
Klimaschutzverträge für die Industrie- transformation

Kurzfristige Schritte auf dem Pfad zur Klima-
neutralität der deutschen Grundstoffindustrie

STUDIE

Agora
Industry



Klimaschutzverträge für die Industrie- transformation

IMPRESSUM

STUDIE

Klimaschutzverträge für die Industrie-
transformation: Kurzfristige Schritte auf dem
Pfad zur Klimaneutralität der deutschen
Grundstoffindustrie

ERSTELLT VON

Agora Industrie
Anna-Louisa-Karsch-Straße 2 | 10178 Berlin
T +49 (0)30 700 14 35-000
F +49 (0)30 700 14 35-129
www.agora-industrie.de
info@agora-industrie.de

PROJEKTPARTNER

Ecologic Institut, gGmbH
www.ecologic.eu
berlin@ecologic.eu

FutureCamp Climate GmbH
www.future-camp.de
munich@future-camp.de

Wuppertal Institut gGmbH
wupperinst.org
info@wupperinst.org

Satz: grafikbuero.berlin | Melanie Wiener
Korrektorat: Infotext GbR
Titelbild: enviromantic | iStock

249/02-S-2022/DE

Version: 1.0, Januar 2022

Gedruckt auf 100% Recycling Naturpapier
FSC® Circleoffset Premium White

PROJEKTLEITUNG

Philipp D. Hauser
Philipp.Hauser@agora-energiewende.de

AUTORINNEN UND AUTOREN

Philipp D. Hauser, Paul J. Münnich,
Helen Burmeister (alle Agora Industrie);
Andreas Kohn (FutureCamp);
Benjamin Görlach (Ecologic Institut)



Unter diesem Scan-Code steht
diese Publikation als PDF zum
Download zur Verfügung.

Bitte zitieren als:

*Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut
und Ecologic Institut (2021): Klimaschutzverträge
für die Industrietransformation: Kurzfristige Schritte
auf dem Pfad zur Klimaneutralität der deutschen
Grundstoffindustrie*

www.agora-industrie.de

DANKSAGUNG

Im Rahmen des Projekts wurden im Dezember 2020 und März 2021 Workshops mit Beteiligten aus Wirtschaft, Wissenschaft, Ministerien und nachgeordneten Behörden durchgeführt, um grundlegende Konzepte und Annahmen für den Transformationspfad in der Stahl-, Zement-, und Chemieindustrie zu erarbeiten. Darüber hinaus wurden die grundlegenden Anforderungen an Klimaschutzverträge zur Absicherung der nötigen Investitionen und Ausgestaltungsoptionen erörtert.

Auf Basis der Ergebnisse und Schlussfolgerungen wurde diese Studie zur übergreifenden Ausgestaltung von Klimaschutzverträgen als kurzfristiger Absicherungsmechanismus für die Transformation der deutschen Grundstoffindustrie erstellt.

Mit dieser Publikation präsentieren wir die Resultate unserer Arbeit und danken nochmals herzlich allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern für ihre Unterstützung, ihre fachliche Expertise und die konstruktiven Diskussionen.

Die Schlussfolgerungen und Ergebnisse dieser Veröffentlichung spiegeln dabei nicht notwendigerweise die Meinungen der einzelnen Teilnehmerinnen und Teilnehmer wieder.

Die Verantwortung für die Ergebnisse liegt ausschließlich bei Agora Industrie und ihren Partnern FutureCamp, Ecologic Institut und dem Wuppertal Institut.

Für die tatkräftige Unterstützung bei der Erstellung dieser Publikation bedanken wir uns bei unseren Kolleginnen und Kollegen, insbesondere bei Frank Peter, Ada Rühring, Urs Karcher, Nina Zetsche, Jahel Mielke, Fiona Seiler, Oliver Sartor, Utz Tillmann, Wido Witecka, Aylin Shawkat (alle Agora Energiewende); Roland Geres, Dominik Glock, Lea Klausmann, Thomas Mühlpointner (alle FutureCamp); Georg Holtz, Alexander Scholz, Alexander Jülich, Anna Leipprand, Stefan Lechtenböhrer (alle Wuppertal Institut) und Jan-Erik Thie und Karl Lehmann (alle Ecologic Institut).

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

die Novelle des deutschen Klimaschutzgesetzes definiert das Ziel der Klimaneutralität bis 2045 und einer Emissionsminderung um 65 Prozent bis 2030. Um die Transformation zu einer klimaneutralen und wettbewerbsfähigen Volkswirtschaft in nur 24 Jahren zu vollziehen, muss das Gesetz nun schnell und mithilfe geeigneter Maßnahmen umgesetzt werden. Der Aufbau der für die Klimaneutralität erforderlichen Infrastrukturen und Regularien muss noch vor 2030 eingeleitet werden.

Von besonderer strategischer Relevanz für das Ziel der Klimaneutralität ist die Transformation der Grundstoffindustrie. Die Produktion von Stahl, Basischemikalien und Zement sichert über 280.000 Arbeitsplätze, ist aber auch für 60 Prozent der industriellen Treibhausgasemissionen verantwortlich. Aufgrund ihrer langen Investitionszyklen müssen konventionelle Produktionsanlagen jetzt konsequent durch klimafreundliche Prozesse ersetzt

werden. So können Produktionskapazitäten konsequent auf Klimaneutralität ausgerichtet und Arbeitsplätze langfristig gesichert werden. Zudem kann durch eine CO₂-arme Produktion die steigende Nachfrage nach klimafreundlichen Produkten bedient und so die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands erhalten werden.

Der Umstieg auf eine klimafreundliche Produktion ist für Unternehmen jedoch mit hohen Kosten und Risiken verbunden und muss deshalb mit geeigneten Politikinstrumenten abgesichert werden. Um die Definition dieser Instrumente zu unterstützen, haben wir die Rolle von Klimaschutzverträgen für die Transformation der Produktion von Stahl, Zement und Ammoniak analysiert. In der vorliegenden Studie präsentieren wir die Ergebnisse unserer Arbeit.

Ich wünsche eine angenehme Lektüre!

Ihr Frank Peter
Direktor, Agora Industrie

Ergebnisse auf einen Blick:

1

Die Transformation der Grundstoffindustrie ist dringend erforderlich, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu sichern und den Pfad zur Klimaneutralität bis 2045 zu öffnen. Klimaschutzverträge nach dem Vorbild der *Carbon Contracts for Difference* (CCfD) erlauben einen raschen Einstieg in die notwendigen Investitionen und sichern die Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion ab.

2

Klimaneutrale Produktionsanlagen sind der Anker für den Aufbau der Infrastruktur für Wasserstoff und Carbon Capture, Utilisation and Storage (CCUS). Klimaschutzverträge dienen somit auch als Absicherungsinstrument für die anfängliche Auslastung von strategisch wichtigen Infrastrukturen, ohne die Klimaneutralität nicht erreicht werden kann.

3

Klimaschutzverträge beschleunigen die Transformation und können die Emissionen der Grundstoffindustrie noch in dieser Dekade nachhaltig um über zwanzig Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr senken. Mit staatlichen Sicherheiten und einer geeigneten Reform der deutschen und europäischen Klimapolitik kann der Bedarf an staatlichen Zuschüssen für die Transformation auf unter 10 Milliarden Euro sinken. Zur Finanzierung kommen eine Kombination aus existierenden Förderinstrumenten mit Garantien durch den Bundeshaushalt oder den Energie- und Klimafonds in Frage.

4

Klimaschutzverträge müssen durch andere Politikinstrumente ergänzt werden, um den Übergang in ein marktbasierendes System sicherzustellen. Über die Reform des EU-Emissionshandels, der Instrumente zum *Carbon-Leakage*-Schutz sowie den Aufbau von grünen Leitmärkten können Klimaschutzverträge abgelöst und klimafreundliche Produkte als Standard am Markt etabliert werden.

Inhalt

1	Zusammenfassung für Entscheidungsträger:innen	9
2	Deutschlands Pfad zur Klimaneutralität	21
3	Die Transformation der Grundstoffindustrie	25
3.1	Die Transformation der Stahlbranche	29
3.2	Die Transformation der Chemischen Industrie am Beispiel der Ammoniakproduktion	33
3.3	Die Transformation der Zementproduktion	39
3.4	Überblick über die Transformation der Grundstoffindustrie	44
4	Klimaschutzverträge als Instrument der Klimapolitik	47
4.1	Das Konzept der Klimaschutzverträge: Ursprünge und heutige Debatte	48
4.2	Ausgestaltung von Klimaschutzverträgen: Anforderungen und Ziele	51
5	Klimaschutzverträge im Regulierungsrahmen	53
5.1	Reform des EU-Emissionshandels und der Instrumente zum Schutz vor <i>Carbon Leakage</i>	53
5.1.1	Klimaschutzverträge und Szenarien für den <i>Carbon-Leakage</i> -Schutz	55
5.2	Klimaschutzverträge und grüne Märkte	64
5.3	Klimaschutzverträge und die <i>Renewable Energy Directive</i>	64
5.3.1	Kriterien zur Definition von erneuerbarem Wasserstoff	65
5.3.2	Kriterien zur Verwendung von Biomasse	66
5.4	Klimaschutzverträge und das EU-Beihilferecht	66
6	Ausgestaltungsaspekte für Klimaschutzverträge	69
6.1	Förderungsziel, Vertragsdauer und Abstimmung mit anderen Förderinstrumenten	70
6.1.1	Investitions- und Betriebskostenförderung durch Klimaschutzverträge	71
6.1.2	Klimaschutzverträge als Anker für den Aufbau von Infrastruktur	72
6.1.3	Kriterien zur Nachhaltigkeit beim Einkauf von Betriebsmitteln	74
6.2	Klimaschutzverträge als Absicherungsinstrument für grüne Leitmärkte	75
6.3	Ausschreibung und Vergabe von Verträgen	78
6.3.1	Ausschreibungs- und Auswahlprozess	78
6.3.2	Kriterien zur Vergabe	78
6.3.3	Übergreifende Aspekte zur Vergabe von Verträgen	79

6.4	Definition des Vertragspreises, Dynamisierung und Abrechnung	79
6.4.1	Regulatorischer Rahmen	80
6.4.2	Schwankungen der Kosten von Betriebsmitteln	80
6.4.3	Anrechnung der frei vermarkteten Mengen an CO ₂ -armem Produkt	81
6.4.4	Abrechnung der Klimaschutzprämie	82
6.4.5	Veranschaulichung dynamischer Preisentwicklung am Beispiel der Stahl-, Chemie- und Zementindustrie	82

7	Finanzbedarf und Finanzierung von Klimaschutzverträgen	87
7.1	Finanzbedarf zur Absicherung der Transformation der Stahl-, Zement- und Ammoniakproduktion	87
7.1.1	Die Transformationskosten für eine klimafreundliche Primärstahlproduktion	87
7.1.2	Die Transformationskosten für eine klimafreundliche Ammoniakproduktion	89
7.1.3	Die Transformationskosten für den Aufbau einer CCUS-basierten Zementklinkerproduktion	91
7.1.4	Transformationskosten und Finanzbedarf für den Aufbau einer klimafreundlichen Produktion von Primärstahl, Ammoniak und Zement	92
7.2	Refinanzierungsquellen für Klimaschutzverträge	94
7.2.1	Die kurzfristige Refinanzierung im Rahmen der nationalen Gesetzgebung	95
7.2.2	Der Energie- und Klimafonds zur Refinanzierung von Klimaschutzverträgen	96
7.2.3	Klimaschutzverträge und der EU-Innovationsfonds	97
7.2.4	Langfristige Perspektiven zur Refinanzierung von Klimaschutzverträgen	98

8	Ausblick	101
----------	-----------------	------------

9	Annex: Glossar	103
----------	-----------------------	------------

1 Zusammenfassung für Entscheidungsträger:innen

Warum die Transformation der Industrie jetzt gelingen muss: Einordnung in den klimapolitischen Kontext

Um Klimaneutralität bis 2045 zu erreichen, muss Deutschland eine tiefgreifende Transformation in allen Sektoren vollziehen. Im Juni 2021 hat der Deutsche Bundestag ein überarbeitetes Klimaschutzgesetz beschlossen, in dem Klimaneutralität bis 2045 und eine Senkung der Emissionen von 65 Prozent bis 2030 festgeschrieben wurden. Die Erreichung dieser Ziele ist möglich. Dafür müssen jedoch schnell Maßnahmen umgesetzt werden – vom Ausbau der Erneuerbaren Energien bis hin zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft. Auch auf europäischer Ebene ist die Stoßrichtung klar: Bis 2050 soll Europa klimaneutral werden, bis 2030 sollen 55 Prozent der Treibhausgasemissionen gesenkt werden. Mit dem *Fit-for-55-Package* hat die EU-Kommission dafür im Juli 2021 ein ambitioniertes Maßnahmenpaket vorgelegt, welches eine Reform des EU-Emissionshandels und die Einführung eines Grenzausgleichsmechanismus (CBAM) vorsieht. Der Industriesektor steht als einer der größten CO₂-Emittenten vor der Aufgabe, seinen Beitrag zur Erreichung dieser Ziele zu leisten.

Die Industrietransformation ist kein Selbstläufer: Drei Branchen im Fokus

Der Industrie kommt bei der Transformation hin zur Klimaneutralität eine Schlüsselrolle zu – diese steht jedoch vor signifikanten Herausforderungen. Nach der Revision des Klimaschutzgesetzes müssen die Emissionen des Industriesektors im Zeitraum von 2020 bis 2030 von 186 auf 118 Millionen Tonnen CO₂ sinken, was einer Minderung von 68 Millionen Tonnen entspricht. Mit einem Anteil von 63 Prozent

(DEHSt 2021) an den industriellen Emissionen kommt insbesondere der Stahl-, Chemie- und Zementindustrie eine herausragende Rolle zu. In den letzten Jahren sind die Emissionen dieser Sektoren jedoch stagniert – auch, weil das Minderungspotenzial von Effizienzsteigerungen an seine Grenzen stößt.

Die langen Investitionszyklen und mangelnde Rahmenbedingungen für die Transformation stellen ein Risiko für die deutsche Wirtschaft dar. Industrielle Anlagen zeichnen sich durch Lebensdauern von bis zu 70 Jahren aus – und 30 bis 50 Prozent der Anlagen in der Stahl-, Chemie- und Zementindustrie müssen bis 2030 reinvestiert werden. Wird in den kommenden Jahren weiter in konventionelle Technologien reinvestiert, so entstehen *stranded assets*. Ein Umstieg auf klimafreundliche Prozesse lässt sich jedoch unter den gegebenen Markt- und Rahmenbedingungen aus betriebswirtschaftlicher Perspektive nicht rechtfertigen, auch wenn dadurch im Rahmen der zu erwartenden Reformen langfristige Wettbewerbsvorteile zu erwarten sind. Über Klimaschutzverträge kann das Investitionsdilemma aufgelöst werden. Durch eine vertragliche Absicherung der Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion übernimmt der Staat die Risiken einer erfolgreichen Umsetzung seiner Klimapolitik und positioniert die Industrie als einen Anker für den Aufbau einer klimaneutralen Wirtschaft.

In der Stahl- und Chemieindustrie spielt der Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff eine wichtige Rolle und stellt einen Anker für den Aufbau einer sektorübergreifenden Wasserstoffinfrastruktur dar. Die Stahlindustrie als der größte industrielle CO₂-Emittent steht vor der Aufgabe, die konventionelle Stahlproduktion über die Hochofenroute auf die klimafreundliche Direktreduktion mit Wasserstoff umzustellen. Auch die Produktion von Ammoniak soll

künftig nicht mehr über fossile Energieträger, sondern über erneuerbaren Wasserstoff erfolgen. Um die Transformation in diesen Branchen zu ermöglichen, ist ein schneller Aufbau der Infrastruktur für Produktion, Speicherung und Transport von erneuerbarem Wasserstoff notwendig, die dann auch für die Transformation anderer Sparten und des gesamten Energiesektors zur Verfügung steht.

In der Zementindustrie lassen sich mit Technologien und der Infrastruktur für das *Carbon Capture Utilization and Storage* (CCS) ansonsten unvermeidbare Prozessemissionen mindern und zu verhältnismäßig geringen Kosten CO₂-Senkeneffekte erzielen. Der Aufbau einer Infrastruktur für den Transport und die Speicherung von CO₂ und die Entwicklung geeigneter Regularien sind eine Voraussetzung für die Klimaneutralität der Branche. Zudem stellen sie strategische Schritte für den Aufbau von klimapositiven Industrieprozessen für die Kompensation von unvermeidbaren Restemissionen aus anderen Sektoren wie zum Beispiel der Landwirtschaft dar.

Die Industrietransformation birgt Chancen für die Sicherung von Arbeitsplätzen und den Erhalt von wettbewerbsfähigen Standorten. Die deutsche Industrie ist eine der Säulen des Wohlstands im Land. Allein an der Produktion von Stahl, Basischemikalien und Zement hängen etwa 280.000 Arbeitsplätze (Destatis 2018). Durch Investitionen in Klimaschutztechnologien kann Deutschland langfristig seine Technologieführerschaft sicherstellen und trägt dazu bei, international ambitionierte Standards zu setzen. Diese Positionierung im globalen Wettbewerb sichert Arbeitsplätze und Exportchancen und trägt zur Dekarbonisierung der globalen Wirtschaft bei.

Klimaschutzverträge im klimapolitischen Kontext: Der Regulierungsrahmen für den Industriesektor

Mit dem *Fit-for-55-Package* hat die EU-Kommission im Juni 2021 einen Vorschlag zur Reform des EU-Emissionshandelssystems und zur Einführung eines Grenzausgleichsmechanismus zum Schutz der europäischen Industrie vor *Carbon Leakage* vorgelegt. Das Reformpaket beinhaltet eine Anpassung der Regeln für kostenfreie Zuteilungen von Emissionsberechtigungen. So soll die Vergabe künftig technologieunabhängig erfolgen, was die vorherrschende Benachteiligung von klimafreundlichen Prozessen im Vergleich zu Referenztechnologien abschaffen soll. Im Anschluss an diesen ersten Schritt sollen die kostenfreien Zuteilungen für die Produktion von Aluminium, Eisen und Stahl, Zement und Düngemitteln ab 2026 über zehn Jahre linear abgebaut werden und 2035 auslaufen. Im Gegenzug soll ein Grenzausgleichsmechanismus (*Carbon Border Adjustment Mechanism* – CBAM) eingeführt werden. Da für die Einfuhr von Produkten in die EU in diesem Szenario sogenannte CBAM-Zertifikate gekauft werden müssten, wären diese de facto dem gleichen CO₂-Preis ausgesetzt wie die heimische Produktion.

Die bestehenden Rahmenbedingungen und zu erwartenden Reformen reichen nicht aus, um das Investitionsdilemma der Industrie aufzulösen und ihre Transformation zur Klimaneutralität abzusichern. In den vergangenen Jahren ist der CO₂-Preis im EU-Emissionshandelssystem (EU-EHS) gestiegen und die durch das *Fit-for-55-Package* vorgeschlagenen Reformen des EU-EHS und seiner *Carbon-Leakage*-Mechanismen lassen eine weitere Steigerung und bessere Internalisierung der CO₂-Preise erwarten. Diese Erwartungen reichen jedoch nicht, um Klimaschutztechnologien heute schon wettbewerbsfähig zu machen. Der Prozess hin zum endgültigen Beschluss der im *Fit-for-55-Package* konzipierten Rechtsakte wird noch Jahre in Anspruch nehmen. Gerade für den CBAM bestehen rechtliche und politische Unsicherheiten und es ist nicht absehbar,

für welche Branchen, wann und in welcher Form ein CBAM umgesetzt werden kann. Darüber hinaus ist der Aufbau von grünen Leitmärkten eine attraktive Vision für den Aufbau einer klimaneutralen und wettbewerbsfähigen Zukunft, doch ohne ein Angebot an klimafreundlichen Produkten kann auch keine entsprechende Nachfrage und Zahlungsbereitschaft entstehen. Um diese Chancen trotz der politischen Risiken zu nutzen und den Prozess zur Klimaneutralität jetzt anzugehen, benötigt die Industrie eine staatliche Absicherung der politischen Risiken und Unwägbarkeiten. Über Klimaschutzverträge kann der Staat die zukünftige Entwicklung der Regularien vorwegnehmen und den Aufbau und Betrieb von klimafreundlichen Produktionsprozessen absichern, bis die deutsche und europäische Klimapolitik auf ihre neuen Klimaziele abgestimmt sind.

Eine Absicherung für die Industrietransformation: Konzept und Ausgestaltung von Klimaschutzverträgen

Klimaschutzverträge sind das kurzfristige Mittel der Wahl, um die langfristige Transformation der Industrie zur Klimaneutralität anzustoßen und CO₂-Emissionen schnell signifikant zu mindern. Sie finanzieren die Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion im Vergleich zur Referenztechnologie und dienen als Absicherungsmechanismus für Unternehmen. Zudem kompensieren sie durch eine dynamische Abrechnung die Risiken von fluktuierenden CO₂-Preisen und von bestehenden Fehlanreizen durch die Vergabe von kostenfreien Zuteilungen. Darüber hinaus können Klimaschutzverträge höhere CO₂-Preise antizipieren und garantieren, sodass eine großtechnische Anwendung von Schlüsseltechnologien trotz anfänglich noch hoher CO₂-Minderungskosten machbar wird. Mit den hier vorgestellten Maßnahmen in Stahl-, Ammoniak- und Zementbranche lassen sich bis zum Jahr 2030 CO₂-Minderungen in Höhe von 21 Millionen Tonnen erzielen – ein notwendiger Schritt zur Erreichung der angestrebten 68 Millionen Tonnen an CO₂-Minde-

rungen in der Industrie. Im Rahmen einer kohärenten Abstimmung von Klimaschutzverträgen mit der Reform des EU-ETS und dem Aufbau von grünen Leitmärkten lassen sich darüber hinaus auch zusätzliche CO₂-Minderungen durch die Ausweitung von Strategien der ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft erreichen. Je erfolgreicher und schneller eine marktgetriebene Nachfrage nach klimafreundlichen Produkten und Alternativen entsteht, desto geringer fällt der staatliche Finanzierungsbedarf für Klimaschutzverträge aus.

Klimaschutzverträge können innerhalb des bestehenden Regulierungsrahmens umgesetzt werden und flexibel auf sich verändernde Rahmenbedingungen reagieren. Klimaschutzverträge sind projektbezogene Verträge zwischen der öffentlichen Hand und Unternehmen, die sowohl die Mehrkosten beim Betrieb als auch bei der Investition von Klimaschutzanlagen pro Tonne Grundstoff tragen können. Der Quotient aus den Mehrkosten und der CO₂-Minderung pro Tonne an produziertem Grundstoff ergibt die Minderungskosten. Auf Basis der (mittleren) Minderungskosten wird der Vertrag geschlossen. Im Rahmen einer Dynamisierung können dann preisliche Schwankungen der Betriebsmittel, aber auch sich ändernde Regularien wie zum Beispiel Modifikationen der kostenfreien Zuteilungen abgebildet werden. Darüber hinaus kann auch der marktgetriebene Absatz von klimafreundlichen Produkten angerechnet werden. Die resultierende Klimaschutzprämie wird dann effektiv an die Unternehmen ausgezahlt, um den Anteil der Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion zu kompensieren, die nicht vom Markt getragen werden. So wird sichergestellt, dass die Förderung durch Klimaschutzverträge effektiv ist, eine Überförderung aber vermieden wird. Die Zahlung fällt umso geringer aus, je erfolgreicher der Aufbau von Infrastrukturen voranschreitet, je besser es gelingt, Preise für erneuerbaren Strom und Wasserstoff zu senken und je konsequenter die Reform der CO₂-Bepreisung und der Aufbau grüner Leitmärkte umgesetzt werden.

Die Abbildungen 1–5 fassen die Schlüsselaspekte der Ausgestaltung von Klimaschutzverträgen und ihre Rolle für die Transformation der Stahl-, Zement- und Ammoniakproduktion visuell zusammen.

Durch eine strategische Auswahl von Projekten können Klimaschutzverträge zum Aufbau der klimafreundlichen Infrastruktur und Produktionsverbünde beitragen, die für die Klimaneutralität und langfristige Wettbewerbsfähigkeit des Landes entscheidend sind.

Der Aufbau einer klimaneutralen Primärproduktion kann ohne die entsprechenden Infrastrukturen nicht gelingen, da ansonsten weder die technische Zuverlässigkeit noch die Wirtschaftlichkeit der Produktion gewährleistet werden kann. Zu den für die Industrietransformation erforderlichen Infrastrukturen gehören insbesondere der Ausbau der Erneuerbaren Energien und der Übertragungsnetze, der Aufbau von Kapazitäten für die Produktion und den Transport von erneuerbarem Wasserstoff sowie der Transport, die Verwendung und Lagerung von CO₂. Der Aufbau dieser Infrastrukturen kommt auch anderen Sektoren zugute. Im Idealfall kann er zur Entwicklung klimafreundlicher Produktionsverbünde führen, die Synergien bei der Produktion und Verwendung von Sauerstoff, Biomasse, CO₂ und Abwärme herstellen. Im Rahmen der wettbewerblichen Auswahl von Projekten zur Förderung durch Klimaschutzverträge sollte daher darauf geachtet werden, dass Projekte gefördert werden, die einerseits kosteneffizient sind, andererseits aber auch einen Beitrag zum Aufbau der Infrastruktur der Zukunft leisten können.

Diskussion der Finanzierungsaspekte

Um eine kapitalintensive Industrietransformation durch Klimaschutzverträge abzusichern, müssen Investitionen bezuschusst und betriebliche Mehrkosten abgesichert und gegebenenfalls kompensiert werden. Die Bundesregierung hat bereits eine Reihe von Förderprogrammen auf den Weg gebracht – unter anderem die Initiativen der Nationale Wasserstoff-

strategie, wie das Programm Dekarbonisierung der Industrie und das dazugehörige Pilotprogramm für Klimaschutzverträge. Auf Basis dieser Förderprogramme und Refinanzierungsmechanismen können bereits kurzfristig erste Verträge im Jahr 2022 angestoßen werden. Darüber hinaus können Investitionen über andere Förderprogramme der EU, der Bundesregierung und auch der Länder bezuschusst werden. Eine längerfristige Refinanzierung und Absicherung von betrieblichen Mehrkosten durch Klimaschutzverträge kann beispielsweise durch den deutschen Energie- und Klimafonds (EKF) erfolgen. Für den EKF werden in der Zukunft substanzielle Mehrreinnahmen durch die Versteigerung von Emissionsberechtigungen aus dem EU-Emissionshandel und dem BEHG erwartet, aus denen die notwendigen Rückstellungen generiert werden können. Darüber hinaus kann der EKF auch durch den Bund oder aber die Vergabe von grünen Anleihen durch den Bund kapitalisiert werden. Da ein Großteil der Mittel nur als Sicherheit dient, wirken sich diese Refinanzierungsmittel nicht auf den Schuldenstand der Bundesrepublik aus. Mittelfristig lässt sich auch erwarten, dass durch den EU-Innovationfonds Mittel für Klimaschutzverträge zur Förderung von Klimaschutzprojekten in den Mitgliedsstaaten bereitgestellt werden.

Die über Klimaschutzverträge abzusichernden Mehrkosten beim Betrieb von Klimaschutzanlagen können über die Kombination mit anderen Politikinstrumenten signifikant reduziert werden – oder sogar gegen null gehen. Die Mehrkosten für den Aufbau von 12 Millionen Tonnen DRI-EAF-Anlagen liegen bei etwa 8 Milliarden Euro und werden idealerweise über Investitionszuschüsse gefördert. Die Mehrkosten für ihren Betrieb mit überwiegend erneuerbarem Wasserstoff betragen bis zu 27 Milliarden Euro. In der effektiven Kombination mit anderen Politikinstrumenten lässt sich der effektive Finanzbedarf für Klimaschutzverträge aber auf etwa 2 Milliarden Euro senken. Da bei der Umstellung der Ammoniakproduktion auf den Betrieb mit Wasserstoff keine neuen Anlagen errichtet werden müssen,

entstehen hier lediglich Mehrkosten beim Betrieb. Diese belaufen sich maximal auf 6,6 Milliarden Euro – bei der effektiven Kombination mit anderen Politikinstrumenten könnten diese Mehrkosten aber auf null Euro gesenkt werden. Die Mehrkosten für die Zementproduktion sind, unter anderem durch eine äquivalente Vergabe von kostenfreien Zuteilungen, im Vergleich zu den beiden anderen Branchen deutlich niedriger und erlauben es, auch die Investitionskosten auf den Klimaschutzvertrag umzulegen. Unter den getroffenen Annahmen ergeben sich Mehrkosten von rund 100 Millionen Euro, die durch den Klimaschutzvertrag abgesichert werden müssen. In der Kombination mit anderen Politikinstrumenten reduziert sich dieser Betrag auf 50 Millionen Euro.

Insgesamt ergibt sich nur für die Stahlbranche ein Bedarf für Investitionskostenzuschüsse, um die strategischen Investitionen zum Aufbau von Eisen- direktreduktionsanlagen mit etwa 8 Milliarden Euro zu fördern. Darüber hinaus müssen die Mehrkosten beim Betrieb der Klimaschutzanlagen in der Produktion von Stahl, Zement und Ammoniak mit bis zu 35 Milliarden Euro abgesichert werden. Bei einer strategischen Reform des EU-ETS, seiner *Carbon-Leakage*-Mechanismen und dem erfolgreichen Aufbau von grünen Leitmärkten wird jedoch nur ein kleiner Teil dieser Summe zur Auszahlung kommen.

Wie die Transformation der Grundstoffindustrie gelingen kann: Klimaschutzverträge im Politikinstrumentenmix

Die Industrietransformation ist ein tiefgreifender Prozess, der umgehend angegangen werden muss. Klimaschutzverträge müssen dafür als erster Schritt einer umfassenden Transformationsstrategie schnell umgesetzt werden. Klimaschutzverträge sind strategisch wichtig, um die notwendigen Investitionen in Klimaschutztechnologien kurzfristig anzustoßen. Dafür muss das Instrument jedoch mit anderen Instrumenten der CO₂-Bepreisung zusammengedacht und so refinanziert werden, dass auch andere

Strategien – vor allem die Ansätze einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft über eine adäquate Bepreisung der Produkte – gefördert werden.

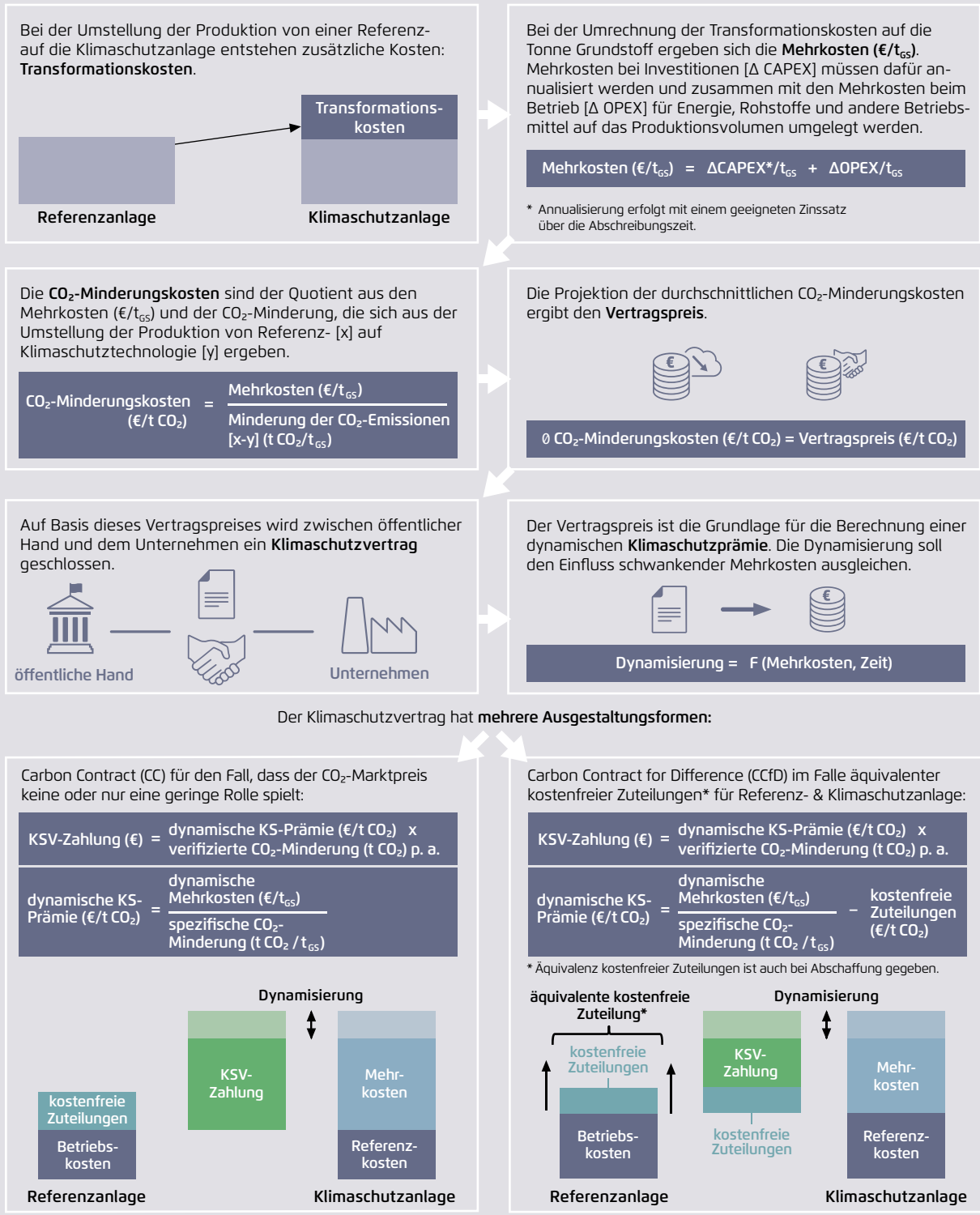
Die Förderung einer klimaneutralen Primärproduktion über Klimaschutzverträge darf Strategien zum Aufbau einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft nicht unterlaufen. Der Bedarf an Grundstoffen ist signifikant und wird voraussichtlich noch steigen. Gerade deshalb müssen die Schonung und der effiziente Einsatz natürlicher Ressourcen an erster Stelle stehen. Wird eine – wenn auch klimafreundliche – Primärproduktion über Klimaschutzverträge subventioniert, kann das Strategien zur Substitution und Materialeffizienz oder Kreislaufwirtschaft benachteiligen. Eine Lösung dieses Problems besteht darin, die wahren Kosten der klimafreundlichen Produktion wie auch der konventionellen Produktion an die Konsumentinnen und Konsumenten weiterzugeben und so die richtigen Anreize zu schaffen. Dies kann über eine Ausgestaltung der Klimaschutzverträge als Absicherungsinstrument und in enger Abstimmung mit der Reform des EU-EHS und der Einführung eines Grenzausgleichsmechanismus erfolgen.

Mithilfe von Klimaschutzverträgen kann die Entwicklung grüner Leitmärkte angestoßen werden, die für die langfristige Entwicklung einer Nachfrage nach klimafreundlichen Produkten entscheidend sind. Klimafreundliche Produkte müssen langfristig am Markt etabliert werden. Dies erfordert eine Senkung der Kosten von Klimaschutztechnologien und den Aufbau der dafür notwendigen Infrastruktur. Klimaschutzverträge leisten den ersten Schritt zum Aufbau von grünen Leitmärkten: Sie schaffen ein verlässliches Angebot an klimafreundlichen Produkten. Um die entsprechende Nachfrage zu fördern, müssen Klimaschutzverträge mit den entsprechenden nachfrageorientierten Instrumenten wie Produktstandards, Zertifizierungssystemen und einer nachhaltigen öffentlichen Beschaffung kombiniert werden.

Ein schneller Einstieg in die Industrietransformation ist eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe und Chance, den Weg zur Klimaneutralität anzugehen und Wohlstand langfristig zu sichern. Dabei geht es nicht darum, die Industrie zu subventionieren, sondern die unvermeidbaren politischen Risiken einer tiefgreifenden Reform unserer Wirtschaftsordnung abzusichern. Die Transformation der Industrie ist dabei kein Selbstzweck, sondern ein Anker für die Transformation unserer Infrastruktur, für die Entwicklung neuer Technologien und Produkte und für die Sicherung von Arbeitsplätzen. Darüber hinaus ist sie eine Chance, unsere Industrie für den Wettbewerb in einer zunehmend klimaneutralen Weltwirtschaft vorzubereiten und darüber auch die Transformation in anderen Ländern zu beschleunigen.

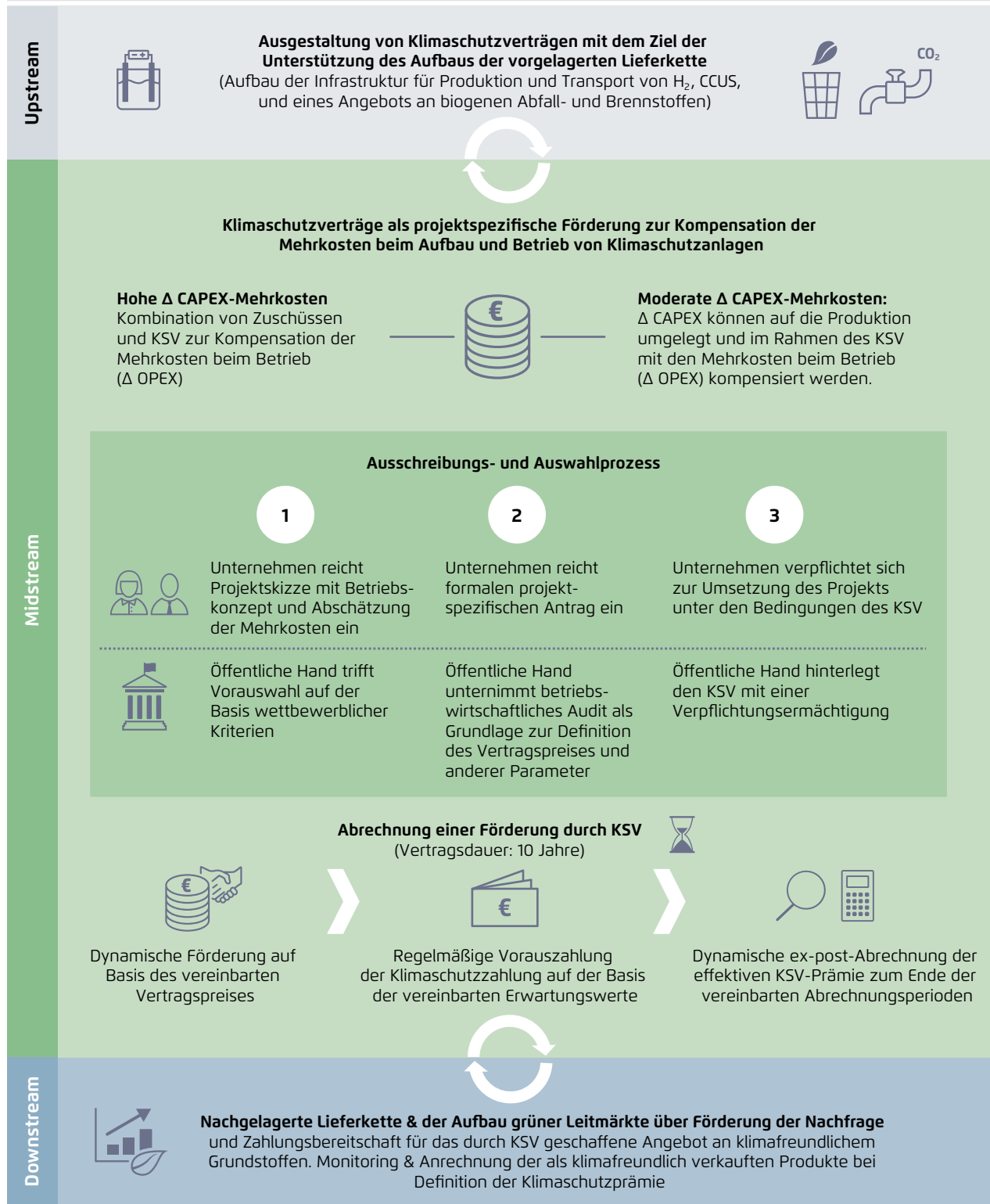
Glossar in Bildern und Gleichungen

Abbildung 1



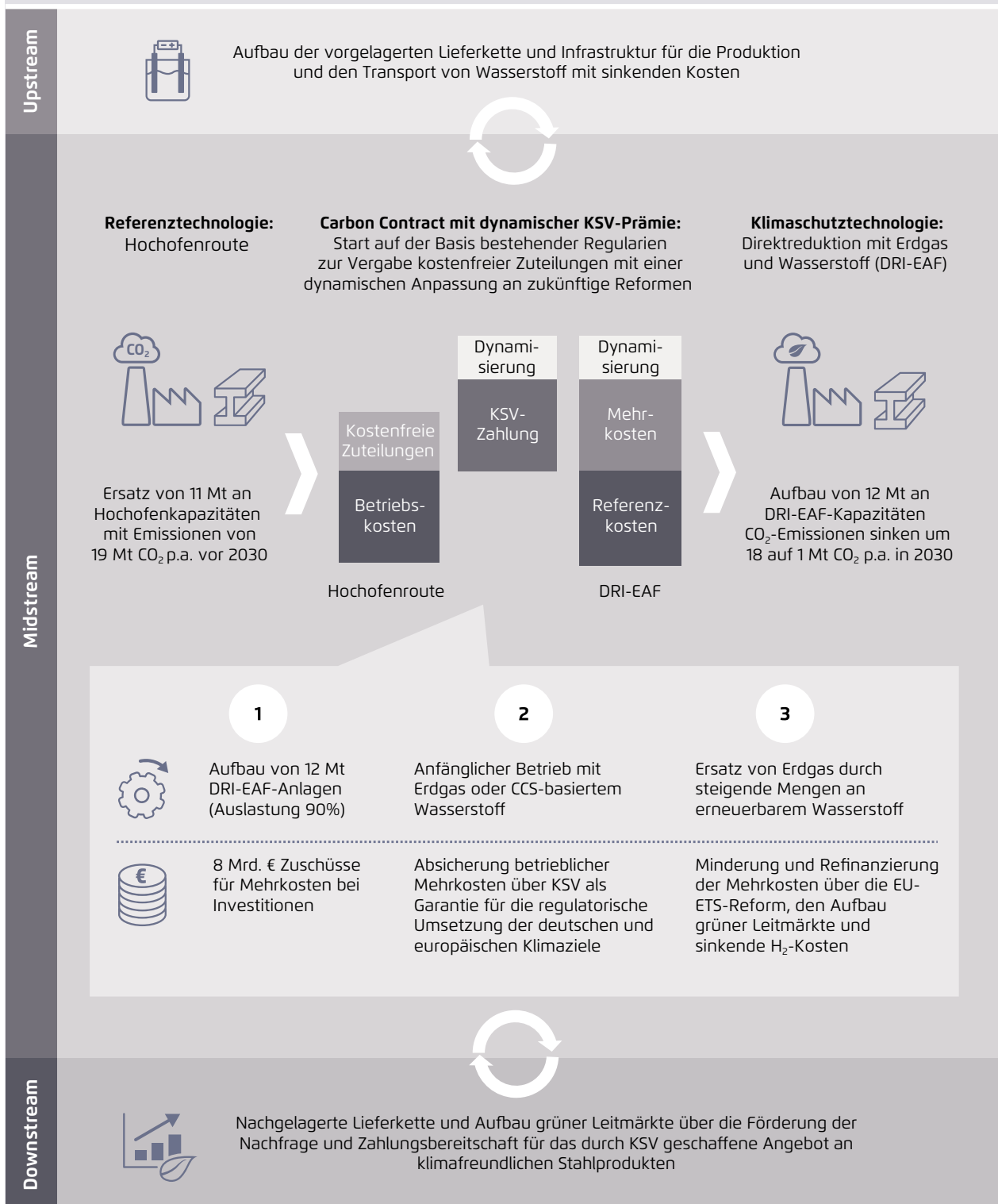
Infogramm zur Ausgestaltung von Klimaschutzverträgen für die Industrietransformation

Abbildung 2



Infogramm zur Rolle von Klimaschutzverträgen für die Transformation der Primärstahlproduktion

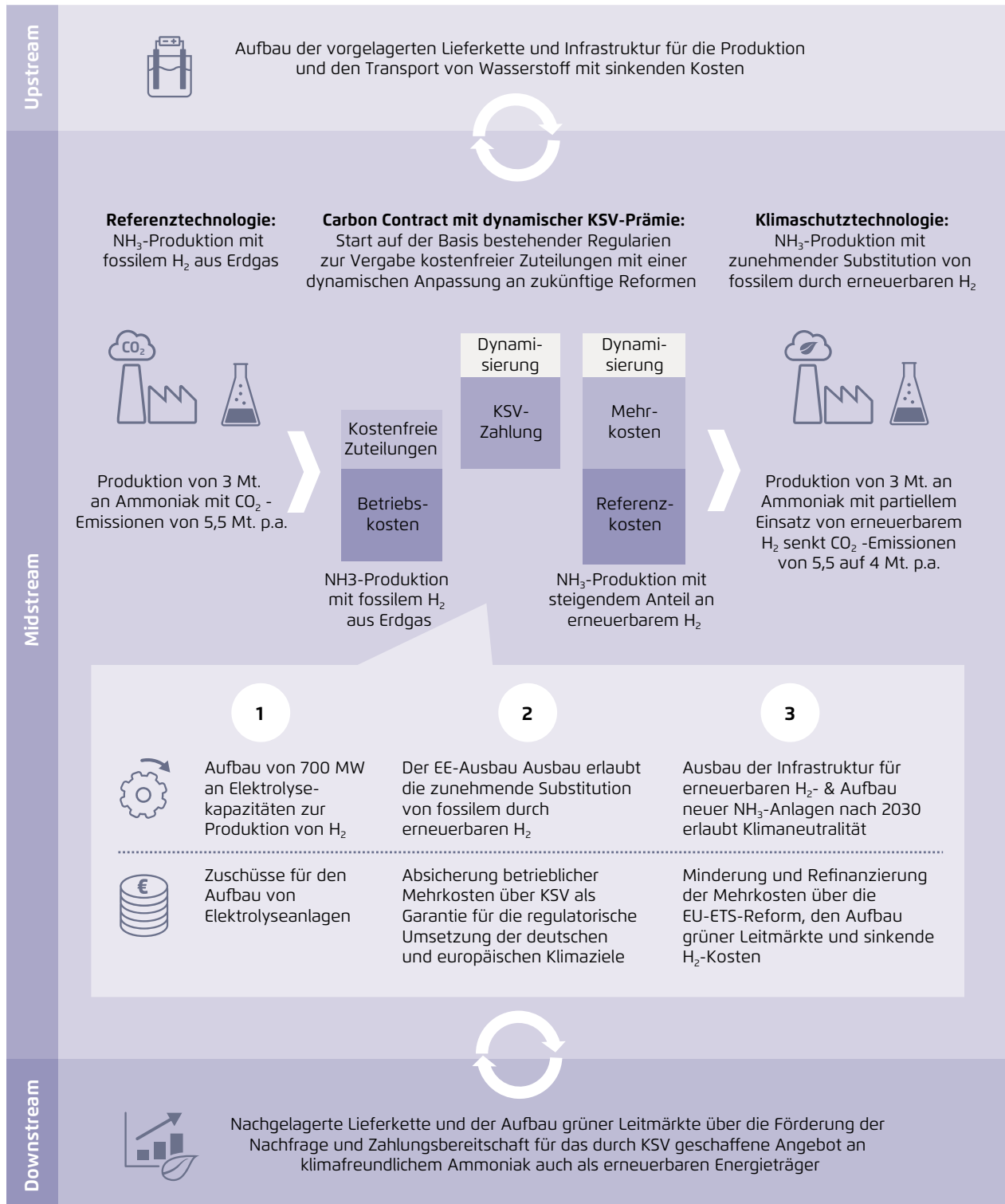
Abbildung 3



Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021)

Infogramm zur Rolle von Klimaschutzverträgen für die Transformation der Ammoniakproduktion

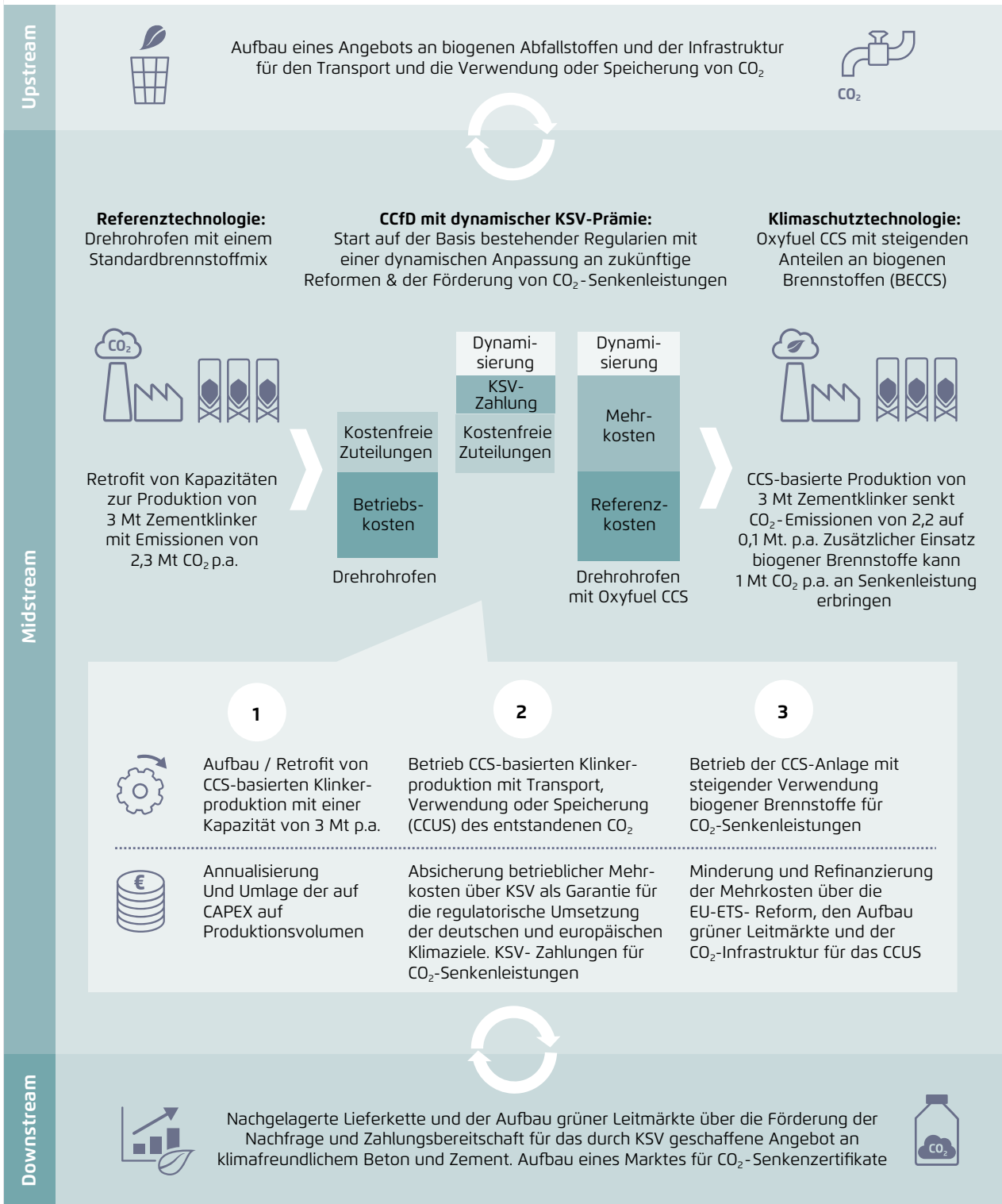
Abbildung 4



Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021)

Infogramm zur Rolle von Klimaschutzverträgen für die Transformation der Zementproduktion

Abbildung 5



2 Deutschlands Pfad zur Klimaneutralität

Deutschland hat sich verpflichtet, innerhalb der nächsten 24 Jahre klimaneutral zu werden. In Reaktion auf das Urteil des Bundesverfassungsgerichts vom April 2021 (BVerfG 2021) hat der Deutsche Bundestag im Juni 2021 ein überarbeitetes Klimaschutzgesetz beschlossen (Bundesgesetzblatt 2021). Damit das Gesetz der vom Verfassungsgericht geforderten Verantwortung Deutschlands im Rahmen des Pariser Abkommens entsprechen kann, wurde das Ziel der Klimaneutralität bis spätestens 2045 definiert. Um der Forderung nach intergenerationaler Gerechtigkeit nachzukommen, wurde ein linearer Minderungspfad beschlossen, der die notwendigen CO₂-Emissionsminderungen gleichförmig auf die Zeit bis 2045 verteilt (Agora Energiewende 2021).

