zum Abschmelzen des freien Zertifikatsanteils ein emissionsbasierter Grenzausgleich ab 2025 eingeführt. Die Abgabe auf Importe entspricht der Differenz der spezifischen Emissionskosten zwischen In- und Ausland (siehe Kapitel 5.1).
- Im Szenario „**Abschmelz & Subvention & CBAM**“ werden die Kostenzuschüsse und der emissionsbasierte Grenzausgleich gemeinsam eingesetzt.

Die Szenarienerstellung- und auswertung folgt dem gleichen Vorgehen wie im Fall der Grundstoffchemie.

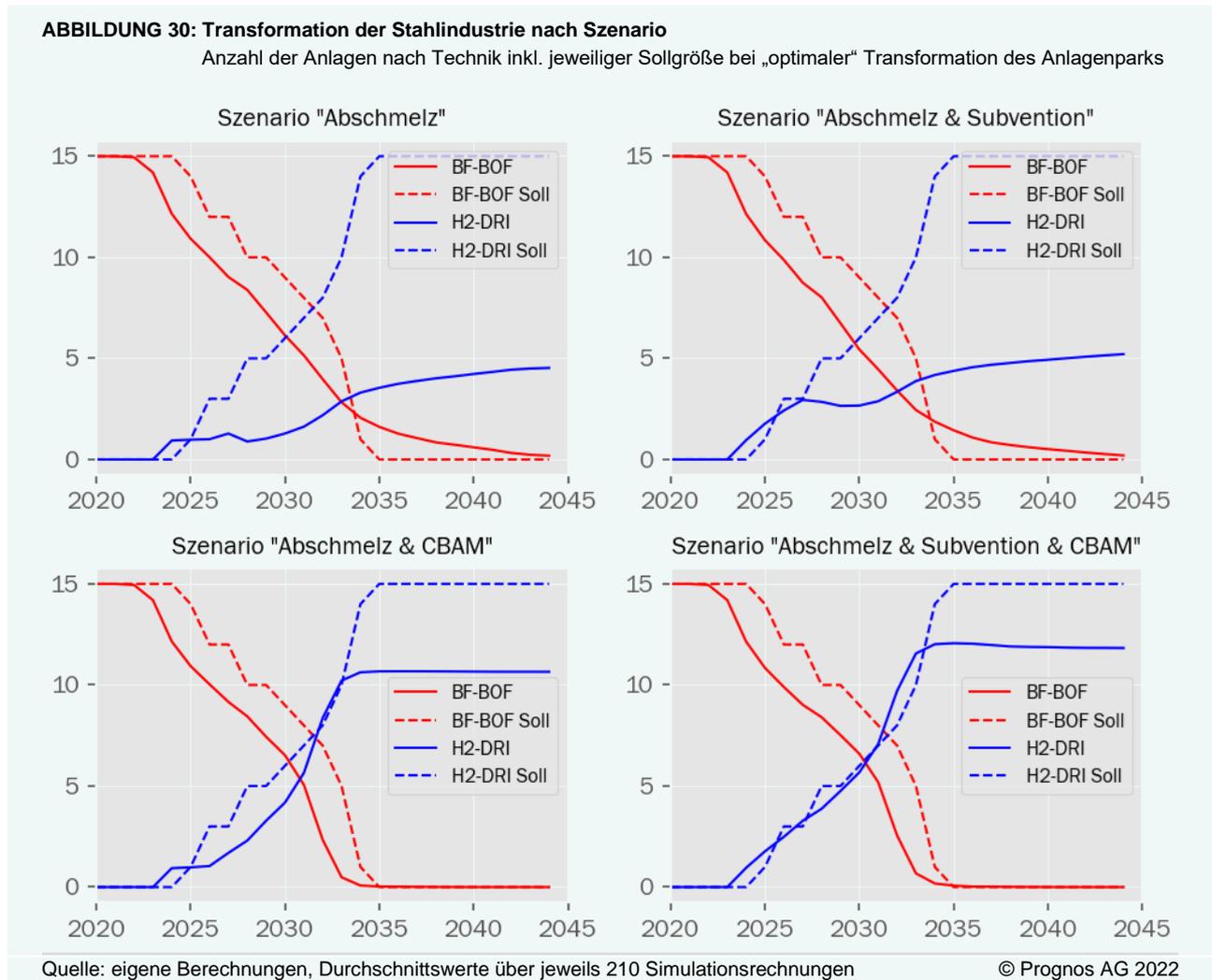
Auswirkungen auf die Stahlindustrie

Aufgrund der Bedeutung des Alters der Bestandsanlagen für einen Technikwechsel wird die Transformation der Stahlindustrie in **ABBILDUNG 30** differenzierter dargestellt als im Fall der Grundstoffchemie und Zementindustrie. Zu Beginn eines Szenarios weist die Stahlindustrie 15 konventionelle Hochofen (BF-BOF) auf. Wenn die Transformation sich ausschließlich an der Altersverteilung der Bestandsanlagen orientiert (ein Technikwechsel erfolgt nach 18 Jahren) und keine Insolvenzen auftreten, resultieren die mit „Soll“ gekennzeichneten Verläufe für die beiden Technikpfade.