Für das Jahr 2030 ergibt sich daraus das Ziel, die Emissionen der deutschen Volkswirtschaft im Vergleich zum Referenzjahr 1990 um mindestens 65 Prozent zu senken. Für die Zeit bis 2030 wurden dafür jährliche Ziele für alle Sektoren definiert¹. Die Emissionen des Industriesektors müssen dabei im Zeitraum von 2020 bis 2030 von 186 auf 118 Millionen Tonnen CO₂ sinken, was einer Minderung von 68 Millionen Tonnen entspricht. Abbildung 6 bietet einen Überblick über den gesamten Pfad zur Klimaneutralität.

Begleitend zum novellierten Klimaschutzgesetz wurde das Klimaschutz-Sofortprogramm 2022 beschlossen (BMF 2021a). Das Sofortprogramm stellt zusätzlich acht Milliarden Euro zur Verfügung, wovon 860 Millionen Euro für den Ausbau existierender Initiativen für die Transformation der Industrie, wie zum Beispiel die Nationale Wasserstoffstrategie, vorgesehen sind. Im Rahmen dieser Initiativen gibt es

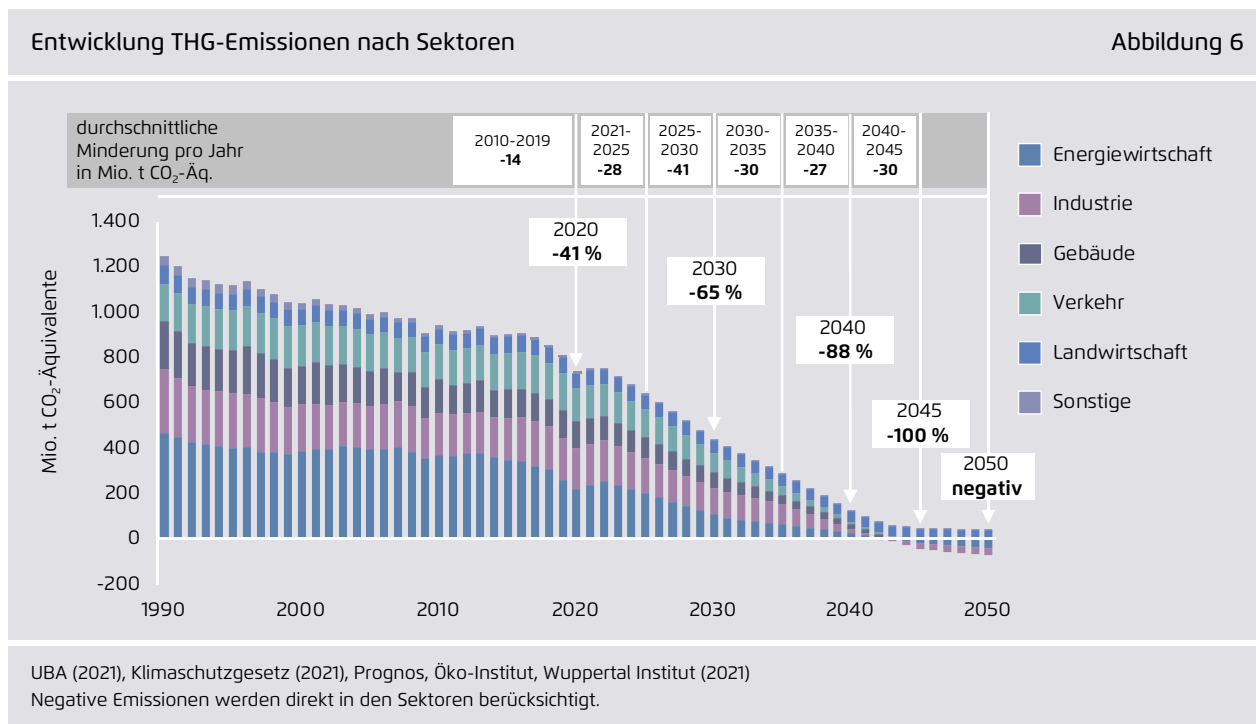
bereits ein Klimaschutz-Pilotprogramm zur Förderung von klimafreundlichen Produktionsverfahren in der Stahl- und Chemieindustrie (BMF 2021). Durch Klimaschutzverträge nach dem Beispiel der *Carbon Contracts for Difference* (CCfD) sollen die Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion ausgeglichen werden, um die dafür notwendigen Investitionen abzusichern. Erste Verträge zur Förderung von Produktionsanlagen in der Stahl- und Chemieindustrie, die durch die Umstellung auf erneuerbaren Wasserstoff klimafreundlich produzieren, sind schon für 2022 vorgesehen. Darüber hinaus soll die marktgetriebene Nachfrage und Zahlungsbereitschaft für klimafreundliche Produkte wie zum Beispiel „grünen Stahl“ durch die Definition von geeigneten Kriterien und Nachfrageinstrumenten gefördert werden.

Auch die EU hat sich mit dem Klimagesetz vom Juli 2021 verpflichtet, ihre Netto-Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 55 Prozent unter das Niveau von 1990 zu senken und bis spätestens 2050 klimaneutral zu werden. Um die Umsetzung dieses Ziels anzugehen, hat die EU-Kommission am 14. Juli 2021 das *Fit-for-55-Package* vorgestellt. Es handelt sich um ein Maßnahmenpaket mit zwölf Gesetzesentwürfen, mit denen der existierende Rechtsrahmen angepasst werden soll.

Ein zentrales Element ist die Reform des EU-Emissionshandelssystems (EU-EHS), das etwa 41 Prozent der CO₂-Emissionen der EU abdeckt, darunter den Energiesektor und die Grundstoffindustrie. Für diese Sektoren soll das Minderungsziel für das Jahr 2030 im Vergleich zu 2005 von derzeit 43 Prozent auf 61 Prozent steigen. Infolgedessen ist ein signifikant höherer CO₂-Preis zu erwarten – ein entsprechender Anstieg lässt sich in der Praxis auch schon beobachten.

Ein weiteres Element der EU-EHS-Reform ist eine Anpassung der Regularien zum Schutz der Industrie vor *Carbon Leakage*. In einem ersten Schritt sollen

1 Die jährlichen Minderungsziele für den Zeitraum ab 2031 bis zu einer Minderung von mindestens 88 Prozent bis 2040 sollen im Jahr 2024 gesetzlich festgelegt werden. Die jährlichen Ziele für die verbleibenden Jahre bis zur Klimaneutralität 2045 sollen im Jahr 2032 definiert werden.



die Regeln für die kostenfreie Zuteilung von Emissionsberechtigungen angepasst werden. Die kostenfreie Zuteilung soll die internationale Wettbewerbsfähigkeit CO₂-intensiver Industrieprozesse schützen, doch gleichzeitig werden klimafreundliche Produktionsprozesse entsprechend benachteiligt. Über die produktbezogene, äquivalente und prozessunabhängige Vergabe von kostenfreien Zuteilungen soll die vorherrschende Benachteiligung von klimafreundlichen im Vergleich zu konventionellen Prozessen abgeschafft werden.²

In einem zweiten Schritt sollen die kostenfreien Zuteilungen für die Produktion von Aluminium, Eisen

² Im Rahmen der geltenden EU-EHS-Regularien erhalten konventionelle, CO₂-intensive industrielle Produktionsverfahren in der Regel eine kostenfreie Zuteilung von Emissionsrechten, die einen großen – aber sinkenden – Teil der benötigten Emissionsrechte abdeckt und einen Großteil der sonst zu zahlenden CO₂-Kosten ausgleicht. Da klimafreundliche Produktalternativen und -prozesse diese kostenfreien Zuteilungen nicht erhalten, werden sie trotz geringerer Emissionen benachteiligt.

und Stahl, Zement und Düngemitteln ab 2026 über zehn Jahre linear abgebaut werden und 2035 ganz auslaufen. Im Gegenzug soll für diese Grundstoffe ein sogenannter Grenzausgleichsmechanismus eingeführt werden (auch bezeichnet als *Carbon Border Adjustment Mechanism* – CBAM). Über eine Grenzabgabe in der Höhe des im EU-EHS herrschenden CO₂-Preises soll im selben Zeitraum von 2026 bis 2035 ein linear ansteigender Anteil der Treibhausgasemissionen, die bei der Produktion von importierten Grundstoffen im Ursprungsland entstanden sind, bepreist werden. So soll der CBAM den Nachteil der heimischen Produktion ausgleichen, die durch das Absenken der kostenfreien Zuteilungen einem steigenden effektiven CO₂-Preis ausgesetzt ist.³

Im Rahmen dieser Reform steigt der Transformationsdruck auf die energie- und CO₂-intensive

³ Durch den vorliegenden Vorschlag lassen sich Wettbewerbsnachteile für den Binnenmarkt im Prinzip vermeiden. Nachteile für den Export lassen sich so aber nicht ohne Weiteres kompensieren.

Grundstoffindustrie. Das Potenzial der Energieeffizienz in der Industrie ist größtenteils ausgeschöpft: Minderungen in der Größenordnung, wie sie im kommenden Jahrzehnt nötig werden, können nur durch den Umstieg auf klimafreundliche Verfahren und Energieträger erreicht werden. Aufgrund der langen Investitionszyklen müssen zudem schnell die Weichen für den Ersatz konventioneller Produktionsanlagen durch klimafreundliche Prozesse gestellt werden. Diese Transformation erfordert jedoch Investitionen in klimafreundliche Produktionsanlagen, deren Bau und Betrieb im Vergleich zu konventionellen Anlagen höhere Kosten und Risiken beinhalten. Um diese Investitionen dennoch anzustoßen, müssen diese Mehrkosten und Risiken kompensiert werden.

Der legislative Prozess zum Beschluss des *Fit-for-55*-Pakets soll die entsprechenden Rahmenbedingungen schaffen, doch seine Umsetzung in geltendes Recht wird noch Jahre in Anspruch nehmen. Gerade für den CBAM bestehen zusätzliche rechtliche und politische Unsicherheiten. Der Einstieg in die Transformation der Grundstoffindustrie muss daher kurzfristig durch geeignete Klimaschutzverträge angestoßen und durch die gleichzeitige Reform der Rahmenbedingungen langfristig abgesichert werden.

Ein schneller Einstieg in die Transformation birgt die Chance, eine klimaneutrale Industrie und die dazugehörige Infrastruktur aufzubauen und damit Deutschland als klimaneutralen Wirtschaftsstandort zu sichern. Darüber hinaus ergibt sich die Gelegenheit, innovative Verfahren, Prozesse und Anlagen zu entwickeln und damit neue Märkte zu erschließen. In einer Welt, in der sich alle wesentlichen Wirtschaftsböcke auf das Ziel der Klimaneutralität verpflichtet haben, entscheidet sich die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie an ihrer Fähigkeit, CO₂-arme und langfristig klimaneutrale Produkte zu wettbewerbsfähigen Preisen anzubieten.

Im nächsten Kapitel werden wir die hier angeschnittenen Chancen und Herausforderungen einer

Transformation der Grundstoffindustrie analysieren und dabei insbesondere auf die Stahl-, Chemie- und Zementindustrie eingehen, die aufgrund ihres hohen Anteils an den Emissionen des Industriesektors von großer Relevanz sind. Auf dieser Basis diskutieren wir die Rolle von Klimaschutzverträgen im Kontext der Klimapolitik und schließlich ihre Ausgestaltung und Refinanzierung.

3 Die Transformation der Grundstoffindustrie

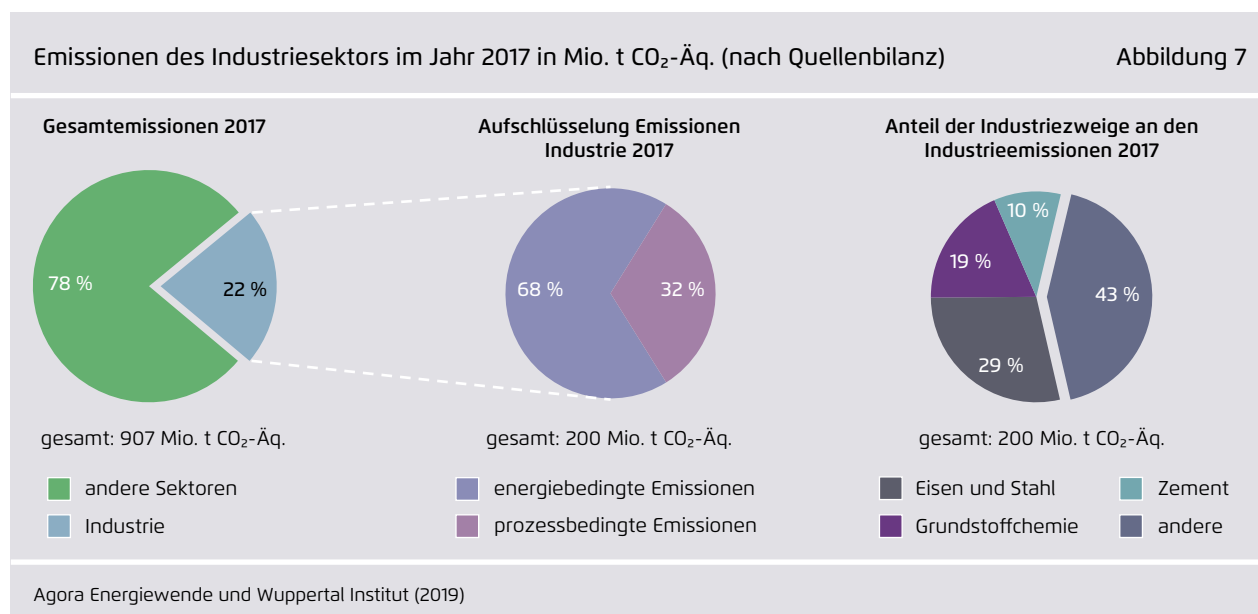
Die Industrie ist mit 191 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten im Durchschnitt der Jahre 2016 bis 2020 verantwortlich für etwa 22 Prozent der deutschen Treibhausgasemissionen (UBA 2021).⁴ Wesentliche Treiber sind die Erzeugung von Prozesswärme, die Strom- und Wärmeerstellung in Industriekraftwerken sowie prozessbedingte Emissionen in der Grundstoffindustrie.

Das Klimaschutzgesetz definiert für die Industrie bis zum Jahr 2030 das Ziel, ihre Emissionen um 68 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente zu senken. Um dieses Ziel zu erreichen, werden Verbesserungen der Energieeffizienz nicht ausreichen. Zunächst muss eine steigende Ressourceneffizienz und intensiviertere Kreislaufwirtschaft dafür sorgen, dass der Materialdurchsatz insgesamt sinkt. Außerdem müssen die

Produktionsprozesse in der Grundstoffindustrie schnell auf klimafreundliche Technologien und Energieträger umgestellt werden. Dabei müssen Produktionsanlagen, industrielle Verbünde und die dazugehörige Infrastruktur konsequent auf das Ziel der Klimaneutralität ausgerichtet werden, um Fehlinvestitionen und *stranded assets* zu vermeiden.

Die Transformation der Grundstoffindustrien ist eine zentrale Herausforderung für die deutsche Wirtschafts- und Klimapolitik. Knapp 60 Prozent der industriellen Treibhausgasemissionen und etwa zwölf Prozent der gesamten Emissionen Deutschlands entfallen auf die Stahlerzeugung, die Grundstoffchemie und die Herstellung von Kalk und Zement (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut 2021). Zugleich hängen an der Produktion von Stahl, Basischemikalien und Zement etwa 280.000 Arbeitsplätze (Destatis 2018). Während die Industrieemissionen in den letzten zehn Jahren stagnierten, müssen sie nun um rund ein Drittel sinken – in weniger als einem Jahrzehnt. Dies bedeutet nicht weniger als eine fundamentale Transformation einer der wichtigsten

4 Im Jahr 2020 fielen die Emissionen im Rahmen der COVID-19-Pandemie auf 178 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente. Das Klimaschutzgesetz geht für dieses Jahr hingegen von Emissionen in Höhe von 186 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten aus.

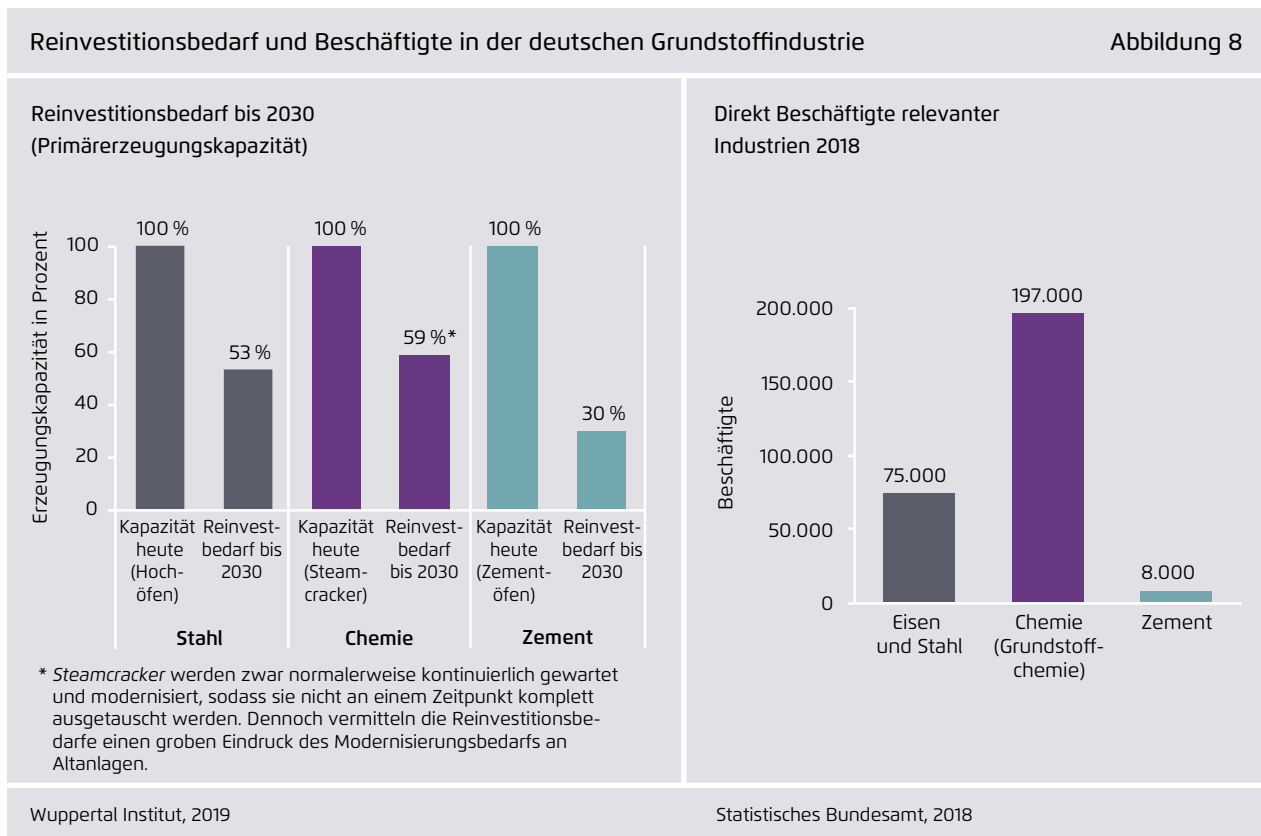


Säulen der deutschen Wirtschaft. Abbildung 7 bietet einen Überblick über die Rolle der Industrie im Rahmen der deutschen Treibhausgasbilanz.

Die Tatsache, dass die Anlagen der Grundstoffindustrie dringend erneuert werden müssen, bietet dabei eine einmalige Chance für den Technologiewechsel und den Aufbau einer klimaneutralen Wirtschaft. Wie in Abbildung 8 dargestellt, erfordern im Mittel 50 Prozent der Produktionsanlagen der Stahl-, Chemie- und Zementindustrie in diesem Jahrzehnt Investitionen zu ihrer Erneuerung oder ihrem Ersatz. Diese Investitionen bieten die Chance, konventionelle Prozesse mit Klimaschutztechnologien zu ersetzen. Es besteht aber auch die Gefahr, dass die höheren Kosten und Risiken für den Technologiewechsel dazu führen, dass erneut in herkömmliche, CO₂-intensive Prozesse investiert wird. Aufgrund der langen Lebenszyklen der Anlagen ist bereits heute klar, dass Reinvestitionen in herkömmliche Technologien nicht mit dem

Ziel der Klimaneutralität bis 2045 vereinbar sind – und daher vor dem Ende ihrer wirtschaftlichen Lebenszeit als *stranded assets* enden werden. Um diesem Dilemma zu entgehen und den deutschen Industriestandort und seine Arbeitskräfte zu sichern, muss die Politik jetzt Investitionssicherheit für Klimaschutztechnologien schaffen, die mit dem Ziel der Klimaneutralität kompatibel sind.

Die technischen Lösungen für die Transformation hin zu einer klimaneutralen Industrie existieren und müssen durch eine Anwendung im industriellen Maßstab zur Marktreife gebracht werden. Um die CO₂-Emissionen bis 2030 signifikant zu senken und gleichzeitig die Klimaneutralität im Jahr 2045 vorzubereiten, steht eine Reihe von Strategien und Prozessen zur Verfügung (Agora Energiewende, Wuppertal Institut 2021). Neben der Energieeffizienz und den Strategien einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft sind dies Maßnahmen zur direkten Elektrifizi-



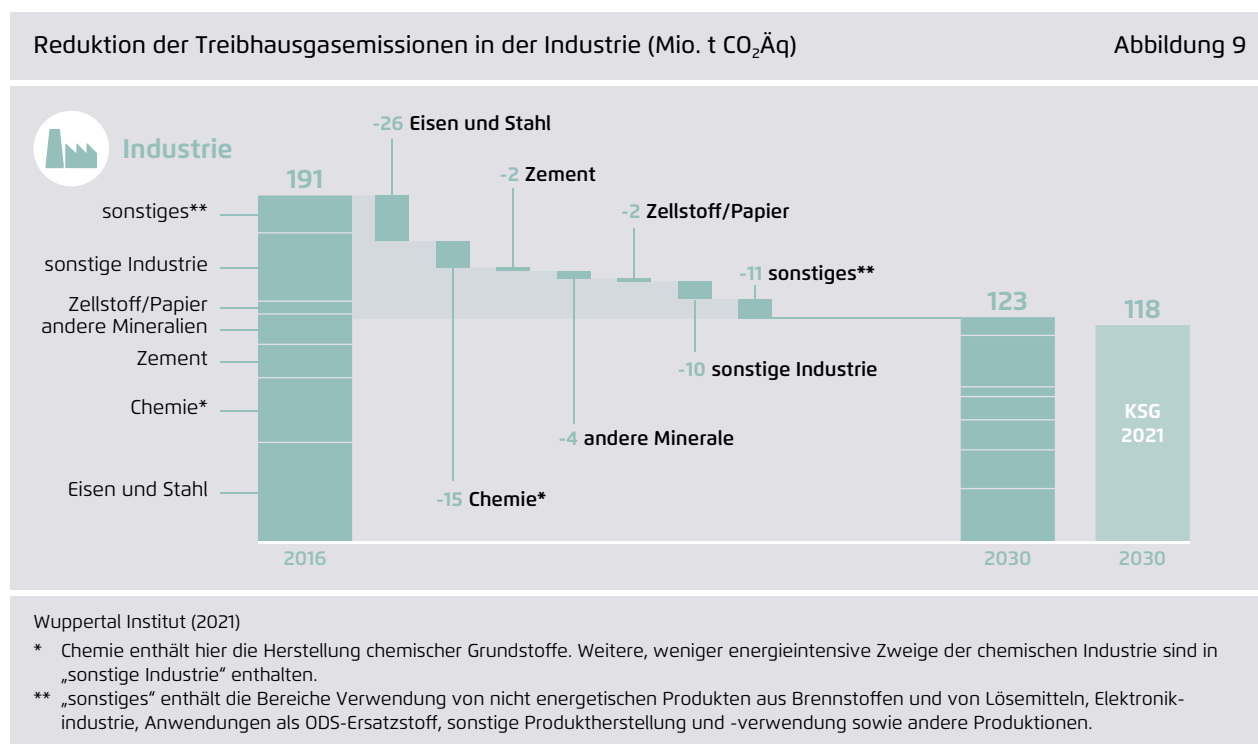
zierung von Prozessen – sowie zur Verwendung von erneuerbarem Wasserstoff in Prozessen, die nicht elektrifiziert werden können. Schließlich können anderweitig unvermeidbare Prozessemissionen abgeschieden, in Produkten verwendet oder in geologischen Lagerstätten gespeichert werden (*Carbon Capture, Utilization and Storage* – CCUS). Darüber hinaus kann nachhaltige Biomasse als Rohstoff oder Energieträger verwendet werden. Bei einer dauerhaften stofflichen Verwendung – oder einer energetischen Verwendung in Kombination mit CCS – lässt sich sogar ein CO₂-Senkeneffekt erreichen.

Die Anwendung von Klimaschutztechnologien im Rahmen der anstehenden Investitionen in der Industrie in Kombination mit den Strategien einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft erlauben es, das Zwischenziel für 2030 und die Klimaneutralität bis 2045 vorzubereiten. In der Studie *Klimaneutrales Deutschland 2045* (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut 2021) wurden für alle relevanten Industriebranchen geeignete Strategien entwickelt,

die einer Umsetzung des Sektorenziels für 2030 entsprechen,⁵ wie sie in Abbildung 9 zusammengefasst sind. Dabei wird ersichtlich, dass die Minderungen in der Stahl-, Chemie und Zementproduktion für 60 Prozent der Zielerreichung insgesamt stehen. Da gerade in diesen Branchen sehr kapitalintensive Anlagen mit langen Reinvestitionszyklen verwendet werden, ist ihre schnelle und erfolgreiche Transformation von zentraler Bedeutung für das Erreichen der Klimaziele.

Die Transformation der Grundstoffindustrie dient neben dem Ziel ihrer Klimaneutralität auch dem Aufbau einer strategischen Infrastruktur und klimafreundlicher Produktionsverbünde. Die Nach-

- 5 Die Studie *Klimaneutrales Deutschland* wurde vor der Novelle des Klimaschutzgesetzes publiziert und seine Modellierung bezieht sich auf das Jahr 2016. Das Klimaschutzgesetz hingegen bezieht sich auf eine hypothetische Referenz für das Jahr 2020. Abgesehen von dieser Differenz in Bezug auf die Berechnungsbasis gehen beide Referenzen von einer Minderung von insgesamt knapp 70 Millionen Tonnen bis zum Jahr 2030 aus.



frage nach erneuerbarem Wasserstoff in der Stahl- und Chemieindustrie führt zur Entwicklung von Technologien und zum Aufbau von Infrastruktur für die Produktion, den Transport und die Speicherung von erneuerbarem Wasserstoff. Diese steht dann auch für Anwendungen in anderen Industriezweigen zur Verfügung und ermöglicht ihnen ebenfalls den Weg zur Klimaneutralität.

Gleiches gilt für die CO₂-Infrastruktur: Der Aufbau von Anlagen zur Abscheidung, zum Transport und zur geologischen Lagerung oder Verwendung von CO₂ (CCUS) ist notwendig, um ansonsten unvermeidbare Prozessemissionen zu mindern, wie sie in der Zementindustrie anfallen. Darüber hinaus eröffnen sie Chancen, über die Kombination mit einer energetischen Verwendung von Biomasse entsprechende CO₂-Senkeneffekte zu erzielen (*Bioenergy with Carbon Capture and Storage* – BECCS). Diese Anwendungen erlauben es, die dafür nötigen Technologien, Infrastruktur und Regularien aufzubauen. Dadurch ergeben sich Optionen, die langfristig für die Klimaneutralität nötig sein werden: Da auch für das Jahr 2045 noch unvermeidbare Emissionen, zum Beispiel aus der Landwirtschaft, zu erwarten sind, werden CO₂-Senkenleistungen notwendig, um diese kompensieren zu können (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut 2021). Diese langfristige Option muss auch schon bei der Definition kurzfristiger Maßnahmen in den Blick genommen werden.

Die Transformation der Grundstoffindustrie ist somit kein Selbstzweck, sondern ein strategischer Schritt für die Dekarbonisierung der Industrie und den Umbau zu einer klimaneutralen Wirtschaft. Dazu müssen der Ausbau der Erneuerbaren Energien, der Aufbau von Elektrolysekapazitäten für die Produktion von erneuerbarem Wasserstoff sowie der Aufbau der Wasserstoff- und CCUS-Infrastruktur aufeinander abgestimmt werden.

Deutschland steht an der Schwelle zu einer umfassenden Transformation von Wirtschaft, Arbeit und Gesellschaft. Der Aufbau einer klimafreundlichen

Grundstoffindustrie ist die Basis für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit im Anlagenbau und der verarbeitenden Industrie. Eine wachsende Zahl von Ländern hat sich ebenfalls zum Ziel gesetzt, bis Mitte des Jahrhunderts klimaneutral zu wirtschaften. Auch diese Länder stehen vor der Herausforderung, klimafreundliche Prozesse in ihren Industrien zu entwickeln und zur Marktreife zu führen.⁶ Wenn es der deutschen Wirtschaft gelingt, als eine der ersten Industrienationen klimafreundliche Produktionsweisen im industriellen Maßstab zu beherrschen, kann sie ihre Exportstärke bewahren, ihre Technologieführerschaft behaupten und sich dem Wettlauf um klimaneutrale Lösungen stellen – und so letztlich auch sichere und gut bezahlte Arbeitsplätze in der Industrie erhalten.

Somit ist eine entschlossene Transformation zur Klimaneutralität auch eine Strategie für die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie und ein Impuls für Handwerk, Bauwirtschaft und den Dienstleistungssektor. Darüber hinaus mindert der Umbau unserer Industrie das volkswirtschaftliche Risiko von *stranded assets* oder einer graduellen Verlagerung der Produktion ins Ausland.

Um diesen kritischen Prozess zu unterstützen, beschäftigt sich die vorliegende Studie mit dem Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff in der Stahl- und Chemieindustrie als grundlegende Maßnahme. Bei der Herstellung von Kalk und Zementklinker betrachten wir Verfahren des *Carbon Capture, Utilization and Storage* (CCUS), gegebenenfalls in Verbindung

6 Im Dezember 2021 hatten 13 Staaten und die EU rechtsverbindlich beschlossen, bis Mitte des Jahrhunderts THG-Neutralität zu erreichen, oder eine entsprechende Gesetzgebung auf den Weg gebracht, darunter Deutschland, Frankreich, Südkorea und das Vereinigte Königreich. 45 Staaten haben entsprechende politische Ziele beschlossen oder angekündigt, ohne diese (bisher) rechtlich zu verankern – darunter Brasilien, China, Japan, Südafrika und die USA. Weitere 79 Staaten befinden sich in der politischen Beschlussfindung (<https://eciu.net/netzerotracker>).

mit biogenen Brennstoffen, als Schlüssel für einen klimaneutralen oder gar klimapositiven Betrieb.

Die Grundlagen und Ergebnisse dieser Arbeit wurden in einem umfassenden Projekt zur Rolle von Klimaschutzverträgen für die Industrietransformation erarbeitet und im Rahmen von Workshops mit den relevanten Branchen sowie Interessenvertreterinnen und -vertretern diskutiert. Die Resultate dieser Arbeit wurden in drei branchenspezifischen Analysen dokumentiert und werden in der Folge für die weitere Diskussion kurz zusammengefasst.⁷

3.1 Die Transformation der Stahlbranche

Die Stahlproduktion nimmt für die Industrietransformation zur Klimaneutralität eine Schlüsselrolle ein.

7 Weitere Informationen zum Projekt und seinen Produkten finden Sie auf der Webseite der Agora Energiewende: <https://www.agora-energiewende.de/projekte/klimaschutzvertraege-fuer-die-industrietransformation/>.

Mit einer Produktion von etwa 40 Millionen Tonnen Rohstahl pro Jahr generiert die Branche Emissionen von circa 55 Millionen Tonnen CO₂ und ist damit für knapp 30 Prozent der gesamten Industrieemissionen in Deutschland verantwortlich.

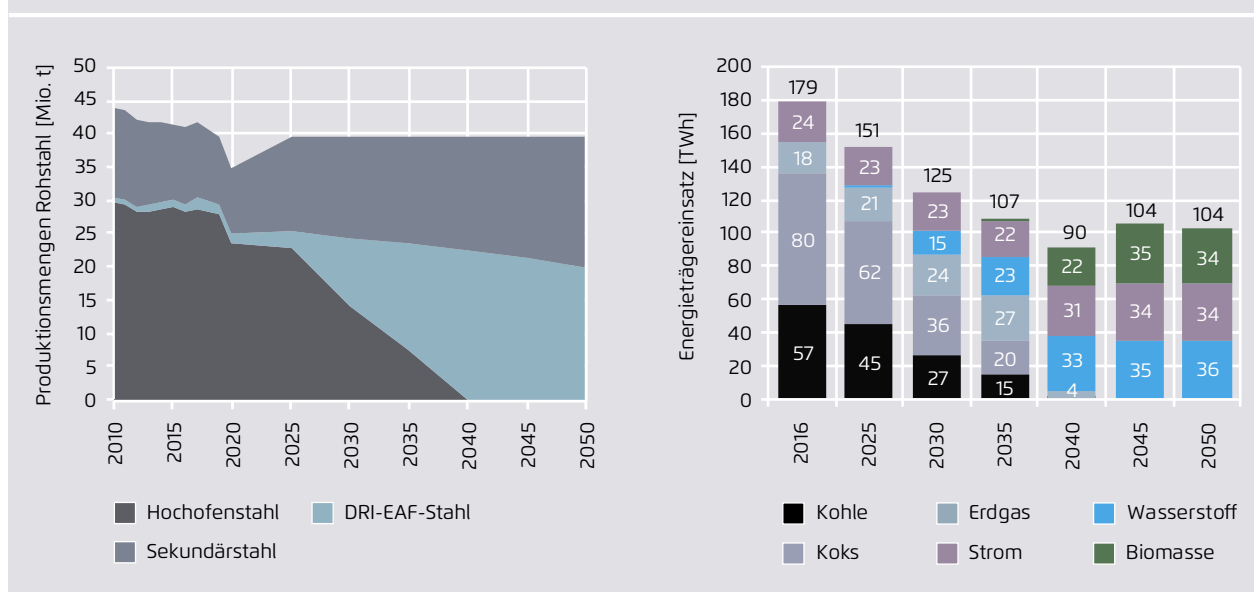
Die Primärstahlproduktion in der Hochofen-Konverter-Route ist für etwa 70 Prozent der produzierten Stahlmengen verantwortlich, generiert aber 95 Prozent der direkten CO₂-Emissionen der Branche. Die restliche Produktion entfällt hauptsächlich auf die Elektrolichtbogenroute, ein Verfahren zum Aufschmelzen und -reinigen von Stahlschrott, bei dem relativ geringe direkte Emissionen entstehen.

Der Ersatz der Hochofenroute durch einen steigenden Anteil an Sekundärstahl und die Anwendung alternativer Methoden zur klimafreundlichen Primärstahlproduktion sind somit zentral für die Transformation der Stahlbranche zur Klimaneutralität.

Der Ausbau von Stahlrecycling und der Aufbau von Anlagen für eine wasserstoffbasierte Eisendirekt-

Ein Transformationspfad der Stahlbranche mit dem Ziel der Klimaneutralität bis 2045

Abbildung 10



Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021)

reduktion können die direkten Emissionen bis 2030 um bis zu 26 Millionen Tonnen CO₂ senken. Auf Basis der Studie *Klimaneutrales Deutschland 2045* (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut 2021) wurde im Rahmen einer Analyse zur Transformation der Stahlbranche (Agora Energiewende, FutureCamp, Wuppertal Institut, Ecologic Institut 2021a) ein detaillierter Pfad für die Transformation der Branche konzipiert. Das angenommene Szenario ist in Abbildung 10 visualisiert und die Ergebnisse der Analyse sind im Folgenden zusammengefasst.

Im Szenario pendelt sich die deutsche Stahlproduktion auch über das Jahr 2045 hinaus bei knapp 40 Millionen Tonnen jährlich auf dem Niveau von 2019 ein. Um die Transformation effizient umzusetzen, werden die vor 2030 anstehenden Reinvestitionen in der Hochofenroute mit einer Gesamtkapazität von etwa 16 Millionen Tonnen Rohstahl pro Jahr konsequent für den Aufbau von klimafreundlichen Produktionsprozessen genutzt.

Eine Steigerung der Sekundärstahlproduktion um insgesamt 5 auf 16 Millionen Tonnen im Jahr 2030 erlaubt es, äquivalente Hochofenkapazitäten und deren Emissionen zu ersetzen. Der Anteil von Sekundärstahl steigt damit von 30 auf 40 Prozent der Gesamtproduktion und es ergibt sich eine Minderung der direkten Emissionen um 7 Millionen Tonnen CO₂.

Der Aufbau von 12 Millionen Tonnen neuer Kapazitäten zur Eisendirektreduktion für einen Betrieb mit steigenden Mengen an erneuerbarem Wasserstoff ermöglicht eine Minderung der direkten Emissionen um bis zu 18 Millionen Tonnen CO₂. Die Eisendirektreduktion zur Produktion von Eisenschwamm, der dann im Lichtbogenofen geschmolzen und zu Stahl verarbeitet wird (auch als DRI-EAF-Route bezeichnet), ist eine etablierte Technologie, mit der die kohlebasierte Hochofenroute ersetzt werden kann. Über den anfänglichen Betrieb mit Erdgas wird ein Großteil der CO₂-Emissionen schnell zu moderaten Kosten reduziert, bis es durch ein steigendes Angebot an erneuerbarem Wasserstoff ersetzt wird. Der

Aufbau von DRI-EAF-Anlagen mit einer Kapazität von insgesamt zwölf Millionen Tonnen⁸ erfordert ein Investitionsvolumen von zehn Milliarden Euro. Die Investitionen im Vergleich zur Neuzustellung existierender Hochöfen betragen acht Milliarden Euro. Was die betrieblichen Mehrkosten angeht, so wäre der Betrieb dieser Anlagen mit Erdgas bei den heutigen CO₂-Preisen im Prinzip kostendeckend.⁹ Durch den Technologiewechsel gehen allerdings die für die Hochofenroute spezifischen kostenfreien Zuteilungen an Emissionsberechtigungen im EU-EHS verloren. Dadurch wird der Betrieb einer Eisendirektreduktionsanlage trotz einer Reduktion der CO₂-Emissionen von etwa 66 Prozent im Vergleich zur Hochofenroute betriebswirtschaftlich unrentabel.

Über eine Steigerung der Effizienz und die Modernisierung von Anlagen und Prozessen lassen sich weitere zwei Millionen Tonnen CO₂ einsparen. Damit auch diese Minderungen im Rahmen der Transformation der Stahlbranche erreicht werden können, muss die kohärente Kombination von Politikinstrumenten alle Maßnahmen und Strategien zur CO₂-Reduktion gleichermaßen anreizen.

Anlagen zur Eisendirektreduktion sind ein strategischer Anker für den Markthochlauf von Wasserstoff. Über den Betrieb mit Erdgas kann der klimafreundliche Betrieb von DRI-EAF-Anlagen im ersten Schritt gewährleistet werden. In einem zweiten Schritt kann Erdgas dann mit steigenden Anteilen an Wasserstoff ersetzt werden. Solange nicht genügend erneuerbarer Wasserstoff zur Verfügung steht, kann der Prozess durch die Verwendung von CCS-basiertem Wasserstoff beschleunigt werden. Als Zielmarke

8 Für DRI-Anlagen wird eine Auslastung von 90 Prozent angenommen. Somit entsprechen zwölf Millionen Tonnen an DRI-Kapazitäten einer Hochofenkapazität von circa elf Millionen Tonnen.

9 Ob sich nach Einbezug der CO₂-Preise durch die DRI-basierte Produktion im Vergleich zur Hochofenroute höhere oder geringere Betriebskosten ergeben, hängt auch von Preisschwankungen der Energieträger und Rohstoffe ab.

kann Wasserstoff mit einem Anteil von bis zu 80 Prozent (bezogen auf den Energiegehalt) eingesetzt werden.¹⁰ Durch diese Maßnahme entsteht bis zum Jahr 2030 eine Nachfrage von bis zu 500.000 Tonnen Wasserstoff.

Die Eisendirektreduktion fördert den Aufbau einer systemdienlichen Wasserstoffwirtschaft und stützt den Ausbau der Erneuerbaren Energien. Da DRI-Anlagen durch die Absicherung mit Erdgas oder CCS-basiertem Wasserstoff nicht auf eine zeitlich konstante Versorgung mit erneuerbarem Wasserstoff angewiesen sind, kann Wasserstoff bevorzugt in Zeiten produziert werden, in denen ein hoher Anteil an Erneuerbaren Energien im Stromnetz gegeben ist. Zeitlich flexible und systemdienliche Produktion und Verwendung von erneuerbarem Wasserstoff mindern somit die Kosten für die Produktion von klima-

freundlichem Stahl. Gleichzeitig sichern sie die Strompreise in Zeiten eines hohen Angebots Erneuerbarer Energien nach unten ab und fördern dadurch ihren Ausbau. Da eine DRI-Anlage in Zeiten eines knappen Angebots an Erneuerbaren Energien auf einen Betrieb mit Erdgas oder CCS-basiertem Wasserstoff zurückfallen kann, werden höhere Emissionen im Stromsektor vermieden und die Treibhausgasemissionen für die deutsche Wirtschaft insgesamt minimiert.¹¹

Die Mehrkosten einer klimafreundlichen Primärstahlproduktion sind signifikant und werden im Rahmen der geltenden EU-EHS-Regularien auch durch hohe CO₂-Preise nicht kompensiert. Die Hochofenroute ist das Standardverfahren für die Primärstahlproduktion und somit preissetzend. Die

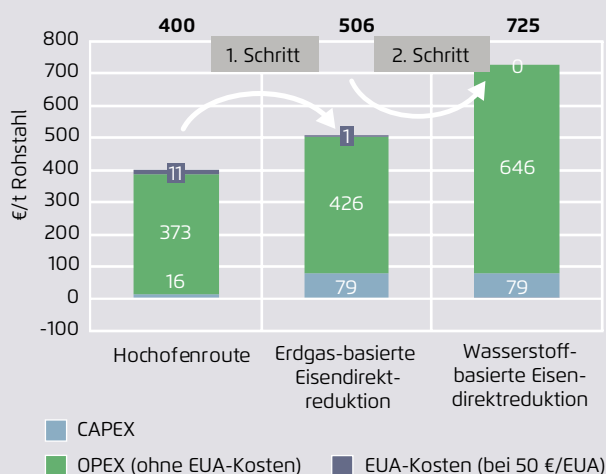
10 Ein gewisser Anteil an Erdgas bleibt dabei aus metallurgischen Gründen als Kohlenstofflieferant notwendig.

11 Ideal ist ein systemdienlicher Elektrolysebetrieb, der die CO₂-Emissionen des gesamten Energiesystems minimiert.

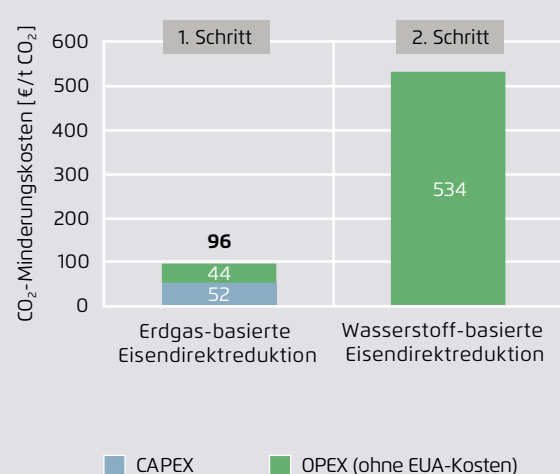
Vergleich der betrieblichen Kosten und der impliziten CO₂-Minderungskosten der Transformation in der Stahlproduktion

Abbildung 11

Entwicklung der Produktionskosten für eine Tonne Rohstahl in zwei Schritten (kostenfreie Zuteilungen berücksichtigt)



CO₂-Minderungskosten im ersten und im zweiten Schritt (keine CO₂-Kosten berücksichtigt)



Agora Industrie, FutureCamp und Wuppertal Institut (2021a)

Zusammensetzung der Kosten von etwa 400 Euro pro Tonne Rohstahl sind in Abbildung 11 visualisiert. Die Produktionskosten hängen dabei stark von schwankenden Marktpreisen für Eisenerz und Koks Kohle ab. Außerdem müssen die Kapitalkosten für die Investition einer Neuzustellung betrachtet werden. Da bei der Produktion etwa 1,7 Tonnen CO₂ pro Tonne Rohstahl emittiert werden, fallen außerdem CO₂-Kosten an. Diese fallen jedoch aufgrund einer kostenfreien Zuteilung von knapp 1,5 Emissionsberechtigungen¹² pro Tonne Rohstahl aus Hochofenanlagen kaum ins Gewicht.

Für den ersten Schritt der Transformation zur erdgasbasierten Eisendirektreduktion fallen moderat höhere Kosten an. Zunächst liegt das an höheren Kapitalkosten,¹³ da der Aufbau der DRI-EAF-Anlagen finanziert werden muss. Darüber hinaus steigen die betrieblichen Mehrkosten, da für die Eisendirektreduktion hochwertige Erzpellets anstelle von herkömmlichem Eisenerz eingekauft werden müssen. Auch Erdgas als Reduktionsmittel ist in der Regel teurer als Koks Kohle. Wegen der niedrigeren CO₂-Emissionen von etwa 0,5 Tonnen CO₂ pro Tonne DRI-basiertem Rohstahl sind die CO₂-Kosten moderat. Aufgrund der schon erwähnten Regelung für kostenfreie Zuteilungen fallen diese Ersparnisse jedoch kaum ins Gewicht. Als Konsequenz ist erdgasbasierter DRI-Rohstahl etwa 25 Prozent teurer als Hochofenstahl. Setzt man diese Mehrkosten des Aufbaus und Betriebs einer erdgasbasierten Eisendirektreduktion ins Verhältnis zur Emissionsminderung von etwa 1,2 Tonnen CO₂ pro Tonne Rohstahl, so ergeben sich für diesen ersten

Schritt CO₂-Minderungskosten von etwa 96 Euro pro Tonne CO₂. Ein Großteil der Mehrkosten fällt dabei zur Amortisation der höheren Investitionen an. Würde man diesen Anteil der Mehrkosten über einen direkten Investitionskostenzuschuss decken, so wäre die erdgasbasierte Eisendirektreduktion bei den heutigen CO₂-Preisen von 50 bis 80 Euro im Prinzip schon wirtschaftlich. Dafür müsste jedoch die vorherrschende Regel zur Vergabe von kostenfreien Zuteilungen angepasst werden, um Äquivalenz zwischen der Hochofen- und der DRI-basierten Produktion zu schaffen.

Für den zweiten Schritt der Substitution von Erdgas durch Wasserstoff für den Betrieb der Eisendirektreduktion fallen signifikant höhere Kosten an. Die Mehrkosten für den Einkauf von DRI-Pellets wurden schon im ersten Schritt finanziert und spielen keine Rolle mehr. Durch den Ersatz von Erdgas durch Wasserstoff als Reduktionsmittel fallen jedoch deutliche Mehrkosten an. Unter der Annahme eines Wasserstoffpreises von 5,50 Euro pro Kilogramm erneuerbarer Wasserstoff steigen die Kosten für wasserstoffbasierten Rohstahl im Vergleich zur erdgasbasierten Variante um 43 Prozent.¹⁴ Im Gegenzug sinken die spezifischen CO₂-Emissionen durch den Umstieg von reinem Erdgas auf ein Reaktionsgas mit 80 Prozent Wasserstoff um 0,4 Tonnen CO₂ pro Tonne Rohstahl. Setzt man die betrieblichen Mehrkosten mit dieser CO₂-Minderung ins Verhältnis, ergeben sich für die Annahme von anfänglich noch hohen Wasserstoffkosten recht hohe Minderungskosten von 534 Euro pro Tonne CO₂.

Die Transformation der Primärstahlproduktion muss durch eine Reform des EU-EHS und zusätzliche Instrumente zur Förderung der wasserstoffbasierten Eisendirektreduktion abgesichert werden. Der erste Schritt zum Aufbau und erdgasbasierten Betrieb von Kapazitäten zur Eisendirektreduktion kann im

12 Diese Zahl entspricht dem prognostizierten Zuteilungsbenchmark für den Zeitraum 2026–2030.

13 Diese ergeben sich durch die Notwendigkeit der Investition in neue Anlagen mit im Vergleich zur Referenztechnologie höheren Kosten und durch die Annualisierung mit einem marktüblichen Kapitalkostensatz von acht Prozent und einem Abschreibungszeitraum von 18 Jahren. Durch geeignete Instrumente zur Förderung oder Absicherung dieser Investitionen können die Kapitalkosten direkt gefördert oder zumindest deutlich gesenkt werden.

14 Berechnet man die Mehrkosten der wasserstoffbasierten Eisendirektreduktion im Vergleich zur Hochofenroute, so ergeben sich Mehrkosten von 80 Prozent.

Prinzip durch eine Förderung der notwendigen Investitionen in Kombination mit einer Reform der Regularien zur Vergabe von kostenfreien Zuteilungen angereizt werden. Solange es hinsichtlich der zukünftigen CO₂-Marktpreise und der Vergaberegeln von kostenfreien Zuteilungen noch Risiken gibt, sollten diese entsprechend abgesichert werden. Der zweite Schritt zur Verwendung von Wasserstoff erfordert wegen hoher Kosten darüber hinaus einen Mechanismus, mit dem die betrieblichen Mehrkosten langfristig bezuschusst werden können.

Klimaschutzverträge nach dem Modell der CCfDs sind ein geeignetes Instrument, um die Risiken der EU-EHS-Reform und der Schwankungen des CO₂-Marktpreises abzusichern und darüber hinaus die Mehrkosten einer klimaneutralen Produktion zu kompensieren.

Der Finanzbedarf für die Transformation der Stahlindustrie bis 2030 beträgt bis zu 35 Milliarden Euro, kann aber durch eine intelligente Ausgestaltung von Klimaschutzverträgen und ihre Synergie mit anderen Politikinstrumenten gesenkt und in geeigneter Form refinanziert werden. Für den Aufbau von DRI-Produktionskapazitäten von circa zwölf Millionen Tonnen pro Jahr fallen Mehrkosten für Investitionen von acht Milliarden Euro an. Geht man darüber hinaus von einem schnellen Hochlauf der Verwendung von Wasserstoff auf bis zu 80 Prozent im Jahr 2030 aus, so fallen dafür betriebliche Mehrkosten von bis zu 27 Milliarden Euro an. Dabei gehen wir von konservativen Annahmen für Wasserstoffkosten von 6 Euro pro Kilogramm im Jahre 2025 aus, die dann linear auf 3,70 Euro pro Kilogramm im Jahre 2040 fallen.¹⁵ Darüber hinaus muss das Ziel sein, die Kosten für Wasserstoff durch einen effizienten Markthochlauf deutlich zu reduzieren, um so die Produktionskosten

für eine klimafreundliche Produktion von Stahl und anderen Produkten zu senken.

3.2 Die Transformation der Chemischen Industrie am Beispiel der Ammoniakproduktion

Die Chemieindustrie bildet die Basis für die Produktion einer Vielzahl von Produkten. Die Produktion chemischer Grundstoffe ist wegen ihres hohen Energiebedarfs und hoher CO₂-Emissionen besonders relevant für eine zügige Transformation der Branche. Etwa ein Viertel der direkten Emissionen innerhalb der Chemieindustrie entfallen auf die Ammoniakherstellung in wenigen Großanlagen. Eine Dekarbonisierung dieser Produktion über die Verwendung von erneuerbarem Wasserstoff ist somit ein signifikanter Schritt zur Klimaneutralität der Branche, dient aber auch als Beispiel für das Potenzial der Verwendung von erneuerbarem Wasserstoff in der Industrie.

Schon heute werden für die Ammoniaksynthese große Mengen an Wasserstoff verwendet. Für die Produktion der etwa drei Millionen Tonnen Ammoniak im Jahr 2020 wurden etwa 530.000 Tonnen fossiler Wasserstoff verwendet. Der Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff in der Ammoniakproduktion bietet somit das Potenzial, schnell in den Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur einzusteigen, und steht zudem stellvertretend für weitere Wasserstoffanwendungen innerhalb der Chemischen Industrie.¹⁶

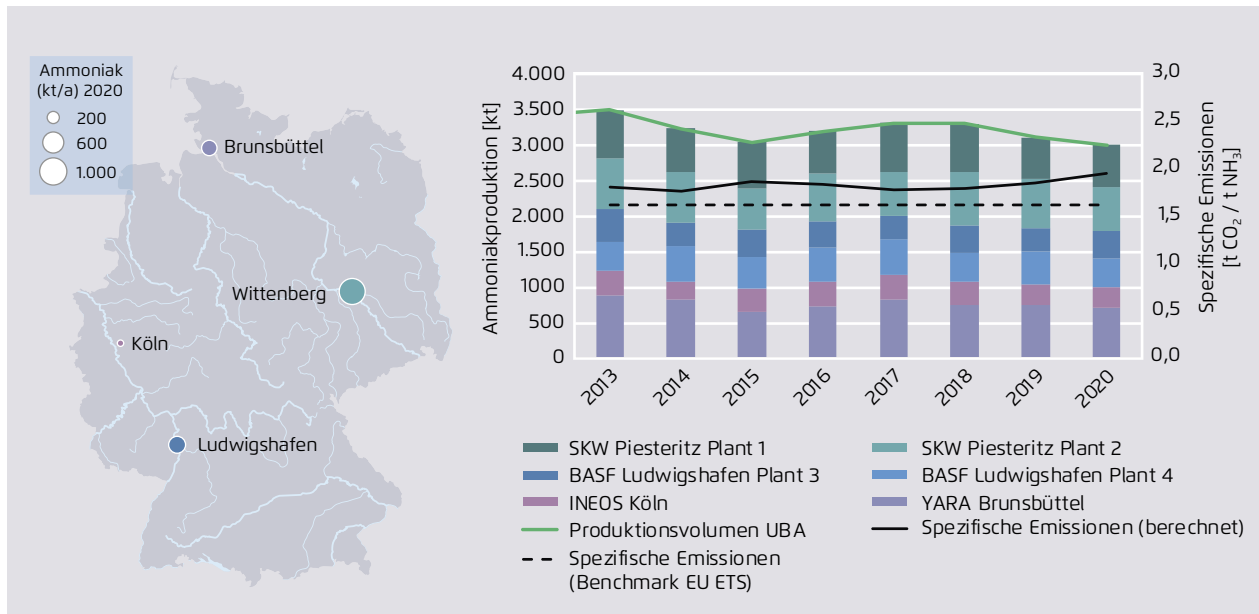
In Deutschland wird Ammoniak an vier Standorten und in insgesamt sechs Anlagen hergestellt. Abbildung 12 bietet einen Überblick der Standorte, ihrer

15 In dieser Perspektive vernachlässigen wir auch die Effekte einer EU-EHS Reform und Mehreinkünfte, die sich durch die Vermarktung der klimafreundlichen Produkte im Rahmen von grünen Leitmärkten ergeben.

16 Als Beispiel dient die Produktion von Methanol und anderen organischen Verbindungen aus Wasserstoff und Kohlendioxid. Wasserstoff ist somit auch ein zentraler Rohstoff für die Nutzung von CO₂ (*Carbon Capture and Utilization – CCU*).

Standorte, Produktion und Kapazitäten der Ammoniaksynthese in Deutschland

Abbildung 12



Agora Energiewende und Wuppertal Institut (2019); UBA (2021); EU Transaction Log

Produktionskapazitäten sowie der mittleren spezifischen Emissionen der Industrie.

Die Wasserstoffproduktion auf der Basis von Erdgas generiert den überwiegenden Anteil der Treibhausgasemissionen bei der Herstellung von Ammoniak. Der benötigte Wasserstoff wird heute größtenteils bei der Dampfreformierung aus Erdgas und Wasser hergestellt. Dabei entstehen durch die Reaktion von Erdgas (CH₄) mit Wasserdampf (H₂O) prozessbedingte Emissionen von 1,3 Tonnen CO₂ pro Tonne Ammoniak. In diesem Verfahren wird der Wasserstoff schon im idealen Reaktionsgemisch mit Stickstoff (N₂) produziert, was seine Substitution durch erneuerbaren Wasserstoff ohne einen kompletten Neubau der Anlage stark limitiert.

Um die für die Dampfreformierung notwendigen Temperaturen von bis zu 500 Grad Celsius zu erzeugen, wird zudem ein Teil des Erdgases verbrannt und es entstehen energiebedingte Emissionen von 0,5 Tonnen CO₂ pro Tonne Ammoniak. Abbildung 13 visualisiert diese Zusammenhänge. In der Summe

ergeben sich spezifische Emissionen von etwa 1,8 Tonnen CO₂ pro Tonne Ammoniak. Indirekte Emissionen aus dem Stromverbrauch oder der Verwendung von ammoniakbasierten Düngemitteln in der Landwirtschaft werden dabei nicht betrachtet.

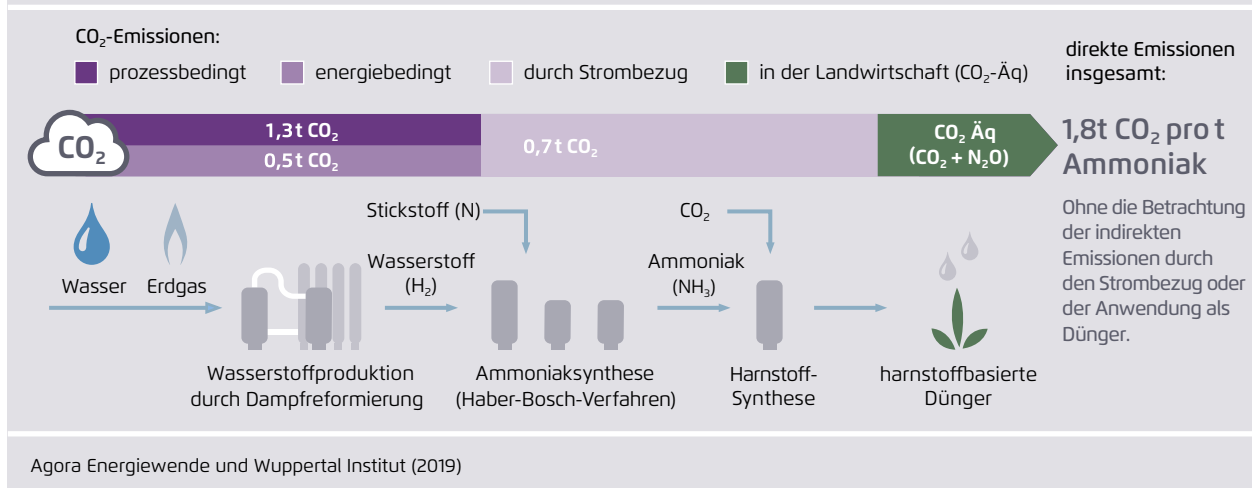
Alternativ zur Dampfreformierung für die Wasserstoffherstellung existiert das Verfahren der partiellen Oxidation, das in Deutschland aktuell nur bei einer Anlage zur Anwendung kommt. In diesem Verfahren können verschiedene Brennstoffe verwendet werden. Der für die Ammoniaksynthese benötigte Stickstoff kommt dabei aus einer Luftzerlegungsanlage. Unter anderem aus diesem Grund ist es möglich, in dieser Anlage einen hohen Anteil an erneuerbarem Wasserstoff zu verwenden.

Der Markt für Nachfrage und Angebot von Ammoniak steht vor einer tiefgreifenden Transformation.

Ein Großteil der heutigen Produktion wird für die Herstellung von stickstoffbasierten Düngemitteln verwendet. Für dieses Marktsegment geht man von einem sinkenden Bedarf aus. Im Gegenzug gibt es

Prozessschritte und CO₂-Emissionen der Ammoniaksynthese als Teil der Dünger-Wertschöpfungskette

Abbildung 13



eine Reihe von anderen Verwendungen mit signifikantem Wachstumspotenzial. Dabei steht Ammoniak vor allem als erneuerbarer Energieträger im Fokus der Diskussion. Falls dieser aus erneuerbarem Wasserstoff hergestellt wurde, stellt er selbst einen erneuerbaren Energieträger dar – zum Beispiel für die Verwendung als Treibstoff in der Schifffahrt. Wegen seiner höheren Energiedichte und Speicherbarkeit bietet Ammoniak Vorteile gegenüber einer direkten Wasserstoffverwendung. Für die Zukunft ist jedoch unklar, ob diese Anwendung auch zu einer Nachfrage der Produktion von erneuerbarem Ammoniak in Deutschland führt oder ob die heimische Produktion durch Importe aus dem Ausland verdrängt wird.

Für unsere Studie nehmen wir eine konstante Ammoniakproduktion von drei Millionen Tonnen im Jahr an. Somit gehen wir davon aus, dass ein steigendes Angebot an erneuerbarem Wasserstoff für die Ammoniakproduktion in Deutschland neue Verwendungen erschließen kann, um damit die schwingende Nachfrage aus der Düngemittelproduktion zu kompensieren.

Ammoniakanlagen sind ein idealer Anker für den Aufbau und systemdienlichen Betrieb erster Anlagen zur Wasserstoffelektrolyse; sie lassen sich aber nicht ohne Weiteres komplett dekarbonisieren. Die partielle Substitution von Wasserstoff aus fossilen Quellen durch erneuerbaren Wasserstoff ist in bestehenden Prozessen ohne relevante Investitionen möglich. Die zeitliche Flexibilität der Beimischung ermöglicht einen Bedarf an erneuerbarem Wasserstoff, der sich nach der Verfügbarkeit Erneuerbarer Energien richtet. In Anlagen, die mit einer Dampfreformierung arbeiten, ist dieser Anteil jedoch auf etwa 15 Prozent des gesamten Wasserstoffbedarfs beschränkt.¹⁷ Bei höheren Anteilen müsste auch Stickstoff aus einer Luftzerlegungsanlage zugeführt werden. Der komplette Umstieg auf erneuerbaren Wasserstoff und Stickstoff aus der Luftzerlegung ist deshalb mit einer Neuinvestition der gesamten Anlage gleichzusetzen. Eine solche Anlage benötigt dann eine Grundlastversorgung an Wasserstoff, wie sie auf der Basis der Erneuerbaren Energien heute noch nicht gegeben ist.

¹⁷ Dies ist eine generische Annahme. In der Praxis ist dieser Wert von vielen anlagenspezifischen Variablen abhängig und kann eventuell durch kleinere Investitionen optimiert werden.

Im Falle von Anlagen, die den benötigten Wasserstoff durch die partielle Oxidation von Erdgas produzieren, existiert bereits eine Anlage zur Luftzerlegung. Bei diesen Anlagen liegt der Anteil, der ohne signifikante Investitionen über erneuerbaren Wasserstoff gedeckt werden kann, bei etwa 50 Prozent. Ein höherer Anteil ist jedoch auch hier schwierig, da die partielle Oxidation als exothermer Prozess auch eine relevante Energiequelle für angegliederte Anlagen darstellt. Eine komplette Umstellung der Ammoniaksynthese ist auch hier auf eine Grundlastversorgung mit erneuerbarem Wasserstoff angewiesen und erfordert ebenfalls eine Neuinvestition der Anlage.

Darüber hinaus wird das CO₂, das heute in allen Anlagen in hoher Reinheit anfällt, zumindest teilweise als Rohstoff für die Herstellung von Harnstoff oder anderen Produkten verwendet. Im Rahmen einer vollständigen Substitution der Produktion von fossilem Wasserstoff müssten somit alternative CO₂-Quellen (möglichst aus erneuerbaren Ressourcen) erschlossen werden.

In einem ersten Transformationsschritt gehen wir von einer partiellen Substitution von fossilem durch erneuerbaren Wasserstoff aus, um den Aufbau einer systemdienlichen Wasserstoffwirtschaft zu fördern.

Da fossiler Wasserstoff in bestehenden Anlagen ohne größere Investitionen anteilig mit erneuerbarem Wasserstoff substituiert werden kann, eignet sich dieser erste Transformationsschritt als Anker für den Aufbau erster großer Elektrolysekapazitäten. Da die Kombination mit Wasserstoff aus fossilen Quellen eine variable Verwendung von erneuerbarem Wasserstoff erlaubt, kann dieser mit einer systemdienlichen Elektrolyse in Abhängigkeit der zeitlich variablen Strompreise und der CO₂-Intensität im Stromnetz hergestellt und verwendet werden. Im Mittel über alle in Deutschland arbeitenden Ammoniakanlagen gehen wir von einem Potenzial zur Substitution von bis zu 25 Prozent¹⁸ aus. Bei einem Wasserstoffkonsum von

18 Für Anlagen, die ihren Wasserstoff mit einer Dampfreformierung herstellen, nehmen wir eine

530.000 Tonnen im Jahr 2020 entspricht das einer potenziellen Nachfrage nach erneuerbarem Wasserstoff von 130.000 Tonnen, was zu einer Minderung der direkten CO₂-Emissionen um etwa 1,2 Millionen Tonnen CO₂ führen würde. Um in Stunden hinreichender Verfügbarkeit Erneuerbarer Energien die maximale Menge erneuerbaren Wasserstoffs beizumischen, müssen etwa 700 Megawatt Elektrolysekapazitäten bereitgestellt werden. Im Rahmen einer anfänglich noch beschränkten Verfügbarkeit von Erneuerbaren Energien hängt das Angebot von erneuerbarem Wasserstoff jedoch noch von der Volllaststundenzahl ab, mit der die Elektrolyse betrieben wird. Um das volle CO₂-Minderungspotenzial zu erschließen, muss eine zeitlich konstante und zuverlässige Wasserstoffversorgung sichergestellt werden. Dafür muss neben dem Ausbau der Erneuerbaren Energien auch die Infrastruktur für den regionalen Austausch und Transport sowie die Speicherung von Wasserstoff entwickelt werden. Zusätzlich kann die kurzfristige und übergangsweise Nutzung von CCS-basiertem Wasserstoff ein steigendes Angebot an erneuerbarem Wasserstoff absichern, um einen klimafreundlichen Grundlastbetrieb zu ermöglichen.¹⁹

Sobald eine Grundlastversorgung von klimafreundlichem Wasserstoff gewährleistet ist, können in einem zweiten Schritt bestehende Anlagen ersetzt und vollständig mit erneuerbarem Wasserstoff betrieben werden. Eine Übersicht der Produktionskosten pro Tonne Ammoniak für das Referenzverfahren, die Beimischung von erneuerbarem Wasserstoff

Substitution von 15 Prozent an. Für Anlagen, die mit der partiellen Oxidation arbeiten, nehmen wir 50 Prozent an.

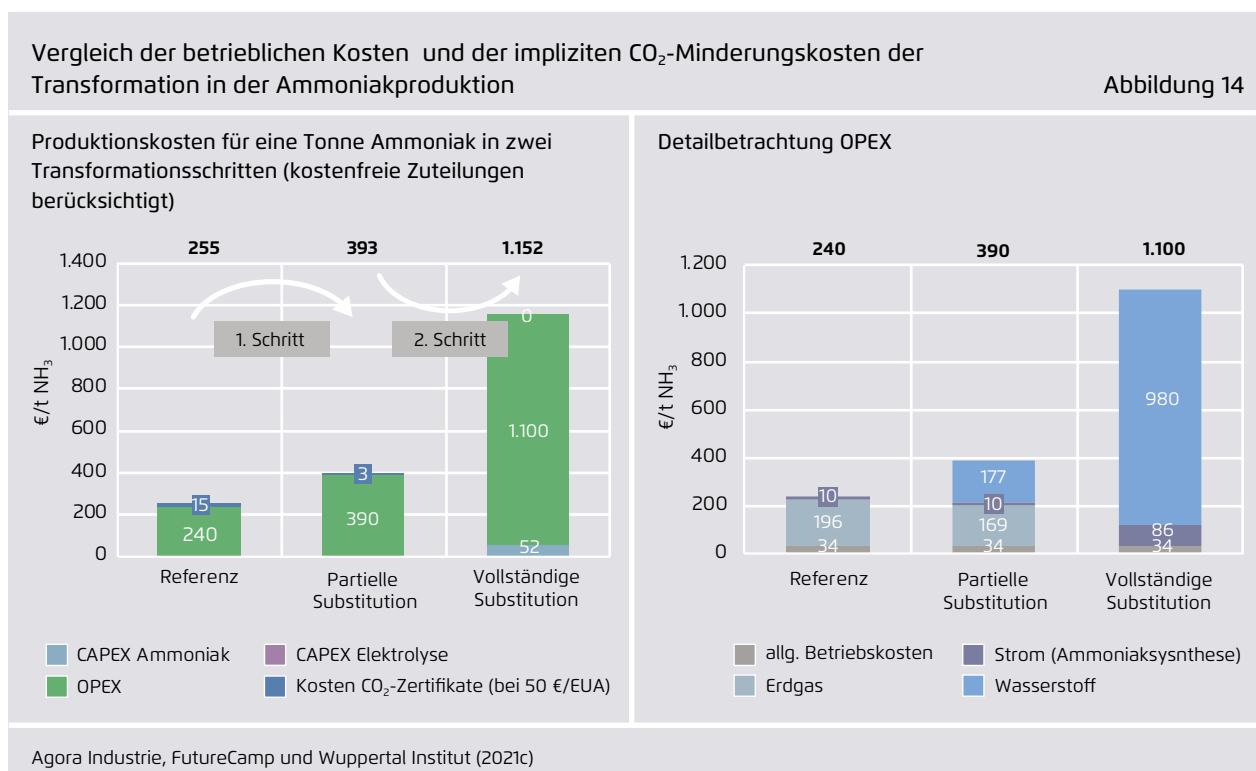
19 In Zeiten, in denen eine Elektrolyse aus Mangel an Erneuerbaren Energien nicht möglich ist, könnte CCS-basierter Wasserstoff von außen zugeführt werden, doch auch hier gilt die anlagenspezifische Grenze für den Ersatz von Wasserstoff aus der Dampfreformierung. Darüber hinaus kann auch das CO₂, das ohnehin bei der Dampfreformierung abgeschieden wird, dem CCS zugeführt werden, solange es keine sinnvolle Nutzung (CCU) dafür gibt.

(partielle Substitution) und die vollständige Substitution von fossilem durch erneuerbaren Wasserstoff (H₂ 100 Prozent) ist in Abbildung 14 dargestellt. Für das Referenzverfahren und die Beimischung wird davon ausgegangen, dass keine neuen Investitionen in der Anlage nötig sind. Somit fallen keine Kapitalkosten für zusätzliche Investitionsausgaben an. Im Falle der vollständigen Substitution werden jedoch der Neubau einer Anlage und somit signifikante Investitionen notwendig. Die hier präsentierten Zahlen gehen von einem externen Bezug von Wasserstoff zu einem Preis von 5,50 Euro pro Kilogramm aus. Somit werden nur Betriebskosten für den Einkauf von Wasserstoff, aber keine Investitionen für die Elektrolyse berücksichtigt.

Unter den getroffenen Annahmen ergeben sich Produktionskosten für das Referenzverfahren in Höhe von 255 Euro pro Tonne Ammoniak. Die Beimischung von 15 Prozent erneuerbarem Wasserstoff führt zu Mehrkosten in Höhe von 138 Euro pro Tonne Ammoniak. Im Rahmen der geltenden

EU-EHS-Regularien führt die partielle Substitution zu einem Abschmelzen der kostenfreien Zuteilungen, sodass über den EU-EHS auch bei hohen CO₂-Preisen nur ein geringer Anreiz für diese Transformation geschaffen wird.

Die Detailbetrachtung der Betriebskosten (OPEX) in Abbildung 14 zeigt, dass der Einkauf von erneuerbarem Wasserstoff die Mehrkosten der klimafreundlichen Ammoniakproduktion dominiert. Die angesetzten Kosten für erneuerbaren Wasserstoff in Höhe von 5,50 Euro pro Kilogramm entsprechen einer konservativen Annahme für das Jahr 2030 ohne die zu erwartende Kostenreduktion. Voraussetzung für die vollständige Substitution von fossilem durch erneuerbarem Wasserstoff ist jedoch ein effizienter Markthochlauf für die Produktion und Verwendung von erneuerbarem Wasserstoff als Grundlage für seine Kostenreduktion. Die dargestellten Produktionskosten in Höhe von 1.152 Euro pro Tonne Ammoniak stellen somit einen hypothetischen Fall dar. Um diese Kosten zu senken, ist eine zügige Umsetzung der



partiellen Substitution sinnvoll. Zunächst entsteht dadurch schnell eine Nachfrage, mit der die Technologien zur Produktion und Verwendung von erneuerbarem Wasserstoff skaliert werden können. Außerdem erlaubt die partielle Substitution eine zeitlich variable Verwendung von erneuerbarem Wasserstoff, was seine Produktion in Abhängigkeit der Verfügbarkeit von Erneuerbaren Energien möglich macht. Durch einen systemdienlichen Betrieb der Elektrolyse ergibt sich der maximale Nutzen für das Stromsystem, den Ausbau der Erneuerbaren Energien sowie die Gesamtklimabilanz.

In Abbildung 15 sind links die CO₂-Minderungskosten der beiden Technologien bei heutigen Wasserstoffkosten dargestellt. Die etwas geringeren CO₂-Minderungskosten für die vollständige Substitution von etwa 500 Euro pro Tonne CO₂ ergeben sich aus der verbesserten Energieeffizienz gegenüber

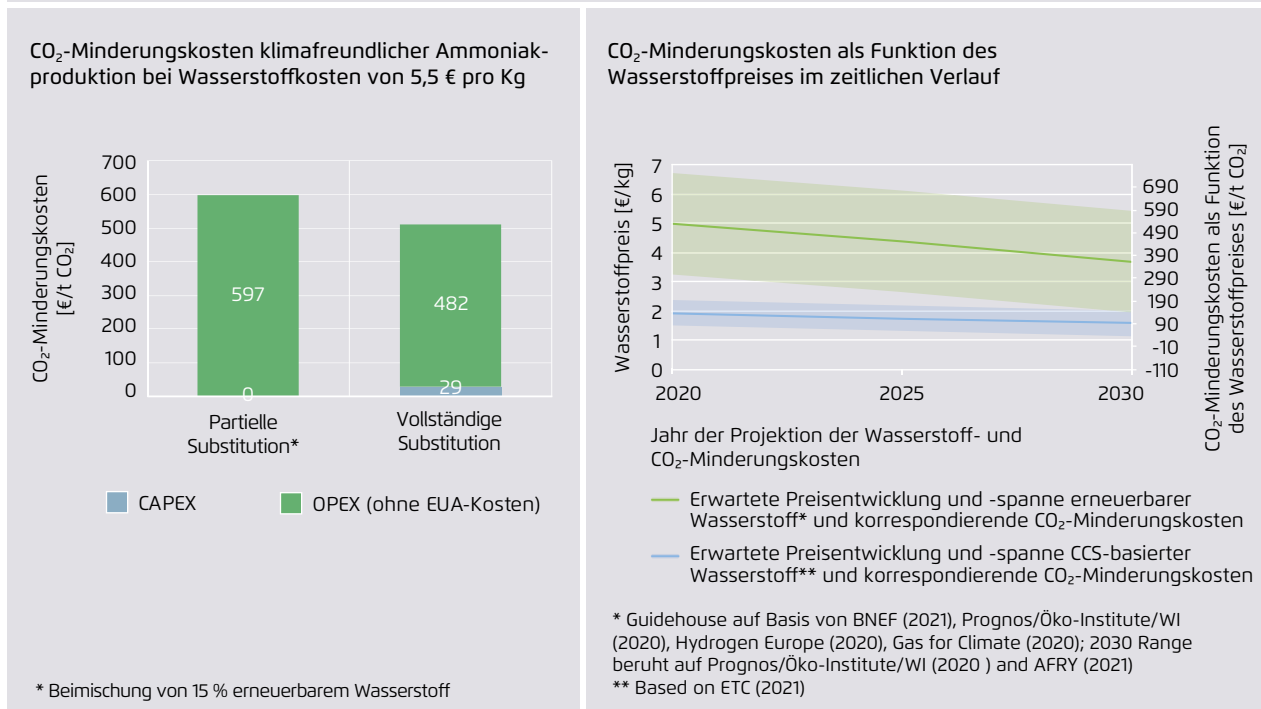
der kombinierten Nutzung von fossilem und erneuerbarem Wasserstoff.

Außerdem sind rechts die CO₂-Minderungskosten einer partiellen Substitution als Funktion der in der Zukunft zu erwartenden Wasserstoffpreise dargestellt. Die anfangs noch hohen CO₂-Minderungskosten in Höhe von etwa 600 Euro pro Tonne CO₂ können bis 2030 mit dem Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft signifikant sinken. Um diese Kostensenkung zu erreichen, ist es wichtig, den Aufbau der Wasserstoffinfrastruktur und die Transformation der Ammoniakbranche aufeinander abzustimmen und integriert zu betrachten.

Neben der Entwicklung einer Wasserstoffinfrastruktur zur Verringerung der Kosten für erneuerbaren Wasserstoff ist die Reform des EU-EHS entscheidend, um die Mehrkosten für die klimafreundliche

CO₂-Minderungskosten der Transformation in der Ammoniakproduktion und ihre Abhängigkeit von sinkenden Wasserstoffkosten

Abbildung 15



Agora Industrie, FutureCamp und Wuppertal Institut (2021c)

Produktion zu verringern. Ein erster Schritt in dieser Reform kann die Vergabe von äquivalenten kostenfreien Zuteilungen für alle Verfahren zur Herstellung von Ammoniak sein. Unter den derzeit geltenden Regularien zur Austauschbarkeit von Brennstoff und Strom (DEHSt 2019) führt eine Verwendung von Wasserstoff zum Verlust der kostenfreien Zuteilungen. In der Konsequenz sind die Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion vom CO₂-Marktpreis weitgehend unabhängig und müssen mit anderen Politikinstrumenten kompensiert werden.

Klimaschutzverträge sind ein geeignetes Instrument, um die heute bestehenden Mehrkosten zu kompensieren und schnell erste Anlagen für die partielle Verwendung von Wasserstoff zu nutzen.

Der Finanzbedarf für diesen ersten Schritt der Transformation der Ammoniakindustrie bis 2030 beträgt bis zu 6,6 Milliarden Euro, kann aber durch die Kombination mit weiteren Politikinstrumenten gesenkt und refinanziert werden. Dabei gehen wir von konservativen Annahmen für Wasserstoffkosten von 6 Euro pro Kilogramm im Jahre 2025 aus, die dann linear auf 5,40 Euro pro Kilogramm im Jahre 2030 fallen.

Die volle Transformation mit einem Aufbau von Neuanlagen, die mit 100 Prozent erneuerbarem Wasserstoff betrieben werden können, ist erst nach 2030 realistisch. Dabei ist davon auszugehen, dass die Kosten für erneuerbaren Wasserstoff bis dahin deutlich sinken werden. Außerdem erwarten wir eine Änderung der Regeln zur Vergabe von kostenfreien Zuteilungen schon ab 2025 und dann einen graduellen Abbau der kostenfreien Zuteilungen im Rahmen eines CBAM. Um eine vollständige Transformation dennoch unter den heute geltenden Rahmenbedingungen umzusetzen, müssten einerseits neue Anlagen zur Ammoniakproduktion im Wert von 1,5 Milliarden Euro aufgebaut werden. Zudem ergäben sich Mehrkosten für den Betrieb dieser Anlagen von circa 29 Milliarden Euro. Eine Alternative zu diesem unrealistischen Szenario wäre

die Transformation auf der Basis einer Kombination von erneuerbarem und CCS-basiertem Wasserstoff.

3.3 Die Transformation der Zementproduktion

Die Zementindustrie spielt eine zentrale Rolle auf dem Pfad zur Klimaneutralität. Mit einem Anteil von knapp drei Prozent der deutschen Emissionen bietet sie ein strategisches Minderungspotenzial. Um diese Emissionen trotz steigender Bautätigkeit zu reduzieren, muss die Nachfrage nach Zementklinker und Beton durch Substitution und Materialeffizienz gesenkt werden. Im Interesse der ökonomischen und ökologischen Effizienz müssen diese Strategien der Ressourceneffizienz bei der Definition von Politikinstrumenten im Mittelpunkt stehen.

Im Szenario der Studie *Klimaneutrales Deutschland 2045* (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut 2021), das in Abbildung 16 visualisiert ist, erlauben es die Strategien der Ressourceneffizienz, die Emissionen der Branche bis 2030 um ein Drittel zu mindern. Dabei handelt es sich um eine Vielzahl von Ansätzen wie zum Beispiel die Substitution von Beton durch Holzbau, die Reduktion des Klinkergehalts im Zement wie auch innovative Werkstoffe und Verarbeitungsformen. Um diese Strategien anzureizen, ist es wichtig, dass alle Ressourcen, die zur Produktion von Baustoffen verwendet werden, einer kohärenten CO₂-Bepreisung unterliegen und dass auch andere Kosten so internalisiert werden, dass Verzerrungen zwischen verschiedenen Strategien minimiert werden.

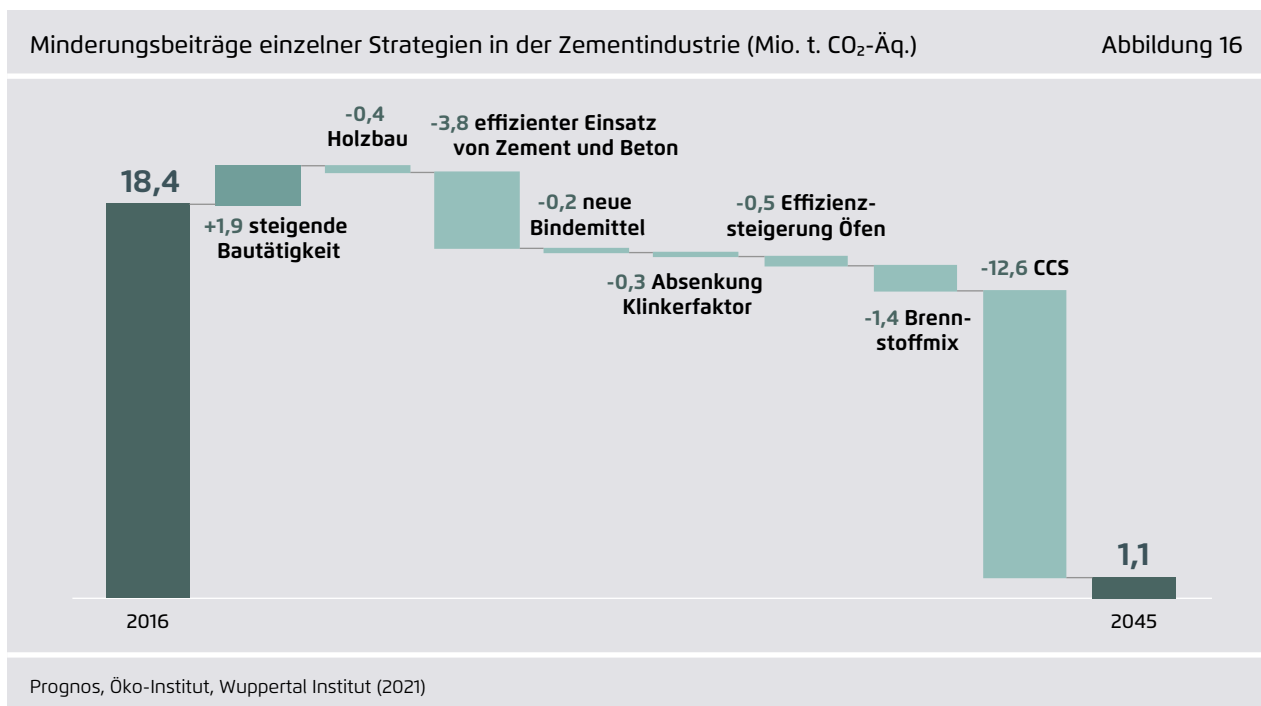
Trotz aller Maßnahmen ist abzusehen, dass Zement und Beton weiterhin unverzichtbare Werkstoffe bleiben werden. Deshalb ist es für die Klimaneutralität unserer Wirtschaft zentral, auch für die unvermeidbaren Prozessemissionen der Zementherstellung Lösungen zu finden. Nach heutigem Stand der Technik kommen dafür das *Carbon Capture and Storage* (CCS) und das *Carbon Capture and Utilization* (CCU) infrage. In beiden Fällen werden

CO₂-Emissionen aus der Produktion zunächst abgeschieden und dann, im Falle des CCS, in geologischen Lagerstätten gespeichert oder, im Falle des CCU, in Produkten dauerhaft gebunden. Die strategische Rolle von CCUS wird in einer Analyse zur Zementindustrie als Teil des Projekts *Klimaschutzverträge für die Industrietransformation* der Agora Energiewende eingehend erörtert. Die Ergebnisse dieser Arbeit werden in der Folge zusammengefasst (Agora Energiewende, FutureCamp, Wuppertal Institut, Ecologic Institut 2021b).

Der Aufbau oder die Nachrüstung von Anlagen zur CCS-basierten Zementproduktion mit einer Jahreskapazität von drei Millionen Tonnen Zementklinker noch vor 2030 kann die direkten Emissionen der Industrie um zwei Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr senken. Diese Maßnahme mindert zunächst nur zehn Prozent der gesamten Emissionen der Branche, bildet aber in der Kombination mit anderen Strategien der Ressourceneffizienz die Grundlage für einen Pfad zur Klimaneutralität bis 2045, wie in Abbildung 16 dargestellt.

CCS-Anlagen in der Zementindustrie stellen einen ersten Schritt zum Aufbau einer CCS-Infrastruktur und der nötigen regulatorischen Rahmenbedingungen dar. In Verbindung mit der Nutzung nachhaltiger biogener Brennstoffe kann die CCS-basierte Zementproduktion CO₂-Senkeneffekte generieren und das Klima entlasten. Durch eine geologische Speicherung der aus der Biomasseverbrennung entstehenden biogenen CO₂-Emissionen ergibt sich das *Bioenergy with Carbon Capture and Storage* (BECCS). Damit lässt sich eine CO₂-Senkenleistung erbringen, wie sie im Rahmen einer klimaneutralen Zukunft für die Kompensation von unvermeidbaren Emissionen aus anderen Aktivitäten notwendig sein wird.²⁰ Die synergetische Nutzung von CCS-Kapazitäten für BECCS optimiert die Auslastung der Anlage und senkt Kosten. Im Rahmen der Diskussion zur nachhaltigen Verwendung von Biomasse bietet sich die Zementindustrie als letzte Stufe in der ange-

20 Die Rolle von CO₂-Senkenleistungen für die Klimaneutralität wurde eingehend in der Studie *Klimaneutrales Deutschland 2045* diskutiert (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut 2021).



strebten Nutzungshierarchie an,²¹ denn sie birgt die Chance, biogene Reststoffe aus einer zunehmend biomassebasierten Wirtschaft effizient zu nutzen und den Kohlenstoff am Ende der Nutzungskaskade einer geologischen Speicherung zuzuführen.

Das Oxyfuel-Verfahren ist eine Technologie zur Abscheidung von CO₂, die schon vor 2030 großtechnisch eingesetzt werden kann.²² Die Industrie entwickelt bereits entsprechende Demonstrationsanlagen, doch nun müssen erste kommerzielle Projekte entwickelt werden, um diese Technologien noch vor 2030 für den großtechnischen Einsatz zu etablieren. Dadurch können Erfahrungen mit dem Aufbau und Betrieb der Anlagen und der Infrastruktur für den Transport und die Einlagerung oder die Verwendung von CO₂ gesammelt werden. Ein schneller Markthochlauf ist wichtig, um die technologische Entwicklung zu beschleunigen, die notwendige Infrastruktur aufzubauen und die regulatorischen Rahmenbedingungen zu entwickeln. Durch einen Aufbau erster Anlagen vor 2030 lassen sich Kosten reduzieren und der für die Klimaneutralität notwendige Einsatz nach 2030 strategisch vorbereiten.