Der Kostennachteil der Unternehmen der inländischen Stahlindustrie gegenüber der außereuropäischen Konkurrenz ist größer und langwieriger als im Fall der Grundstoffchemie und der Zementindustrie (vgl. **ABBILDUNG 13**). Zudem stellt der Umstieg auf die wasserstoffbasierte Direktreduktion (H₂-DRI) einen erheblichen Investitionsaufwand dar. Ohne unterstützende Maßnahmen im Szenario „Abschmelz“ gelingt die Transformation weitgehend nicht, viele der umgestellten Anlagen werden nach kurzer Zeit insolvent. Gegen Ende des Betrachtungszeitraums verbleibt noch knapp ein Drittel des Ausgangsbestands.

Eine Subventionierung der Wasserstoffdirektreduktion beschleunigt den Umstieg wie ausgeführt nicht und kommt den Unternehmen erst nach ihrem Technikwechsel zugute (Szenario „**Abschmelz & Subvention**“). In der zweiten Hälfte der 2020er Jahre ist die Transformation in diesem Fall geringfügig erfolgreicher,

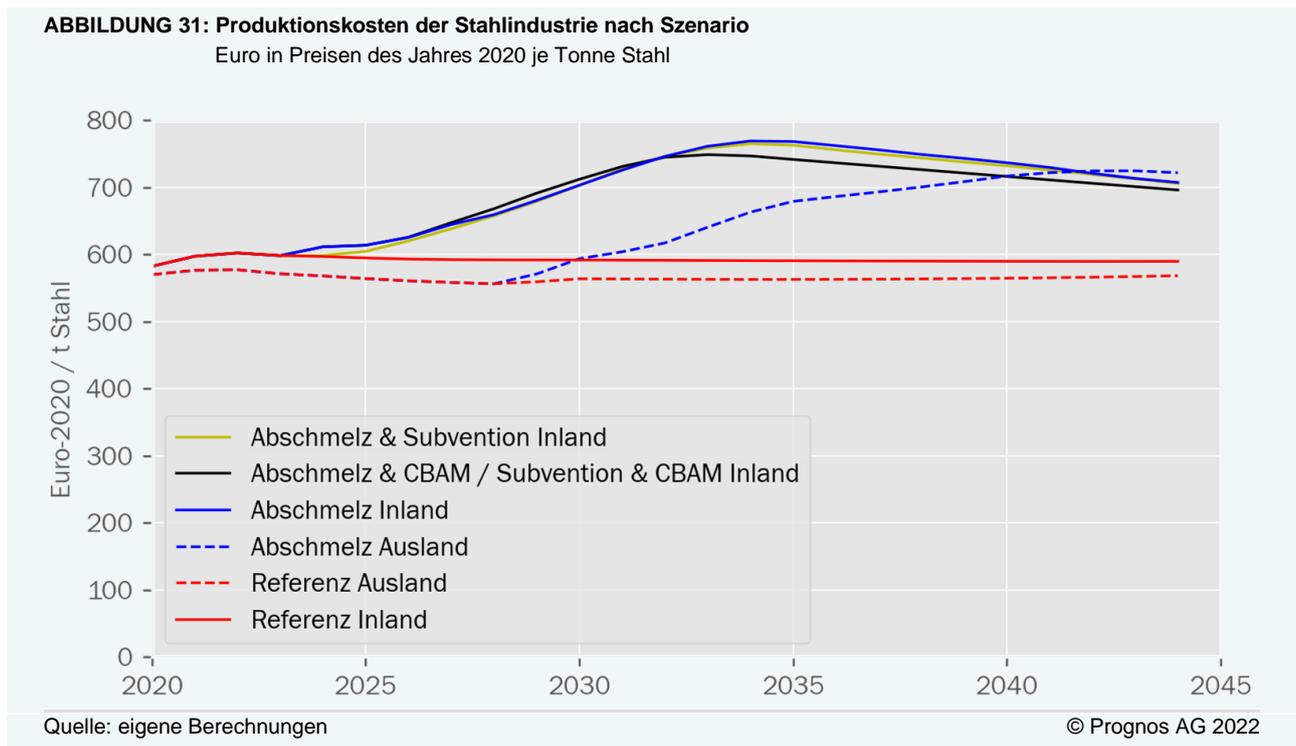
langfristig führt die Subventionierung kaum zu besseren Ergebnissen gegenüber dem vorherigen Szenario ohne Unterstützungsmaßnahmen.



Eine frühzeitige Gleichstellung hinsichtlich der Emissionskosten auf dem Inlandsmarkt schützt die Bestandsanlagen bis zum Zeitpunkt ihrer Transformation. Gut zwei Drittel des Ausgangsbestands der Anlagen kann in diesem Szenario erfolgreich transformiert werden (Szenario „**Abschmelz & CBAM**“). Wird zusätzlich den transformierten Unternehmen ein Ausgleich der Differenzkosten zur konventionellen Technik im Inland gewährt (Szenario „**Abschmelz & Subvention & CBAM**“), verbleibt eine ähnliche Zahl an Anlagen wie im Referenzszenario (ca. 12 Anlagen)⁹.