Der Aufbau einer CCS-basierten Zementklinkerproduktion kann zunächst nur an logistisch vorteilhaften Standorten geschehen. Die Mehrkosten für den Aufbau oder die Nachrüstung wie auch den Betrieb einer Anlage mit Oxyfuel-Technologie sind im Vergleich zur Referenzanlage gering bis moderat. Signifikante Kosten fallen aber für den Abtransport und die geologische Lagerung des abgeschiedenen CO₂ an. In Deutschland geht man davon aus, dass CO₂ über Schiffe in Partnerländer wie Norwegen, Dänemark oder die Niederlande exportiert wird, um es dort in

geeigneten geologischen Lagerstätten zu verpressen. Für günstige Standorte, die mit dem Schiff erreicht werden können, betragen die entsprechenden Kosten etwa 36 Euro pro Tonne CO₂. Im Falle eines Transports über noch zu errichtende Pipelines könnten diese Kosten auf 24 Euro pro Tonne CO₂ fallen.²³

CCUS und BECCS in der Zementindustrie sind kosteneffiziente Strategien, um die unvermeidbaren Prozessemissionen der Klinkerproduktion zu mindern und darüber hinaus CO₂-Senkenleistungen zu schaffen. Im Rahmen der generellen Erwartung steigender CO₂-Preise gehen wir davon aus, dass sich diese Technologien nach 2030 ohne weitere Förderungen am Markt durchsetzen können. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es jedoch zentral, schon vor 2030 erste großtechnische Anlagen aufzubauen, um die angestrebte Transformation der Zementindustrie zu ermöglichen und BECCS als klimapositive Strategie zu etablieren.

Die Mehrkosten einer CCS-basierten Zementproduktion sind moderat und werden im Rahmen der geltenden EU-EHS-Regularien bereits durch äquivalente kostenfreie Zuteilungen gefördert. Die konventionelle Produktion von Zementklinker ist als günstigstes Standardverfahren preissetzend. Die Zusammensetzung der Kosten von etwa 41 Euro pro Tonne Zementklinker ist in Abbildung 17 visualisiert. Die Produktionskosten hängen von schwankenden Marktpreisen für Brennstoffe und Rohmehl aus Kalkstein ab. Wir gehen hier aber davon aus, dass für den weiteren Betrieb der Referenzanlage keine Investitionen notwendig werden. Da bei der Produktion einer Tonne Zementklinker etwa 0,8 Tonnen CO₂ frei werden, fallen CO₂-Kosten an. Aufgrund der kostenfreien Zuteilung von knapp 0,7 Emissionsberechtigungen pro Tonne Zementklinker sind diese Kosten jedoch gering.

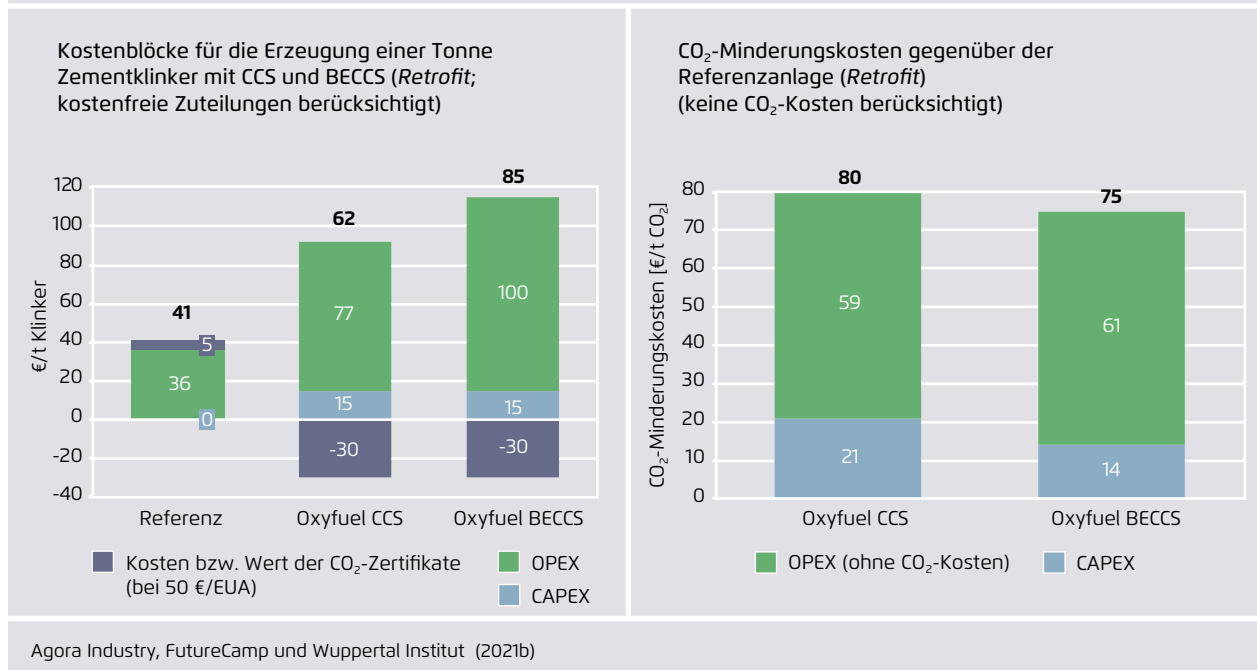
21 Im Rahmen des *Fit-for-55-Packages* strebt die EU-Kommission an, eine Nachhaltigkeitsstrategie für die Verwendung von Biomasse zu etablieren, um sicherzustellen, dass die wertstoffliche Nutzung gegenüber einer rein energetischen Nutzung priorisiert wird (COM 2021b).

22 Es existieren auch andere Ansätze, die in der Analyse zur Zementindustrie eingehender betrachtet wurden.

23 Diese Zahlen beruhen auf Werten von Durusut & Joos (2018), Rubin et al. (2015), und ZEP (2011).

Kostenblöcke für die Erzeugung einer Tonne Klinker für die betrachteten Verfahren unter Berücksichtigung der kostenfreien Zuteilung (Retrofit)

Abbildung 17



Für die Transformation zur Oxyfuel-CCS-basierten Zementklinkerproduktion fallen signifikant höhere Kosten an, die jedoch durch den Erhalt von kostenfreien Zuteilungen kompensiert werden. Ein erster Kostenfaktor sind die Kapitalkosten,²⁴ da die Nachrüstung der Anlage mit der Oxyfuel-Technologie finanziert werden muss. Darüber hinaus steigen die betrieblichen Kosten durch die Produktion von Sauerstoff für den Betrieb der Anlage. Außerdem entstehen Kosten für den Transport und die Speicherung des abgeschiedenen CO₂. Die Veräußerung der dem Referenzverfahren äquivalenten kostenfreien Zuteilungen können einen Teil der zusätzlichen Kosten decken. Ab einem CO₂-Marktpreis von etwa 80 Euro entsprechen diese Einnahmen den CO₂-Minderungskosten für eine Oxyfuel-CCS-

Anlage. Bei CO₂-Preisen über diesem Niveau wäre diese Technologie unter den hier getroffenen Annahmen somit wettbewerbsfähig.

Für die Verwendung von Biomasse als Brennstoff in der CCS-basierten Zementklinkerproduktion fallen nochmals höhere Kosten an, die trotz der daraus erwachsenden CO₂-Senkenleistung nicht durch kostenfreie Zuteilungen kompensiert werden. Eine Verwendung von Biomasse führt in der Regel zu höheren Brennstoffkosten. Außerdem kann das Volumen an biogenen CO₂-Emissionen im Vergleich zum Volumen der CO₂-Emissionen aus fossilen Brennstoffen größer sein. Im Falle der Verwendung von Holzhackschnitzeln lassen sich für jede Tonne an produziertem Zementklinker etwa 0,34 Tonnen biogenes CO₂ abscheiden und zusätzlich zu den Prozessemissionen der Klinkerproduktion geologisch einlagern. Um diese zusätzliche CO₂-Senkenleistung zu erreichen, ergeben sich auch höhere Kosten für den Transport und die Einlagerung des abgeschiedenen CO₂. Da diese Senkenleistung im

24 Diese ergeben sich durch die Notwendigkeit der Investition in neue Anlagen mit im Vergleich zur Referenztechnologie höheren Kosten und durch die Annualisierung mit einem marktüblichen Kapitalkostensatz von acht Prozent und einem Abschreibungszeitraum von zehn Jahren.

Rahmen des EU-EHS gegenwärtig nicht anerkannt wird, gibt es dafür keine entsprechenden Zuteilungen an Emissionsberechtigungen. Somit werden die höheren Kosten nicht kompensiert und es gibt keinen Anreiz für den klimapositiven Effekt einer BECCS-basierten Zementproduktion.

Der Aufbau und Betrieb einer CCS-basierten Zementklinkerproduktion muss durch Politikinstrumente abgesichert werden, bis ein steigender CO₂-Preis die Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion kompensieren kann. Da die Mehrkosten für den Aufbau von CCS-Anlagen vergleichsweise gering sind, muss der Fokus auf einer Kompensation der betrieblichen Mehrkosten und einer Absicherung der CO₂-Marktpreisrisiken liegen. Darüber hinaus müssen Regularien und Infrastruktur für den Transport und Export von CO₂ zur geologischen Lagerung oder aber die heimische Nutzung entwickelt werden. Zudem müssen geeignete Mechanismen zur Verifizierung und Förderung von CO₂-Senkenleistungen definiert werden. Klimaschutzverträge nach dem Modell der CCfDs sind ein geeignetes Instrument, um die Risiken der EU-EHS-Reform und der Schwankungen des CO₂-Marktpreises abzusichern und darüber hinaus die Mehrkosten einer klimaneutralen und klimapositiven Produktion zu kompensieren.

Der Finanzierungsbedarf zur Transformation der Zementindustrie bis 2030 ist gering und kann durch eine intelligente Ausgestaltung von Klimaschutzverträgen und ihrer Synergie mit anderen Politikinstrumenten gesenkt und in geeigneter Form refinanziert werden.

Für den Aufbau und die Ausrüstung von Anlagen zur CCS-basierten Produktion von Zementklinker mit einer Kapazität von drei Millionen Tonnen fallen Mehrkosten für Investitionen von etwa 250 Millionen Euro an. Da dieser Betrag im Vergleich zu den Mehrkosten beim Betrieb der CCS-Anlagen gering ist, wird er im Rahmen unserer Modellierung auf den

klimafreundlich produzierten Zement umgelegt.²⁵ Insgesamt ergeben sich dadurch CO₂-Minderungskosten von 80 Euro pro Tonne CO₂, wie in Abbildung 17 dargestellt. Aufgrund der geltenden Zuteilungsregelungen, die für die konventionelle und die CCS-basierte Zementklinkerproduktion äquivalente Zuteilungen vorsehen, kann der CO₂-Preis diese Mehrkosten direkt kompensieren. Ab einem CO₂-Marktpreis von 80 Euro pro Tonne CO₂ ist die CCS-basierte Zementklinkerproduktion somit ökonomisch attraktiver und kann das konventionelle Produkt verdrängen. Geht man von einem CO₂-Marktpreis aus, der ab dem Jahr 2025 von 59 Euro auf 90 Euro im Jahr 2040 steigt, ist die CCS-basierte Zementklinkerproduktion ab dem Jahr 2033 preissetzend. Man kann also davon ausgehen, dass Anlagen zur konventionellen Produktion in diesem Fall ebenfalls umrüsten oder aber vom Markt verdrängt werden.²⁶

In diesem Szenario sind die Mehrkosten vor dem Jahr 2030 mit unter 100 Millionen Euro ebenfalls gering und liegen unter den oben veranschlagten Mehrkosten für die Investitionen. Somit nimmt der Klimaschutzvertrag den erwarteten CO₂-Marktpreis vorweg und sichert dessen Schwankungen ab.

Über eine Förderung der betrieblichen Mehrkosten für den Betrieb der Anlagen mit nachhaltiger Biomasse oder biogenen Reststoffen können CO₂-Senkeneffekte von bis zu einer Million Tonnen CO₂ pro Jahr erzielt werden. Dieser zusätzliche Senkeneffekt kann über Klimaschutzverträge direkt finanziert und an den Staat abgetreten werden. Die Kosten dafür

25 Für die Annualisierung zur Umlage auf das Jahresproduktionsvolumen werden eine Abschreibungsdauer von zehn Jahren und ein Zinssatz von acht Prozent angenommen.

26 Hier muss hervorgehoben werden, dass die Mehrkosten für die CCS-basierte Zementproduktion sehr standortspezifisch sind. Ohne den Aufbau einer adäquaten Infrastruktur für den CO₂-Transport oder alternative Strategien der langfristigen CO₂-Verwendung wird die Transformation für Anlagen im Hinterland nicht möglich.

belaufen sich auf etwa 600 Millionen Euro pro Jahr. Als Alternative zum Klimaschutzvertrag könnten CO₂-Senkenzertifikate auch im EU-EHS anerkannt oder in einem gesonderten Markt gehandelt werden.

3.4 Überblick über die Transformation der Grundstoffindustrie

Mit der Novelle des Klimaschutzgesetzes hat sich Deutschland dazu verpflichtet, im Industriesektor bis 2030 circa 68 Millionen Tonnen CO₂ einzusparen. Die vorgestellten Technologien und Pfade zur CO₂-Minderung in der Primärproduktion von Stahl, Ammoniak und Zement können eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um insgesamt 26 Millionen Tonnen CO₂ beisteuern, müssen aber mit einer

strategischen Definition von Klimaschutzverträgen und anderen Politikinstrumenten abgesichert werden. Dabei müssen die politischen Rahmenbedingungen so definiert werden, dass neben der Transformation der betroffenen Industrieanlagen die übergreifenden Ziele der langfristigen Klimaneutralität und der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft verfolgt werden. Dazu gehört der Aufbau einer für die Klimaneutralität strategischen Infrastruktur und zukunftsweisender Produktionsverbünde mit anderen Sparten und Sektoren. Gleichzeitig müssen die Rahmenbedingungen für eine klimafreundliche Primärproduktion so definiert werden, dass Strategien und Produkte einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft ebenfalls gefördert werden. Ein weiterer zentraler Punkt besteht in der Forderung, dass die Transformation der Industrie zwar mit

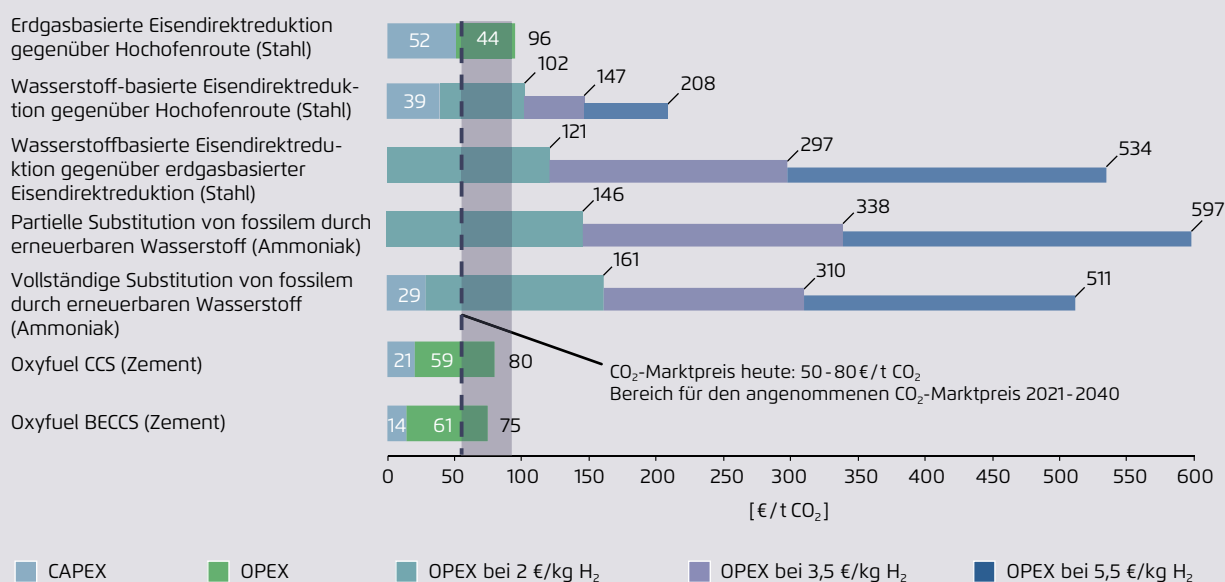
Überblick der Klimaschutzinvestitionen in der Produktion von Stahl, Zement und Ammoniak Tabelle 1

Produkt / Produktion (t p.a.)	Prozess	Potenzial CO ₂ -Minderung (Mt)	kostenfreie Zuteilung	Potenzial H ₂ -Bedarf (kt)	Elektrolysekapazität (GW)	Förderbedarf (Millionen €)	
						Opex	Capex
Stahl (11 Mt p.a.) [6–12 Anlagen]	Erdgas-DRI	13	nein	NA	–	–	8.000
	H ₂ -DRI	5	nein	flexibel bis zu 500 kt	2,7	27.000	–
Ammoniak (3 Mt p.a.) [6 Anlagen]	EE-H ₂ - (Drop-in)	1	nein	flexibel bis zu 130 kt	0,7	6.600	NA
	EE-H ₂ (pur)	(5)	nein	Grundlast (~530 kt)	(2,9)	(29.000)	(1.500)
Zement (3 Mt p.a.) [3–6 Anlagen]	CCS	2	ja	NA	–	100	–
	BECCS	1 (CO ₂ -Senke)	nein	NA	–	600	–
Gesamt (inkl. EE-H ₂ pur in der NH ₃ -Produktion) [15–24 Anlagen]	–	22 Mt (27 Mt)	–	bis zu 630 kt (1.030)	3,4 (5,6)	34.300 (56.700)	8.000 (9.500)

Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021)

CO₂-Minderungskosten von Klimaschutztechnologien im Vergleich zum erwarteten CO₂-Marktpreis

Abbildung 18



Anmerkung zu Kostenannahmen für erneuerbaren Wasserstoff:

Die CO₂-Minderungskosten in der Stahl- und Ammoniakbranche sind in großem Maße von den Kosten für erneuerbaren Wasserstoff abhängig. Für das Jahr 2025 gehen wir auf der Basis der Literatur noch von Kosten von 5,5 Euro pro Kilogramm erneuerbaren Wasserstoff aus. Je nach Ausgestaltung der Regeln und anderer Förderinstrumente für die Produktion von erneuerbarem Wasserstoff sind aber auch schon früh Preise von 3,5 Euro realistisch*. Langfristig sollen die Wasserstoffkosten auf bis zu 2 Euro pro Kilogramm fallen, was dann zu einer deutlichen Reduktion der CO₂-Minderungskosten führt.

* Eine detaillierte Betrachtung von Kriterien zur Förderung und zum systemdienlichen Betrieb von Anlagen zur Wasserstoffelektrolyse ist in Vorbereitung.

Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021)

geeigneten Politikinstrumenten angestoßen, dann aber in ein marktbasierendes System überführt wird.

Aus der Perspektive dieser übergeordneten Ziele stellt die Transformation der Grundstoffindustrie einen Anker für eine tiefgreifende Transformation der deutschen Wirtschaft dar. Als Grundlage für die weitere Diskussion dieser Ziele und ihrer Umsetzung ist die Transformation der hier analysierten Sparten in Tabelle 1 zusammengefasst. Die CO₂-Minderungskosten der untersuchten Technologien im Vergleich zum erwarteten CO₂-Marktpreis werden in Abbildung 18 visualisiert. Im Falle der

Technologien, die erneuerbaren Wasserstoff verwenden, sind die CO₂-Minderungskosten dabei als Funktion von drei beispielhaften Wasserstoffpreisen dargestellt. Aus dem Vergleich lässt sich ablesen, dass ein effizienter Rahmen und Markthochlauf für die Produktion von Wasserstoff die Kosten dieser Technologien maßgeblich bestimmt.

Der Vergleich der hier analysierten Sparten zeigt, dass jeweils signifikantes Potenzial für Klimaschutzinvestitionen vorhanden ist. Insgesamt müssen noch vor 2030 etwa 20 großtechnische Anlagen zur klimafreundlichen Produktion von Stahl, Ammoniak

und Zement transformiert werden. Die direkten zusätzlichen Investitionen im Vergleich zum Referenzszenario betragen etwa 8 Milliarden Euro und fallen für den Aufbau von Anlagen zur Eisendirektreduktion in der Stahlbranche an. Darüber hinaus entsteht durch den Bedarf der Stahl- und Ammoniakproduktion eine Nachfrage von bis zu 630.000 Tonnen an erneuerbarem Wasserstoff, für dessen Herstellung ein Minimum von 3,4 GW an neuen Elektrolysekapazitäten aufgebaut werden müssen. Die Investitionen dafür betragen weitere 1,7 Milliarden Euro. Um den Strom für diese Elektrolyseure zu generieren, sind Investitionen von weiteren 10 Milliarden Euro für den Aufbau von zusätzlichen Wind- und Solarkraftwerken zu veranschlagen. In unserem Szenario werden diese Investitionen über die Nachfrage nach erneuerbarem Wasserstoff finanziert. In der Kombination mit anderen Mehrkosten in der Produktion von Stahl und Ammoniak fallen dafür unter konservativen Annahmen betriebliche Mehrkosten von bis zu 32 Milliarden Euro an.

Im Unterschied zu wasserstoffbasierten Technologien sind die Kosten für den Aufbau und Betrieb von Anlagen zur CCUS-basierten Produktion von Zementklinker recht kostengünstig, was auch daran liegt, dass diese Anlagen mit kostenfreien Zuteilungen aus dem EU-EHS bedacht werden. In der Konsequenz ergibt sich für diese Technologie kein substantieller Förderbedarf, doch Klimaschutzverträge bleiben als Absicherungsinstrument auch hier relevant. Eine interessante Anwendungsvariante ergibt sich aus dem Betrieb von CCUS-Anlagen in der Zementindustrie mit nachhaltiger Biomasse oder biogenen Reststoffen als Brennstoff. Durch das Abscheiden und Einlagern von biogenem CO₂ ergibt sich ein klimapositiver Betrieb der Anlage. Da es für CO₂-Senken im EU-EHS keine Gutschriften gibt, müssten die Mehrkosten für diesen biomassebasierten Betrieb allerdings über den Klimaschutzvertrag kompensiert werden.

Aus diesem Vergleich wird ersichtlich, dass die Kosten von Klimaschutztechnologien in allen Bereichen zum Teil noch deutlich über den Kosten für die preissetzenden Referenztechnologien liegen. Zum einen führt die noch nicht existente Infrastruktur für CO₂ und Wasserstoff zu hohen Mehrkosten, zum anderen schaffen die derzeitigen Regularien zu kostenfreien Zuteilungen im Rahmen des EU-EHS im Falle von Stahl und Ammoniak keine geeigneten Anreize zur Transformation. Langfristig soll die Reform des EU-EHS einen effektiven CO₂-Preis für alle Branchen schaffen und der Aufbau einer Infrastruktur für Wasserstoff und CO₂ Mehrkosten senken. Dennoch sind für die Erreichung der Klimaziele kurzfristig industrielle Investitionen in Klimaschutztechnologien unumgänglich. Klimaschutzverträge können in der Transformationsphase Mehrkosten absichern, bis sich klimafreundliche Produkte am Markt etabliert haben.

Darüber hinaus bieten kurzfristige Investitionen in Klimaschutztechnologien die Möglichkeit, den Aufbau der Infrastruktur für Wasserstoff und CO₂ entscheidend zu unterstützen und damit die Kosten auch für andere Sektoren langfristig zu senken.

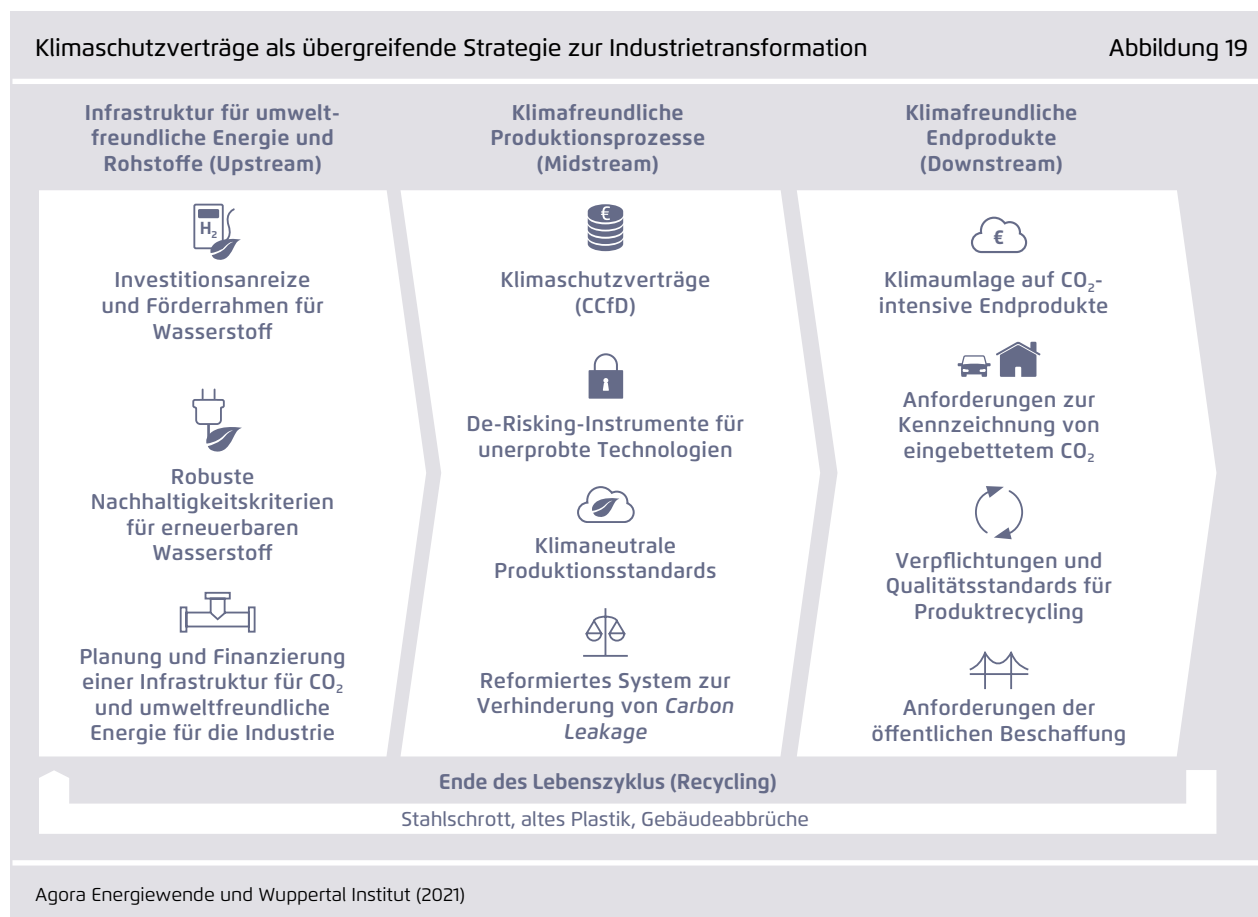
Die teilweise hohen Mehrkosten und die damit verbundenen Finanzierungsbedarfe für Klimaschutzverträge relativieren sich damit im Kontext des systemischen Nutzens. Klimaschutzverträge sollten stets darauf ausgelegt sein, Infrastruktur zu stärken und einen Markt für klimafreundliche Produkte zu etablieren.

4 Klimaschutzverträge als Instrument der Klimapolitik

Wie im vorhergehenden Kapitel dargelegt, ist ein schneller Einstieg in die Transformation der Grundstoffindustrie ein Schlüssel für die langfristige Klimaneutralität und Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Volkswirtschaft. Klimaschutzverträge sind ein strategisch wichtiges Instrument, um die dafür notwendigen Investitionen anzustoßen, müssen aber in Abstimmung mit einer umfassenden Reform der deutschen und europäischen Klima- und Industriepolitik einhergehen. Agora Energiewende und das Wuppertal Institut (2021) haben dafür das Konzept eines *Clean Industry Package* vorgeschlagen, in dem Klimaschutzverträge Teil einer übergreifenden

Strategie zur Industrietransformation sind, wie in Abbildung 19 visualisiert.

Klimaschutzverträge müssen dabei so konzipiert sein, dass sie den Aufbau der notwendigen Infrastruktur unterstützen – für Erneuerbare Energien, für Wasserstoff aus erneuerbarem Strom sowie für die Verwendung und geologische Lagerung von CO₂. Des Weiteren müssen sie mit anderen Instrumenten der CO₂-Bepreisung zusammengedacht und so refinanziert werden, dass auch andere Strategien – vor allem die Ansätze einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft über eine adäquate Bepreisung der



Produkte – gefördert werden. Dabei spielt die Definition einer geeigneten Strategie für den langfristigen Schutz vor *Carbon Leakage* eine zentrale Rolle, um Verzerrungen im Innen- oder Außenhandel zu vermeiden. Zu guter Letzt muss auch die marktgetriebene Nachfrage und Zahlungswilligkeit für klimafreundliche Produkte gefördert werden, damit diese sich als preissetzender Standard am Markt etablieren können. Das vorliegende Kapitel stellt das Konzept und die Ausgestaltung von Klimaschutzverträgen vor und analysiert ihre Wechselwirkungen mit bestehenden und zu erwartenden Rahmenbedingungen.

4.1 Das Konzept der Klimaschutzverträge: Ursprünge und heutige Debatte

Die Begriffe Klimaschutzvertrag und *Carbon Contract for Difference* sind mittlerweile feste Elemente klimapolitischer Diskussionen. Als Grundlage für die Ausgestaltung dieser Verträge ist es jedoch wichtig, diese Begriffe und die damit verbundenen Zielsetzungen zu definieren.

Das Konzept der *Carbon Contracts* wurde erstmals von Helm und Hepburn (2005) als Ergänzung zum Emissionshandel vorgeschlagen, um gezielt kapitalintensive Klimaschutzinvestitionen anzuregen. Das Instrument sieht vor, den Aufbau und Betrieb von klimafreundlichen Produktionsanlagen mit langfristigen Verträgen über die Zahlung von Zuschüssen zur Kompensation der Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion zu finanzieren. Diese Zahlung kann sich auf die daraus resultierenden und verifizierten Minderungen der CO₂-Emissionen beziehen.²⁷ Ein Argument für dieses Instrument war die Beobachtung, dass solche Investitionen sich nicht allein durch

den CO₂-Marktpreis im EU-EHS rechtfertigen lassen, da die daraus resultierenden CO₂-Preise zu gering, zu volatil und langfristig zu wenig vorhersehbar sind. Da die zukünftige Höhe und Volatilität der CO₂-Preise maßgeblich von der Politik beeinflusst werden, geht es dabei auch darum, diese Risiken an den Staat zu übertragen, da er die Macht hat, das regulatorische Umfeld zu definieren.

Ein weiteres Argument für die *Carbon Contracts* bestand in der Möglichkeit, solche Verträge auszusprechen und somit einerseits die Menge der angeregten Treibhausgasminderung über das Volumen der Ausschreibungen, andererseits die Kosten der Minderung über den Wettbewerb der Bieter zu bestimmen. Die Autoren gingen dabei davon aus, dass verschiedene Investoren mit unterschiedlichen Technologien an Ausschreibungen teilnehmen und somit ein hinreichender Wettbewerb sichergestellt werden kann.

Die akademische Debatte konzentrierte sich in der Folge auf das Zusammenspiel von *Carbon Contracts* mit dem Emissionshandel. Um die Absicherung von Marktrisiken für Anlagen im EU-EHS effizient umzusetzen, wurde das Konzept eines *Carbon Contract for Difference* (CCfD) vorgeschlagen. Dieser Vorschlag wurde erstmals von Richstein (2017) in die Diskussion gebracht und in der Folge von verschiedenen Autor:innen weiterentwickelt.²⁸ Im Unterschied zu *Carbon Contracts* decken CCfDs die Differenzkosten zwischen dem CO₂-Marktpreis und den effektiven CO₂-Minderungskosten eines Projekts ab. Indem diese Differenzkosten vergütet werden, sichert das Instrument die Investitionen gegen schwankende oder unzureichende CO₂-Marktpreise ab. Steigen die CO₂-Marktpreise auf ein Niveau, das über den CO₂-Minderungskosten des Projekts liegt, kommen

27 Die Treibhausgasminderungskosten werden hier als die auf die spezifische CO₂-Vermeidung bezogene Differenz der Produktionskosten zwischen Klimaschutzinvestition und einer konventionellen und CO₂-intensiven Referenzanlage definiert.

28 Relevante Studien wurden von Neuhoff et al. (2019), Sartor und Bataille (2019), Agora Energiewende (2019) sowie Acworth et al. (2020) publiziert.

die Zahlungen des CCfD entweder zum Erliegen oder der Zahlungsfluss kehrt sich um.²⁹

Die Debatte um das Konzept der Klimaschutzverträge hat sich seit den zuvor beschriebenen Anfängen im akademischen Kontext weiterentwickelt. Um den Anforderungen einer Transformation der Grundstoffindustrie in der Praxis gerecht zu werden, müssen

29 Es existieren relevante Argumente gegen eine Rückzahlung für den Fall, dass der CO₂-Marktpreis den Vertragspreis übersteigt. In diesem Fall wäre eine Produktion mit der Klimaschutztechnologie günstiger als mit einer Referenzanlage. Dadurch verlieren die Referenzkosten als Grundlage zur Berechnung des Vertragspreises ihre preissetzende Funktion und der Marktpreis für klimafreundliche Produkte sinkt durch die daraus erwachsenden marktgetriebenen Investitionen. Dieser Aspekt wird eingehend in Kapitel 6 diskutiert.

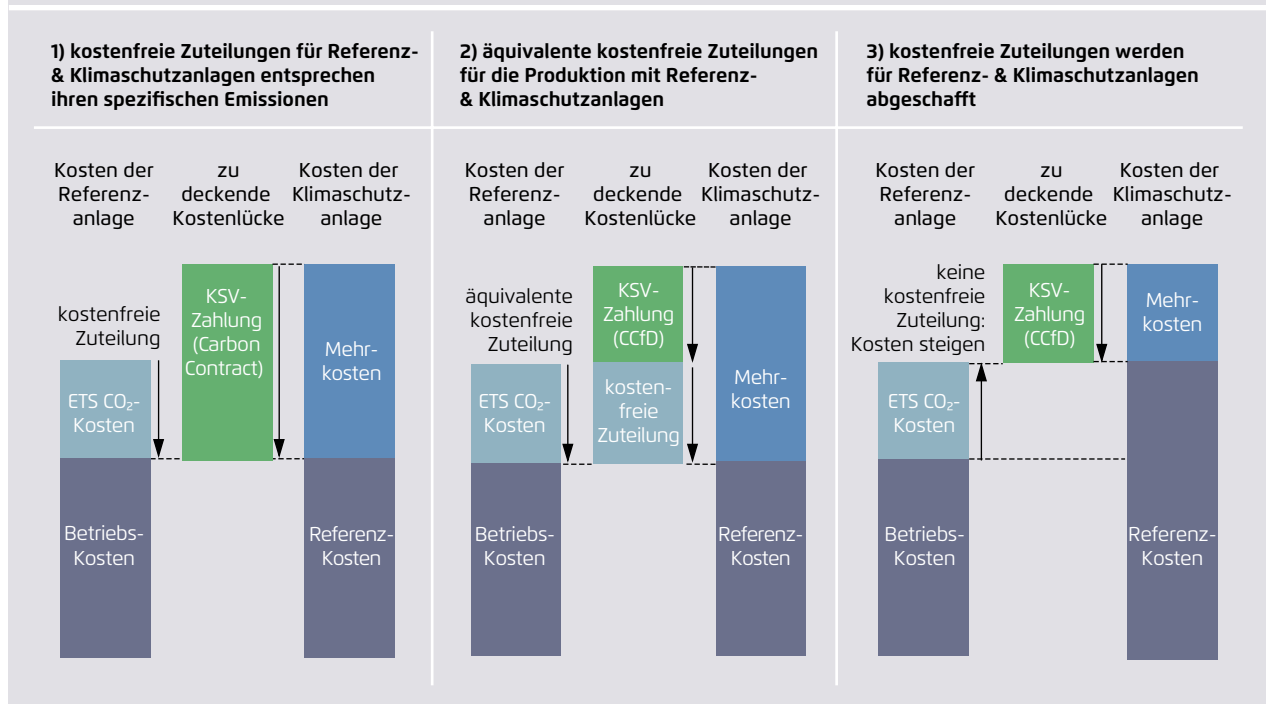
neben CO₂-Marktpreisrisiken erfahrungsgemäß auch andere verzerrende Effekte betrachtet werden. Zudem ist der EU-EHS nicht statisch, vielmehr verändern sich die Rahmenbedingungen im EU-EHS regelmäßig und tiefgreifend.

Wie in Kapitel 3 dargelegt, spielt der CO₂-Preis für die konventionelle Grundstoffindustrie gegenwärtig nur eine untergeordnete Rolle. Um diese Prozesse vor dem *Carbon-Leakage*-Risiko zu schützen, erhalten diese Anlagen eine kostenfreie Zuteilung an Emissionsberechtigungen, die einen Großteil ihres Bedarfs deckt.³⁰ Wie in Szenario 1 in Abbildung 20 dargestellt, senkt diese Zuteilung die Betriebskosten der Referenz-

30 Da sich der Benchmark für die Vergabe der kostenfreien Zuteilungen am Durchschnitt der zehn Prozent effizientesten Anlagen orientiert, ergibt sich für den Großteil der Anlagen im EU-EHS eine gewisse Unterdeckung.

Szenarien zur Ausgestaltung von Klimaschutzverträgen als Funktion verschiedener Regeln für kostenfreie Zuteilungen

Abbildung 20



Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021)

renzanlage auf das Niveau einer Anlage, die keinem oder einem sehr geringen effektiven CO₂-Preis unterliegt. Unter den gegenwärtigen Zuteilungsregeln kann aber nicht davon ausgegangen werden, dass eine Klimaschutzanlage für eine kostenfreie Zuteilung infrage kommt.³¹ Dementsprechend werden die Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion nicht durch die kostenfreie Zuteilung gemindert. In diesem Fall müsste ein Klimaschutzvertrag die vollen Mehrkosten für den Aufbau und Betrieb einer Klimaschutzanlage tragen, was dem Modell des *Carbon Contract* entspricht.

In Szenario 2 erhält auch die Klimaschutzanlage eine äquivalente kostenfreie Zuteilung, also eine Zuteilung in der gleichen Höhe, wie sie eine (entsprechend dimensionierte) Referenzanlage erhalten würde. Diese Situation ergibt sich, wenn die Zuteilung tatsächlich nur aufgrund des hergestellten Produkts ungeachtet der Herstellungsweise erfolgt. Für die hier untersuchten Technologien ist dies jedoch aktuell nur für CCS im Zementsektor eindeutig der Fall; weder Stahl aus Wasserstoffdirektreduktion noch Ammoniak, der mit erneuerbarem Wasserstoff hergestellt wird, würden sich unter den aktuellen Zuteilungsregeln für eine kostenfreie Zuteilung nach dem einschlägigen Benchmark für Rohstahl bzw. Ammoniak qualifizieren. Der Vorschlag der Kommission für die Revision der EU-EHS-Richtlinie sieht vor, dass die Zuteilung zukünftig ausschließlich produktbasiert und unabhängig von der Produktionsweise oder den eingesetzten Brennstoffen erfolgt und damit auch CO₂-arme oder CO₂-freie Herstellungsverfahren umfassen soll. In diesem Fall kann ein Teil der Mehrkosten der klimafreundlichen Produktion durch den Verkauf der kostenfreien Zuteilung finanziert werden. Somit lässt sich der Marktwert der erhaltenen Emissionsberechtigungen direkt auf die Mehrkosten anrechnen. Ein Klimaschutzvertrag nach dem Muster eines CCfD muss in diesem Fall nur die Differenz zwischen den spezifischen Minderungskosten der Technologie und dem

CO₂-Marktpreis tragen. Es ergibt sich jedoch auch eine Situation, in der sowohl die Referenztechnologie von CO₂-Kosten freigestellt als auch die Klimaschutztechnologie bis auf das Niveau der dadurch definierten Referenzkosten subventioniert wird. In der Konsequenz ergeben sich Nachteile für die Verwendung alternativer Rohstoffe oder die Strategien einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft.

In Szenario 3 werden kostenfreie Zuteilungen schließlich ganz abgeschafft, wie es der Kommissionsvorschlag für die Revision des EU-EHS im Gegenzug zu einer graduellen Einführung eines CBAM vorsieht. Dadurch steigert der CO₂-Preis unmittelbar die Kosten der Referenztechnologie, und die Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion fallen entsprechend. Somit lässt sich der Wert der vermiedenen CO₂-Emissionen (d. h. der CO₂-Preis) wiederum direkt auf die Mehrkosten anrechnen und ein Klimaschutzvertrag muss ebenfalls nur die Differenzkosten decken. Im Unterschied zu Szenario 2 bieten steigende Referenzkosten aber auch einen Vorteil für alternative CO₂-Minderungsstrategien und fördern eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft.

Wie diese erste Diskussion zeigt, müssen Klimaschutzverträge mit dem EU-EHS abgestimmt werden. Dabei müssen sie dynamisch an den jeweils gültigen regulatorischen Rahmen angepasst werden (Art und Umfang der kostenfreien Zuteilung wie auch der Instrumente zum Schutz vor *Carbon Leakage*), aber auch an andere Fördermechanismen und relevante Politikinstrumente.

Um eine Diskussion zur Ausgestaltung von Klimaschutzverträgen vorzubereiten, werden im nächsten Abschnitt Zweck und Rolle von Klimaschutzverträgen im Rahmen der deutschen und europäischen Industrie- und Klimapolitik eingehender definiert.

31 Mit Ausnahme von CCUS im Zementsektor gilt das für alle hier diskutierten Klimaschutztechnologien.

4.2 Ausgestaltung von Klimaschutzverträgen: Anforderungen und Ziele

Im Rahmen der Diskussion zur Transformation der Stahl-, Chemie- und Zementbranche und ihrer Rolle für die Klimaneutralität und Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie wurde eine Reihe von Chancen und Herausforderungen identifiziert. Um die Ausgestaltung von Klimaschutzverträgen adäquat diskutieren zu können, ist es hilfreich, zunächst die Chancen, Ziele und Anforderungen einer erfolgreichen Industrietransformation zu definieren.

1. Schneller Einstieg in die Industrietransformation als Beitrag zur langfristigen Klimaneutralität und Wettbewerbsfähigkeit der Industrie

Um den Zielen des europäischen und des deutschen Klimaschutzgesetzes für 2030 gerecht zu werden und die Chance auf Klimaneutralität bis 2045 (DE) beziehungsweise 2050 (EU) zu verwirklichen, ist schnelles Handeln erforderlich. Dies gilt besonders für die Industrie, deren Transformation durch lange Planungs- und Genehmigungsverfahren und Investitionszyklen gekennzeichnet ist – zumal es bei der Transformation nicht um den Austausch einzelner Anlagenbestandteile geht, sondern um den Umbau ganzer Wertschöpfungsketten. Die hohen Investitions- und Betriebskosten innovativer Klimaschutztechnologien in Kombination mit den geltenden CO₂-Preisen und Zuteilungsregeln bedeuten zudem, dass die nötigen Investitionen nicht marktgetrieben erfolgen werden – nicht im nötigen Umfang und nicht schnell genug. Zudem können Unternehmen die Mehrkosten solcher Technologien kaum an ihre Kunden weitergeben, da sie im internationalen Wettbewerb stehen und ihre Produkte wenig differenziert sind. Ohne geeignete Politikinstrumente zur Kompensation der Mehrkosten bei umgehend notwendigen Klimaschutzinvestitionen lassen sich die Klimaziele für 2030 aber nur über einen entsprechenden Verlust der Produktionskapazitäten und Arbeitsplätze erreichen.

Klimaschutzverträge erfüllen diesen Zweck und lösen so ein zentrales Problem einer Klimapolitik, die auf den CO₂-Preis als Leitinstrument setzt. Sie lassen sich schnell im bestehenden Rechtsrahmen umsetzen und können dringend anstehende Investitionen im Hinblick auf die zu erwartenden Reformen des EU-EHS und die vorgeschlagene Einführung eines CO₂-Grenzausgleichsmechanismus absichern. Zudem eliminiert das Instrument wirtschaftliche Risiken, die sich aus der Fluktuation des CO₂-Preises ergeben. So können Klimaschutzverträge durch die Unterstützung der Umstellung auf Klimaschutztechnologien signifikante CO₂-Emissionsminderungen anstoßen. Dabei müssen Klimaschutzverträge und ihre Refinanzierung so definiert sein, dass die Risiken, die sich aus der noch ungewissen Entwicklung des regulatorischen Rahmens für Unternehmen und die öffentliche Hand ergeben, effektiv gemindert werden.

2. Aufbau von Infrastruktur und klimafreundlichen Produktionsverbänden

Signifikante Emissionsminderungen in der Grundstoffindustrie setzen zwingend die entsprechende Infrastruktur voraus – ohne sie können viele Klimaschutztechnologien weder wirtschaftlich noch technisch zuverlässig betrieben werden. Der notwendige Ausbau der Erneuerbaren Energien und Stromnetze sowie der Aufbau von Elektrolysekapazitäten und einer systemdienlichen Produktion von erneuerbarem Wasserstoff kommen aber auch anderen Sektoren zugute. Darüber hinaus ist der Aufbau einer CO₂-Transportinfrastruktur für die Klimaneutralität insgesamt notwendig, um ansonsten unvermeidbare Emissionen zu mindern oder über BECCS zu kompensieren. Nicht zuletzt ergeben sich Chancen, innovative Produktionsverbände aufzubauen. Dies umfasst beispielsweise Synergien bei der Produktion und Verwendung von Sauerstoff, Biomasse, CO₂ und Abwärme.

Durch gezielte Ausgestaltung können Klimaschutzverträge dazu beitragen, solche Synergien zu hebeln. Um diese Ziele zu erreichen, muss das Element der

wettbewerblichen Ausschreibung zur Vergabe von Klimaschutzverträgen mit anderen Kriterien kombiniert werden. Dabei gilt es, eine angemessene Balance zwischen kurzfristiger Kostenoptimierung einerseits und dem Beitrag der Technologien zur langfristigen Klimaneutralität und Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft insgesamt andererseits zu finden. Dies gilt umso mehr, als die fraglichen Technologien sich noch im Markthochlauf befinden und ihre Wirtschaftlichkeit vom Ausbau der nötigen Infrastruktur abhängt – etwa von Erzeugung und Transport Erneuerbarer Energien, grünem Wasserstoff oder einer Infrastruktur zur CO₂-Speicherung.