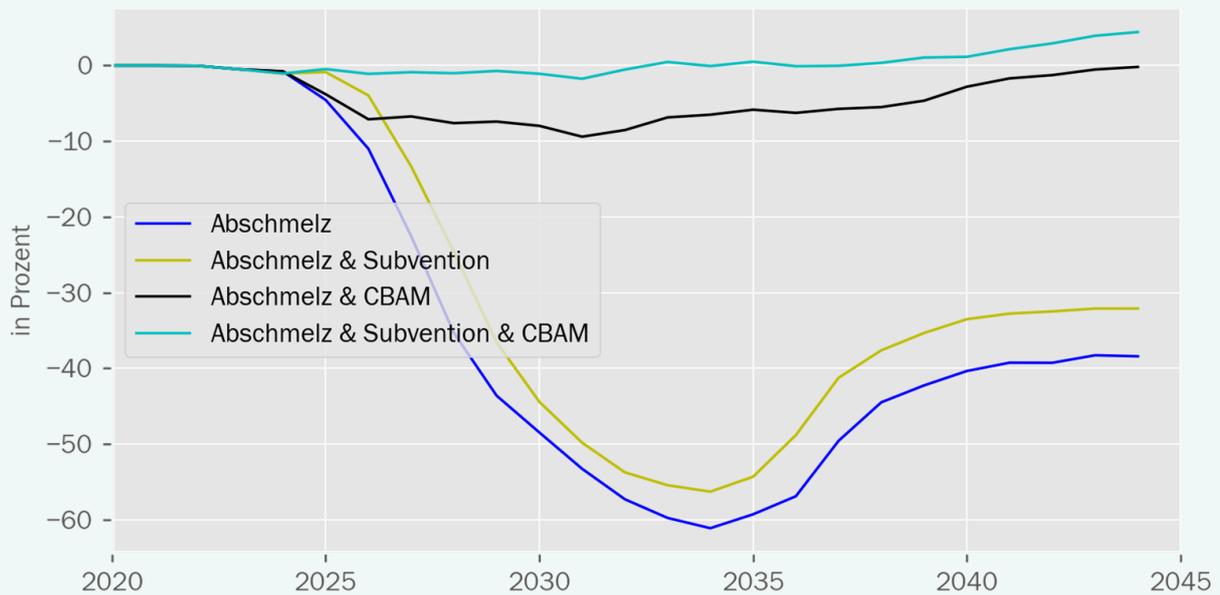
Die in **ABBILDUNG 31** abgebildeten Produktionskosten geben die jeweiligen Durchschnittswerte für den Anlagenpark wieder, welcher vor allem bis 2035 dann bereits transformierte und noch konventionell betriebene Anlagen umfasst. Ab 2033 sind die Produktionskosten der Wasserstoffdirektreduktion günstiger als die der konventionellen Technik, so dass für transformierte Anlagen ab diesem Zeitpunkt keine Zuschüsse zu den Betriebskosten mehr gewährt werden. Die Kostendifferenz zum Ausland wird im weiteren Simulationsverlauf wieder geringer.

⁹ Angesichts der Überkapazitäten auf dem weltweiten Stahlmarkt am aktuellen Rand und der längerfristigen Stagnation der Stahlproduktion in Deutschland schrumpft bereits im Referenzszenario die Zahl der in Deutschland betriebenen Anlagen.



Ohne frühzeitig unterstützende Maßnahmen erfahren die inländischen Stahlunternehmen deutliche Marktanteilsverluste im In- und Ausland. Gegenüber dem Referenzszenario belaufen sich die Produktionseinbußen auf bis zu 60 Prozent (Szenario „**Abschmelz**“ sowie Szenario „**Abschmelz & Subvention**“) (vgl. **ABBILDUNG 32**). Ab Mitte der 2030er können die Marktanteilsverluste wieder ein Stück weit wettgemacht werden. Die Einführung eines emissionsbasierten Grenzausgleichs ab 2025 schützt den Inlandsmarkt, während auf dem Auslandsmarkt aufgrund des Kosten- bzw. Preisnachteils Marktanteile verloren gehen. Der Umsatzanteil der Exporte in das außereuropäische Ausland beträgt im Referenzszenario ca. 10 Prozent, die Produktionsverluste weisen im Szenario „**Abschmelz & CBAM**“ maximal diese Größenordnung auf. Werden zusätzlich Investitionskostenzuschüsse und eine vollständige Erstattung der Produktionskostendifferenz (bis 2032) gewährt, entspricht das Produktionsvolumen weitgehend dem Referenzniveau (Szenario „**Abschmelz & Subvention & CBAM**“).

ABBILDUNG 32: Abweichung der Produktion der Stahlindustrie nach Szenario
Gegenüber dem Referenzszenario



Quelle: eigene Berechnungen

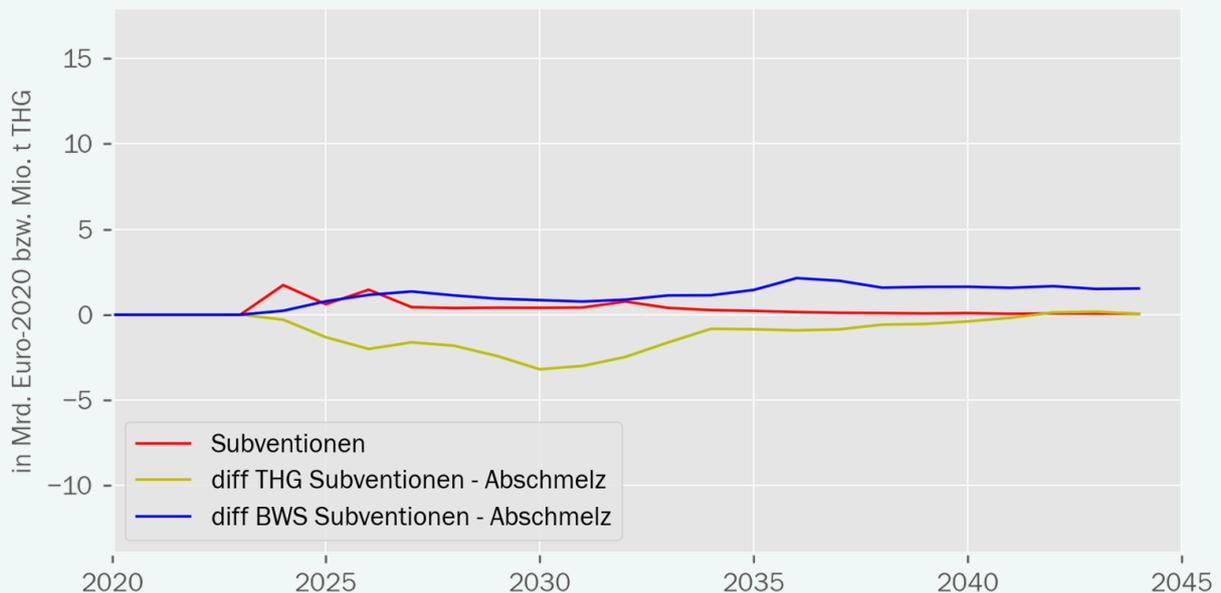
© Prognos AG 2022

Bewertung der Instrumente

Im Szenario „**Abschmelz & Subvention**“ werden Investitions- und Betriebskostenzuschüsse für Anlagen, welche umstellen bzw. umgestellt haben, bis 2032 gewährt. Anschließend ist die Wasserstoffdirektreduktion kostengünstiger als das konventionelle Verfahren (im Inland). Insgesamt werden kumuliert 8,3 Mrd. Euro hierfür aufgewendet. Gegenüber dem Szenario „**Abschmelz**“ ohne Unterstützungsmaßnahmen erfahren die Unternehmen hierdurch Wertschöpfungsgewinne (kumuliert 27,1 Mrd. Euro). Der Technikwechsel wird in geringem Maße vorgezogen, wodurch kumuliert 24,6 Mio. t THG-Emissionen eingespart werden können. Dies entspricht in etwa der Menge an THG-Emissionen, welche in der (Primär)Stahlproduktion in drei Quartalen anfällt (vgl. **ABBILDUNG 33**).

ABBILDUNG 33: Aufwand und Ertrag des Instruments „Subvention“ (Stahlindustrie)

Abweichung der Wertschöpfung (Mrd. Euro) und der THG-Emissionen (Mio. t) des Szenarios „Abschmelz & Subvention“ gegenüber dem Szenario „Abschmelz“