3. Förderung einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft

Im Sinne der ökonomischen Effizienz und der Schonung natürlicher Ressourcen muss der Aufbau einer klimaneutralen Primärproduktion mit dem Umbau zu einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft einhergehen. Auch wenn der Bedarf an Grundstoffen hoch bleiben wird, muss die Transformation der Grundstoffindustrie auch Strategien zur Substitution energieintensiver beziehungsweise fossilbasierter Stoffe durch biobasierte Materialien, den effizienteren Einsatz von Materialien aller Art sowie das Schließen von Stoffkreisläufen (Recycling) umfassen. Eine direkte Förderung der klimaneutralen Primärproduktion muss daher so gestaltet sein, dass entsprechende Strategien für eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft nicht unterlaufen werden.

Um diese Nachteile zu vermeiden, müssen Klimaschutzverträge sowie die Reform des EU-EHS und seiner Instrumente zum *Carbon-Leakage*-Schutz so kombiniert werden, dass der CO₂-Preis bei Endverbraucherin und Endverbraucher ankommt: Nur daraus entsteht der Anreiz, auf CO₂-arme Alternativen umzusteigen. Gleichzeitig muss sichergestellt werden, dass Produkte aus der klimafreundlichen Primärproduktion nicht aufgrund der Förderung vergünstigt am Markt angeboten werden, da sonst andere CO₂-arme Alternativen benachteiligt werden. Mit diesem Ziel müssen Klimaschutzverträge und ihre Refinanzierung

eng mit der Entwicklung des EU-EHS und den Diskussionen zur Einführung eines Grenzausgleichsmechanismus abgestimmt werden.

4. Entwicklung grüner Leitmärkte und Definition klimaneutraler Produktstandards

Um dem Ziel der langfristigen Klimaneutralität zu entsprechen, müssen alle wirtschaftlichen Prozesse nahezu klimaneutral oder gar klimapositiv ausgerichtet werden. Die Tatsache, dass viele der für die Klimaneutralität notwendigen Technologien noch teurer sind als herkömmliche Alternativen und anfänglich gefördert werden müssen, ändert nichts an der Notwendigkeit, dass klimafreundliche Produkte sich mittelfristig als Standard am Markt etablieren müssen. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die Kosten dieser Technologien sinken: Dies kann durch die Skalierung der Klimaschutztechnologien und den Aufbau der dazugehörigen Infrastruktur geschehen. Des Weiteren müssen CO₂-Preise und andere externe Kosten zunehmend internalisiert werden. Auf dieser Basis muss ein Markt mit einer wachsenden Nachfrage und Zahlungswilligkeit für klimafreundliche Produkte geschaffen werden.

Klimaschutzverträge unterstützen den Aufbau grüner Leitmärkte, indem sie dabei helfen, ein verlässliches Angebot an klimafreundlichem Stahl, Baustoffen und Chemieprodukten zu schaffen. Um hieraus Leitmärkte für klimafreundlich hergestellte Materialien und Produkte zu schaffen und diese zunehmend als Standard zu etablieren, müssen Klimaschutzverträge mit nachfrageorientierten Instrumenten wie Standards und Zertifizierungssystemen oder einer auf Nachhaltigkeit ausgerichteten öffentlichen Beschaffung kombiniert werden. Zentrale Voraussetzungen hierfür sind eine verbindliche Definition der „grünen Eigenschaft“, klare Anrechnungsregeln für die CO₂-Minderung, eine entsprechende Berücksichtigung in den Klimaschutzverträgen sowie die Förderung der Nachfrage nach neuen Produkten wie „grünem Stahl“, „klimafreundlichem Zement“ und „erneuerbarem Ammoniak“.

5 Klimaschutzverträge im Regulierungsrahmen

Wie schon angeführt, erlauben Klimaschutzverträge den schnellen Einstieg in die Transformation der Industrie – auch um den Aufbau von klimafreundlichen Produktionsverbänden und der für die Klimaneutralität notwendigen Infrastruktur anzustoßen. Um die Transformation aber langfristig effizient und erfolgreich umzusetzen und gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie sicherzustellen, müssen Klimaschutzverträge in Synergie mit den anstehenden Reformen der europäischen Industrie- und Klimapolitik konzipiert werden. Im vorliegenden Kapitel werden grundlegende Aspekte des bestehenden und für die Zukunft erwarteten Regulierungsrahmens und ihre Wechselwirkungen mit Klimaschutzverträgen zusammengefasst.

5.1 Reform des EU-Emissionshandels und der Instrumente zum Schutz vor *Carbon Leakage*

Die EU hat sich mit dem Klimagesetz vom Juli 2021 verpflichtet, ihre Netto-Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 55 Prozent unter das Niveau von 1990 zu senken und bis spätestens 2050 klimaneutral zu werden (EU Parliament and Council 2021). Geeignete Maßnahmen für die Erreichung dieser Ziele hat die EU-Kommission am 14. Juli 2021 im *Fit-for-55-Package* vorgestellt (COM 2021b).

Ein zentrales Element ist die Reform des EU-Emissionshandelssystems (EU-EHS), das etwa 40 Prozent der Treibhausgas-Emissionen der EU abdeckt (COM 2021c) – darunter auch die der Grundstoffindustrie. Bislang war vereinbart, dass die Emissionen im EU-EHS bis zum Jahr 2030 im Vergleich zu 2005 um 43 Prozent fallen. Mit der Reform sollen die Emissionen nun um insgesamt 61 Prozent sinken. In der Konsequenz soll das Volumen der insgesamt zur Verfügung stehenden Emissionsberechtigungen

deutlich stärker sinken. Die jährliche Kürzung soll von 2,2 auf 4,2 Prozent angehoben werden.

Aus dieser Reform resultiert die Notwendigkeit, auch die Regularien zum Schutz der Industrie vor *Carbon Leakage* anzupassen. Das vorherrschende System der Vergabe kostenfreier Zuteilungen ist aus drei Gründen nicht mit der notwendigen Ambition vereinbar: Erstens führt eine langfristig nur leicht sinkende Vergabe kostenfreier Zuteilungen dazu, dass deren Anteil an den insgesamt zur Verfügung stehenden Emissionsberechtigungen schnell auf ein nicht nachhaltiges Niveau ansteigt.³² Zweitens wächst die bereits bestehende Benachteiligung klimafreundlicher Prozesse durch die kostenfreien Vergabe von Emissionsberechtigungen angesichts steigender CO₂-Preise weiter und stellt eine erhebliche Marktverzerrung dar. Und schließlich verhindert die Vergabe kostenfreier Zuteilungen die Lenkungswirkung des CO₂-Preises und dadurch eine Veränderung des Konsumverhaltens. Sie benachteiligt somit alternative Strategien der ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft.

Um diese Probleme anzugehen, schlägt die EU-Kommission eine Reihe von Reformen vor (COM 2021b). In einem ersten Schritt sollen die Regeln für die kostenfreie Zuteilung von Emissionsberechtigungen angepasst werden. Über die äquivalente und technologieunabhängige Vergabe soll die vorherrschende Benachteiligung von klimafreundlichen im Vergleich zu konventionellen Prozessen abgeschafft werden.³³ Wie in Abbildung 21 am Beispiel der

32 Optionen zur Lösung dieser Problematik wurden im Rahmen der Studie *Breakthrough Strategies for Climate-Neutral Industry in Europe* diskutiert (Agora Energiewende, Wuppertal Institut 2021).

33 Im Rahmen der geltenden EU-EHS-Regularien erhalten konventionelle und CO₂-intensive Produktionsverfahren in der Regel eine kostenfreie Zuteilung von Emissions-

erdgas- und wasserstoffbasierten Eisendirektreduktion dargestellt, erhalten diese Verfahren im Vergleich zur Hochofenroute eine nur verminderte kostenfreie Zuteilung. Diese Verzerrung kann kurz- oder gegebenenfalls auch langfristig durch Klimaschutzverträge kompensiert werden. Bei einer Umsetzung der von der EU-Kommission in Aussicht gestellten Reform kann man aber davon ausgehen, dass es zur Vergabe von äquivalenten kostenfreien Zuteilungen kommt, wie sie in Abbildung 21 ab dem Jahr 2025 angenommen wird.

In einem zweiten Schritt sollen die kostenfreien Zuteilungen für die Produktion von Aluminium, Eisen und Stahl, Zement und Düngemitteln ab 2026 über zehn Jahre linear abgebaut werden und 2035 auslaufen. In der Abbildung ist dieses Prinzip für Primärstahlprodukte dargestellt.

Im Gegenzug soll für den Import dieser Grundstoffe ein Grenzausgleichsmechanismus eingeführt werden, der auch als *Carbon Border Adjustment Mechanism* (CBAM) bezeichnet wird. Importeure müssten dann für die Einfuhr von definierten Grundstoffen sogenannte CBAM-Zertifikate kaufen. Die Kosten dieser Zertifikate sollen anhand der Preise der im Rahmen des EU-EHS regelmäßig durchgeführten Versteigerungen von Emissionsberechtigungen definiert werden. Wie in der Abbildung dargestellt, soll im Zeitraum von 2026 bis 2035 ein linear ansteigender Anteil der Treibhausgasemissionen, die bei der Produktion von importierten Grundstoffen im Ursprungsland entstanden sind, bepreist werden. So soll der CBAM den Nachteil der heimischen Produktion ausgleichen, die durch das Absenken der kosten-

freien Zuteilungen einem steigenden effektiven CO₂-Preis ausgesetzt ist.³⁴

Mit diesem Vorschlag hat die EU-Kommission ein klares Konzept für den in der vorliegenden Studie betrachteten Pfad zur Klimaneutralität der Produktion von Stahl, Zement und Ammoniak als Grundstoff der Düngemittelindustrie vorgelegt. Andere Branchen wie zum Beispiel die Produktion von organischen chemischen Grundstoffen, Kalk, Glas, Keramik sowie Zellstoff und Papier wären zunächst nicht von der Einführung eines CBAM betroffen und somit weiterhin vom *Carbon-Leakage*-Schutz durch die Vergabe kostenfreier Zuteilungen abhängig. Da auch diese Branchen für die Anwendung von Klimaschutzverträgen in Betracht gezogen werden können, bleibt auch diese Perspektive relevant.

Zudem wird der Prozess hin zum endgültigen Beschluss der im *Fit-for-55-Package* konzipierten Rechtsakte noch Jahre in Anspruch nehmen. Gerade für den CBAM bestehen rechtliche und politische Unsicherheiten und es ist nicht absehbar, für welche Branchen, wann und in welcher Form ein CBAM umgesetzt werden kann.

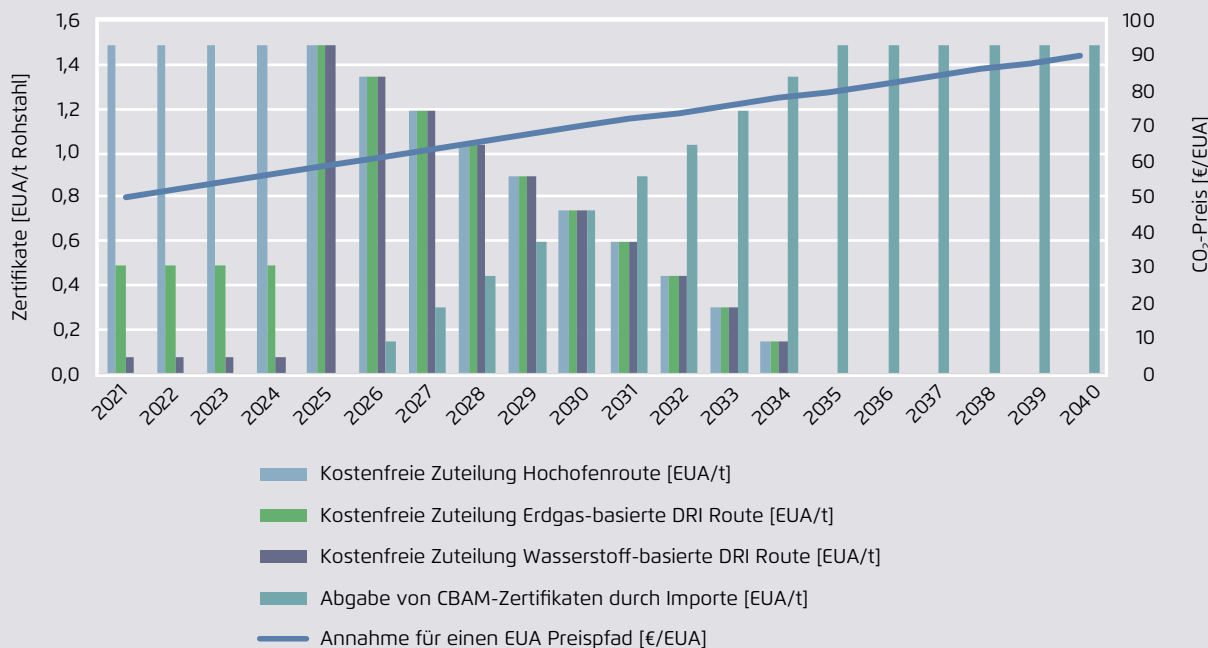
Der Einstieg in die Transformation der Grundstoffindustrie muss daher kurzfristig durch geeignete Klimaschutzverträge angestoßen und durch die gleichzeitige Reform der Rahmenbedingungen langfristig abgesichert werden. Dafür ist es notwendig, zunächst eine Umsetzung innerhalb der gegebenen Regularien anzustoßen. Die Verträge müssen dabei so konzipiert sein, dass sie mit einer Weiterentwicklung des *Carbon-Leakage*-Schutzes oder aber einem CBAM-Regime kompatibel bleibt.

rechten, die einen großen – wenn auch leicht sinkenden – Teil der benötigten Zertifikate abdeckt und damit die sonst zu zahlenden CO₂-Kosten kompensiert. Da klimafreundliche Alternativen diese kostenfreien Zuteilungen nicht erhalten, werden sie trotz geringerer Emissionen benachteiligt.

34 Durch den vorliegenden Vorschlag lassen sich Wettbewerbsnachteile für den Binnenmarkt prinzipiell vermeiden. Nachteile für den Export lassen sich so jedoch nicht ohne Weiteres kompensieren.

Umbau des *Carbon-Leakage*-Schutzes von kostenfreien Zuteilungen zum CBAM am Beispiel des Stahlsektors

Abbildung 21



Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021)

5.1.1 Klimaschutzverträge und Szenarien für den *Carbon-Leakage*-Schutz

Klimaschutzverträge sollen zum Ersatz bzw. zur Modernisierung von Produktionsanlagen führen, die heute dem Emissionshandel unterliegen. Im Resultat werden identische Produkte aus der Produktion mit klimafreundlichen und konventionellen Anlagen an den Markt kommen, die sich lediglich in Bezug auf die Kosten und CO₂-Emissionen ihrer Produktion unterscheiden. Klimaschutzverträge müssen deshalb so gestaltet werden, dass sie diesen Kostenunterschied kompensieren, gleichzeitig aber auch mit dem Emissionshandel kompatibel bleiben. Dazu müssen die Wechselwirkungen zwischen beiden Instrumenten diskutiert und optimiert werden. Perspektivisch werden Anpassungen im Emissionshandel notwendig sein.

Von herausragender Relevanz für diese Diskussion ist die Frage der kostenfreien Zuteilungen, da sie bestimmen, wie der CO₂-Marktpreis auf die relativen Kosten der relevanten Produktionsrouten wirkt. Dabei muss man davon ausgehen, dass das System der kostenfreien Zuteilungen so lange beibehalten wird, bis es durch einen CBAM³⁵ abgelöst werden kann.

Wie in Tabelle 2 zusammengefasst, ist die Ausgangslage dabei sehr technologiespezifisch. Unter den geltenden Regeln geht bei einem Umstieg von der Hochofenroute zur erdgas- oder wasserstoffbasierten Eisendirektreduktion ein Großteil der kostenfreien Zuteilungen verloren. Gleiches gilt für den

35 Eine Alternative wäre ein Abkommen über einen globalen CO₂-Preis zumindest für ausgewählte Sektoren, auf die sich relevante Handelspartner einigen könnten, um einen CBAM zu vermeiden.

Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff bei der Produktion von Ammoniak. Bei CCUS-basierten Anlagen bleiben jedoch bestehende Prozesse und somit die volle kostenfreie Zuteilung von Emissionszertifikaten erhalten.³⁶ Da im Rahmen einer erfolgreichen Abscheidung und Speicherung oder Verwendung des entstehenden CO₂ keine Kompensation der Emissionen gefordert wird, können diese kostenfreien Zuteilungen veräußert werden, um die Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion ganz oder teilweise zu decken.

Wie in Abbildung 20 bereits dargestellt, ergeben sich somit drei Szenarien, die auch langfristig relevant sind und die in Tabelle 2 zusammengefasst werden.

36 Das gilt auch für die Produktion und Verwendung von CCS-basiertem Wasserstoff.

Im Prinzip sind alle hier aufgeführten Szenarien langfristig denkbar. Die Szenarien 1 und 2 sind dann relevant, wenn sich ein CBAM nicht umsetzen lässt. In der Realität können die Szenarien ineinander übergehen. Möglicherweise können auch die heute schon bestehenden Unterschiede je nach Branche und Technologie bestehen bleiben. Es ergeben sich jedoch unterschiedliche Konsequenzen und Wechselwirkungen mit dem EU-EHS sowie mit Aspekten einer Refinanzierung.

Die drei skizzierten Szenarien werden nachfolgend im Hinblick auf verschiedene relevante Aspekte des Zusammenwirkens zwischen Klimaschutzverträgen und des *Carbon-Leakage*-Schutzes diskutiert und abschließend zusammengefasst.

Drei Szenarien zur Kombination von Klimaschutzverträgen mit der Vergabe kostenfreier Zuteilungen Tabelle 2

Szenario 1: Technologiespezifische kostenfreie Zuteilungen für Referenz- und Klimaschutzanlage

Die Referenztechnologie erhält technologiespezifische kostenfreie Zuteilungen, um sie vor *Carbon Leakage* zu schützen – die Klimaschutzanlage erhält aufgrund der geringeren technologiespezifischen Emissionen ein entsprechend geringeres Volumen an kostenfreien Zuteilungen. Die Referenzkosten einer konventionellen Produktion werden dadurch nicht oder nur in geringem Maße vom CO₂-Marktpreis beeinflusst. Somit werden auch die Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion nicht wesentlich durch den CO₂-Marktpreis gemindert und müssen nahezu vollständig kompensiert werden. In diesem Szenario entspricht der Klimaschutzvertrag einem *Carbon Contract*.

Szenario 2: Äquivalente kostenfreie Zuteilungen auf der Basis eines Produktbenchmarks

Klimaschutz- und Referenztechnologie erhalten äquivalente kostenfreie Zuteilungen, wie es zum Beispiel für CCUS-basierte Technologien schon heute der Fall ist. In diesem Fall muss ein Klimaschutzvertrag nur die Differenzkosten tragen, die über den CO₂-Marktpreis hinausgehen. Dadurch ergibt sich in diesem Szenario eine Ausgestaltung als CCfD.

Szenario 3: Wegfall äquivalenter kostenfreier Zuteilungen und Einführung eines CBAM

In diesem Fall erhalten klimafreundliche Technologien ebenfalls eine im Vergleich zur Referenztechnologie äquivalente kostenfreie Zuteilung. Auch hier muss der Klimaschutzvertrag nur die Differenzkosten zum CO₂-Marktpreis tragen. Es kommt aber auch zu einem raschen Abbau der kostenfreien Zuteilungen. Daraus ergibt sich einerseits eine Steigerung der Referenzkosten, andererseits aber auch ein steigendes Volumen an Emissionsberechtigungen, das für eine Versteigerung zur Verfügung steht.

Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021)

1. Anteil der kostenfreien Zuteilungen am Gesamtvolumen der Emissionsberechtigungen

Im Rahmen der neuen europäischen Klimaziele ist eine schnelle Absenkung der im EU-EHS insgesamt zur Verfügung stehenden Emissionsberechtigungen unumgänglich.³⁷ Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, auch das Volumen an kostenfreien Zuteilungen zu begrenzen, da ihr Anteil an den verfügbaren Emissionsberechtigungen ansonsten stetig wachsen würde. Unter den gegebenen Vorschriften erfolgt die kostenfreie Zuteilung auf der Grundlage von Benchmarks, die nach dem Top-Runner-Ansatz definiert werden. Dafür werden die spezifischen Emissionen der besten zehn Prozent aller Anlagen einer Kategorie in der EU gemittelt. Das Gesamtvolumen an kostenfreien Zuteilungen darf jedoch einen Anteil von 46 Prozent der insgesamt zur Verfügung stehenden Emissionsberechtigungen (einschließlich kostenfreier und versteigerter Zertifikate) nicht übersteigen, da ansonsten die kostenfreien Zuteilungen über alle Branchen hinweg mit einem *cross-sectoral correction factor* (CSCF) gekürzt werden. Unter den gegebenen Annahmen muss man davon ausgehen, dass diese Situation schon ab 2025 eintreten kann, was zu einem unvollständigen Schutz von Bestandsanlagen vor *Carbon Leakage* führen würde (Agora Energiewende, Wuppertal Institute 2021). Ein schnelles Absenken der kostenfreien Zuteilungen in Verbindung mit dem Aufbau eines CBAM kann diese Problematik lösen.

Für den Fall, dass sich ein CBAM nicht oder nur unvollständig umsetzen lässt, kann der *Carbon-Leakage*-Schutz für Referenz- und Klimaschutzanlagen auch über die Kombination von Klimaschutz-

verträgen und der Vergabe kostenfreier Emissionsberechtigungen erzielt werden. Tabelle 3 fasst die Optionen und ihre Auswirkungen auf den Anteil der kostenfreien Zuteilungen am Gesamtvolumen der Emissionsberechtigungen zusammen.

2. Auswirkungen auf den *Carbon-Leakage*-Schutz

Wie oben angeführt, können Klimaschutzverträge in der Ausgestaltung als *Carbon Contracts* (Szenario 1) die vollen Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion tragen und diese vor der Konkurrenz durch den Import oder die heimische Produktion von CO₂-intensiven Produkten schützen, solange diese keinem adäquaten CO₂-Preis unterliegen. Im Gegenzug wäre es somit möglich, den Betrieb mit verbleibenden konventionellen Anlagen noch so lange mit kostenfreien Zuteilungen auszustatten, bis auch sie auf klimafreundliche Prozesse umgestellt werden können. In der Konsequenz ergibt sich eine Konstellation, bei der der Betrieb von CO₂-intensiven Referenzanlagen auch bei hohen CO₂-Marktpreisen vor *Carbon Leakage* geschützt werden kann, bis auch diese Anlagen ersetzt werden, während eine klimafreundliche Produktion durch spezifisch konzipierte Klimaschutzverträge abgesichert wird.

In Szenario 2, bei dem Referenz- und Klimaschutzanlagen äquivalente kostenfreie Zuteilungen erhalten, ergeben sich folgende Konsequenzen: Zunächst fallen durch den nun effektiven CO₂-Preis die Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion und damit auch der Refinanzierungsbedarf für Klimaschutzverträge. Dabei spielt es für die zu finanzierenden Mehrkosten keine Rolle, in welcher Höhe der Benchmark für die Vergabe von kostenfreien Zuteilungen gesetzt wird. Solange es sich um eine äquivalente Vergabe handelt, gleicht sich die Veränderung bei den Referenzkosten einer konventionellen Produktion mit den Einnahmen aus dem Verkauf von überschüssigen kostenfreien Zuteilungen für die Klimaschutzanlage aus, wodurch die produktspezifischen Mehrkosten konstant bleiben. Aus der Sicht der Klimaschutzanlage kann das Volumen an kostenfreien Zuteilungen somit graduell und äquivalent abgebaut werden, um

37 Die EU-Kommission schlägt eine einmalige Anpassung der Obergrenze für das EU-EHS vor, wodurch die Menge der 2023/24 ausgegebenen Emissionsrechte um etwa 120 Millionen Zertifikate verringert wird. Zudem soll der linear reduction factor (LRF) von 2,2 auf 4,2 Prozent pro Jahr angepasst werden. Darüber hinaus soll das Volumen der Emissionsrechte in der Marktstabilitätsreserve ab 2023 durch die Stilllegung überschüssiger Zertifikate auf 400 Millionen begrenzt werden (COM 2021a).

Auswirkungen der drei Szenarien einer Kombination von Klimaschutzverträgen mit der Vergabe kostenfreier Zuteilungen auf ihren Anteil am Gesamtvolumen der Emissionsberechtigungen	Tabelle 3
Szenario 1: Technologiespezifische kostenfreie Zuteilungen für Referenz- und Klimaschutzanlage	
Da nur Referenzanlagen kostenfreie Zuteilungen erhalten, müssen zwar die vollen Mehrkosten der klimafreundlichen Produktion über den Klimaschutzvertrag getragen werden, doch das Gesamtvolumen an kostenfreien Zuteilungen sinkt im Zuge der Substitution der Referenz- durch Klimaschutzanlagen.	
Szenario 2: Äquivalente kostenfreie Zuteilungen auf der Basis eines Produktbenchmarks	
In diesem Falle werden kostenfreie Zuteilungen an Klimaschutz- und Referenzanlagen vergeben. Das senkt zwar die Kosten für Klimaschutzverträge, erlaubt aber keine direkte Absenkung des Gesamtvolumens an kostenfreien Zuteilungen.	
Szenario 3: Wegfall äquivalenter kostenfreier Zuteilungen und Einführung eines CBAM	
Auf der Basis der Vorschläge der EU-Kommission erlaubt dieses Szenario, die Vergabe von äquivalenten kostenfreien Zuteilungen im ersten Schritt mit einem über zehn Jahre linear sinkenden Volumen an kostenfreien Zuteilungen zu verbinden. Dadurch bleibt der Anteil der kostenfreien Zuteilungen am gesamten Volumen der Emissionsberechtigungen moderat und sinkt im Jahr 2035 auf null.	
Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021)	

so ihren Anteil am gesamten Volumen der Emissionsberechtigungen im EU-EHS zu senken. Dafür stehen zwei Strategien zur Debatte:

a) Eine Verschärfung der Benchmarks zur Vergabe von kostenfreien Zuteilungen

Nach heutigem Stand sollten Benchmarks zur Vergabe von kostenfreien Zuteilungen im Prinzip produktspezifisch und unabhängig von Spezifitäten des Produktionsverfahrens sein. In der Praxis werden Benchmarks aber oft technologie- oder brennstoffspezifisch definiert, was dazu führt, dass sich die Zuteilungen für Referenz- und Klimaschutztechnologien unterscheiden. Um dieses Problem zu lösen, fordert die EU-Kommission,³⁸ die Regularien so anzupassen, dass kostenfreie Zuteilungen konsequent produktspezifisch definiert werden. So soll die bestehende Benachteiligung von klimafreundlichen Alternativen eliminiert werden. Darüber hinaus sollen Benchmarks

zumindest für Sektoren, die keinem CBAM unterliegen, weiterhin auf der Basis des Top-Runner-Ansatzes definiert werden.³⁹ Durch den technischen Vorsprung ergibt sich dadurch eine Absenkung der kostenfreien Zuteilungen, die bislang auf bis zu 1,6 Prozent pro Jahr beschränkt waren. Diese Reduktionsobergrenze soll nun auf 2,5 Prozent angepasst werden.

Es stellt sich die Frage, ob Klimaschutzanlagen mit ihren geringen spezifischen Emissionen in der Zukunft bei der Bestimmung der produktspezifischen Benchmarks in die Betrachtung einfließen sollen. Wäre das der Fall, so würden diese Anlagen zur Berechnung des Durchschnitts der (10 Prozent) effizientesten Anlagen beitragen. In der Konse-

38 vgl. Art. 2, 10a and Annex I in COM (2021a)

39 Darüber hinaus müssen diese Branchen die Verpflichtungen zur Durchführung von Energieaudits aus Art. 8 Abs. 4 der Energieeffizienz-Richtlinie (EED) umsetzen, um eine zusätzliche Kürzung der kostenfreien Zuteilungen um 25 Prozent zu vermeiden.

quenz würden die Benchmarks jedes Jahr um die maximal möglichen 2,5 Prozent fallen.⁴⁰ Da diese Anlagen aufgrund ihrer Förderung durch Klimaschutzverträge nicht rein marktgetrieben sind, wäre es jedoch vertretbar, sie für die Berechnung des Benchmarks zu vernachlässigen.

b) Anpassung der kostenfreien Zuteilungen mit dem sektorübergreifenden Korrekturfaktor (CSCF)

In diesem Fall werden kostenfreie Zuteilungen über alle Sektoren hinweg gekürzt, um sicherzustellen, dass der Anteil der kostenfreien Zuteilungen einen Anteil von 46 Prozent der insgesamt von 2021 bis 2030 zur Verfügung stehenden Emissionsberechtigungen nicht übersteigt. Die langfristige Vergabe an kostenfreien Zuteilungen auch an Klimaschutztechnologien hätte somit branchenübergreifende Auswirkungen.

Auf der Basis der hier aufgeführten Mechanismen kann zwar der Anteil der kostenfreien Zuteilungen am Gesamtvolumen der im EU-EHS zur Verfügung stehenden Emissionsberechtigungen limitiert werden, es ergeben sich aber signifikante Konsequenzen für die Wettbewerbsfähigkeit der Referenztechnologie. Fällt der Benchmark zur Vergabe von kostenfreien Zuteilungen deutlich unter die spezifischen Emissionen einer Anlage, so steigen die Referenzkosten und es entsteht die Gefahr des *Carbon Leakage*.

In Szenario 3 wird dieses Problem gelöst, da zwar Klimaschutz- und Referenzanlage eine äquivalente kostenfreie Zuteilung erhalten, diese aber ab 2026 um je zehn Prozent pro Jahr absinken und schließlich ab 2035 auf null fallen. Dadurch steigen die Referenzkosten der konventionellen Produktion, doch ihre Wettbewerbsfähigkeit auf dem europäischen Markt wird durch eine entsprechend ansteigende Grenzausgleichsabgabe für äquivalente Importprodukte sichergestellt. Allerdings kann der CBAM in der heute diskutierten Variante nicht den

Verlust der Wettbewerbsfähigkeit kompensieren, der sich aus den steigenden Referenzkosten im Außenhandel ergibt. Die Konsequenz ist ein Nachteil für den Export von Produkten, die mit der Referenz-, aber auch der Klimaschutztechnologie produziert wurden.⁴¹

Klimaschutzverträge in der Ausgestaltung als *Carbon Contract* wären eine Alternative, um diese Problematik in Branchen zu entschärfen, in denen sich kein CBAM umsetzen lässt, wie im Folgenden ausgeführt werden soll.

3. Wechselwirkungen mit dem Preisgefüge im EU-EHS

Das Instrument der Klimaschutzverträge zur Förderung der Transformation von Anlagen, die dem EU-EHS unterliegen, beeinflusst die relativen CO₂-Minderungskosten im Marktgefüge und wirkt unter Umständen preissenkend. Durch die Förderung entsteht ein gesteigertes Angebot an den von der Industrie ungenutzten Emissionsberechtigungen, was ohne Anpassungen aufgrund des Wasserbetteffekts zu einer entsprechenden Steigerung der Emissionen in anderen Sektoren und Ländern der EU führen kann. Hier macht es Sinn, die drei genannten Szenarien in Tabelle 4 zu vergleichen. Dabei wird klar, dass Klimaschutzverträge in jedem Fall eine Auswirkung auf das Preisgefüge im EU-ETS haben. Um eine schnelle Einführung von Klimaschutzverträgen nicht zu behindern und mit dem Ziel, über eine Emissionsminderung hinaus die Technologieentwicklung und den Aufbau von Infrastruktur anzuschieben, ist es anfangs gegebenenfalls vertretbar, diese Wechselwirkungen auf der Basis einer Abschätzung von Kosten und Nutzen zu tolerieren. Um Klimaschutzverträge aber langfristig effizient anzuwenden, ist eine

40 Nach den gegebenen Regularien würde diese Anpassung alle 5 Jahre in akkumulierten Sprüngen umgesetzt.

41 Damit ein Klimaschutzvertrag die vollen Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion auch für den Export tragen kann, müssten diese sich an den Referenzkosten einer Produktion ohne die Internalisierung der CO₂-Kosten ausrichten. Es ergäbe sich wiederum ein *Carbon Contract* wie in Szenario 1.

Auswirkungen der drei Szenarien einer Kombination von Klimaschutzverträgen mit der Vergabe kostenfreier Zuteilungen auf das Preisgefüge im EU-EHS

Tabelle 4

Szenario 1: Technologiespezifische kostenfreie Zuteilungen für Referenz- und Klimaschutzanlage

Das Volumen an kostenfreien Zuteilungen sinkt in dem Maße, in dem konventionelle Produktionskapazitäten abgebaut und klimafreundliche Anlagen aufgebaut werden. Unter den geltenden Richtlinien gehen nicht benötigte kostenfreie Zuteilungen zur Versteigerung an die EU-Mitgliedsstaaten. Durch ihre Versteigerung ergeben sich Mehreinnahmen, die Emissionsberechtigungen fließen jedoch wieder in den Markt, und es kommt zu sinkenden CO₂-Marktpreisen und einem Wasserbetteffekt.⁴²

Szenario 2: Äquivalente kostenfreie Zuteilungen auf der Basis eines Produktbenchmarks

In diesem Fall erhalten klimafreundliche Produktionsanlagen kostenfreie Zuteilungen, die sie am Markt veräußern, um mit den Einnahmen einen Teil ihrer Mehrkosten zu decken. Auf diesem Wege fließen die Emissionsberechtigungen wieder in den Markt und es kommt unter Umständen zu sinkenden CO₂-Marktpreisen und einem Wasserbetteffekt. In diesem Szenario ist es jedoch möglich, den Klimaschutzvertrag so auszugestalten, dass die kostenfreien Zuteilungen im Gegenzug zur Zahlung der vollen Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion an die öffentliche Hand abgetreten werden. Somit hätten Mitgliedsstaaten die Möglichkeit, diese Emissionsberechtigungen stillzulegen oder zur Kompensation von Emissionen in den Sektoren des *Effort Sharing* zu nutzen.

Szenario 3: Wegfall äquivalenter kostenfreier Zuteilungen und Einführung eines CBAM

In diesem Fall kommen kostenfreie Zuteilungen an Klimaschutzanlagen ebenfalls wieder an den Markt, wenngleich das Volumen im Laufe der Zeit linear auf null absinkt. Darüber hinaus sinkt in diesem Szenario aber auch die Nachfrage nach Emissionsberechtigungen in dem Maße, in dem konventionelle durch klimafreundliche Produktion ersetzt wird. Somit muss auch in diesem Fall die über den Klimaschutzvertrag geförderte Minderung der CO₂-Emissionen bei der Definition der insgesamt zur Verfügung gestellten Emissionsberechtigungen betrachtet werden, um einen Wasserbetteffekt zu vermeiden.

Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021)

geeignete Abstimmung mit den Regularien des EU-EHS unabdingbar.⁴²

Analog der Diskussion zur Stilllegung von Zertifikaten im Falle nationaler Kohleausstiege wäre es denkbar, in Höhe der eingesparten Emissionen Zertifikate stillzulegen. Andererseits ließe sich auch

⁴² Unter Umständen kommt es zu Wechselwirkungen mit der Marktstabilitätsreserve, sodass ein Teil der überschüssigen Emissionsrechte dem Markt wieder entnommen wird. Angesichts der in Zukunft voraussichtlich knappen Mengen an Zertifikaten ist jedoch nicht davon auszugehen, dass dieser Effekt signifikant sein wird.

sicherstellen, dass der Reduktionspfad und die Klimaziele politisch so definiert werden, dass der Effekt von Klimaschutzverträgen entsprechend abgebildet ist.

4. Auswirkungen auf die relativen Kosten verschiedener Produkte und Minderungsstrategien

Wie bereits dargelegt, beeinflussen der CO₂-Marktpreis und die Vergabe von kostenfreien Zuteilungen die relativen Kosten von konventionellen und klimafreundlichen Produkten. Damit entscheiden diese Instrumente auch über die Attraktivität von alternativen Strategien der Substitution, Materialeffizienz

Auswirkungen der drei Szenarien einer Kombination von Klimaschutzverträgen mit der Vergabe kostenfreier Zuteilungen auf die relativen Kosten verschiedener Produktionsalternativen Tabelle 5

Szenario 1: Technologiespezifische kostenfreie Zuteilungen für Referenz- und Klimaschutzanlage

In diesem Fall wird die Produktion mit konventionellen Anlagen von den CO₂-Marktpreisen freigestellt – somit kommen CO₂-intensive Produkte zu geringen Referenzkosten auf den Markt. Dadurch werden alternative Werkstoffe und Strategien der Vermeidung wenig attraktiv. Die Produktion mit Klimaschutzanlagen wird subventioniert, um auch ihre Kosten auf das Niveau der Referenzkosten zu senken. Werden diese klimafreundlichen Rohstoffe zu den subventionierten Preisen angeboten, ergeben sich zudem Nachteile für andere klimafreundliche Alternativen.

Szenario 2: Äquivalente kostenfreie Zuteilungen auf der Basis eines Produktbenchmarks

In diesem Fall ergibt sich eine ähnliche Situation, die sich nur dann verbessert, wenn der Benchmark zur Vergabe kostenfreier Zuteilungen sinkt und somit die Referenzkosten ansteigen.

Szenario 3: Wegfall äquivalenter kostenfreier Zuteilungen und Einführung eines CBAM

In diesem Fall ergibt sich durch das Abschmelzen der kostenfreien Zuteilungen ein konstanter Anstieg der Referenzkosten der CO₂-intensiven Produktion, was auch andere klimafreundliche Produkte sowie die Strategien der Materialeffizienz und der Kreislaufwirtschaft attraktiver macht.

Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021)

und der Kreislaufwirtschaft. Durch den Vergleich der drei Szenarien in Tabelle 5 lässt sich erkennen, dass nur eine komplette Internalisierung der CO₂-Preise wie sie im Rahmen eines Grenzausgleichsmechanismus geplant ist zu einem *level playing field* auch für alternative Produkte und CO₂-Minderungsstrategien führt. In den Szenarien 1 und 2 müsste das durch andere Politikinstrumente, wie zum Beispiel einer Klimaumlage, gewährleistet werden.

5. Konsequenzen für den Refinanzierungsbedarf

Das Zusammenspiel der Regularien zur Vergabe von kostenfreien Zuteilungen, der Entwicklung des CO₂-Marktpreises und Klimaschutzverträgen hat signifikante Auswirkungen auf den Finanzierungsbedarf der Verträge. Darüber hinaus beeinflusst es die Auswahl geeigneter Finanzquellen. Ein Vergleich der drei Szenarien im Rahmen der Tabelle 6 stellt diese Zusammenhänge klar.

Die Perspektive, dass der Abbau von kostenfreien Zuteilungen im Rahmen eines CBAM-Regimes zu Mehreinnahmen durch die Versteigerung von kostenfreien Zuteilungen führt, wird von der Kommission bestätigt. Ein Teil dieser zusätzlichen Einnahmen soll dem EU-Innovationsfonds zugutekommen, der unter anderem auch CCfDs finanzieren soll.⁴³ Darüber hinaus sollen die Mitgliedsstaaten statt 50 in Zukunft 100 Prozent ihrer Einnahmen aus der Versteigerung von Emissionsberechtigungen im Sinne des Klimaschutzes investieren.

In der Zusammenfassung zeigt die Analyse, dass signifikante Unsicherheiten in Bezug auf die Aus-

43 Im Rahmen des Innovationsfonds sollen mit CCfDs transformative Technologien mit einer Zahlung von bis zu 100 Prozent der über dem CO₂-Preis liegenden Mehrkosten finanziert werden. Technologien zur Nutzung und Speicherung von Kohlenstoff oder Kohlendioxid (CCUS) sind ausdrücklich in der Liste der förderfähigen Aktivitäten aufgeführt.

Auswirkungen der drei Szenarien einer Kombination von Klimaschutzverträgen mit der Vergabe kostenfreier Zuteilungen auf den Bedarf und Strategien zur Refinanzierung von Klimaschutzverträgen	Tabelle 6
Szenario 1: Technologiespezifische kostenfreie Zuteilungen für Referenz- und Klimaschutzanlage	
In diesem Fall sind die Mehrkosten hoch und nahezu unabhängig vom CO ₂ -Marktpreis. Somit ist auch der Refinanzierungsbedarf für Klimaschutzverträge signifikant und wird auch durch steigende CO ₂ -Marktpreise kaum gemindert. Als Refinanzierung bietet sich die Klima-Umlage an, bei der das CO ₂ -Preissignal nicht auf der Stufe der Produktion, sondern beim Verkauf an den Endkunden erhoben wird.	
Szenario 2: Äquivalente kostenfreie Zuteilungen auf der Basis eines Produktbenchmarks	
In diesem Fall sinken die Mehrkosten bei steigendem CO ₂ -Marktpreis; somit fällt der Refinanzierungsbedarf für Klimaschutzverträge signifikant. Als Refinanzierung bietet sich die Klima-Umlage an, denn durch die Vergabe von kostenfreien Zuteilungen für Referenz- und Klimaschutzanlage kann auch in diesem Fall das CO ₂ -Preissignal noch beim Verkauf an den Endkunden erhoben werden.	
Szenario 3: Wegfall äquivalenter kostenfreier Zuteilungen und Einführung eines CBAM	
In diesem Fall verhalten sich die Mehrkosten und somit der Refinanzierungsaufwand für Klimaschutzverträge wie in Szenario 2. Im Gegensatz dazu werden die CO ₂ -Kosten jedoch bereits in der Produktion internalisiert. Eine Klima-Umlage ist hier nicht realisierbar, da eine doppelte Bepreisung der Emissionen aus rechtlichen Gründen nicht möglich ist. Da in diesem Szenario aber das Volumen an kostenfreien Zuteilungen fällt, können mehr Emissionsberechtigungen versteigert werden. Daraus resultieren Einnahmen, mit denen unter anderem auch Klimaschutzverträge refinanziert werden können.	
Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021)	

wirkungen einer EU-EHS-Reform bestehen. Von besonderer Relevanz sind die Fragen, ob, wann, in welcher Form und für welche Branchen CBAM-Regime eingeführt werden können. Klimaschutzverträge sind in der Lage, der Industrie trotz dieser Unsicherheiten eine Grundlage zu geben, um die kurzfristig anstehenden Investitionen konsequent auf eine klimaneutrale Zukunft auszurichten.

Dabei müssen Klimaschutzverträge so gestaltet werden, dass sie während ihrer Laufzeit mit verschiedenen und wechselnden Szenarien, die sich im Rahmen der EU-EHS-Reform und anderer Regularien ergeben werden, kompatibel bleiben. In Tabelle 7 ist eine Reihe von unterschiedlichen Ausgestaltungen und Kombinationen dargestellt, die jeweils Vor- und Nachteile haben. Dabei kann es sein, dass ein Klimaschutzvertrag unter den heute gegebenen

Umständen wie in Szenario 1 als *Carbon Contract* konzipiert ist. Während seiner Laufzeit kann es dann zur Vergabe von äquivalenten kostenfreien Zuteilungen für die Referenz- und Klimaschutztechnologie kommen, wie in Szenario 2 visualisiert. Schließlich kann es im Rahmen eines CBAM zu einem graduellen Abbau der kostenfreien Zuteilung kommen, wie in Szenario 3 dargestellt.

Unsere Übersicht zeigt, dass das Szenario 3 mit einem CBAM in vielen Aspekten klare Vorteile hat und deshalb ein sinnvolles Zielbild ist. Gleichzeitig ist offenkundig, dass eine effektive Umsetzung des CBAM aus politischen und diplomatischen Gründen unsicher ist. Deshalb sind auch die Szenarien 1 und 2 als mögliche Alternativen wichtig und müssen als realistische Zukunftsszenarien angesehen werden. Es ist wahrscheinlich, dass es für verschiedene

Übersicht der Kombination von Klimaschutzverträgen mit Szenarien zum *Carbon-Leakage*-Schutz und ihren positiven (grün) oder negativen (pink) Konsequenzen und Wechselwirkungen

Tabelle 7

Konsequenzen und Wechselwirkungen	Szenario 1: Technologie-spezifische kostenfreie Zuteilungen für Referenz- und Klimaschutzanlage	Szenario 2: Äquivalente kostenfreie Zuteilungen auf der Basis eines Produktbenchmarks	Szenario 3: Wegfall äquivalenter kostenfreier Zuteilungen und Einführung eines CBAM
1) Anteil der kostenfreien Zuteilungen am Gesamtvolumen der Emissionsrechte	Abbau durch Transformation der Industrie zur klimafreundlichen Produktion ohne kostenfreie Zuteilungen.	Äquivalente Vergabe von kostenfreien Zuteilungen für Referenz- und Klimaschutzanlagen erschwert den Abbau.	Konsequenter Abbau der kostenfreien Zuteilungen mit gleichen Bedingungen für Referenz- und Klimatechnologie.
2a) Auswirkungen auf den <i>Carbon-Leakage</i> -Schutz der Referenzanlage	Guter Schutz im Innen- und Außenhandel durch nachhaltige kostenfreie Zuteilungen.	Kein adäquater Schutz im Innen- und Außenhandel, wenn kostenfreie Zuteilungen durch CSCF oder Absenken der Benchmarks stark fallen.	Guter Schutz durch das CBAM nur im Innenhandel.
2b) Auswirkungen auf den <i>Carbon-Leakage</i> -Schutz der Klimaschutzanlage	Guter Schutz im Innen- und Außenhandel durch den Klimaschutzvertrag.	Adäquater Schutz durch den Klimaschutzvertrag im Innen- und Außenhandel	Guter Schutz durch den Klimaschutzvertrag im Innen- und teilweise im Außenhandel
3) Kontrolle der Wechselwirkungen mit dem Preisgefüge im EU-EHS	Nicht benötigte Zertifikate kommen über die Versteigerung der Mitgliedsstaaten wieder an den Markt.	Verkauf der kostenfreien Zuteilungen durch Klimaschutzanlagen steigert das Angebot. Ein Stilllegen der Zertifikate ist möglich.	Durch Klimaschutzverträge kommt es zur Emissionsminderung, die bei der Definition der EU-EHS-Ambition betrachtet werden muss.
4) Auswirkungen auf die relativen Preise von äquivalenten Produkten und Substituten	CO ₂ -Kosten werden nicht internalisiert, die grüne Primärproduktion wird subventioniert. Nachteile für CO ₂ -arme äquivalente Produkte oder Substitute müssten im Rahmen einer Klima-Umlage korrigiert werden.	CO ₂ -Kosten werden nur teilweise internalisiert, grüne Primärproduktion wird teilweise subventioniert. Nachteile für CO ₂ -arme äquivalente Produkte oder Substitute müssten im Rahmen einer Klima-Umlage korrigiert werden.	CO ₂ -Kosten werden zunehmend internalisiert. Subventionen für eine klimafreundliche Primärproduktion sinken. Anfängliche Nachteile für CO ₂ -arme Alternativen oder Substitute sinken.
5) Konsequenzen für den Refinanzierungsbedarf von Klimaschutzverträgen	In der Ausgestaltung als <i>Carbon Contract</i> sind die Mehrkosten hoch und können durch eine Klima-Umlage refinanziert werden. Einnahmen aus der Versteigerung von Emissionsberechtigungen fallen allen EU-Staaten zu.	In der Ausgestaltung als CCfD sind die Mehrkosten moderat, müssen aber in geeigneter Form refinanziert werden.	In der Ausgestaltung als CCfD sind die Mehrkosten moderat. Durch ein höheres Volumen an Zertifikaten zur Versteigerung entstehen Einnahmen, die der Refinanzierung dienen können.