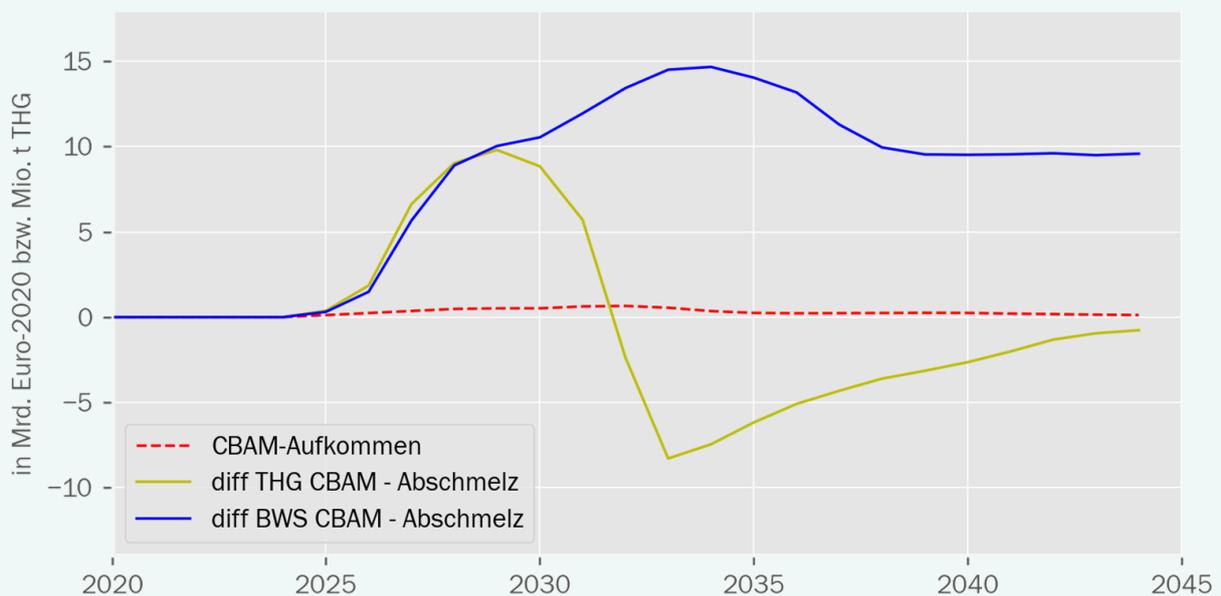
Quelle: eigene Berechnung

© Prognos AG 2022

Wie in den vorherigen Ausführungen bereits angesprochen ist der frühzeitige Schutz der Stahlunternehmen auf dem Inlandsmarkt durch einen CO₂-Grenzausgleich wesentlich bedeutsamer für eine erfolgreiche Transformation der Stahlindustrie. Deutlich weniger noch nicht transformierte Anlagen werden dank dieser Maßnahme insolvent, so dass deren Produktion und damit auch ihre Emissionen höher ausfallen als im Szenario „Abschmelz“ (vgl. **ABBILDUNG 34**). Über den kompletten Betrachtungszeitraum hinweg können jedoch mehr Anlagen früher einen Technikwechsel durchführen, so dass kumuliert 5,9 Mio. t THG-Emissionen aufgrund des Grenzausgleichs eingespart werden können. Der Effekt auf die Wertschöpfung der Stahlunternehmen ist mit (kumuliert) 192,2 Mrd. Euro mehr als siebenmal so effektiv wie die Subventionierung der umgestellten Anlagen – bei einem kumulierten CBAM-Aufkommen von lediglich 6,5 Mrd. Euro.

ABBILDUNG 34: Aufwand und Ertrag des Instruments „CBAM“ (Stahlindustrie)

Abweichung der Wertschöpfung (Mrd. Euro) und der THG-Emissionen (Mio. t) des Szenarios „Abschmelz & CBAM“ gegenüber dem Szenario „Abschmelz“



Quelle: eigene Berechnung

© Prognos AG 2022

Die Effekte der Kombination der beiden Instrumente Subvention und CBAM werden durch den CBAM dominiert (vgl. **ABBILDUNG 35**). Die kumulierte Abweichung der Wertschöpfung entspricht in etwa der Summe der beiden Einzeleffekte auf die Wertschöpfung.

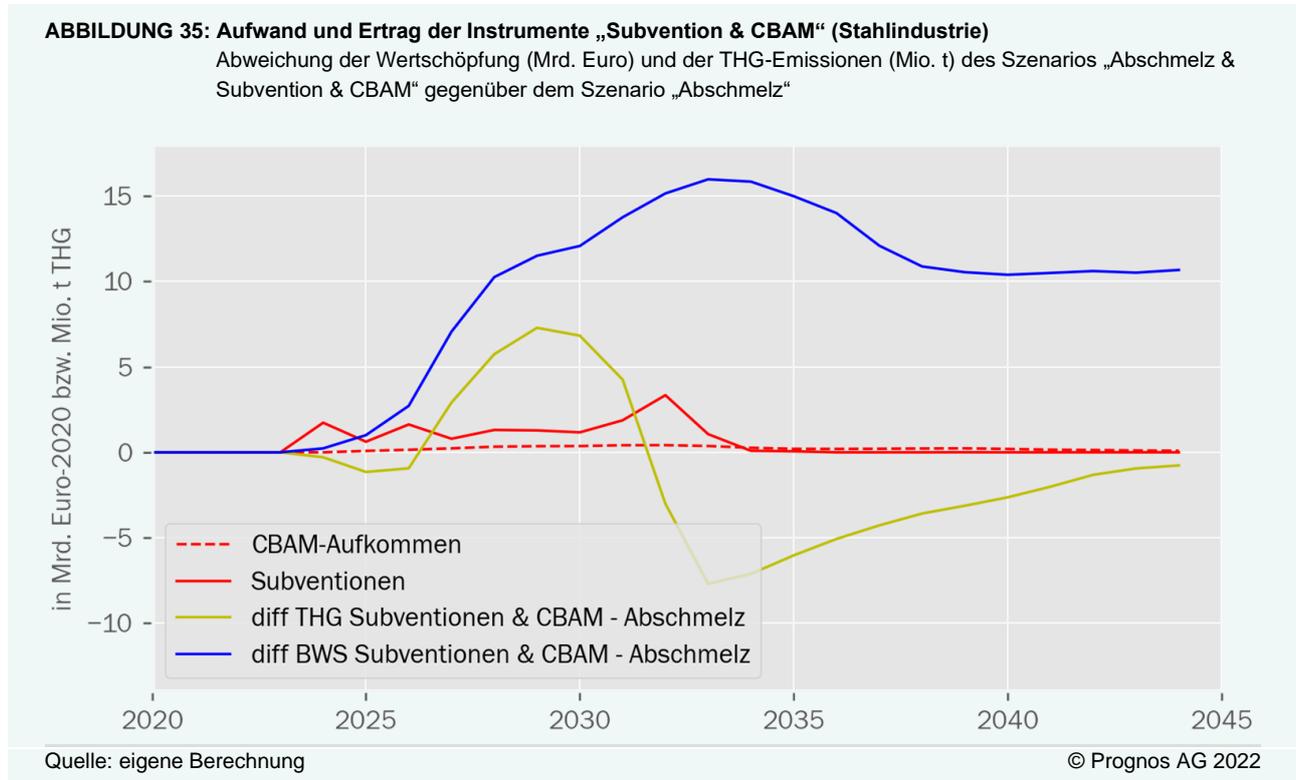


TABELLE 7 gibt die kumulierten Aufwendungen und Erträge der beiden hier diskutierten Instrumente (Subventionierung und Grenzausgleich) wieder. In der kombinierten Variante fallen die Subventionen höher aus, da mehr transformierte Anlagen im Markt verbleiben. Der Anteil der Stahlunternehmen am Inlandsmarkt ist ebenfalls größer, so dass das Importvolumen und damit auch das CBAM-Aufkommen geringer ist als bei der isolierten Anwendung des Instruments.

TABELLE 7: Aufwand und Ertrag der klimapolitischen Instrumente: Stahlindustrie

	Subvention (Mrd. Euro)	CBAM (Mrd. Euro)	Wertschöpfung (Mrd. Euro)	THG-Emissionen (Mio. t)
Subvention	8,3	-	27,1	-24,6
CBAM	-	6,5	197,2	-5,9
Subvention & CBAM	14,7	4,7	220,8	-22,9

Quelle: eigene Berechnungen, kumulierte Abweichung gegenüber dem Szenario „Abschmelz“ © Prognos AG 2022

i

Zentrale Ergebnisse für die Stahlindustrie

- Unter den in dieser Studie getroffenen Rahmenbedingungen ist ein Technikwechsel hin zur emissionsarmen Wasserstoffdirektreduktion betriebswirtschaftlich ab Mitte der 2020er Jahre vorteilhaft.
- Der effektive Technikwechsel richtet sich stark nach dem Alter der Bestandsanlagen (Hochöfen), von denen unter idealen Bedingungen 2025 die erste transformiert wird und die letzte 2035.
- Die zunehmende Emissionskostendifferenz gegenüber dem Ausland führt ohne einen Schutz durch CBAM zu einem Ausscheiden der Bestandsanlagen aus dem Markt in großer Zahl, bevor diese transformieren können.
- Investitions- und Betriebskostenzuschüsse führen nur zu einem geringfügig günstigeren Transformationspfad.
- Wesentlich effektiver ist die frühzeitige Einführung eines emissionsbasierten Grenzausgleichs ab 2025, welcher sowohl die Bestands- als auch die transformierten Anlagen auf dem Inlandsmarkt schützt. Die Produktionsverluste betragen in diesem Szenario maximal zehn Prozent.
- Bei einer zusätzlichen Gewährung von Investitions- und Betriebskostenzuschüssen kann das Produktionsniveau des Referenzszenarios erreicht werden, die Transformation der Stahlindustrie ist erfolgreich.

9. Fazit

Die Szenarien machen deutlich, dass für die drei hier betrachteten Grundstoffindustrien ein jeweils spezifischer Zuschnitt der klimapolitischen Instrumente vorteilhaft ist: „One size fits all“ – eine solche Politik wäre nicht klug. Würde man alle untersuchten Industrien gleich behandeln, wäre das entweder klimapolitisch nicht hinreichend wirksam oder ökonomisch und fiskalisch nicht effizient. Die Differenz der Produktionskosten zwischen der konventionellen und der alternativen Produktionstechnik im Zeitverlauf sowie die Bedeutung des Außenhandels sind die entscheidenden Determinanten für die Notwendigkeit einer industriespezifischen politischen Unterstützung des Transformationsprozesses hin zur Klimaneutralität.

In der Grundstoffchemie wird bei einem Abschmelzen der freien Zertifikate erst relativ spät, nämlich 2042 die Kostenparität zwischen dem konventionellen und dem emissionsarmen Produktionsverfahren erreicht. Das wäre unter klimapolitischen Aspekten für eine Transformation zu spät. Eine frühzeitigere Umstellung der Grundstoffchemie kann entweder ordnungspolitisch erzwungen (z.B. durch ein Verbot des konventionellen Verfahrens) werden. Das führt aber zu deutlichen Kostennachteilen gegenüber der außereuropäischen Konkurrenz und damit zu Umsatz- und Produktionseinbußen von bis zu fünfzig Prozent. Alternativ kann die Transformation durch entsprechende Unterstützungsleistungen, welche die Produktionskostendifferenz ausgleichen, finanziell angereizt werden. Eine Kombination aus einer Subventionierung des emissionsarmen Produktionsverfahrens und des emissionsbasierten Grenzausgleichs stellt sich am vorteilhaftesten für die Unternehmen der Grundstoffchemie dar, da sie sowohl vor als auch nach ihrem Technikwechsel auf dem Inlandsmarkt eine Kostenparität gegenüber den außereuropäischen Unternehmen aufweisen. Lediglich auf Drittmärkten erleiden sie Kostennachteile. Die Umsatz- und Produktionseinbußen belaufen sich in diesem Szenario auf maximal 7 Prozent. An Subventionsleistungen sind vom Staat insgesamt gut 10 Mrd. Euro aufzuwenden, während sich das CBAM-Aufkommen auf 1,4 Mrd. Euro beläuft. Dem stehen Wertschöpfungsgewinne gegenüber dem rein ordnungspolitischen Szenario in Höhe von fast 100 Mrd. Euro gegenüber – die Effizienz der beiden Instrumente ist vergleichsweise hoch und ihr Einsatz ist somit auch politisch vorteilhaft.