Branchen unterschiedliche Lösungen geben wird. In der Konsequenz müssen Klimaschutzverträge so konzipiert sein, dass sie einerseits die Investitionsrisiken sinnvoll absichern können, andererseits aber auch flexibel auf unerwartete Entwicklungen im regulatorischen Umfeld abgestimmt werden können. Da der Aspekt der Auswirkungen des *Carbon Leakage*-Schutzes spezifische Relevanz und individuelle Auswirkungen sowohl für die Referenz- wie auch die Klimaschutzanlage hat, werden diese in Tabelle 7 gesondert diskutiert. Die übrigen Aspekte sind übergreifender Natur und werden daher zusammenfassend diskutiert.

5.2 Klimaschutzverträge und grüne Märkte

Die Nachfrage und Zahlungsbereitschaft für klimafreundliche Produkte können eine Schlüsselrolle für eine marktgetriebene Transformation der Grundstoffindustrien spielen. Die Definition von einheitlichen Standards für CO₂-neutral (oder CO₂-reduziert) hergestellte Produkte, die Einführung von Mindestquoten für solche Produkte, aber auch die öffentliche Beschaffung sind wirksame Hebel, um eine marktgetriebene Nachfrage nach klimafreundlichen Produkten zu schaffen. Da Klimaschutzverträge zunächst nur auf das Angebot solcher Produkte abzielen, sind Regeln und Initiativen zum Aufbau von grünen Leitmärkten eine wichtige Ergänzung.

Im *Fit-for-55-Package*, in der novellierten EU-Industriestrategie vom März 2020 wie auch im European Green Deal wird das Ziel formuliert, grüne Leitmärkte für klimaneutral hergestellte Produkte zu etablieren. Für den Weg dorthin liefern diese Dokumente jedoch noch wenig Anhaltspunkte.

Nicht näher beleuchtet werden dementsprechend auch die Wechselwirkungen zwischen Klimaschutzverträgen und grünen Leitmärkten – etwa zu der Frage, ob die Hersteller von geförderten Produkten mit einem deutlich reduzierten CO₂-Fußabdruck

diese Eigenschaft einsetzen können, um im Rahmen von Leitmärkten eine zusätzliche Rendite zu erzielen – oder ob diese zusätzliche Rendite nicht eher die Finanzierung von Klimaschutzverträgen entlasten sollte.

5.3 Klimaschutzverträge und die Renewable Energy Directive

Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (2009/28/EG) bildet seit 2009 das Fundament für die europäische Politik zur Förderung und Integration von Erneuerbaren Energien. Die Richtlinie wurde im Dezember 2018 durch die Richtlinie (EU) 2018/2001 umfassend novelliert, ist momentan geltendes Recht und wird als RED II bezeichnet.

Im Rahmen des *Fit-for-55-Packages* hat die Europäische Kommission im Juli 2021 mit der RED III eine Erweiterung der RED II durch einen neuen Gesetzgebungsprozess vorgeschlagen. Neben einer Anhebung des verbindlichen Ziels für den Anteil Erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch auf 40% enthält der Vorschlag unter anderem die Vorgabe, dass die Industrie den Anteil Erneuerbarer Energien an ihrem Energie- und Rohstoffmix jährlich um 1,1 Prozent steigern soll. Neben der direkten und indirekten Verwendung von Elektrizität hat das auch Auswirkungen auf die Verwendung von Biomasse als Energieträger und Rohstoff. Darüber hinaus wurde ein spezifisches Ziel für den Anteil an erneuerbarem Wasserstoff für die direkte Verwendung oder die Produktion und Verwendung von synthetischen Kraft- und Rohstoffen (*Renewable fuels of non-biological origin*, RFNBOs) definiert. Diese strombasierten Alternativen sollen bis 2030 50 Prozent der gesamten wasserstoffbasierten Energie- und Rohstoffe in der Industrie ausmachen.⁴⁴ Um sicherzustellen, dass der

⁴⁴ Dabei muss man von einer Verlagerung der Verwendung von Wasserstoff ausgehen da, zum Beispiel, die Stahlbranche heute kaum, in der Zukunft aber einen substanziellen Anteil an der Wasserstoffverwendung

Erneuerbare Strom zur Herstellung von Wasserstoff oder RFNBOs nur einmal auf das Gesamtziel angerechnet wird, soll deren Nutzung nur im Zielsektor – im vorliegenden Fall der Industriesektor – angerechnet werden. Darüber hinaus soll mit ihrer Verwendung eine CO₂-Minderung von mindestens 70 Prozent erzielt werden, wobei die Methoden zur Berechnung dieser Quote noch diskutiert werden.

Die CO₂-Bilanz der Produktion von erneuerbarem Wasserstoff ist dabei von zentraler Bedeutung. Die Prinzipien dafür wurden schon im Rahmen der RED II definiert und sollen im Rahmen eines delegierten Rechtsaktes reglementiert werden. Da die Publikation dieses Rechtsaktes noch aussteht, fassen wir im Folgenden den Stand der Diskussion zusammen.

5.3.1 Kriterien zur Definition von erneuerbarem Wasserstoff

Elektrolysebasierter Wasserstoff ist dann klimaneutral, wenn ausschließlich erneuerbarer Strom für seine Produktion verwendet wurde. Stammt der verwendete Strom teilweise aus fossilen Energieträgern, so können insgesamt Treibhausgasemissionen entstehen, die über denen einer konventionellen Herstellung von Wasserstoff durch die Dampfreformierung liegen. Eine CO₂-Intensität von etwa 200 Gramm pro Kilowattstunde stellt dabei die Grenze dar, unter der sich bei der Verwendung von elektrolysebasiertem Wasserstoff ein CO₂-Minderungseffekt ergibt. Für eine CO₂-Minderung um 70 Prozent dürfte der Strom im Durchschnitt eine CO₂-Intensität von nur etwa 60 Gramm pro Kilowattstunde haben. Da diese Bedingungen in Deutschland und vielen anderen EU-Staaten noch nicht gegeben sind, wurden in Rahmen der RED II drei Kriterien definiert, mit denen eine klimafreundliche Produktion von erneuerbarem Wasserstoff gewährleistet werden soll:

haben wird. Im Jahr 2020 hatte Deutschland einen Wasserstoffbedarf von etwa 55 TWh, bezogen auf den Heizwert (FCHO, 2021). Die Nationale Wasserstoffstrategie (BMW, 2020) geht für das Jahr 2030 von einem Gesamtbedarf von 90 bis 110 TWh aus, will davon aber nur etwa 14 TWh im Inland produzieren.

a) Der Zubau und die Verwendung von zusätzlichen Erneuerbaren Energien: Im Rahmen der RED II wird verlangt, dass Wasserstoff nur mit Strom produziert wird, der aus zusätzlichen Anlagen stammt.⁴⁵ Die Äquivalenz ergibt sich dabei aus dem Jahresmittel des Konsums der Elektrolyseanlage und der Stromproduktion der zusätzlichen Anlagen. Die Definition der Kriterien zur Zusätzlichkeit steht momentan noch zur Diskussion. Es wird aber verlangt, dass diese Anlagen keine anderweitigen Förderungen erhalten und dass ein direkter oder indirekter Strombezug besteht. Ein direkter Bezug ergibt sich im Falle einer Insellösung, in der die Anlagen nicht an das Netz angeschlossen sind. Ein indirekter Bezug ergibt sich über das öffentliche Netz, muss aber durch einen Stromhandelsvertrag (Power Purchase Agreement - PPA) und den Übertrag von Herkunftsnachweisen belegt werden.

b) Eine räumliche Nähe der Anlagen zur Elektrolyse und Stromerzeugung:

Um zu vermeiden, dass es durch Elektrolyseanlagen zu neuen oder verstärkten Netzengpässen kommt, definiert die RED II, dass die Anlagen zur Elektrolyse und Stromerzeugung in räumlicher Nähe stehen sollen. Um dies zu gewährleisten, wird gefordert, dass die Anlagen in derselben Preisgebotszone oder – sofern Netzengpässe ausgeschlossen werden können – in benachbarten Preisgebotszonen liegen sollen.

c) Eine zeitliche Korrelation zwischen Elektrolyse und dem Angebot an Erneuerbaren Energien:

Die RED II und die Diskussion zur Umsetzung ihrer Kriterien im Rahmen eines Rechtsaktes sieht vor, dass Elektrolyseure nur dann betrieben werden,

45 Diesem Konzept liegt die abstrakte Annahme zu Grunde, dass der Aufbau oder Betrieb dieser Anlagen direkt auf den Aufbau und Betrieb der Elektrolyseanlagen zurückzuführen sind. Da der damit generierte Strom ansonsten nicht entstanden wäre, kann er direkt mit dem Bedarf der Elektrolyse verrechnet werden. Die Opportunitätskosten einer anderen Verwendung werden dabei außer Acht gelassen.

wenn genügend oder zumindest überdurchschnittlich viel Erneuerbarer Strom vorhanden ist. Im Falle einer Insellösung kann die Elektrolyse ohnehin nur arbeiten, wenn auch erneuerbarer Strom zur Verfügung steht. Um aber auch den Betrieb über eine Netzverbindung möglich zu machen, steht in der Diskussion den Elektrolysebetrieb auf Stunden zu beschränken, in denen der Anteil Erneuerbarer Energien in der jeweiligen Preisgebotszone größer ist als im Durchschnitt der beiden vorangegangenen Jahre.

Aufgrund der noch hohen Investitionskosten für Elektrolyseure ist aus betriebswirtschaftlicher Sicht der Betrieb bei einer hohen Volllaststundenzahl wünschenswert, während aus ökologischer und ökonomischer Perspektive die Beschränkung auf wenige Stunden mit besonders geringem Netzemissionsfaktor sinnvoll ist. Die Definition der hier diskutierten Kriterien durch einen delegierten Rechtsakt hat somit direkte Konsequenzen auf die Kosten und die globale CO₂-Bilanz einer Klimaschutzanlage und somit auch die Definition eines Klimaschutzvertrags.

5.3.2 Kriterien zur Verwendung von Biomasse

Auch für die Nutzung von Biomasse hat die EU-Kommission im Rahmen des *Fit-for-55-Packages* neue Kriterien vorgeschlagen, die zu einer verbesserten Nutzung des begrenzten Biomassepotenzials beitragen sollen. Biomasse soll entsprechend ihres größten ökonomischen und ökologischen Mehrwerts genutzt werden. Eine kaskadenartige Nutzung von Biomasse mit einer Priorisierung der stofflichen Nutzung soll die ausschließlich energetische Nutzung verdrängen. Eine rein energetische Verwendung von Biomasse soll dementsprechend nicht gefördert werden – es sei denn, diese Verwendung ist mit einer Verwendung oder Speicherung des entstehenden biogenen CO₂ verbunden (BECCS).

Die Zementbranche bietet das Potenzial, sich in die von der EU-Kommission skizzierte kaskadenartige Nutzung von Biomasse einzufügen. Mithilfe der für die Minderung der prozessgebundenen CO₂-Emissio-

nen notwendigen CCS-Anwendungen und der Nutzung biogener Abfallstoffe als Alternativbrennstoffe lassen sich CO₂-Senken erzielen.

5.4 Klimaschutzverträge und das EU-Beihilferecht⁴⁶

Ein Klimaschutzvertrag oder CCfD ist ein privatrechtlicher Vertrag zwischen einem Unternehmen und der öffentlichen Hand über die Auszahlung eines Zuschusses zur Kompensation von Mehrkosten beim Aufbau und Betrieb von klimafreundlichen Produktionstechnologien. Abhängig vom konkreten Refinanzierungsmechanismus werden Klimaschutzverträge im Sinne des Art. 107 des Vertrags über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEUV) als Beihilfe eingestuft (AEUV 2012). Der Beihilfetatbestand wird darin begründet, dass Klimaschutzverträge Einkünfte stabilisieren, dadurch begünstigten Unternehmen einen selektiven Vorteil gewähren und damit potenziell den Wettbewerb und den Handel verzerren. Lediglich durch eine Finanzierung über durch eine privatrechtlich organisierte Umlage würde die Beihilfeeigenschaft eindeutig entfallen.⁴⁷

⁴⁶ Eine detaillierte Diskussion zur Rolle des europäischen Beihilferechts sowie anderer Aspekte der europäischen und deutschen Gesetzgebung, die für die Umsetzung von Klimaschutzverträgen (CCfDs) relevant sind, bietet die Publikation BBH (2021): *Making renewable hydrogen cost-competitive: Legal evaluation of potential policy support instruments*. Commissioned by Agora Energiewende

⁴⁷ Nach der Rechtsprechung des EuGHs stellt zum Beispiel das EEG 2012 keine Beihilfe dar, da der Staat im Rahmen dieser Regelungen keine Verfügungsgewalt über die mit der EEG-Umlage erwirtschafteten Gelder habe und die mit der Auszahlung und Verwaltung der Mittel betreuten Übertragungsnetzbetreiber selbst nicht unter staatlicher Kontrolle stünden. Damit vergleichbar könnte auch für einen CCfD die Beihilfeeigenschaft entfallen, wenn die Zahlungen über einen vergleichbaren Mechanismus refinanziert würden (BBH 2021)

Für die Rechtmäßigkeit von Beihilfe muss nach Art. 107 Abs. 2 bis 3 AEUV ein Ausnahmetatbestand vorliegen (AEUV 2012). Dieser besteht, wenn die Beihilfe a) die Förderung wichtiger Vorhaben im gemeinsamen europäischen Interesse ist oder b) die Förderung der Entwicklung gewisser Wirtschaftszweige oder Wirtschaftsgebiete zum Ziel hat. Es ist davon auszugehen, dass die klimafreundliche Transformation und der Umweltschutz sowohl im Sinne der EU als auch im Sinne der einzelnen Mitgliedsstaaten sind. Sollte dies nicht der Fall sein, greift b), da Klimaschutzverträge den begünstigten Unternehmen die Umstellung ihrer Produktion auf klimaneutrale Technologien ermöglichen, um damit auch Transformation hin zur Klimaneutralität des Landes insgesamt voranzutreiben.

Sofern ein Ausnahmetatbestand vorliegt, muss gemäß Art. 107 Abs. 2 AEUV noch geprüft werden, ob die Beihilfe mit dem Binnenmarkt vereinbar ist. Die Feststellung dieser Vereinbarkeit obliegt dem Ermessen der Europäischen Kommission. Zur Konkretisierung der Ermessensausübung dienen unter anderem die Leitlinien für staatliche Umweltschutz- und Energiebeihilfen 2014-2020 (UEBLL) (COM 2021f). Da in der UEBLL derzeit keine Klimaschutzverträge vorgesehen sind, geht man davon aus, dass zur Beurteilung seitens der Europäischen Kommission ein eigenständiges Notifizierungsverfahren durchgeführt werden muss (BBH, 2021). Dabei wird es als problematisch eingestuft, dass der effektive Förderumfang durch einen Klimaschutzvertrag zur Zahlung einer dynamischen Klimaprämie vielen Variablen unterliegt und somit nicht abschließend im Vorhinein beziffert werden kann. Da in der Vergangenheit jedoch bereits ein Klimaschutzvertrag für ein britisches Kernkraftwerk als mit dem Binnenmarkt vereinbar eingestuft wurde, wird auch im Falle von den in dieser Studie diskutierten Klimaschutzverträgen von einer Vereinbarkeit ausgegangen. Mittelfristig ist eine Aufnahme von Klimaschutzverträgen in die UEBLL zu erwarten, wodurch ein Notifizierungsverfahren

vermieden und eine höhere Rechtssicherheit für Klimaschutzverträge gewährleistet werden kann.

Die in dieser Studie vorgestellte Variante von Klimaschutzverträgen soll die vollständigen Mehrkosten klimafreundlicher Produktion absichern. In der Regel stellen diese Mehrkosten nur einen Anteil der Gesamtkosten für den Aufbau und den Betrieb von Klimaschutzanlagen dar. Dennoch ist aufgrund der Vorgaben in den UEBLL eine Vergabe von Klimaschutzverträgen über Ausschreibungen empfehlenswert, da nur in diesem Fall eine Beihilfehöchstintensität von 100 Prozent möglich ist (COM 2021f). Über die dynamische Ausgestaltung von Klimaschutzverträgen kann sichergestellt werden, dass eine unzulässige Überförderung ausgeschlossen wird. Zudem kann durch eine zunehmende Internalisierung der CO₂-Preise und den Aufbau von grünen Leitmärkten der Anteil der Förderung an den Gesamtkosten, aber auch den effektiven Mehrkosten beim Betrieb einer Klimaschutzanlage letztendlich geringer ausfallen, was jedoch beim Abschluss des Klimaschutzvertrags nicht absehbar ist.

Ausschreibungen setzen Wettbewerb voraus. Da es aber in den hier diskutierten Branchen voraussichtlich keine ausreichende Anzahl an potenziellen Bietern für die Ausschreibung von Klimaschutzverträgen geben wird, ist eine erste Phase mit administrativen und ggf. individualisierten Festlegungen und einer projektspezifischen Vergabe vorzuziehen. Dabei müsste fortlaufend sichergestellt werden, dass keine preisliche Überförderung erfolgt, was durch die hier konzipierte dynamische ex-post-Abrechnung erreicht wird. Dabei bleibt zu bedenken, dass dadurch nach den bisherigen Vorgaben der UEBLL die Beihilfeintensität eingeschränkt werden kann. Um dennoch eine hinreichende Förderung zu rechtfertigen, kann es hilfreich sein, neben der Kosteneffizienz in Bezug auf die CO₂-Minderung weitere Kriterien wie eine strommarkt- bzw. stromnetzdienliche Tätigkeit oder andere positive Übertragungseffekte des zu fördernden Klimaschutzprojekts ins Feld zu führen (BBH 2021).

Schließlich ist erforderlich, dass die negativen Auswirkungen der Beihilfe (insbesondere beihilfebedingte Wettbewerbsverzerrungen und Beeinträchtigungen des Handels zwischen Mitgliedstaaten) begrenzt sind und die positiven Auswirkungen überwiegen. Es wird davon ausgegangen, dass dies hier ebenfalls der Fall ist, da Klimaschutzverträge die Umstellung auf klimaneutrale Technologien ermöglichen und damit dem Umweltschutz dienen. Über diese juristische Einschätzung hinaus sei darauf hingewiesen, dass eine klimafreundliche Produktion über Klimaschutzverträge im Vergleich zu Referenzprozessen nicht direkt bevorteilt, sondern dass nur reale Mehrkosten und existierende regulatorische Nachteile kompensiert werden. Klimaschutzverträge gleichen Fehlanreize im bestehenden System des EU-EHS aus, wodurch Klimaschutztechnologien nicht besser, sondern allenfalls gleichgestellt werden. Durch die klare Trennung der Vermarktung als klimafreundliche Produkte über grüne Leitmärkte oder als konventionelle Produkte sind zudem keine Verzerrungen bestehender Märkte zu erwarten.

Durch die nationale Begrenzung auf Deutschland muss darüber hinaus geprüft werden, ob eine unzulässige Diskriminierung ausländischer Unternehmen vorliegt. Die Förderung von im Inland produziertem Strom sieht der Europäische Gerichtshof mit Bezug auf den Umweltschutz als zulässig an (EuGH, Urteil vom 01.07.2014, Rs. C-573/12). Die Rechtfertigung durch den Umweltschutz kommt auch im Fall von Klimaschutzverträgen in Betracht.

Zur Verbesserung der Rechtslage überarbeitet die Europäische Kommission derzeit die UEBLL. Klimaschutzverträge sollen einen festen Bestandteil dieser Leitlinien bilden und grundlegendes Element europäischer Energie- und Klimapolitik werden. Auf Basis der derzeit geltenden rechtlichen Grundlagen und der Pläne der Kommission zur Überarbeitung dieser rechtlichen Grundlagen ist davon auszugehen, dass die Umsetzung von Klimaschutzverträgen aus beihilferechtlicher Perspektive möglich ist und dass die notwendigen Notifizierungsprozesse entsprechend angepasst werden.

6 Ausgestaltungsaspekte für Klimaschutzverträge

Die Ausgestaltung von Klimaschutzverträgen sollte so erfolgen, dass neben der Transformation der Industrieanlagen auch die in Kapitel 4 beschriebenen übergeordneten Ziele und Anforderungen erfüllt werden.

- Erstens soll mit diesem Instrument der schnelle Einstieg in klimafreundliche Technologien und damit die Industrietransformation gewährleistet werden, um damit den Weg zu einer langfristigen Klimaneutralität und Wettbewerbsfähigkeit der Industrie zu ebnen.
- Zweitens können Klimaschutzverträge einen Beitrag zum Aufbau der für die Klimaneutralität notwendigen Infrastruktur und klimafreundlicher Produktionsverbünde leisten.
- Drittens sollten Klimaschutzverträge so ausgestaltet sein, dass sie Ansätze zur Förderung einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft nicht diskriminieren.
- Viertens können Klimaschutzverträge zur Entwicklung von grünen Leitmärkten und der Definition klimaneutraler Produktstandards beitragen.

Als Grundlage für einen schnellen Einstieg in die Transformation müssen Klimaschutzverträge zügig umgesetzt und so gestaltet werden, dass Lücken und Fehlanreize im gegebenen regulatorischen Umfeld kompensiert werden. Gleichzeitig müssen anstehende Reformen antizipiert werden. Dafür ist eine flexible Ausgestaltung der Klimaschutzverträge notwendig, damit sie innerhalb ihrer Laufzeit dynamisch auf verschiedenste Szenarien der Entwicklung ihrer Rahmenbedingungen angepasst werden können.

Um auch den übergeordneten Zielen – Aufbau der Infrastruktur, einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft und grüner Leitmärkte – zu entsprechen, müssen zunächst die zu fördernden Technologien definiert werden. Besonders relevant sind Branchen,

in denen kurzfristig die Transformation von strategisch relevanten Produktionsanlagen angestoßen werden muss, um einen Investitionsstau und *stranded assets* zu vermeiden. Zudem sollten Klimaschutzverträge gezielt Projekte fördern, mit denen schon vor 2030 signifikante CO₂-Minderungen erreicht werden können, und die mit der Klimaneutralität bis 2045 kompatibel sind. Des Weiteren sollten Anlagen priorisiert werden, mithilfe derer eine Skalierung von strategisch wichtigen Technologien und Infrastrukturinvestitionen und der Aufbau von klimafreundlichen Produktionsverbünden beschleunigt werden kann. Darüber hinaus spielt ein wachsendes Angebot an CO₂-armen und klimaneutralen Grundstoffen eine strategische Rolle für die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie, wenn es darum geht, eine steigende Nachfrage nach klimafreundlichen Produkten zu decken.

Die Stahl-, Zement- und Chemiebranche bieten mit der Primärproduktion von Stahl, Zementklinker und Ammoniak drei Prozesse, deren Transformation zu einer klimafreundlichen Produktion den genannten Kriterien entspricht. Alle Produktionsanlagen zeichnen sich durch eine lange Lebensdauer aus; ihre Transformation hin zu klimafreundlichen Produktionsalternativen muss zügig angegangen werden, um die entsprechenden Technologien zu skalieren und einen Investitionsstau zu verhindern. Darüber hinaus bieten sie das Potenzial einer direkten Emissionsminderung von insgesamt bis zu 21 Millionen Tonnen CO₂ noch vor 2030 und können damit einen signifikanten Beitrag zum Erreichen der von Deutschland für dieses Jahr definierten Minderung von 68 Millionen Tonnen CO₂ in der Industrie leisten. Durch die Verwendung von erneuerbarem Wasserstoff in der Stahl- und Chemieindustrie kann auch der Aufbau einer entsprechenden Wasserstoffinfrastruktur angereizt werden. Gleiches gilt für Anlagen zur Abscheidung

von CO₂ in der Zementindustrie, die den Aufbau einer Infrastruktur für das CCUS erfordern. Die Produktion von klimafreundlichem Zement, Stahl und Ammoniak kann zudem die Nachfrage nach klimafreundlichen Grundstoffen und den daraus entstehenden Produkten anregen und somit helfen, grüne Leitmärkte für klimafreundliche Produkte zu schaffen.

Obwohl diese Prozesse sich für die kurzfristige Förderung durch Klimaschutzverträge im besonderen Maße eignen, ist eine Unterstützung ähnlicher Projekte und Technologien ebenfalls sinnvoll. Beispiele dafür sind das CCUS in der Kalkindustrie, aber auch die Verwendung von erneuerbarem Wasserstoff in der Metallverarbeitung oder der Produktion von Methanol und anderen organischen Verbindungen für die Chemieindustrie. Interessantes Potenzial besteht auch im Bereich der direkten Elektrifizierung der Industrie.

Mittelfristig ist vorstellbar, Klimaschutzverträge als branchenübergreifendes Förderinstrument für Technologien der direkten Elektrifizierung oder der Verwendung von Wasserstoff als Energieträger in der Industrie zu entwickeln. Darüber hinaus könnten sektorübergreifende Ausschreibungen konzipiert werden, um CO₂-Senkenleistungen über den Betrieb von Anlagen mit BECCS oder anderen klimapositiven CCUS-Technologien zu fördern.

Bei der Implementierung von Klimaschutzverträgen sind allerdings auch einschränkende Aspekte zu beachten. Der Verwaltungsaufwand für die Implementierung von Klimaschutzverträgen ist recht hoch. Daher sollten Klimaschutzverträge nur für große Projekte mit signifikantem CO₂-Minderungspotenzial und strategischer Relevanz eingesetzt werden, wenn sich wegen ihrer spezifischen Anforderungen andere Instrumente nicht eignen.⁴⁸

48 Für die Förderung von Querschnittstechnologien, wie zum Beispiel Wärmepumpen, die in großer Zahl in einer ähnlichen Konzeption angewandt werden, sind einfachere Förderprogramme, etwa eine direkte Investitionskostenförderung oder eine beschleunigte Abschreibung, zu bevorzugen.

Darüber hinaus müssen bei der Ausgestaltung und Anwendung von Klimaschutzverträgen beihilfe-rechtliche Fragen betrachtet werden; es gilt, Verzerrungen im Rahmen des Emissionshandels wie auch im Innen- und Außenhandel der jeweiligen Güter und ihrer Alternativen zu minimieren.

Die vorliegende Diskussion der Ausgestaltung von Klimaschutzverträgen hat zum Ziel, ein kurzfristig einsetzbares Instrument zur Unterstützung der Industrietransformation zu definieren. Klimaschutzverträge sollen einen Beitrag zur Bewältigung der aktuellen Herausforderungen bei der Etablierung klimafreundlicher Technologien in der deutschen Industrielandschaft leisten. Mit der Einführung als kurzfristiges Instrument können Erfahrungen in Bezug auf die Ausgestaltung gesammelt werden, wovon die Diskussion zur langfristigen Rolle von Klimaschutzverträgen profitieren kann.

6.1 Förderungsziel, Vertragsdauer und Abstimmung mit anderen Förderinstrumenten

Das grundlegende Ziel einer Förderung durch Klimaschutzverträge ist es, den Aufbau und den Betrieb klimafreundlicher Produktionsanlagen zu sichern und darüber hinaus den oben angeführten Anforderungen zu genügen. Hierfür müssen Mehrkosten bei Investition und Betrieb klimafreundlicher Anlagen im Vergleich zur preissetzenden Produktion mit konventionellen Referenzanlagen abgesichert und kompensiert werden. Mit dem Blick auf eine sinnvolle Transformation von Industrie, Infrastruktur und Märkten insgesamt ist es wichtig, dass die Ausgestaltung von Klimaschutzverträgen auch mit anderen Politikinstrumenten abgestimmt wird.

Mit diesem Ziel soll im vorliegenden Abschnitt zunächst das Zusammenspiel einer Förderung von Kapitalkosten, die sich aus höheren Investitionen ergeben, und der Mehrkosten beim Betrieb der Klimaschutzanlagen behandelt werden. Darüber

hinaus müssen die Anforderungen und Umstände für den Aufbau der vor- oder nachgelagerten Infrastruktur zur Versorgung mit Erneuerbaren Energien und Wasserstoff, oder aber zum Abtransport und zur Speicherung von CO₂ betrachtet werden. Dabei werden Kriterien für den systemdienlichen Aufbau und Betrieb der Produktion von Wasserstoff als wichtiges Element für einen ökonomisch und ökologisch effizienten Hochlauf der Produktion sowie seine Verwendung als spezifischer Unterpunkt diskutiert. Schließlich widmen wir uns der Frage einer Abstimmung von Klimaschutzverträgen mit Instrumenten zur Förderung einer marktgetriebenen Nachfrage nach klimafreundlichen Produkten.

Es wird eine Ausgestaltung der Klimaschutzverträge als projektspezifische Einzelförderung vorgeschlagen. So kann auf die spezifischen Anforderungen und Eigenheiten der zu fördernden Projekte eingegangen werden. Des Weiteren können so gezielt Projekte ausgewählt werden, die nicht nur kosteneffizient CO₂-Minderungen erzielen können, sondern die aufgrund ihrer übergreifenden Potenziale – unter anderem für den Aufbau von klimafreundlichen Produktionsverbänden oder grünen Leitmärkten – auch strategisch relevant für die Klimaneutralität der Wirtschaft insgesamt sind. Tabelle 8 gibt einen Überblick über Schlüsselaspekte der im vorliegenden Papier diskutierten Technologien.

Für die Vertragsdauer bzw. die Dauer der Förderung werden bis zu zehn Jahre vorgeschlagen.⁴⁹ Besonders

49 Angesichts der langfristigen Risiken wird vielfach auch eine längere Vertragsdauer gefordert. Diese Forderung ist speziell dann gerechtfertigt, wenn sehr langfristige Investitionen abgesichert werden sollen. Dieses Risiko kann aber auch durch eine geeignete Kombination von Klimaschutzverträgen mit einer Investitionskostenförderung gemindert werden. Zudem bereiten Verträge mit einer Laufzeit von über zehn Jahren administrative Hürden. Wo nötig können als Alternative zu längeren Vertragslaufzeiten aber auch Vereinbarungen für eine Vertragsverlängerung und Anpassungen getroffen werden, mit denen Vertragsparteien dann auf zukünftige Rahmenbedingungen eingehen können.

für die Stahl-, Zement- und Chemieindustrie ist eine Förderung durch Klimaschutzverträge über zehn Jahre sinnvoll, um Investitionssicherheit zu schaffen und Kohärenz mit dem beabsichtigten Phase-in des CBAM zu gewährleisten.

6.1.1 Investitions- und Betriebskostenförderung durch Klimaschutzverträge

Klimaschutzverträge können in der Essenz ein Instrument zur Kompensation betrieblicher Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion darstellen. Besonders im Fall hoher Investitionskosten ist es deshalb sinnvoll, die Mehrkosten der Investitionen zum Aufbau der Klimaschutzanlagen über direkte Zuschüsse zu fördern. Dieser Fall trifft beispielsweise auf den Aufbau kapitalintensiver DRI-EAF-Anlagen zur Eisendirektreduktion im Stahlsektor zu. Wenn Investitionskosten separat gefördert werden, erhöht dies die Flexibilität der Verträge, denn ansonsten müssen fixe Investitionskosten auf ein variables Abrechnungsvolumen umgerechnet werden, das in der Theorie auch auf null sinken kann. Zudem kann eine DRI-Anlage mit Erdgas oder Wasserstoff betrieben werden, was eine Zuteilung der Kapitalkosten erschwert.

Sollten die Investitionskosten gering ausfallen, kann eine kombinierte Förderung der Investitions- und Betriebskosten durch Klimaschutzverträge sinnvoll sein. Dies ist vor allem dann von Vorteil, wenn davon auszugehen ist, dass der CO₂-Marktpreis die CO₂-Minderungskosten übersteigen wird, was beispielsweise für das CCUS im Zementsektor der Fall ist.

In der praktischen Ausführung ist eine anteilige Förderung der Investitionskosten wahrscheinlich und muss bei der Definition eines Klimaschutzvertrags abgebildet werden. Die im Rahmen des vorliegenden Projekts erstellten Transformationskostenrechner erlauben diese Modellierung, indem ein anteiliger Investitionskostenzuschuss angesetzt wird. Werden zudem Mehrkosten der Investition über den Klimaschutzvertrag abgerechnet, so werden diese mithilfe eines geeigneten Zinssatzes über den

Abschreibungszeitraum annualisiert und auf das Produktionsvolumen umgelegt.

Die Förderung einer anteiligen Verwendung von erneuerbarem Wasserstoff zur Ammoniakproduktion stellt einen besonderen Fall dar: Hier ist im ersten Schritt keine relevante Investition an der Anlage erforderlich. Dennoch stellt die Förderung einer solchen Anlage einen Nachfrageanker für den Einkauf von erneuerbarem Wasserstoff oder aber für Investitionen in Elektrolysekapazitäten dar. Solch übergreifende Aspekte werden im Folgenden beleuchtet.

6.1.2 Klimaschutzverträge als Anker für den Aufbau von Infrastruktur

Der Bau großer Industrieanlagen für eine klimafreundliche Produktion ist ein idealer Anker für den Aufbau und die Auslastung von Infrastrukturinvestitionen für die Produktion und den Transport von erneuerbarem Strom und Wasserstoff oder aber den Transport und die Speicherung oder Verwendung von CO₂. Klimaschutzverträge sollten deshalb so ausgestaltet sein, dass der Aufbau dieser vorgelagerten Infrastruktur ebenfalls abgesichert wird. In der Regel handelt es sich um Projekte mit einem hohen Anteil an Investitionen. Diese müssen, zusammen mit den variablen Kosten, im Rahmen von langfristigen Verträgen als Betriebskosten an den Betreiber der Klimaschutzanlage umgelegt werden. Als Konsequenz ergibt sich eine Reihe wichtiger Fragestellungen und Optionen.

→ **Abstimmung auf die Kosten und Bedürfnisse der vorgelagerten Infrastruktur:** Um den Aufbau von Anlagen zum Beispiel für die Produktion und den Transport von Wasserstoff zu finanzieren, benötigen Investoren Verträge, die einen angemessenen Kassenfluss garantieren. Dabei ist es wichtig, anzuerkennen, dass die Kapitalkosten bei der Investitionsentscheidung fixiert werden und auch dann langfristig zu zahlen sind, wenn diese Kosten im Rahmen der Technologieentwicklung

für neue Anlagen sinken.⁵⁰ Für die Definition von Klimaschutzverträgen ist es somit sinnvoll, dass sie auf vertragliche Aspekte für den Einkauf von Betriebsmitteln abgestimmt werden.

- **Integration der vorgelagerten Infrastruktur:** Es kann sinnvoll sein, die vorgelagerte Infrastruktur in das Klimaschutzprojekt zu integrieren. Dabei würden zum Beispiel die Investition und der Betrieb der Wasserstoffelektrolyse als Teil des Klimaschutzprojektes definiert. Somit wird der Einkauf von Wasserstoff durch Strom ersetzt. Die Kapitalkosten können je nachdem direkt gefördert oder aber im Rahmen der Betriebskostenförderung umgelegt werden.
- **Abstimmung mit Instrumenten zur Förderung der Infrastruktur:** Es ist im Rahmen der vielfältigen Förderlandschaft wahrscheinlich und wünschenswert, dass auch die vorgelagerte Infrastruktur durch andere Instrumente gefördert oder querfinanziert wird. Somit ist bei der Definition von Klimaschutzverträgen darauf zu achten, dass diese Förder- und Finanzierungsbeiträge angerechnet werden, um eine Doppelförderung zu vermeiden.
- **Das Prinzip des Fremdvergleichsgrundsatzes bei Verträgen mit verbundenen Partnern:** Als grundlegendes Prinzip ist darauf zu achten, dass Verträge zum Einkauf von Betriebsstoffen oder Dienstleistungen auf der Basis marktüblicher Bedingungen definiert werden. Dieser Punkt ist speziell dann relevant, wenn es sich um Verträge zwischen verbundenen Unternehmen handelt, wenn also zum Beispiel ein Unternehmen derselben Gruppe die Wasserstoffproduktion oder die Dienstleistung für Transports und Speicherung von CO₂ übernimmt.

50 Bei der Anwendung von Technologien, deren Kosten rasch sinken können, entsteht ein *First-Mover Disadvantage*. Erste Investitionen tragen dazu bei, dass Technologiekosten sinken und ihre Effizienz steigt. Pionieranlagen verlieren somit schnell ihre Wettbewerbsfähigkeit, da Folgeprojekte durch eine bessere Technologie schon günstiger anbieten können.

Ökonomische Aspekte und Infrastrukturbedarf ausgewählter Klimaschutztechnologien					Tabelle 8
Produkt und typische Anlage (Mt p.a.)	Prozess	Mehrkosten in Mio €		Infrastrukturbedarf	Abstimmung mit Maßnahmen zum Infrastrukturaufbau
		Invest	10 Jahre Betrieb ohne (mit) EU-EHS-Reform		
Stahl 2 Mt	Erdgas-DRI	1.200	700 (-550)	Erdgasversorgung (existiert)	Nutzung bestehender Infrastruktur; systemdienlicher Betrieb
	H ₂ -DRI*	1.200	5.100 (3.350)	Infrastruktur für die Produktion von erneuerbarem Strom, zur Wasserstoffelektrolyse sowie zum Transport und zur Speicherung von Wasserstoff. Bei komplementärer Verwendung von CCS-basiertem Wasserstoff auch Infrastruktur für CCUS.	Abstimmung von KSV auf die wirtschaftlichen Bedürfnisse, komplementäre Fördermechanismen und Nettokosten der Infrastrukturinvestitionen für Wasserstoff bzw. CCUS. Verträge zum Einkauf von Wasserstoff und Biomasse oder biogenen Brennstoffen als Grundlage zur Definition der Klimaschutzverträge.
NH ₃ 0,5 Mt	EE-H ₂ - (Drop-in)	0	1.200 (1000)	Infrastruktur für Transport, Speicherung und Verwendung von CO ₂ (CCUS) für BECCS außerdem Produktion, Aufbereitung und Anlieferung von Biomasse oder biogene Reststoffen.	
	EE-H ₂ (komplett)**	250	5.000 (4500)		
Zement 1 Mt	CCS	125	-70 (-70)		
	BECCS	0	150 (-85***)		

* Als Grundlage für die Berechnungen werden 6 Euro pro Kilogramm Wasserstoff angenommen. Durch den flexiblen Betrieb von DRI-Anlagen mit Erdgas und Wasserstoff ist eine beliebige Verschneidung der Mehrkosten für Erdgas-DRI und H₂-DRI möglich.

** Als Grundlage für die Berechnungen werden 6 Euro pro Kilogramm Wasserstoff angenommen.

*** Unter Einführung von CO₂-Senkengutschriften in Höhe des CO₂-Preises.

Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021)

→ **Synergien mit lokalen Produktionsverbänden sollen maximiert werden:** In vielen Fällen ergeben sich Möglichkeiten, Mehrkosten bei der Investition und dem Betrieb durch den Aufbau intelligenter Verbände zu senken. Ein Beispiel ist die Verwendung von Sauerstoff aus der Wasserstoffelektrolyse in einer Oxyfuel-Anlage. Eine Luftzerlegungsanlage kann sowohl Sauerstoff für den

Betrieb einer Oxyfuel-Anlage als auch Stickstoff für die Ammoniakproduktion liefern. Wo solche Synergien möglich sind, sollten sie als Wettbewerbsvorteile für die Förderung einer Anlage entsprechend unterstützt werden.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass die Integration einer Klimaschutzanlage mit der vorgela-

gerten Infrastruktur und den lokalspezifischen Produktionsverbänden die CO₂-Minderungskosten einer Investition senken kann. Darüber hinaus lassen sich über eine holistische Perspektive des Gesamtverbundes positive Übertragungseffekte generieren, die bei der Auswahl von Projekten für eine Förderung durch Klimaschutzverträge beachtet werden müssen.

Tabelle 8 gibt einen Überblick über ökonomische Aspekte der hier betrachteten Technologien, auch in Bezug auf ihre vorgelagerte Infrastruktur.

6.1.3 Kriterien zur Nachhaltigkeit beim Einkauf von Betriebsmitteln

Kriterien für den Einkauf und die Produktion von Betriebsmitteln wie Wasserstoff oder Biomasse, aber auch für die Sicherheit und Umweltintegrität von Dienstleistungen wie dem Transport und der Speicherung und Verwendung von CO₂ sind grundlegend für den Effekt, den der Betrieb einer Klimaschutzanlage auf die Treibhausgasbilanz der gesamten Wirtschaft hat. Somit ist es wichtig, dass ein Klimaschutzvertrag zur Förderung dieser Investitionen auch diese Aspekte in geeigneter Form definiert:

→ **Anforderungen an eine systemdienliche Wasserstoffelektrolyse:** Der Standort und zeitlicher Betrieb einer Wasserstoffelektrolyse sowie die ihr zugeordneten erneuerbaren Energiequellen im Abgleich mit der CO₂-Intensität des Netzstroms sind entscheidende Faktoren für die CO₂-Bilanz des produzierten Wasserstoffs. Darüber hinaus sind diese Kriterien maßgeblich für die Kosten von Wasserstoff und damit die Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion. Um diesen Zusammenhang anhand geeigneter Annahmen für das Jahr 2030 zu visualisieren, werden in Abbildung 22 die betrieblichen Kosten sowie die CO₂-Emissionen zur Herstellung von einem Kilogramm Wasserstoff über die Elektrolyse und die Dampfreformierung von Erdgas gegenübergestellt.⁵¹ Während der Preis

für den Einkauf von Erdgas und die Emissionen durch die Herstellung von fossilem Wasserstoff zeitlich konstant sind, ergibt sich bei der Herstellung von elektrolyse-basiertem Wasserstoff eine Abhängigkeit von der Volllaststundenzahl des Elektrolyseurs.

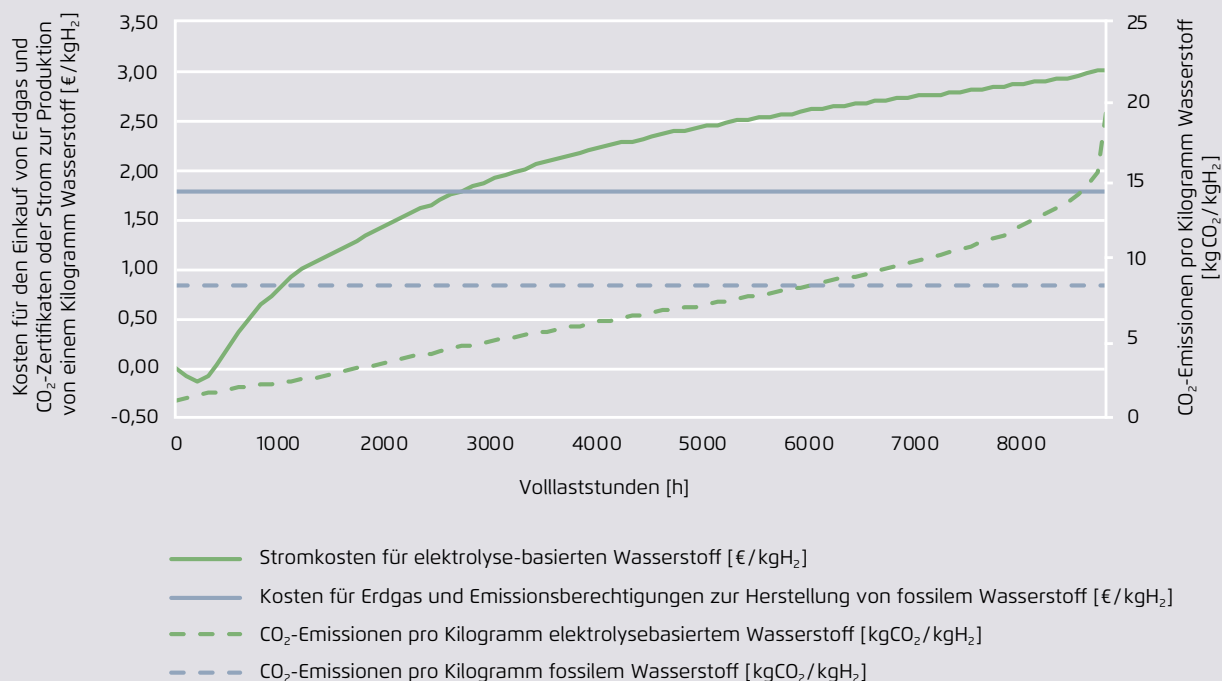
Die grundlegenden Kriterien für die Definition von erneuerbarem Wasserstoff wurden in der *Renewable Energy Directive* definiert, müssen aber noch im Rahmen eines delegierten Rechtsakts reglementiert werden. Sobald diese Kriterien feststehen, muss entschieden werden, ob diese Anforderungen auch als Grundlage für die Definition von Klimaschutzverträgen dienen können oder ob zusätzliche Forderungen definiert werden müssen, um den Anforderungen des Beihilferechts oder den Zielen der deutschen Bundesregierung zu entsprechen.

→ **Anforderungen an die Sicherheit und Umweltintegrität von CCUS:** Im Rahmen einer Förderung von CCUS müssen geeignete Kriterien für die Effizienz und Sicherheit der gesamten Produktionskette definiert werden. Die Verantwortlichkeit und Haftung für Unfälle, aber auch für das unbeabsichtigte Austreten von CO₂, müssen klar definiert werden, vor allem wenn eine geologische Lagerung im Ausland erfolgen soll. Auf der Ebene der EU werden zu diesem Thema entsprechende Regularien entwickelt. Es wird sich wiederum die Frage stellen, ob diese Anforderungen hinreichend sind oder ob im Rahmen einer Förderung durch Klimaschutzverträge zusätzliche Bedingungen gestellt werden müssen.

bildet eine Modellierung von Agora Energiewende für das Jahr 2030. Verglichen werden nur die Kosten für den Einkauf von Erdgas und Strom. Die Kapitalkosten für den Aufbau der Elektrolyse werden an dieser Stelle nicht betrachtet. Auch der Effekt, der sich durch das Einspeisen der von der RED II geforderten zusätzlichen Anlagen zur Produktion von Erneuerbaren Energien ergibt, wird an dieser Stelle nicht betrachtet.