Deutlich anders stellt sich die Situation in der Zementindustrie dar. Die Branche weist zum einen eine sehr geringe Außenhandelsorientierung auf, zum anderen wird bei einem Abschmelzen der freien Zertifikate bereits 2029 die Kostenparität zwischen dem konventionellen und dem alternativen Produktionsverfahren erreicht. Nur fünf Jahre später wird auch im außereuropäischen Ausland die emissionsarme Produktionstechnik günstiger als die konventionelle. Der politische Handlungsbedarf für die Unterstützung des Transformationsprozesses ist entsprechend gering. Der Aufbau von Carbon-Capture-and-Storage-Kapazitäten ist sehr kapitalintensiv. Ein Investitionskostenzuschuss im Umfang von drei Mrd. Euro beschleunigt den Aufbau der CCS-Kapazitäten um vier bis fünf Jahre und vermeidet somit im Zeitverlauf THG-Emissionen. Ein flankierender emissionsbasierter Grenzausgleich für Zementprodukte, für welchen 0,4 Mrd. Euro aufgewendet werden müssten, erscheint auf Basis der hier angestellten Szenariorechnungen nicht notwendig. Den beiden genannten Aufkommen stehen Zugewinne auf Seiten der Wertschöpfung in Höhe von „lediglich“ 3,5 Mrd. Euro gegenüber (gegenüber dem Szenario ohne Politikinstrumente).

In der Primärstahlproduktion ist ein Technikwechseln ab Mitte der 2020er Jahre betriebswirtschaftlich vorteilhaft. Für den tatsächlichen Wechsel der Produktionstechnik ist jedoch das Alter der Bestandsanlage relevant, so dass sich die Umstellung über mehrere Jahre bis 2035 streckt. Diese Besonderheit im Transformationspfad der Stahlindustrie hat zur Folge, dass Bestandsanlagen bereits vor der Umstellung aufgrund des Abschmelzens der kostenlosen Zertifikate unter Druck geraten. Ohne Schutz würden viele konventionelle Anlagen vom Markt genommen werden. Die Transformation der Stahlindustrie wäre damit gescheitert. Bei einem Schutz auf dem Inlandsmarkt durch einen emissionsbasierten Grenzausgleich hingegen betragen die Umsatz- und Produktionsverluste maximal zehn Prozent. Bei einer zusätzlichen Gewährung von Investitions- und Betriebskostenzuschüssen kann das Produktionsniveau des Referenzszenarios gehalten werden. Knapp 15 Mrd. Euro sind in diesem Fall an Unterstützungsleistungen durch den Staat aufzuwenden, während sich das CBAM-Aufkommen auf knapp fünf Mrd. Euro beläuft. Durch den Einsatz der beiden Instrumente kann in der Stahlindustrie Wertschöpfung im Umfang von gut 220 Mrd. Euro gegenüber einem Szenario ohne

unterstützende Maßnahmen bewahrt werden. Unter Effizienz Gesichtspunkten ist der Einsatz beider Instrumente vorteilhaft.

In der Untersuchung ist deutlich geworden, dass die unterschiedlichen Charakteristika der betrachteten Industrien jeweils spezifisch abgestimmte Instrumente erfordern. Die öffentliche Unterstützung, die für die Transformation notwendig oder zumindest vorteilhaft ist, ist in allen Fällen zeitlich begrenzt. Die Studie zeigt Wege auf, diese Mittel wirksam und effizient einzusetzen, so dass die Transformation der heute emissionsintensiven Industrien hin zur Klimaneutralität unter Wahrung von Wertschöpfung und Beschäftigung in den Branchen gelingen kann.

Literaturverzeichnis

Agora Energiewende (2019): Klimaneutrale Industrie: Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement, Berlin.

Arbeitsgruppe Kohlendioxidwirtschaft (2021): CO₂ in einer klimaneutralen Grundstoffindustrie: Infrastrukturanforderungen für NRW. Ein Diskussionspapier der Arbeitsgruppe Kohlendioxidwirtschaft. Gelsenkirchen.

Balisteri et al. (2014): Optimal environmental border adjustment under the General Agreement on Tariffs and Trade. https://econpapers.repec.org/article/kapen-reec/v_3a74_3ay_3a2019_3ai_3a3_3ad_3a10.1007_5fs10640-019-00359-2.htm (online, angerufen am 14.11.2022)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMU) (2021): Eckpunkte Pilotprogramm für Klimaschutzverträge zur Umsetzung des Pilotprogramms «Carbon Contracts for Difference». <https://www.bmuv.de/download/eckpunkte-pilotprogramm-fuer-klimaschutzvertraege> (online, abgerufen am 14.11.2022)

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2021): Die Nationale Wasserstoffstrategie. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=20 (online, abgerufen am 14.11.2022)

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2022a): Fortschrittbericht zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Wasserstoff/Downloads/fortschrittsbericht-nws.html> (online, abgerufen am 15.11.2022)

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2022b): Richtlinien zur Förderung von klimaneutralen Produktionsverfahren in der Industrie durch Klimaschutzverträge (Entwurf, Stand: Stand 23.12.2022). https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/J-L/ksv-forderrichtlinie.pdf?__blob=publicationFile&v=16 (online, abgerufen am 10.01.2023)

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2022c): Klimaschutz-Sofortprogramm 2022 (Entwurf – Stand 04.04.2022). <https://www.klimareporter.de/images/dokumente/2022/05/220404-klimaschutz-sofortprogramm-2022-entwurf.pdf> (online, abgerufen am 15.11.2022)

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2022d): Interessenbekundungsverfahren zur geplanten Förderung von projektbezogenen Klimaschutzverträgen. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Klimaschutz/klimaschutzvertraege-bekanntmachung-des-interessenbekundungsverfahrens.pdf?__blob=publicationFile&v=10 (online, abgerufen am 15.11.2022)

Chiapinelli und Neuhoff (2020): Time inconsistent carbon-pricing: the role of carbon contracts for difference. DIW Discussion Paper Nr. 1859

Europäische Kommission (2021): Vorschlag für eine Verordnung des europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines CO₂-Grenzausgleichsystems. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0564> (online, abgerufen am 14.11.2021)

Europäisches Parlament (EP) (2022a): CBAM: Parliament pushes for higher ambition in new carbon leakage instrument. Pressemitteilung. <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20220603IPR32157/cbam-parliament-pushes-for-higher-ambition-in-new-carbon-leakage-instrument>. (online, abgerufen am 16.11.2022)

Europäisches Parlament (EP) (2022b): EU-Einigung über CO₂-Grenzausgleichsmechanismus CBAM. Pressemitteilung. <https://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/20221212IPR64509/eu-einigung-uber-co2-grenzausgleichsmechanismus-cbam>. (online abgerufen am 10.01.2023)

Europäisches Parlament (EP) (2022c): Klimaschutz: Einigung über ehrgeizigeren EU-Emissionshandel (ETS). Pressemitteilung. <https://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/20221212IPR64527/klimaschutz-einigung-uber-ehrgeizigeren-eu-emissionshandel-ets>. (online, abgerufen am 10.01.2023)

Europäisches Parlament (EP) (2022d): EU climate action: provisional agreement reached on Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM). Pressemitteilung. <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/12/13/eu-climate-action-provisional-agreement-reached-on-carbon-border-adjustment-mechanism-cbam/?s=08>. (online, abgerufen am 10.01.2023)

Europäischer Rat (2022): Draft agendas for Council meetings, during the second semester of 2022 (the Czech Presidency). <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-10855-2022-INIT/en/pdf> (online, abgerufen am 16.11.2022)

Markkanen, S./ Viñuales, J., Pollitt, H./ Lee-Makiyama, H./ Kiss-Dobronyi, B./ Vaishnav, A. et al. (2021): On the Borderline: the EU CBAM and its place in the world of trade. Cambridge, UK: Cambridge Institute for Sustainability Leadership, University of Cambridge.

Mehling, M./ Van Asselt, H./ Das, K., Droege/ S./ Verkuil, C. (2019). Designing Border Carbon Adjustments for Enhanced Climate Action. *American Journal of International Law*, 113(3), 433-481.

Neuhoff, K./ Chiappinelli, O./ Gerres, T., Haussner, M., Ismer, R., May, N., Pirlot, A., and J. Richstein (2019): „Building blocks for a climate neutral European industrial sector: Policies to create markets for climate-friendly materials to boost EU global competitiveness and jobs“. <https://climatestrategies.org/wp-content/uploads/2019/10/Building-Blocks-for-a-Climate-Neutral-European-Industrial-Sector.pdf> (online, abgerufen am 16.11.2022)

Nysten, Jana (2021): Eine EU CO₂-Bepreisung für internationale Importe: Europa- und völkerrechtliche Einordnung eines CO₂-Grenzausgleichsmechanismus (Carbon Border Adjustment Mechanism CBAM) vor dem Hintergrund der weltweiten Klimaschutzbemühungen. *Würzburger Berichte zum Umweltenergierecht* Nr. 52

Pauwelyn und Kleinmann (2012): Carbon Leakage Measures and Border Tax Adjustments under WTO Law. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2026879 (online, abgerufen am 14.11.2022)

Pauwelyn und Kleinmann (2020): Trade Related Aspects of a Carbon Border Adjustment Mechanism. A legal Assessment. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/603502/EXPO_BRI\(2020\)603502_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/603502/EXPO_BRI(2020)603502_EN.pdf) (online, abgerufen am 14.11.2022)

Rat der Europäischen Kommission (2022): Rat erzielt Einvernehmen über das CO₂-Grenzausgleichsmechanismus. <https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2022/03/15/carbon-border-adjustment-mechanism-cbam-council-agrees-its-negotiating-mandate/> (online, abgerufen am 14.11.2022)

Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ) (2020): Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien, Düsseldorf.

von Stechow, C./ Watson J./ Praetorius B. (2011): Policy incentives for carbon capture and storage technologies in Europe: A qualitative multicriteria analysis. In: *Global Environ Change*, Jg. 21, Nr. 2, S.346–357

Adresse | Kontakt

Bertelsmann Stiftung
Carl-Bertelsmann-Straße 256
33311 Gütersloh
Telefon +49 5241 81-0

Andreas Esche
Director
Telefon +49 5241 81-81333
andreas.esche@bertelsmann-stiftung.de

<https://www.bertelsmann-stiftung.de/de/unsere-projekte/nachhaltig-wirtschaften/economics-of-transformation>

www.bertelsmann-stiftung.de