51 Basis für die Stromkosten und den Netz-Emissionsfaktor

Vergleich der Kosten und CO₂-Emissionen zur Herstellung von fossilem und elektrolysebasiertem Wasserstoff als Funktion der Volllaststunden (Jahresdauerlinien) Abbildung 22



Agora Industrie (2021)

6.2 Klimaschutzverträge als Absicherungsinstrument für grüne Leitmärkte

Die Stahl-, Zement- und Chemiebranche eignen sich, wie zu Beginn des Kapitels beschrieben, kurzfristig für eine Förderung durch Klimaschutzverträge. Als einer der Gründe wurde angeführt, dass die Produktion von klimafreundlichem Zement, Stahl und Ammoniak die Entwicklung der entsprechenden grünen Leitmärkte für diese klimafreundlichen Grundstoffe anregen und somit helfen kann, eine Nachfrage und Zahlungswilligkeit für diese Produkte zu schaffen. Die Entwicklung einer nachhaltigen und stabilen Nachfrage nach klimafreundlichen Grundstoffen birgt zudem die Chance, diese Produkte als internationalen Standard zu definieren.

Die Entwicklung grüner Leitmärkte ist ein notwendiger Schritt, um öffentlichen und privaten Kund:innen den Kauf von klimafreundlichen Produkten zu ermöglichen – dieser Schritt ist jedoch mit Herausforderungen verbunden. Alle drei angesprochenen Branchen stellen Grundstoffe mit geringer Produktdifferenzierung her. Dieser Mangel an Differenzierung an der Basis komplexer und teilweise regionaler Wertschöpfungsketten erschwert es, höhere Preise für klimafreundliche Produktalternativen über ein oft sehr diversifiziertes Kundenportfolio zu rechtfertigen. Diese geringe Marktmacht stellt neben den teils hohen Transformationskosten der Umstellung auf Klimaschutztechnologien eine weitere Herausforderung beim Übergang zu klimafreundlichen Märkten dar. Die beginnende und unsichere Nachfrage nach klimafreundlichen Produkten reicht nicht aus, um diese wirtschaftlichen Risiken abzufedern.

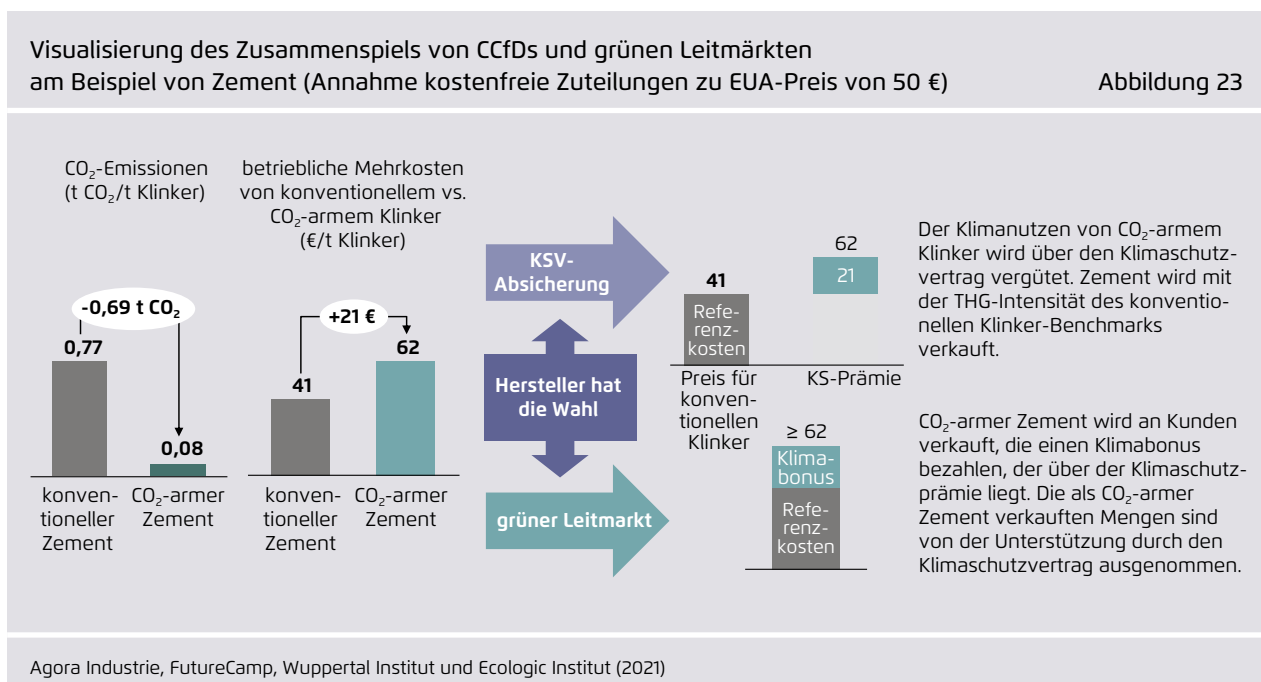
Klimaschutzverträge, mit denen die Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion abgesichert werden, sind ein ideales Instrument, um ein erstes Angebot an klimafreundlichen Grundstoffen zu schaffen. Zudem bieten Klimaschutzverträge eine erste Referenz für die Definition von klimafreundlichen Produkten, damit diese auch gezielt als Mehrwert für die Vermarktung genutzt werden können. Um Sicherheit für transformative und zukunftsfähige Investitionen zu bieten und gleichzeitig die Nachfrage nach klimafreundlichem Zement zu fördern, müssen Klimaschutzverträge entsprechend konzipiert werden. Unternehmen benötigen die Sicherheit, dass die Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion gedeckt werden, solange diese nicht vom Markt getragen werden. Gleichzeitig benötigen sie die Freiheit, ihre Produkte dann als „klimafreundlich“ zu vermarkten, wenn eine entsprechende Nachfrage und Zahlungsbereitschaft vorhanden sind.

Um beiden Bedingungen gerecht zu werden und die Grundlage für den Aufbau nachhaltiger grüner Leitmärkte zu legen, können Klimaschutzverträge als

Absicherungsinstrument konzipiert werden, wie es von Abbildung 23 am Beispiel von Zement visualisiert wird. Um dieses Konzept umzusetzen, werden Klimaschutzverträge als Verkaufsoption ohne feste Lieferverpflichtung gestaltet, wodurch Herstellern die freie Wahl der Vermarktungsmethode garantiert wird. In dieser Form sichern Klimaschutzverträge die Wettbewerbsfähigkeit von Klimaschutzinvestitionen ab und bieten den Unternehmen gleichzeitig einen Anreiz, ihre klimafreundlichen Produkte mit einem Klimabonus zu verkaufen, der der angebotenen Zahlung des Klimaschutzvertrags gleichwertig ist oder darüber hinausgeht, die Mehrkosten der CO₂-armen Produktion somit ausgleicht oder gar zu höheren Margen führt.

Für die Umsetzung dieses Konzeptes gibt es drei Argumente:

- a) Der Verkauf eines klimafreundlich hergestellten Produkts, dessen Produktion bereits durch einen Klimaschutzvertrag subventioniert wurde, würde zu einem Angebot ohne zusätzliche Kosten führen. Damit würde die Chance der



Entwicklung einer Zahlungsbereitschaft, mit der die Mehrkosten einer CO₂-armen Produktion gedeckt werden könnten, untergraben. Zudem würde diese Subvention marktverzerrend wirken, da alternative Strategien der Materialeffizienz und Substitution diskriminiert werden.

- b) Eine doppelte Anrechnung und etwaige Entlohnung der „grünen Eigenschaft“ ist auch aus der Perspektive des EU-Beihilferechtes problematisch. Geltendes Recht untersagt die Vermarktung der „grünen Eigenschaft“ und der impliziten CO₂-Minderung, wenn diese bereits vom Staat oder einer anderen Gesellschaftsgruppe finanziert wurde.
- c) Durch eine klare Bepreisung der „grünen Eigenschaft“ über die Absicherung durch den Klimaschutzvertrag erhalten Erzeuger die Marktmacht, geeignete Preiszuschläge durchzusetzen. Zudem erhalten verarbeitende Unternehmen so die Gewissheit, dass ihre Bemühungen, die „grüne Eigenschaft“ ihrer Produkte als Differenzial zu vermarkten, nicht durch subventionierte und weniger differenzierte Alternativen beschädigt werden.

Aus diesem Konzept ergeben sich darüber hinaus Konsequenzen für die Dynamisierung der Klimaschutzprämie, die im Kapitel 6.3.4 besprochen werden soll.

Darüber hinaus ist es sinnvoll, bei der Ausgestaltung von Klimaschutzverträgen auch das Ziel für den Aufbau von grünen Leitmärkten in den Blick zu nehmen. Dafür muss die klimafreundliche Eigenschaft der geförderten Grundstoffe und damit der Klimanutzen klar definiert werden, damit sichergestellt wird, dass sie sich als werthaltige Produkte etablieren. Die klimafreundliche Eigenschaft lässt sich durch den Vergleich der produktionsspezifischen Emissionen mit dem Benchmark der Referenztechnologie quantifizieren. Daraus folgt, dass es verschiedene Kategorien geben muss, die die Produk-

tionsweisen und deren Auswirkungen auf das Klima vergleichbar machen. Momentan existieren verschiedene Initiativen, die „grüne Eigenschaft“ von Produkten zu definieren. Darüber hinaus würde die Definition im Rahmen von Klimaschutzverträgen eine wichtige Referenz für die Entwicklung dieser Konzepte darstellen.

Die Definition der klimafreundlichen Eigenschaft ist weiterhin entscheidend für die Abstimmung von Klimaschutzverträgen mit anderen nachfrageorientierten Instrumenten. Eine entsprechende Anpassung der Regularien für die öffentliche Beschaffung stellt einen ersten signifikanten Hebel für die Förderung der öffentlichen Nachfrage dar. Dabei ist wichtig, dass die Kriterien und Definitionen für klimafreundliche Produkte in der öffentlichen Beschaffung mit denen des Klimaschutzvertrages abgestimmt werden. Schließlich muss die Diskussion nach einer Definition von Kriterien und Standards für klimafreundliche Produkte auch auf internationaler Ebene geführt werden, damit ein transparentes und globales *level playing field* für den Wettbewerb um die Produktion von klimafreundlichen Produkten angereizt wird.

Darüber hinaus kann die private Nachfrage gefördert werden, indem entsprechende Instrumente für das Monitoring und die Berichterstattung zu den CO₂-Emissionen in den angesprochenen Branchen etabliert werden, um Konsument:innen damit Transparenz und Entscheidungsmacht zu ermöglichen. Dabei ist es wichtig, dass überzeugende Produktlabels entwickelt werden, mit denen die komplexen Aspekte der Klimabilanz wissenschaftlich konsistent und gleichzeitig einfach und überzeugend kommuniziert werden.

6.3 Ausschreibung und Vergabe von Verträgen

Für die Vergabe von Klimaschutzverträgen wird ein zweistufiges Auswahlverfahren mit wettbewerblichen Elementen vorgeschlagen, um einerseits beihilferechtliche Anforderungen zu erfüllen, andererseits aber auch Kriterien zur strategischen Relevanz der Projekte einzubeziehen.

6.3.1 Ausschreibungs- und Auswahlprozess

Die Vergabe einer Förderung durch Klimaschutzverträge kann über ein zweistufiges Auswahlverfahren unter staatlicher Organisation realisiert werden. Die Förderung kann zunächst allen Unternehmen offenstehen, die in Deutschland Klimaschutzanlagen im Bereich der Stahl-, und Ammoniakproduktion mit erneuerbarem Wasserstoff, oder aber der CCUS-basierten Zementproduktion aufbauen möchten. Die Ausweitung auf andere, konzeptionell ähnliche oder neue Technologien ist dabei wünschenswert.

In der ersten Stufe des Verfahrens müssen die teilnehmenden Unternehmen auf der Basis einer Projektskizze das anvisierte Betriebskonzept und die daraus erwachsenden Transformationskosten definieren, um sich für eine Förderung zu bewerben. Die Betriebskonzepte und ihre Umsetzung können dabei sehr unterschiedlich ausfallen. Gerade deshalb ist es wichtig, dass über die eingereichten Projektskizzen hinweg Vergleichbarkeit geschaffen wird. Dies kann einerseits erfolgen, indem die Transformationskosten mit einem dafür geeigneten Transformationskostenrechner ermittelt werden. Andererseits sollten zur Grundlage der Bewertung der Projektskizzen klare Bewertungskriterien definiert und verwendet werden (siehe Kapitel 6.2.2). Auf dieser Basis kann eine erste wettbewerbliche Auswahl getroffen werden.

Im zweiten Schritt des Auswahlverfahrens reichen Unternehmen einen formalen Antrag ein. Anschließend kann ein projektspezifischer Klimaschutzvertrag ausgehandelt werden, der auf anlagen- und

konzeptspezifische Eigenheiten eingeht. Dabei sollte das vorgeschlagene Betriebskonzept geprüft und der generische Transformationskostenrechner in ein projektspezifisches Finanzmodell übertragen werden. Dieses Modell und die daraus errechneten CO₂-Minderungskosten bilden dann die Grundlage für die Definition des Klimaschutzvertrages. Dabei müssen auch die Mechanismen für die Dynamisierung, Verifizierung und Abrechnung aller Vertragsparameter in geeigneter Form festgelegt werden (siehe Kapitel 6.3). Für erste Projekte sollte darüber hinaus eine betriebswirtschaftliche Prüfung des Finanzierungsmodells vor dem Abschluss des Klimaschutzvertrags sowie ein betriebswirtschaftliches Audit im Rahmen von regelmäßigen Abrechnungsperioden erfolgen. Auf der Basis der ersten Erfahrungen kann das Ausschreibungsmodell weiterentwickelt und gegebenenfalls vereinfacht werden.

6.3.2 Kriterien zur Vergabe

Die Auswahl von Projekten sollte auf der Basis transparenter Kriterien erfolgen. Eine klare Definition der CO₂-Minderungskosten spielt dafür eine zentrale Rolle. Die CO₂-Minderungskosten stellen nicht nur die Grundlage für die Diskussion und Definition eines geeigneten Vertragspreises dar. Sie bilden auch das zentrale Element zur Ermittlung der Kosteneffizienz der CO₂-Minderung und damit den direkten Beitrag zum Klimaschutz einerseits und zur ökonomischen Effizienz andererseits. Obschon das wettbewerbliche Element der CO₂-Minderungskosten ein wichtiges Kriterium zur Auswahl förderungswürdiger Projekte darstellt, sollten auch strategische Aspekte, positive Übertragungseffekte und der externe Nutzen bei der Projektauswahl betrachtet werden:

→ **Kohärenz des Projektes mit dem Ziel der Klimaneutralität:** Der Aufbau und Betrieb einer Klimaschutzanlage stellt nur einen der notwendigen Schritte beim Übergang zur Klimaneutralität dar. Um sicherzustellen, dass Projekte gefördert werden, die mit dem Ziel der Klimaneutralität kompatibel sind, sollten Unternehmen im Rahmen ihrer Projektskizze

zum Antrag darstellen, welche Rolle das Projekt im Rahmen einer kompletten und umsetzbaren Strategie des Unternehmens zur Erreichung der Klimaneutralität einnimmt. Zudem sollten Unternehmen in diesem Kontext darauf eingehen, wie sie sich den Zugang zur benötigten Infrastruktur erschließen möchten.

→ **Darstellung der positiven Übertragungseffekte:** Klimaschutzverträge können idealerweise Projekte fördern, die einerseits kurzfristig kosteneffiziente CO₂-Minderungen anstoßen und andererseits einen strategischen Beitrag zur Klimaneutralität Deutschlands leisten. Um diese Chancen zu nutzen, sollten Projekte darlegen, welchen externen Nutzen sie für den Aufbau der übergeordneten Infrastruktur oder von regionalen Produktionsverbänden bieten. So können mit dem Betrieb einer Klimaschutzanlage Synergien mit anderen, angrenzenden Prozessen und Anlagen erschlossen werden. Dies kann zum Beispiel im Rahmen der Nutzung von CO₂ oder Abwärme aus örtlich an das Projekt angrenzenden Anlagen umgesetzt werden. So können Klimaschutzverträge auch einen Beitrag dazu leisten, klimafreundliche Produktionsverbände zu schaffen und Ressourceneffizienz in der gesamten Wertschöpfungskette klimafreundlicher Prozesse herzustellen.

→ **Förderung grüner Leitmärkte:** Ein weiteres Kriterium zur Auswahl förderungswürdiger Projekte geht über die Schaffung des Angebots hinaus und adressiert den Aspekt der Nachfrage nach klimafreundlichen Produkten, ohne die sich ein stabiler Markt für solche Produkte langfristig nicht etablieren lässt. Dies ist im Rahmen von Eigenanteilen zur freien Vermarktung umsetzbar. Projekte, die sich im Rahmen des Klimaschutzvertrags dazu verpflichten, einen Prozentualen Anteil oder ein Mindestvolumen der Produktion als CO₂-armes Produkt am Markt abzusetzen, und deshalb nur eine anteilige Förderung beantragen, könnten im Auswahlverfahren entsprechend bevorzugt werden.

6.3.3 Übergreifende Aspekte zur Vergabe von Verträgen

Die Vergabe von Klimaschutzverträgen sollte zunächst für spezifische Branchen und Klimaschutztechnologien erfolgen, die für eine Transformation hin zur Klimaneutralität maßgeblich sind. Langfristig ist der Übergang in eine branchenübergreifende Vergabe denkbar – beispielsweise zur Förderung des Einsatzes von erneuerbarem Wasserstoff. Durch diese transversale Förderung kann sichergestellt werden, dass der industrielle Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff dort priorisiert wird, wo er ökonomisch und ökologisch den größten Nutzen erzielt.⁵²

Bei der im vorliegenden Kapitel beschriebenen möglichen Ausgestaltung des Vergabeprozesses und insbesondere der Kriterien kann sichergestellt werden, dass Projekte gefördert werden, die kosteneffizient zu signifikanten CO₂-Minderungen beitragen, dabei grüne Leitmärkte fördern und über klimaneutrale Produktionsverbände und die synergetische Nutzung und Wiederverwendung von Energieträgern im Zusammenspiel mit anderen Industrieanlagen zu positiven Übertragungseffekten und dem Aufbau einer Kreislaufwirtschaft beitragen.

6.4 Definition des Vertragspreises, Dynamisierung und Abrechnung

Zur Ermittlung der Klimaschutzprämie, die vom Staat effektiv an Unternehmen entrichtet wird, muss der Vertragspreis definiert werden. Dieser errechnet sich aus den mittleren CO₂-Minderungskosten – dem Quotienten aus den Mehrkosten und der CO₂-Minderung pro Tonne Grundstoff. Durch die Dynamisierung des Vertragspreises errechnet sich die Klimaschutzprämie. Ihre Höhe wird von mehreren Faktoren beeinflusst, die in den Unterkapiteln 6.4.1 bis 6.4.3 behandelt werden.

⁵² Dabei ist darauf zu achten, dass es nicht aufgrund anderer Politikeffekte oder einer stark unterschiedlichen Zahlungsbereitschaft zu Verzerrungen kommt.

6.4.1 Regulatorischer Rahmen

Die Entwicklung des regulatorischen Rahmens hat einen erheblichen Einfluss auf die Höhe der Klimaschutzprämie; dies wurde eingehend in Kapitel 5 diskutiert. Insbesondere der EU-Emissionshandel und die mögliche Einführung eines Grenzausgleichsmechanismus sind hier relevant. Der CO₂-Marktpreis im Rahmen des EU-EHS wirkt nicht in gleichem Maße auf alle Technologien ein, was durch die auf Basis der definierten Benchmarks erfolgenden kostenfreien Zuteilungen zustande kommt. Mit dem Absenken der Benchmarks kommt es zudem zu leichten Unterdeckungen an kostenfreien Zuteilungen für Referenz- und Klimaschutztechnologien. In der Praxis ergeben sich dadurch die schon diskutier-

ten Szenarien 1 und 2. Zudem wird mit Szenario 3 ein hypothetischer bzw. zukünftiger Fall beleuchtet. Die Klimaschutzprämie muss so konzipiert sein, dass sie auf alle Szenarien abgestimmt und dementsprechend angepasst werden kann, um so eine Unter- oder Überförderung zu vermeiden. Dabei ist damit zu rechnen, dass sich die Regularien über die Zeit ändern – somit muss sich der Vertrag dynamisch anpassen lassen. Tabelle 9 bietet einen Überblick über die spezifischen Aspekte der drei Szenarien.

6.4.2 Schwankungen der Kosten von Betriebsmitteln

Die Betriebskosten spielen eine wichtige Rolle bei der Dynamisierung der Klimaschutzprämie. Ihre

Auswirkungen der drei Szenarien einer Kombination von Klimaschutzverträgen mit der Vergabe kostenfreier Zuteilungen auf die dynamische Berechnung der Klimaschutzprämie

Tabelle 9

Szenario 1: Technologiespezifische kostenfreie Zuteilungen für Referenz- und Klimaschutzanlage

Die kostenfreien Zuteilungen entsprechen den effektiven Emissionen einer spezifischen Technologie, können sich aber durch eine Anpassung der jeweiligen Benchmarks ändern. Diese Anpassungen beeinflussen die Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion und müssen im Rahmen der dynamisierten Berechnung der Klimaschutzprämie betrachtet werden. Sollten sich die Regularien dahingehend ändern, dass für Referenz- und Klimaschutztechnologie äquivalente kostenfreie Zuteilungen definiert werden, so kann auch diese Entwicklung abgebildet werden. Es ergibt sich das Szenario 2.

Szenario 2: Äquivalente kostenfreie Zuteilungen auf der Basis eines Produktbenchmarks

Hier bekommen Referenz- und Klimaschutztechnologie äquivalente kostenfreie Zuteilungen und es kommt über den Verkauf von überschüssigen kostenfreien Zuteilungen für die Klimaschutztechnologie zu entsprechenden Einnahmen. In diesem Szenario gestaltet sich der Klimaschutzvertrag als *Carbon Contract for Difference* (CCfD). Der CO₂-Marktpreis kann zur Berechnung der Klimaschutzprämie direkt in Abzug gebracht werden.

Szenario 3: Wegfall äquivalenter kostenfreier Zuteilungen und Einführung eines CBAM

Dies entspricht dem Vorschlag der EU-Kommission, in einem ersten Schritt äquivalente kostenfreie Zuteilungen für Referenz- und Klimaschutztechnologien sicherzustellen (wie Szenario 2). In einem zweiten Schritt sollen die kostenfreien Zuteilungen dann graduell über zehn Jahre abgebaut und gleichzeitig ein CBAM eingeführt werden. Im Prinzip kompensieren sich die steigenden Referenzkosten der Referenzanlage und die sinkenden Einnahmen aus dem Verkauf der kostenfreien Zuteilungen, doch in der Praxis müssen diese Faktoren für die jährliche Berechnung der dynamischen Klimaschutzprämie in Betracht gezogen werden.

Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021)

Höhe kann teilweise erheblich schwanken. Dabei lassen sich die Auswirkungen der Betriebskosten auf die Klimaschutzprämie in drei verschiedene Kategorien einteilen:

- **Keine relevanten Mehrkosten beim Umstieg von Referenz- auf Klimaschutztechnologie:** Diese Kostenblöcke sind für den Klimaschutzvertrag unbedeutend. Ein Beispiel für diese Kategorie sind unter anderem allgemeine Betriebskosten.
- **Relevante, aber statische Mehrkosten:** Diese Kostenblöcke sind für die Definition des Vertragspreises relevant, können aber gut bestimmt und fixiert werden. Als Beispiel für diese Kategorie kann unter anderem der Einkauf von Sauerstoff genannt werden.
- **Relevante variable Mehrkosten durch Preisschwankungen der Einsatzstoffe:** Diese Kostenblöcke sind für die Definition des Vertragspreises relevant, können aber nur schwer prognostiziert werden. Unter diese Kategorie fallen beispielsweise Strom, Erdgas und Kohle, aber auch verschiedene Qualitäten von Eisenerz.

Um die Mehrkosten bei den Betriebskosten aus Kategorie 3 zu decken, kann es sinnvoll sein, im Rahmen des Klimaschutzvertrags entweder eine Preisindizierung vorzunehmen oder projektspezifische vertragliche Vereinbarungen zu treffen. So kann eine Unter- bzw. Überförderung vermieden werden.

Eine Preisindizierung ist sinnvoll, um einer Veränderung der relativen Kosten der Betriebsmittel im Rahmen der Zahlung der Klimaschutzprämie Rechnung zu tragen. Projektspezifische vertragliche Vereinbarungen sind darüber hinaus dann sinnvoll, wenn mit dem Betrieb einer Klimaschutzanlage auch die Absicherung des Einkaufs von Betriebsmitteln notwendig ist. Dies ist beispielsweise beim Einsatz von Wasserstoff der Fall, da hier die Investition und der Betrieb der Elektrolyseure abgesichert werden muss.

6.4.3 Anrechnung der frei vermarkteten Mengen an CO₂-armem Produkt

Neben dem regulatorischen Rahmen und den Schwankungen der Betriebsmittel hat die Rolle des Klimaschutzvertrags als Absicherungsmechanismus für grüne Leitmärkte einen Einfluss auf die effektiv zu entrichtende Klimaschutzprämie. Unternehmen sollten die Möglichkeit haben ihre klimafreundlich hergestellten Produkte frei als „grüne“ Produkte am Markt zu verkaufen, wenn ihnen ein Klimabonus angeboten wird, der die Mehrkosten der klimafreundlichen Produktion mindestens deckt bzw. übersteigt (siehe Kapitel 6.2). In diesem Falle erübrigt sich die Notwendigkeit einer Förderung der Mehrkosten für das als „grün“ verkaufte Produktvolumen.

Der Anteil des am Markt als „grün“ verkauften Produkts muss zum Ende der jeweiligen Abrechnungsperiode von der zu entrichtenden Klimaschutzprämie abgezogen werden. Im Resultat trägt der Klimaschutzvertrag die Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion so lange, bis der Markt eine hinreichende Nachfrage und Zahlungsbereitschaft für „grüne“ Produkte entwickelt hat. Das nicht als grün verkaufte und dementsprechend durch den Klimaschutzvertrag geförderte Produktvolumen muss entsprechend mit der CO₂-Intensität der Referenztechnologie vermarktet werden. Für dieses Konzept gibt es drei Argumente:

- a) Der Verkauf eines klimafreundlich hergestellten Produkts, dessen Produktion bereits durch einen Klimaschutzvertrag subventioniert wurde, würde zu einem Angebot ohne zusätzliche Kosten führen. Damit würde die Chance der Entwicklung einer Zahlungsbereitschaft, mit der die Mehrkosten einer CO₂-armen Produktion gedeckt werden könnten, untergraben werden. Zudem würde diese Subvention marktverzerrend wirken, da alternative Strategien der Materialeffizienz und Substitution diskriminiert werden.
- b) Eine doppelte Anrechnung und etwaige Entlohnung der „grünen Eigenschaft“ ist auch aus der

Perspektive des EU-Beihilferechtes problematisch. Geltendes Recht untersagt die Vermarktung der „grünen Eigenschaft“ und der impliziten CO₂-Minderung, wenn diese bereits vom Staat oder einer anderen Gesellschaftsgruppe finanziert wurde.

- c) Durch eine klare Bepreisung der „grünen Eigenschaft“ über die Absicherung durch den Klimaschutzvertrag erhalten Erzeuger die Marktmacht, geeignete Preiszuschläge durchzusetzen. Zudem erhalten verarbeitende Unternehmen so die Gewissheit, dass ihre Bemühungen, die „grüne Eigenschaft“ ihrer Produkte als Differenzial zu vermarkten, nicht durch subventionierte und weniger differenzierte Alternativen beschädigt werden.

6.4.4 Abrechnung der Klimaschutzprämie

Zur Abrechnung der Klimaschutzprämie wird eine regelmäßige Vorauszahlung und eine zu einem festgesetzten Zeitpunkt (zum Beispiel jährlich) erfolgende Ex-post-Abrechnung der Prämie vorgeschlagen. Durch dieses Vorgehen können sich ändernde regulatorische Rahmenbedingungen und deren Einfluss auf die Mehrkosten, die im Rahmen von grünen Leitmärkten als klimafreundlich vermarkteten Produktanteile sowie die Schwankungen der Betriebsmittelpreise von der auszahlenden Klimaschutzprämie abgezogen werden.

Wichtig ist dabei, dass Unternehmen den Anteil der als „grün“ vermarkteten Produkte verifizieren können. Gleiches gilt für den Verkauf des konventionellen Produkts – auch hier sollten Unternehmen den entsprechenden Nachweis erbringen.

6.4.5 Veranschaulichung dynamischer Preisentwicklung am Beispiel der Stahl-, Chemie- und Zementindustrie

Die regulatorischen Rahmenbedingungen sowie die Preise für Betriebsmittel und CO₂-Emissionen haben einen großen Einfluss auf die Mehrkosten für die Produktion klimafreundlicher Produkte im Vergleich

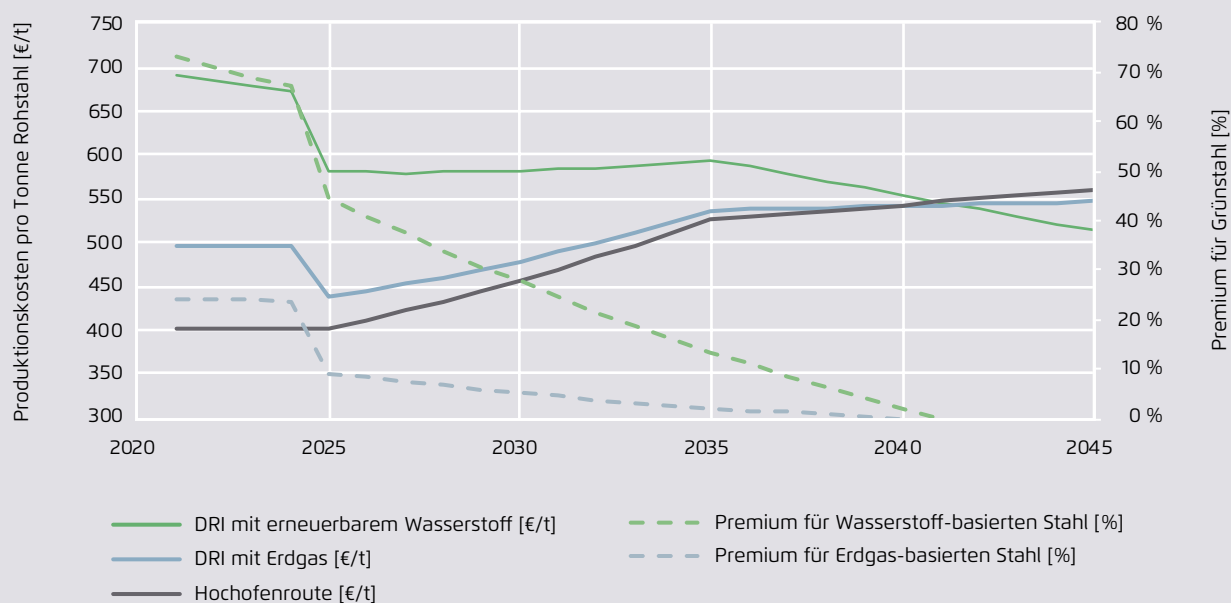
zum Referenzprozess. Diese Mehrkosten sind die Grundlage für die dynamische Berechnung der Klimaschutzprämie. Darüber hinaus definieren sie den Klimabonus, der beim Verkauf eines klimafreundlichen Produktes am Markt realisiert werden muss. Die Höhe dieses Mindestpreises für die „grüne Eigenschaft“ im Verhältnis zur Zahlungsbereitschaft der Abnehmer:innen beeinflusst die Nachfrage nach klimafreundlichen Produkten. Mit sinkenden Mehrkosten der klimafreundlichen Produktion ist von einer wachsenden Nachfrage und damit einer Entlastung von Klimaschutzverträgen zu rechnen.

Abbildung 24 zeigt eine Projektion der Produktionskosten (Capex und Opex) für verschiedene Routen der Stahlproduktion. Ausgangspunkt für die Projektion sind die heute geltenden Regularien für die Vergabe von kostenfreien Zuteilungen. Wie bereits in Kapitel 6.3.1 erwähnt, erhalten die Hochofenroute und die DRI-Route gegenwärtig technologiespezifische kostenfreie Zuteilungen (Szenario 1). Die Einführung äquivalenter kostenfreier Zuteilungen im Jahr 2026 führt zu einer deutlichen Senkung der Mehrkosten für DRI-Stahl (Szenario 2). Zwischen 2026 und 2035 werden die kostenfreien Zuteilungen abgebaut und im Gegenzug ein CBAM schrittweise eingeführt, wodurch die Referenzkosten steigen (Szenario 3). Durch die damit einhergehende sukzessive Internalisierung des CO₂-Preises und durch die Annahme sinkender Wasserstoffkosten fallen auch die Mehrkosten für klimafreundlichen Stahl.⁵³ Geringe Mehrkosten für die „grüne Eigenschaft“ regen die Nachfrage an, was zu einem im Laufe der Zeit steigenden Absatz von „Grünstahl“ führen sollte. Unter den hier getroffenen Annahmen wird klimafreundlicher Stahl nach 2040 preissetzend und verdrängt das konventionelle Produkt vom Markt.

⁵³ Es wird hier von einer CO₂-Preissteigerung von 50 Euro pro EU-Emissionsberechtigung (EUA) im Jahr 2020 auf 90 Euro pro EUA im Jahr 2040 ausgegangen. Als Preise für Wasserstoff werden 4,40 Euro pro Kilogramm im Jahr 2025 und 2 Euro pro Kilogramm im Jahr 2040 angenommen.

Projektion der Kosten für die Stahlproduktion mit verschiedenen Routen im Falle der Einführung eines CBAM

Abbildung 24



Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut (2021a)

In Abbildung 25 ist eine mögliche Kostenentwicklung für konventionellen und CCUS-basierten Zementklinker dargestellt. In der Zementbranche erhalten sowohl Referenz- als auch Klimaschutztechnologie äquivalente kostenfreie Zuteilungen. Die Einführung eines CBAM und der damit verbundene Verlust der kostenfreien Zuteilungen ab dem Jahr 2026 führen zu einem Anstieg der Kosten für beide Produktionsverfahren. Durch einen steigenden CO₂-Preis⁵⁴ sinken jedoch die Mehrkosten recht schnell und stützen eine marktgetriebene Nachfrage nach klimafreundlichem Zement. Über Strategien der Vermeidung und Materialeffizienz lassen sich zudem die Ressourceneffizienz steigern und Kosten für Konsument:innen begrenzen. Aufgrund der geringeren CO₂-Minderungskosten beim Übergang von der

54 Es wird hier von einer CO₂-Preissteigerung von 50 Euro pro EU-Emissionsberechtigung (EUA) im Jahr 2020 auf 90 Euro pro EUA im Jahr 2040 ausgegangen.

Referenz- zur Klimaschutztechnologie wird die klimafreundliche Produktion von Zementklinker im Vergleich zur Stahlproduktion voraussichtlich schon in den dreißiger Jahren wettbewerbsfähig und etabliert sich als Standard.⁵⁵

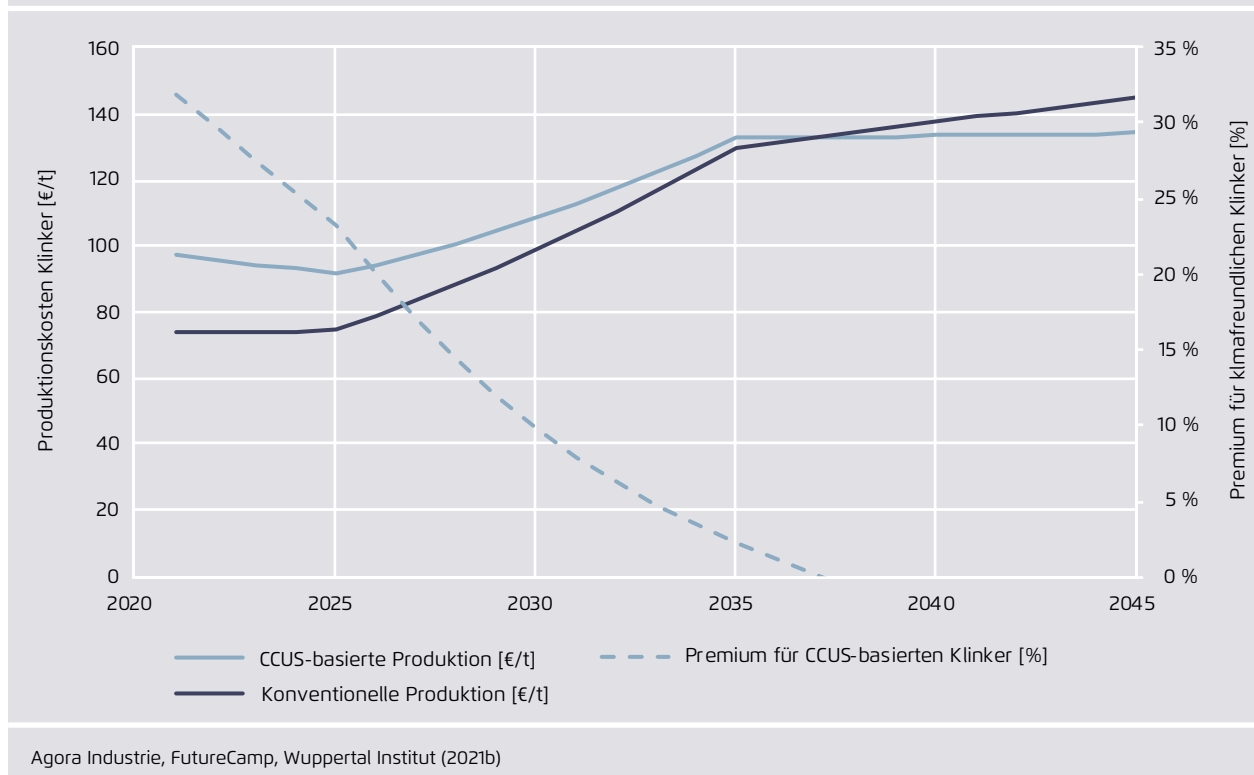
Abbildung 26 veranschaulicht eine Projektion der Investitions- und Betriebskosten für die konventionelle Ammoniakproduktion im Vergleich zum Prozess mit erneuerbarem Wasserstoff. In beiden Fällen gehen wir von einem Neubau der Anlage aus, wie sie langfristig notwendig wäre.⁵⁶ Ausgangspunkt für die Projektion sind die geltenden Regularien für die

55 Dies gilt für logistisch günstig gelegene Standorte oder die Annahme, dass auch Anlagen im Hinterland über den Aufbau einer Transportinfrastruktur für CO₂ erschlossen werden.

56 Die Investitionskosten für beide Anlagen sind sehr ähnlich und beeinflussen die Mehrkosten kaum.

Projektion der Produktionskosten für die konventionelle und CCUS-basierte Produktion von Zementklinker im Falle der Einführung eines CBAM

Abbildung 25



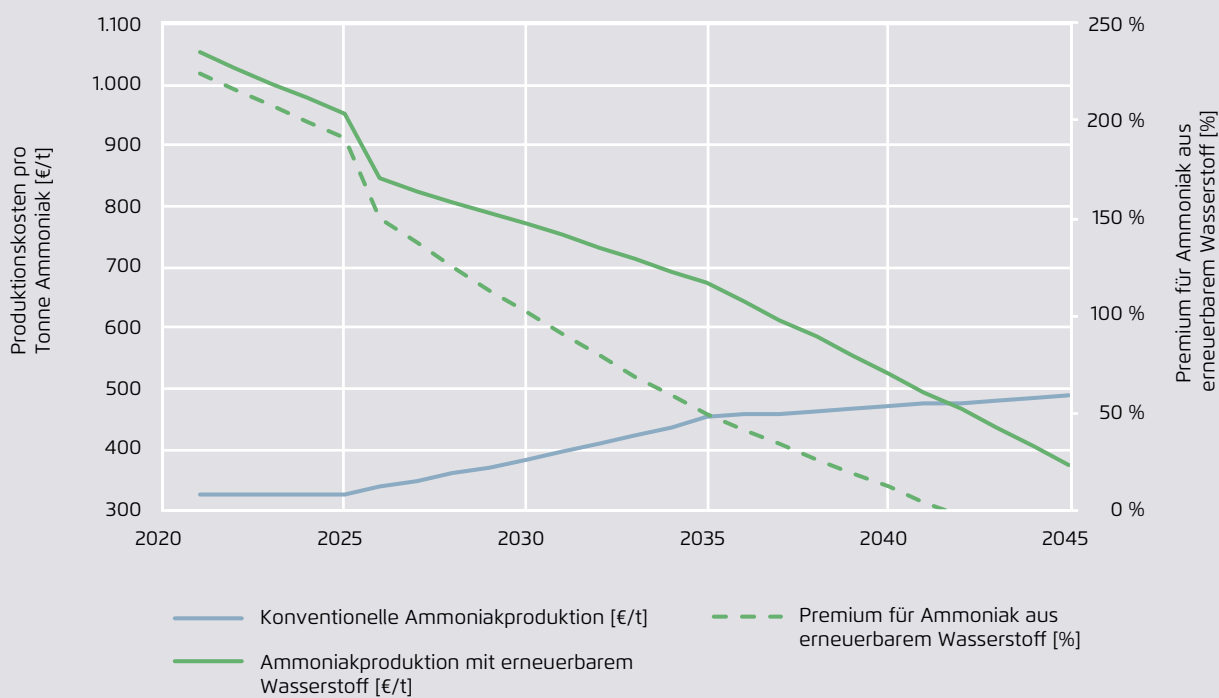
Vergabe von kostenfreien Zuteilungen. Wie bereits in Kapitel 6.4.1 erwähnt, gehen beim Ersatz der Dampfreformierung durch erneuerbaren Wasserstoff die kostenfreien Zuteilungen verloren (Szenario 1). Die Einführung äquivalenter kostenfreier Zuteilungen im Jahr 2025 führt zu einer deutlichen Senkung der Mehrkosten für erneuerbaren Ammoniak (Szenario 2). Zwischen 2026 und 2035 werden die kostenfreien Zuteilungen abgebaut und im Gegenzug ein CBAM schrittweise eingeführt, wodurch die Referenzkosten steigen (Szenario 3). Seitens der klimafreundlichen Ammoniakproduktion führen sinkende Wasserstoffkosten zu sinkenden Produktionskosten.⁵⁷ Aufgrund

der bis 2040 verhältnismäßig hohen Mehrkosten für klimafreundliches Ammoniak und eventuell geringer Zahlungsbereitschaft in der Düngemittelbranche ist eine substanzielle Nachfrage aus diesem Segment fraglich. Anders verhält es sich bei der Nachfrage für klimafreundlichen Ammoniak als erneuerbarer Energieträger, wie zum Beispiel für den Ersatz fossiler Treibstoffe in der Schifffahrt. Hier wird die Zahlungsbereitschaft über andere Politikinstrumente, wie zum Beispiel die Quote zur Verwendung von RFONB sichergestellt. Da konventioneller Ammoniak für diese Anwendungen keine Referenz darstellt, ist beim Absatz von erneuerbarem Ammoniak als Treibstoff somit nur um seine Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich zu anderen erneuerbaren Treibstoffen entscheidend.

⁵⁷ Es wird hier von einer CO₂-Preissteigerung von 50 Euro pro EU-Emissionsberechtigung (EUA) im Jahr 2020 auf 90 Euro pro EUA im Jahr 2040 ausgegangen. Als Preise für Wasserstoff werden 4,40 Euro pro Kilogramm im Jahr 2025 und 2 Euro pro Kilogramm im Jahr 2040 angenommen.

Projektion der Produktionskosten von Ammoniak mit erneuerbarem Wasserstoff im Vergleich zur konventionellen Route im Falle der Einführung eines CBAM

Abbildung 26



Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut (2021c)

7 Finanzbedarf und Finanzierung von Klimaschutzverträgen

Im Rahmen dieses Kapitels beleuchten wir verschiedene Szenarien für den Finanzbedarf für den Aufbau und die klimafreundliche Produktion von Stahl, Zement und Ammoniak. Ausgangspunkt bildet ein Szenario, welches den geltenden Regularien zum *Carbon-Leakage*-Schutz entspricht und entgegen den Vorschlägen der EU-Kommission auch langfristig relevant sein könnte. In einem zweiten Szenario wird die von der EU-Kommission konzipierte Reform des *Carbon-Leakage*-Schutzes mit einbezogen und analysiert.

Auf der Basis dieser Szenarien diskutieren wir die Auswirkungen und Optionen für eine entsprechende Refinanzierung von Klimaschutzverträgen.

7.1 Finanzbedarf zur Absicherung der Transformation der Stahl-, Zement- und Ammoniakproduktion

Die Transformation der Stahl-, Zement- und Ammoniakproduktion kann zu einem Eckpfeiler einer langfristigen Strategie zur Sicherung des Industriestandortes werden. Wie schon dargelegt, können geeignete Konzepte zur Ausgestaltung der Transformation technische und ökonomische Chancen nutzen und Hürden langfristig abtragen und so zur Schaffung der für die Klimaneutralität des Landes wichtigen Infrastruktur beitragen.

Im Falle der Stahlbranche bedeutet das, dass die bis 2030 erforderlichen Investitionen für eine Neuzustellung von Hochöfen konsequent für die Transformation zur Eisendirektreduktion oder zur Sekundärstahlproduktion genutzt werden. In der Ammoniakbranche kann die anteilige Substitution von fossilem Wasserstoff zum Aufbau der Infrastruktur für erneuerbaren Wasserstoff beitragen,

kurzfristig Emissionsminderungen ermöglichen und langfristig die vollständige Transformation hin zu erneuerbarem Wasserstoff vorbereiten. Im Zementsektor können bestehende Anlagen nachgerüstet werden. Bis 2030 geht es darum, anhand erster großtechnischer Anlagen CCUS-Regularien zu entwickeln, Technologien zu skalieren und eine CO₂-Infrastruktur aufzubauen, um damit nicht nur Kosten zu senken, sondern die Transformation zur Klimaneutralität bis 2045 überhaupt möglich zu machen.

In der Folge fassen wir diese branchenspezifischen Szenarien zusammen und beleuchten die dafür anfallenden Kosten.

7.1.1 Die Transformationskosten für eine klimafreundliche Primärstahlproduktion

Vor 2030 müssen in Deutschland etwa 16 Millionen Tonnen an Hochofenkapazitäten neu zugestellt werden. Im Zuge des Aufbaus einer klimafreundlichen und zukunftsfähigen Stahlbranche können etwa 5 Millionen Tonnen der zu reinvestierenden Hochofenkapazitäten durch die Sekundärstahlroute ersetzt werden. Weitere 11 Millionen Tonnen an Kapazität können durch Anlagen zur Eisendirektreduktion ersetzt werden. Wie in Kapitel 3.1. dargelegt⁵⁸, erfordert das den Aufbau von 12 Millionen Tonnen an DRI-EAF-Anlagen im Zeitraum von 2025 bis 2030. Die Gesamtinvestitionen dafür betragen etwa 10 Milliarden Euro und damit 8 Milliarden Euro mehr als bei der Neuzustellung bestehender Anlagen. Darüber hinaus fallen Mehrkosten beim

58 Eine detaillierte Analyse zur Transformation der Stahlindustrie bieten Agora Energiewende, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021a): *Klimaschutzverträge für die Industrietransformation. Analyse zur Stahlbranche.*

Betrieb an, die sich hauptsächlich aus den höheren Kosten für erneuerbaren Wasserstoff statt der in der Referenzanlage verwendeten Koks Kohle ergeben. Im hier analysierten Szenario wird zunächst auch Erdgas verwendet, doch der Wasserstoffanteil für die Eisendirektreduktion steigt bis 2030 auf knapp 80 Prozent. Gehen wir von einer konservativen Entwicklung der Wasserstoffkosten aus, so ergeben sich im Rahmen des hier angenommen Markthochlaufes betriebliche Mehrkosten von bis zu 27 Milliarden Euro.⁵⁹ Diese Mehrkosten für eine klimafreundliche Produktion müssen zunächst durch Klimaschutzverträge abgesichert werden. Je nach der Entwicklung der Rahmenbedingungen muss aber nur ein Teil dieser Mehrkosten auch wirklich ausgezahlt werden.

Eine erste zentrale Variable der Mehrkosten ist die Kostenregression beim Einkauf von Wasserstoff. Zentrales Ziel bei der Vergabe von Klimaschutzverträgen in der Stahlbranche sollte sein, durch Skalierungseffekte die Kosten für die Produktion von erneuerbarem Wasserstoff zu senken. Sollte es möglich sein, Verträge zum Einkauf von Wasserstoff zu geringeren Kosten als denen des konservativen Szenarios abzuschließen, lassen sich die Mehrkosten stark reduzieren. Bei 4,40 Euro pro Kilogramm Wasserstoff anstelle von 6 Euro im Jahr 2025 und 3,70 Euro statt der konservativ veranschlagten 5,40 Euro pro Kilogramm im Jahr 2030 reduzieren sich die betrieblichen Mehrkosten der gesamten Transformation um 8 Milliarden Euro. Eine Absicherung der Transformation der Stahlbranche über

⁵⁹ Dabei gehen wir davon aus, dass von 2025 bis 2030 jedes Jahr DRI-EAF-Kapazitäten von je 2 Millionen Jahrestonnen in Betrieb genommen werden und dass ihre betrieblichen Mehrkosten über zehn Jahre mit Klimaschutzverträgen abgesichert werden. Im Rahmen dieser Zehn-Jahres-Verträge werden die Kosten für den Einkauf von Wasserstoff konstant gehalten, um auch den Wasserstoffproduzenten Investitionssicherheit zu gewährleisten. Die konservative Annahme geht von 6 Euro pro Kilogramm Wasserstoff im Jahr 2025 und einem linearen Abfall auf 4,4 Euro pro Kilogramm Wasserstoff für 2040 aus.

Klimaschutzverträge in Kombination mit weiteren Politikinstrumenten schafft Synergien und ist damit selbst eine Voraussetzung für die gewünschte Kostenregression.

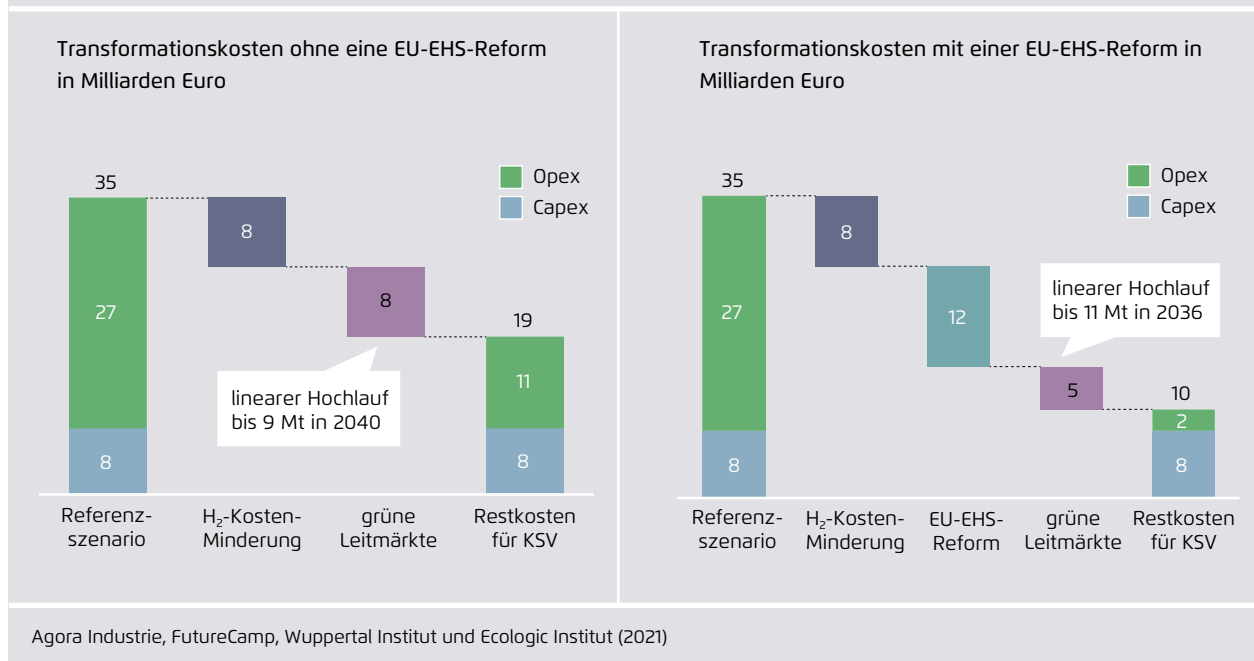
Über diese Kostensenkung hinaus stellt sich die Frage, wie die verbleibenden Mehrkosten durch andere Politikinstrumente beeinflusst oder finanziert werden können. Die Abbildung 27 visualisiert dazu zwei relevante Szenarien:

Im Szenario der linken Grafik gehen wir davon aus, dass auch weiterhin technologiespezifische kostenfreie Zuteilungen vergeben werden. Somit müssen die Mehrkosten für klimafreundlich erzeugten Stahl auch langfristig vollständig durch Klimaschutzverträge oder aber durch einen recht hohen Klimabonus für den Verkauf als Grünstahl am freien Markt getragen werden. Wie oben schon erwähnt, kann man bei einem effizienten Markthochlauf erwarten, dass sich die Wasserstoffkosten im Laufe der Jahre 2025 bis 2030 schneller als erwartet senken lassen, was die Kosten um etwa 8 Milliarden reduzieren könnte. Zudem gehen wir davon aus, dass die Nachfrage nach grünem Primärstahl trotz signifikanter Mehrkosten linear auf 9 Millionen Tonnen im Jahr 2040 steigt. Dadurch könnte die marktbasierende Zahlungsbereitschaft nach grünem Stahl einen Anteil von etwa 8 Milliarden Euro der Transformationskosten tragen. Unter den getroffenen Annahmen müssten somit noch betriebliche Mehrkosten von insgesamt 11 Milliarden Euro über Klimaschutzverträge finanziert werden. Dazu kommen die Mehrkosten bei den Investitionen zum Aufbau der Anlagen von 8 Milliarden Euro, sofern diese direkt gefördert und nicht auch auf Klimaschutzverträge umgelegt werden.

In einem zweiten Szenario, wie es in der rechten Grafik dargestellt wird, gehen wir von einer äquivalenten Kostenregression für erneuerbaren Wasserstoff aus. Zudem nehmen wir an, dass es ab 2025 zu einer Reform der Regularien zum *Carbon-Leakage*-Schutz kommt. Wie in Abbildung 21 dargestellt, werden dazu in einem ersten Schritt äquivalente

Finanzierungsvolumen für Klimaschutzverträge im Stahlsektor mit und ohne Reform des EU-EHS

Abbildung 27



kostenfreie Zuteilungen für die Produktion mit der Referenzanlage und DRI-Anlagen vergeben, die dann im Gegenzug zum Aufbau eines CBAM über zehn Jahre abgebaut werden. Dadurch kommt es zu einer effektiven Internalisierung des CO₂-Marktpreises, was die Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion senkt und darüber etwa 12 Milliarden Euro an betrieblichen Mehrkosten kompensiert. Aufgrund geringerer Mehrkosten können somit auch schon früher größere Volumen an grünem Stahl am Markt verkauft werden, auch wenn der daraus entstehende Deckungsbeitrag aufgrund der geringeren Mehrkosten mit 5 Milliarden Euro geringer als im zuvor betrachteten Szenario ist. Ab 2040 wird grüner Stahl in diesem Szenario preissetzend und verdrängt die konventionelle Stahlproduktion auch ohne Beihilfen.

7.1.2 Die Transformationskosten für eine klimafreundliche Ammoniakproduktion

Wie im Kapitel 3.2 dargestellt, gehen wir für die Transformation der Ammoniakproduktion zur

Klimaneutralität von zwei Schritten aus. Im ersten Schritt wird fossiler Wasserstoff partiell durch erneuerbaren Wasserstoff ersetzt. Eine vollständige Substitution kann in einem zweiten Schritt erfolgen, sobald eine Grundlastversorgung mit erneuerbarem Wasserstoff gewährleistet werden kann. Im ersten Schritt ergibt sich die Möglichkeit, ohne signifikante Investitionen zum Umbau oder Ersatz der Ammoniakproduktionsanlagen eine signifikante Nachfrage nach erneuerbarem Wasserstoff zu schaffen. Da fossiler Wasserstoff in bestehenden Anlagen anteilig mit erneuerbarem Wasserstoff substituiert werden kann, eignet sich dieser Transformationsschritt als Anker für den Aufbau erster großer Elektrolysekapazitäten. Da die Kombination mit Wasserstoff aus fossilen Quellen eine flexible Verwendung von erneuerbarem Wasserstoff erlaubt, kann dieser mit einem systemdienlichen Betriebskriterium für die Elektrolyse so hergestellt werden, dass über eine Nutzung von Strom in Zeiten niedriger Strompreise und geringer CO₂-Intensität sowohl die Kosten als auch die Treibhausgasemissionen für das

ganze System gesenkt werden. Im Mittel über alle in Deutschland arbeitenden Ammoniakanlagen gehen wir von einem Potenzial zur Substitution von bis zu 25 Prozent⁶⁰ aus. Bei einem Wasserstoffkonsum von 530.000 Tonnen im Jahr 2020 entspricht das einer potenziellen Nachfrage nach erneuerbarem Wasserstoff von 130.000 Tonnen, was zu einer Minderung der direkten CO₂-Emissionen um etwa 1,2 Millionen Tonnen CO₂ führen kann. Um in Stunden hinreichender Verfügbarkeit Erneuerbarer Energien die maximale Menge erneuerbaren Wasserstoffs beizumischen, müssen etwa 700 Megawatt Elektrolysekapazitäten bereitgestellt werden.

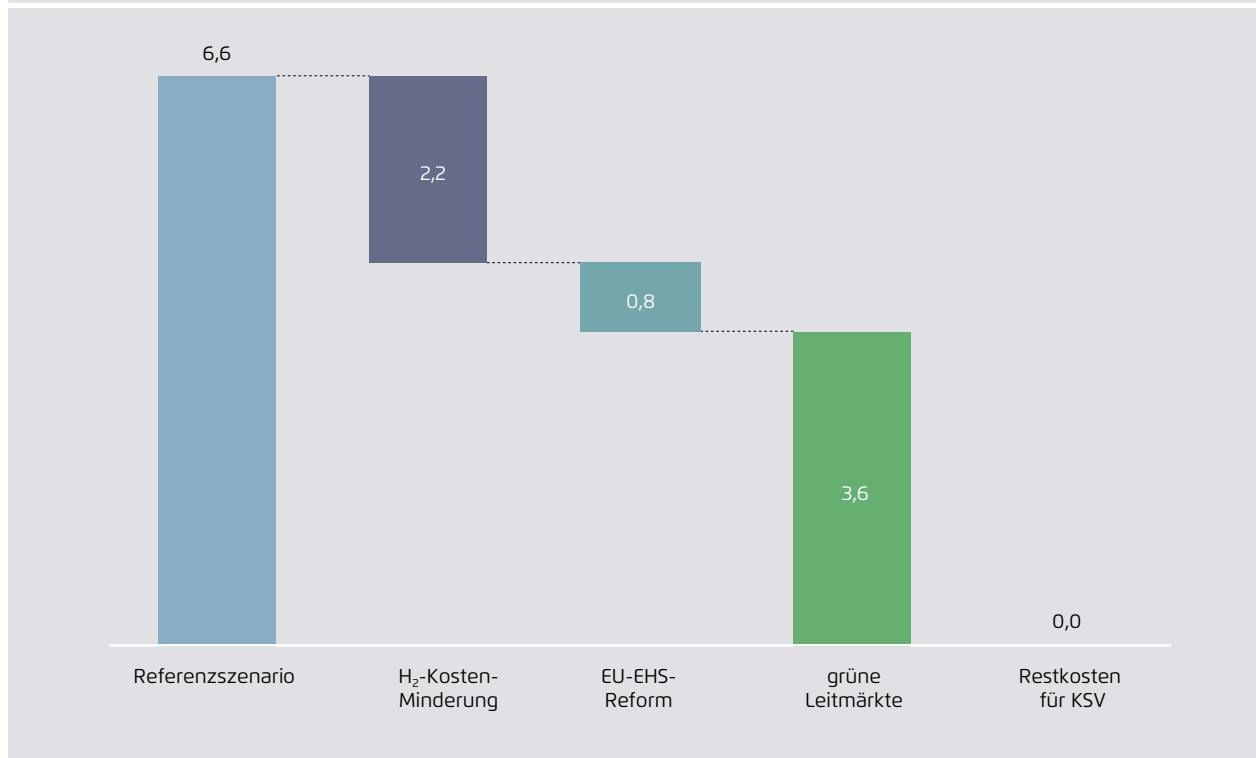
60 Für Anlagen, die ihren Wasserstoff mit einer Dampf- reformierung herstellen, nehmen wir eine Substitution von 15 Prozent an. Für Anlagen, die mit der partiellen Oxidation arbeiten, nehmen wir 50 Prozent an.

Die gesamten Transformationskosten für diesen ersten Schritt belaufen sich auf bis zu 6,6 Milliarden Euro, um die anfänglich noch hohen Wasserstoffkosten über je zehn Jahre abzusichern. Geht man, wie im Falle von Stahl, davon aus, dass erste Verträge zum Einkauf von Wasserstoff im Jahre 2025 statt mit 6 Euro mit 4,4 Euro pro Kilogramm Wasserstoff abgeschlossen werden können, und diese Kosten für neue Verträge im Jahr 2030 auf 3,7 Euro anstatt der konservativ veranschlagten 5,4 Euro sinken, so sinken die betrieblichen Mehrkosten für die partielle Substitution um 2,2 Milliarden Euro.

Wie im Falle von Stahl, sinkt auch hier der Anteil der kostenfreien Zuteilungen bei einem Umstieg von der Referenz- zur Klimaschutztechnologie. Somit könnte ein Teil der Mehrkosten der Verwendung von erneu-

Finanzierungsvolumen für Klimaschutzverträge im Ammoniaksektor mit und ohne Reform des EU-EHS (in Milliarden Euro)

Abbildung 28



Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021)

erbarem Wasserstoff durch die Vergabe von äquivalenten Zuteilungen und den Aufbau eines CBAM-Regimes kompensiert werden. Diese Internalisierung des CO₂-Preises würde die Mehrkosten der Transformation im ersten Schritt um weitere 0,8 Milliarden Euro senken. Wie in der Abbildung 26 im Kapitel 6 illustriert, fallen dadurch auch die spezifischen Mehrkosten für die Produktion von klimafreundlichem Ammoniak auf gut 180 Prozent. In der Folge fallen diese Mehrkosten dann durch einen steigenden CO₂-Preis und durch sinkende Kosten für erneuerbaren Wasserstoff weiter. Für die Zeit nach 2040 kann erwartet werden, dass die Produktion von klimafreundlichem Ammoniak preissetzend wird.

In der Zeit bis 2040 ergeben sich jedoch noch erhebliche Mehrkosten, die selbst im Rahmen einer EU-EHS-Reform und der erhofften Kostenregression bei der Wasserstoffproduktion noch bei knapp 4 Milliarden Euro liegen. In der Zeit bis 2030 liegen die Mehrkosten für einen steigenden Anteil an Ammoniak, der mit erneuerbarem Wasserstoff produziert wurde, selbst bei einer Internalisierung der CO₂-Kosten noch um 100 bis 180 Prozent über den Referenzkosten. Es stellt sich somit die Frage, ob dieser Ammoniak und seine Folgeprodukte auch auf eine entsprechende marktgetriebene Nachfrage und Zahlungsbereitschaft treffen könnten. In den klassischen Verwendungen von Ammoniak als chemischer Grundstoff oder zur Produktion von Düngemitteln ist das bei den noch hohen Mehrkosten eventuell nur in Nischenanwendungen gegeben. Wie aber in Kapitel 3.2 schon angesprochen kann davon ausgegangen werden, dass sich für Ammoniak als klimaneutralen Treibstoff ganz neue Anwendungsfelder ergeben, in denen der Vergleich zu den Referenzkosten der konventionellen Produktion keine Rolle spielt.⁶¹ Mit dem Blick auf die Nachfrage aus diesen Anwendun-

61 Wird Ammoniak zum Beispiel als Treibstoff eingesetzt, um die Quoten für *Renewable Fuels of Non-Biological Origin (RFNBO)* der *Renewable Energy Directive* zu erfüllen, so ergibt sich dadurch eine privilegierte Nachfrage und Zahlungsbereitschaft.

gen gehen wir davon aus, dass das gesamte Volumen an klimafreundlich produziertem Ammoniak, und somit 25 Prozent der Gesamtproduktion in Deutschland, als klimafreundliches Produkt abgesetzt werden kann.⁶²

7.1.3 Die Transformationskosten für den Aufbau einer CCUS-basierten Zementklinkerproduktion

Mit dem Ziel, alle technologischen Schritte für das CCUS sowie die Definition der notwendigen Regularien und den Aufbau der Infrastruktur für den Transport und die geologische Lagerung von CO₂ noch vor 2030 anzugehen, ist es sinnvoll, Technologien zur Minderung ansonsten unvermeidbarer prozessbedingter Emissionen aus der Zementklinkerproduktion zu nutzen. Wie im Kapitel 3.3 beschrieben, kann der Aufbau oder das Nachrüsten von Anlagen zur CCS-basierten Zementproduktion mit einer Jahreskapazität von drei Millionen Tonnen Zementklinker noch vor 2030 die direkten Emissionen der Industrie um zwei Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr senken. Diese Maßnahme mindert zunächst nur zehn Prozent der gesamten Emissionen der Branche, bildet aber in der Kombination mit anderen Strategien der Ressourceneffizienz⁶³ und einem Betrieb mit biogenen Brennstoffen⁶⁴ die Grundlage für ihren Pfad zur Klimaneutralität bis 2045.

62 Wie bereits in Kapitel 3.2 diskutiert, muss man davon ausgehen, dass die Ammoniakproduktion in Deutschland ohne neue Nachfragequellen abnehmen wird. Die Nachfrage nach RFNBO stellt somit eine Möglichkeit dar, bestehende Anlagen als Anker für den Markthochlauf von Wasserstoff als Rohstoff und Ammoniak als Energieträger zu nutzen.

63 Neben der CCUS-basierten Primärproduktion müssen Strategien zur Substitution und zur Materialeffizienz von Zement und Beton priorisiert werden, was auch durch eine adäquate Bepreisung von CO₂-intensiven und klimafreundlichen Zementprodukten unterstützt wird

64 Durch die Verwendung von biogenen Brennstoffen kann eine CO₂-Senkenleistung erzeugt werden. Idealerweise werden biogene Alternativbrennstoffe am Ende einer nachhaltigen Kaskadennutzung von Biomasse verwendet.

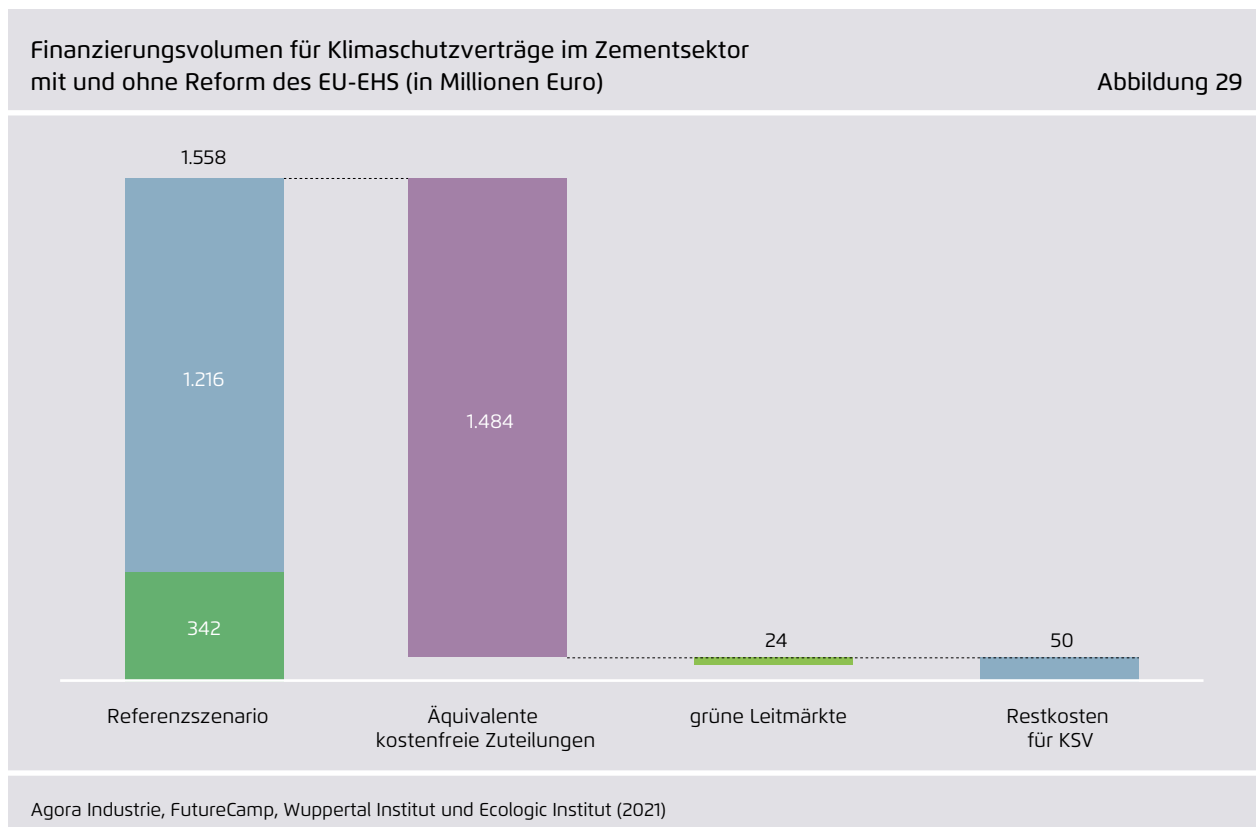
Wie durch die Abbildung 29 visualisiert, fallen für das Nachrüsten oder den Neubau von Anlagen zur Zementklinkerproduktion mit einer Gesamtkapazität von drei Millionen Tonnen mit der Oxyfuel-Technologie Mehrinvestitionen von knapp 350 Millionen Euro an. Darüber hinaus ergeben sich für einen Betrieb über zehn Jahre betriebliche Mehrkosten von 1,2 Milliarden Euro. Diese Kosten fallen durch den Bedarf an Sauerstoff, aber vor allem auch für den Abtransport und das Einlagern von CO₂ an.

Da im Falle der Zementindustrie auch für Anlagen im CCUS-Betrieb weiterhin ein zum Referenzverfahren äquivalentes Volumen an kostenfreien Zuteilungen ausgegeben wird, können über ihren Verkauf, je nach CO₂-Marktpreis, Einnahmen von etwa 1,5 Milliarden Euro generiert werden, was die kumulierten betrieblichen Mehrkosten mehr als kompensiert. Unter den getroffenen Annahmen wird eine CCUS-basierte Produktion von Zementklinker ab einem CO₂-Markt-

preis von 80 Euro preissetzend. Nimmt man an, dass dieser CO₂-Marktpreis nachhaltig erreicht wird, so erübrigen sich weitere Zahlungen durch den Klimaschutzvertrag. In der Summe ergibt sich, je nach der Entwicklung des CO₂-Marktpreises, ein Finanzbedarf von wenigen Hundert Millionen Euro oder darunter. Ein Teil dieser Mehrkosten kann darüber hinaus durch eine marktgetriebene Nachfrage und Zahlungswilligkeit für klimafreundlichen Zement getragen werden.

7.1.4 Transformationskosten und Finanzbedarf für den Aufbau einer klimafreundlichen Produktion von Primärstahl, Ammoniak und Zement

Auf der Basis der hier präsentierten Annahmen und Modellierungen können die Gesamtkosten und der Finanzierungsbedarf für die Transformation der hier behandelten Technologien zusammengefasst werden. Klimaschutzverträge können schnell umgesetzt



werden und sollen bestehende Unsicherheiten der industriellen Transformation absichern. In diesem Kontext ist es sinnvoll, eine maximale Absicherungssumme anzusetzen, die dem Finanzierungsbedarf im ungünstigsten Fall entspricht. Ziel muss es jedoch sein, über den Aufbau von Infrastruktur auch die effektiven Kosten zu senken und das EU-EHS und den Aufbau von grünen Leitmärkten so zu entwickeln, dass Klimaschutzverträge durch ein marktbauiertes System abgelöst werden können. Um diese beiden Perspektiven zu definieren, haben wir die entsprechenden Grenzszenarien entwickelt und in der Tabelle 10 zusammengefasst:

1) Szenario der maximal abzusichernden

Mehrkosten

Damit transformative Investitionen effektiv über Klimaschutzverträge abgesichert werden können, müssen diese mit hinreichend finanziellen Mitteln gedeckt sein, um alle Risiken abzudecken. Für die hier analysierten Technologien belaufen sich die maximal zu deckenden Mehrkosten auf 8 Milliarden Euro für höhere Investitionen und auf knapp 34 Milliarden für betriebliche Mehrkosten. Somit wäre ein Gesamtbetrag von knapp 42 Milliarden Euro notwendig, um die hier skizzierte Transformation allein über eine Kombination von Klimaschutzverträgen und Investitionskostenzuschüssen zu finanzieren. Ein Betrag dieser Größenordnung müsste demnach über die gesamte Laufzeit der Verträge ausbezahlt werden, wenn es nicht gelingt, die Wasserstoffkosten zu

Grenzszenarien für die Finanzierungsbedarfe zur Absicherung von Klimaschutzverträgen				Tabelle 10	
Transformationsszenario	Maximal abzusichernde Mehrkosten in Millionen Euro		Effektiver Finanzierungsbedarf bei Kombination der Politikinstrumente in Millionen Euro		
	Mehrkosten Capex zur Förderung	Mehrkosten Opex zur Absicherung	Mehrkosten Capex zur Förderung	Mehrkosten Opex zur Absicherung	
Aufbau von 12 Millionen Tonnen DRI-EAF-Anlagen und ihr Betrieb mit überwiegend erneuerbarem Wasserstoff	8.000	27.000	8.000	2.000	
Betrieb von existierenden Anlagen zur Ammoniakproduktion mit einem mittleren Anteil von 25 % an erneuerbarem Wasserstoff	0	6.600	0	0	
Aufbau und Betrieb von CCUS-basierten Anlagen zur Zementklinkerproduktion mit einer Kapazität von 3 Millionen Tonnen pro Jahr	0*	~ 100	0*	~ 50	
gesamt	8.000	33.700	8.000	2.050	
*Mehrkosten bei der Investition wurden auf den Klimaschutzvertrag umgelegt.					
Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021)					

senken, eine marktgetriebene Nachfrage nach klimafreundlichen Produkten zu generieren und die bestehenden Regularien zur Vergabe von kostenfreien Zuteilungen zu reformieren.

2) Effektiver Finanzierungsbedarf bei einer Kombination der Politikinstrumente

Durch die Kombination von Klimaschutzverträgen mit einem Abbau der kostenfreien Zuteilungen im Gegenzug zur Einführung eines CBAM lässt sich der im EU-EHS erwartete steigende CO₂-Preis effektiv internalisieren, um die Mehrkosten einer klimafreundlichen Produktion zu reduzieren und mittelfristig sogar zu eliminieren. Diese Verringerung der relativen Kosten fördert darüber hinaus die marktgetriebene Nachfrage und Zahlungsbereitschaft nach klimafreundlichen Produkten und Alternativen. Geht man von einer geeigneten Kombination dieser Effekte aus, so lassen sich die effektiven Kosten für die Transformation signifikativ mindern. Im Falle des in der Tabelle 10 skizzierten Szenarios fallen zwar noch die vollen Mehrkosten zum Aufbau von DRI-EAF-Anlagen an, doch die betrieblichen Mehrkosten, die über Klimaschutzverträge finanziert werden müssen, lassen sich unter den angenommenen Umständen auf etwas mehr als zwei Milliarden Euro senken

Abgesehen von einer Diskussion der einzelnen Abnahmen und ihrer Interaktion muss man hier jedoch herausstellen, dass eine erfolgreiche Einführung des CBAM eine fundamentale Voraussetzung für die Umsetzbarkeit dieses Szenarios darstellt.

Darüber hinaus ist die Umsetzbarkeit des CBAM auch entscheidend für die Frage nach der Refinanzierung von Klimaschutzverträgen, was im nächsten Abschnitt diskutiert werden soll.

7.2 Refinanzierungsquellen für Klimaschutzverträge

Die Diskussion der Szenarien zum Finanzbedarf der Transformation der Stahl-, Zement- und Ammoniakproduktion hat gezeigt, dass ein Betrag von bis zu 42 Milliarden Euro zur Absicherung der Transformation nötig ist. Die Mehrkosten für den Aufbau von 12 Millionen Tonnen DRI-EAF-Anlagen liegen bei etwa 8 Milliarden Euro und werden idealerweise über Investitionszuschüsse gefördert. Die Mehrkosten für ihren Betrieb mit überwiegend erneuerbarem Wasserstoff betragen bis zu 27 Milliarden Euro. In der effektiven Kombination mit anderen Politikinstrumenten lässt sich der effektive Finanzbedarf für Klimaschutzverträge aber auf etwa 2 Milliarden Euro senken. Da bei der Umstellung der Ammoniakproduktion auf den Betrieb mit Wasserstoff keine neuen Anlagen errichtet werden müssen, entstehen hier lediglich Mehrkosten beim Betrieb. Diese belaufen sich maximal auf 6,6 Milliarden Euro – bei der effektiven Kombination mit anderen Politikinstrumenten könnten diese Mehrkosten auf null Euro gesenkt werden. Die Mehrkosten für die Zementproduktion sind, unter anderem durch eine äquivalente Vergabe von kostenfreien Zuteilungen, im Vergleich zu den beiden anderen Branchen deutlich niedriger und erlauben es auch, die Investitionskosten auf den Klimaschutzvertrag umzulegen. Unter den getroffenen Annahmen ergeben sich Mehrkosten von rund 100 Millionen Euro, die durch den Klimaschutzvertrag abgesichert werden müssen. In der Kombination mit anderen Politikinstrumenten reduziert sich dieser Betrag auf 50 Millionen Euro.

Der Betrag von 35 Milliarden Euro dient somit nur zur Absicherung der Betriebskosten. Der effektive Finanzierungsbedarf wird voraussichtlich deutlich geringer ausfallen. Die Frage, ob es gelingt, zunächst kostenfreie Zuteilungen äquivalent für Referenz- und Klimaschutztechnologien auszugeben und dann im Rahmen eines CBAM graduell abzubauen, ist dafür entscheidend, da mit dieser Maßnahme nicht nur der Finanzierungsbedarf für Klimaschutzverträge redu-

ziert wird, sondern über eine Internalisierung der CO₂-Kosten auch die Nachfrage und Zahlungsbereitschaft von klimafreundlichen Grundstoffen gefördert wird. Darüber hinaus ist die Frage einer Umsetzbarkeit des CBAM aus zwei Gründen auch für die Definition der Refinanzierungsquellen entscheidend. Zum Ersten führt ein Abbau der kostenfreien Zuteilungen für die hier diskutierten Grundstoffindustrien zu einem entsprechenden Anstieg im Volumen der versteigerten Emissionsrechte. Die daraus entstehenden Mehreinnahmen können für eine Refinanzierung der Klimaschutzverträge verwendet werden. Zum Zweiten führt eine effektive Internalisierung der CO₂-Kosten in der Produktion dazu, dass die Option einer Klimaumlage, bei der eine CO₂-Abgabe auf Endprodukte erhoben wird, rechtlich nicht mehr statthaft ist.

Die Frage einer Umsetzbarkeit und der effektiven Ausgestaltung des CBAM ist somit sowohl für den insgesamt anzusetzenden Finanzierungsbedarf als auch für die langfristige Refinanzierung von Klimaschutzverträgen entscheidend. Da es kurzfristig nicht absehbar ist, für welche Branchen und in welcher Form ein CBAM umgesetzt werden kann, ist zunächst eine kurzfristige Refinanzierung von Klimaschutzverträgen notwendig. Dabei muss es darum gehen, die Vergabe von Klimaschutzverträgen im Verlauf der nächsten Jahre mit geeigneten Finanzmitteln abzusichern, selbst wenn diese Mittel im Rahmen einer Anpassung der Rahmenbedingungen und durch die Dynamisierung der Verträge nicht ausbezahlt werden müssen.

7.2.1 Die kurzfristige Refinanzierung im Rahmen der nationalen Gesetzgebung

Um eine schnelle Umsetzung von Klimaschutzverträgen sicherzustellen, müssen auch entsprechende Finanzierungsquellen kurzfristig mobilisiert werden. Die deutsche Bundesregierung hat im Rahmen der Nationalen Wasserstoffstrategie (BMWi 2020) bereits 7 Milliarden Euro für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft und die Transformation der Industrie zur Verfügung gestellt. Diese Mittel werden durch den

deutschen Energie- und Klimafonds finanziert und zum Teil durch die europäische Aufbau- und Resilienzfazilität refinanziert, aus dem Deutschland etwa 25 Milliarden Euro zustehen. Ein Gesamtbetrag von knapp 7 Milliarden steht dabei im Rahmen des Deutschen Aufbau- und Resilienzplans (DARP) zur Förderung der Anwendung von erneuerbarem Wasserstoff in der Industrie zur Verfügung (BMF 2021d). Mit 2 Milliarden Euro soll der Aufbau von 500 Megawatt an Elektrolysekapazitäten im Rahmen von *Important Projects of Common European Interest* (IPCEIs) gefördert werden, um damit treibhausgasintensive Prozesse zu dekarbonisieren. Das Programm unterstützt den Aufbau einer nachfragegetriebenen Infrastruktur zur Produktion, Speicherung und zum Transport von erneuerbarem Wasserstoff. Auch wenn das IPCEI sich als Programm zur Investitionskostenförderung nicht zur Finanzierung von Klimaschutzverträgen eignet, so muss doch eine synergetische Verwendung dieser Ressourcen zum Aufbau von Klimaschutzanlagen und den von ihnen benötigten Infrastrukturinvestitionen angestrebt werden.

Darüber hinaus unterhält das Bundesumweltministerium das Programm Dekarbonisierung der Industrie, das bislang mit insgesamt drei Milliarden Euro ausgestattet ist. Durch dieses Programm können sowohl Mehrkosten beim Aufbau als auch Betrieb von Klimaschutzanlagen gefördert werden (BMWi 2021). Im Rahmen dieses Programms erarbeitet das Bundesumweltministerium derzeit ein Pilotprojekt für Klimaschutzverträge. Im Fokus steht dabei die Kompensation von Mehrkosten beim Betrieb von Klimaschutzanlagen, wobei eine Kombination mit Programmen zur Investitionsförderung ausdrücklich gewünscht ist. Die Auswirkungen von kostenfreien Zuteilungen werden berücksichtigt, die Klimaschutzverträge decken also nur die tatsächlich anfallenden Mehrkosten und die sich daraus ergebenden CO₂-Minderungskosten. Die Faktoren zur Bestimmung der spezifischen Minderungskosten wie CO₂- und Energieträgerpreise werden jährlich angepasst, um Unter- als auch Überförderung zu vermeiden. Werden Produktionsmengen als CO₂-frei

vermarktet, müssen diese Mengen aus dem Klimaschutzvertrag herausgerechnet werden. Die Verträge sollen über ein mehrstufiges Verfahren mit wettbewerblichen Elementen vergeben werden. Erste Projekte sollen ab 2021 aus Haushaltsmitteln finanziert werden. Es geht darum, Erfahrungen für eine breitere Umsetzung des Instruments zu sammeln. Im Rahmen des DARF hat das Bundesfinanzministerium dabei schon festgestellt, dass die Kosten zur Absicherung der Industrietransformation mit Klimaschutzverträgen sich auf bis zu 3,2 Milliarden Euro pro Jahr belaufen. Demnach können diese Beträge in der Zukunft auch durch geeignete Verpflichtungsermächtigungen zur Verfügung gestellt werden.⁶⁵

Auf Basis der bestehenden Förderprogramme und dem Pilotprojekt für Klimaschutzverträge sowie der bereits definierten und in Aussicht gestellten Refinanzierungsmechanismen können somit erste Verträge im Jahre 2022 umgesetzt werden.

Darüber hinaus muss die neue Bundesregierung aber auch die langfristige Refinanzierung der gesamten Transformation sichern. Im Falle der angestrebten Reform des EU-EHS ergeben sich dafür Möglichkeiten im Rahmen des deutschen Energie- und Klimafonds sowie des EU-Innovationsfonds.

7.2.2 Der Energie- und Klimafonds zur Refinanzierung von Klimaschutzverträgen

Der Energie- und Klimafonds (EKF) wurde im Jahre 2010 als Sondervermögen eingerichtet und ist somit rechtlich und wirtschaftlich von den Mitteln des Bundeshaushalts getrennt. Die Veranschlagung der EKF-Mittel erfolgt jährlich in einem spezifischen Wirtschaftsplan, der jeweils zusammen mit dem Haushaltsgesetz festgelegt wird. Der EKF bildet ein

wesentliches Fundament für die Definition und Finanzierung des Klimaschutzprogramms 2030, was entsprechend im Wirtschaftsplan 2020 abgebildet wurde.

Die Finanzierung des EKF ergibt sich aus einer Reihe von Quellen, wie am Beispiel der Zahlen für 2020 und der geltenden Planungen veranschaulicht wird:

- Versteigerungserlöse (nach Abzug der Kosten für die DEHSt): Für das Jahr 2020 wurden Nettoerlöse von 2.744 Millionen Euro erwartet. Als Konsequenz der COVID-Pandemie lagen die Einnahmen mit 2.642 Millionen Euro für den Verkauf von 108 Millionen EUA zu einem Durchschnittspreis von 24,61 Euro leicht darunter.⁶⁶ Für die Zukunft sind aufgrund der höheren CO₂-Preise entsprechend höhere Einnahmen zu erwarten.
- Zuweisung aus dem Bundeshaushalt: Im Jahr 2020 wurden die Fondsmittel im 2. Nachtragshaushalt auf 26,5 Milliarden Euro angehoben. Dies ist „insbesondere für Investitionen in den Bereichen Wasserstofftechnologie und nachhaltige Mobilität sowie für Entlastungen beim Strompreis in den Jahren 2021 und 2022 bestimmt“. Gemäß § 5 Errichtungsgesetz darf der EKF nicht verbrauchte Mittel einer Rücklage zuführen. Im Haushaltsplan 2020 und im Haushaltsentwurf 2021 erreichen die in den Wirtschaftsplänen des EKF ausgewiesenen Rücklagenzuführungen zweistellige Milliardenbeträge.⁶⁷
- Die Ausgaben für das Jahr 2020 sind mit 5 Milliarden Euro unter dem veranschlagten Budget von 8,4 Milliarden Euro verblieben, wodurch die Rücklagen weiter ansteigen (BMF, 2021c).

65 Mit einer Verpflichtungsermächtigung ermächtigt das Parlament die Regierung im Rahmen eines Haushaltsplans finanzielle Verpflichtungen über ein Haushaltsjahr hinaus einzugehen. In der Regel sind Verpflichtungsermächtigungen auf eine Laufzeit von 10 Jahren beschränkt.

66 Weitere Details ergeben sich aus dem Auktionierungsbericht der DEHSt (2021)

67 Diese Rücklagen übersteigen die jeweiligen Zuweisungen aus dem Bundeshaushalt, was vom Bundesrechnungshof als „überzeichnet“ kritisiert wurde, „da sie nicht ansatzweise den kassenmäßigen Bedarf des EKF abbilden“.

- Für die Bundeszuweisung 2022 bis 2025 wurden insgesamt 11,9 Milliarden Euro veranschlagt (BMF, 2021c).
- Der Wirtschaftsplan für 2021 sieht Einnahmen von 42,7 und Programmausgaben von 26,5 Milliarden Euro vor, was die Rücklage auf insgesamt 16,2 Milliarden ansteigen lässt.

Die neue Bundesregierung plant im Entwurf für den zweiten Nachtragshaushalt 2021 den EKF mit weiteren 60 Milliarden Euro auszustatten. Dabei handelt es sich um Mittel aus dem Konjunktur- und Zukunftspaket zur Pandemiebewältigung, die schon in der letzten Legislaturperiode bewilligt waren und nun den pandemiebedingten Nachholbedarf bei öffentlichen und privaten Investitionen, gerade auch im Bereich des Klimaschutzes, decken sollen. Gleichzeitig soll der EKF zu einem Klima- und Transformationsfonds weiterentwickelt werden.

Über die bestehenden Zahlen und Planungen hinaus steht zu erwarten, dass sich in der Zukunft substanziale Mehreinnahmen aus der Versteigerung von Emissionsrechten aus dem EU-EHS und aus dem BEHG ergeben. Allein aus dem BEHG werden für das Jahr 2021 Einnahmen von 7,4 Milliarden Euro erwartet. Für die Einnahmen aus der Versteigerung von EUA werden wiederum 2,8 Milliarden Euro erwartet (BMW, 2020b), wobei dieser Betrag durch die vorherrschenden hohen Preise signifikant höher ausfallen dürfte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich der EKF bei einer geeigneten Strukturierung der Einnahmen und Ausgaben als Refinanzierungsinstrument für Klimaschutzverträge eignen würde. Speziell die EKF-Rücklagen können dabei als finanzielle Garantie zur Absicherung der Klimaschutzverträge dienen. Damit würden diese Rücklagen einen entsprechenden ökonomischen Nutzen erfüllen. In diesem Sinne wäre es auch möglich, den EKF noch im Jahr 2022 über die Vergabe einer grünen Anleihe zu kapitalisieren, um damit die Klimaschutzverträge zur Industrietransformation abzusichern. Da man davon

ausgehen kann, dass durch eine geeignete Reform des EU-EHS und der Instrumente zum *Carbon-Leakage*-Schutz sowie dem Aufbau von grünen Leitmärkten die effektiven Zahlungen der Klimaschutzverträge weit geringer ausfallen, könnte die finanzielle Garantie und eine eventuell aufgenommene grüne Anleihe am Ende der Laufzeit entsprechend abgelöst werden.

7.2.3 Klimaschutzverträge und der EU-Innovationsfonds

Mit dem Innovationsfonds hat die EU ein Instrument eingeführt, das gezielt Investitionen zur Transformation von Industrie und Energieerzeugung fördern soll. Der Fonds speist sich aus den Auktionserlösen des EU-EHS. Unter den gegebenen Umständen soll er in den 2020er-Jahren insgesamt rund 20 Milliarden Euro zur Verfügung stellen. Bei einer Umsetzung der im *Fit-for-55-Package* geförderten Reform könnte dieser Betrag auf über 50 Milliarden Euro ansteigen. Mit den Mitteln aus dem Fonds werden Investitionen in innovative Klimaschutztechnologien europaweit gefördert, etwa in Grundstoffindustrien wie Stahl, Chemie, Raffinerien, Glas und Papier, aber auch für Speicher- und Querschnittstechnologien wie CCS und Wasserstoff.

Im *Fit-for-55-Package* schlägt die EU-Kommission vor, dass im Rahmen des Innovationsfonds in Zukunft auch Klimaschutzverträge auf europäischer Ebene zum Einsatz kommen können. Zur möglichen Ausgestaltung solcher Klimaschutzverträge, beziehungsweise CCfDs, finden sich allerdings nur wenige Hinweise. Aus ihnen geht hervor, dass CCfDs insbesondere aufgrund ihres Beitrags zur Emissionsminderung legitimiert werden (und nicht etwa nur als Instrument der Technologieförderung). Zudem wird an verschiedenen Stellen betont, dass CCfDs in einem wettbewerblichen Verfahren vergeben werden sollen. Verschiedene Projekte sollen sich hier um KSV-Förderungen bewerben; die Auswahl erfolgt unter anderem nach wirtschaftlichen Kriterien.

Ein europäisches Vorgehen bei Klimaschutzverträgen bietet die Chance, wettbewerbliche Verfahren zur Vergabe von CCfDs eher umzusetzen. Zumindest für kleinteilige Branchen wie Papier, Glas oder Zement ist es auf EU-Ebene vorstellbar, dass durch eine ausreichende Anzahl an Betreibern und möglichen Projekten genügend Wettbewerb für eine rein wettbewerbliche Ausschreibung entsteht.

7.2.4 Langfristige Perspektiven zur Refinanzierung von Klimaschutzverträgen

Um dem Ziel einer kurzfristigen Umsetzung von Klimaschutzverträgen zu entsprechen, müssen zunächst existierende Mittel und Programme genutzt werden. Dabei gilt es, zunächst bestehende Programme zur Förderung von Investitionskosten zu nutzen und diese dann in der Definition von Klimaschutzverträgen anzurechnen. Dabei können diese Förderungen den Aufbau industrieller Anlagen, zum Beispiel zur Eisendirektreduktion, oder aber den Aufbau der vor- und nachgelagerten Infrastruktur fördern. Auf dieser Basis können im Rahmen der existierenden Programme schon im nächsten Jahr erste Klimaschutzverträge zur Förderung der betrieblichen Mehrkosten für die Verwendung von erneuerbarem Wasserstoff vergeben werden. Aufgrund der langen Laufzeit müssen diese Verträge mit entsprechenden Verpflichtungsermächtigungen hinterlegt werden. Diese müssen sich an der maximal angesetzten Fördersumme orientieren, selbst wenn man davon ausgeht, dass nur ein Teil dieser Summe zur Auszahlung kommt. Im Laufe der weiteren Vergabe von Klimaschutzverträgen müssen ebenfalls entsprechende Verpflichtungsermächtigungen ergehen, um das Programm auf solide finanzielle Füße zu stellen. Auf der Basis der dabei gesammelten Erfahrungen und der Fortschritte bei der Reform des EU-ETS und beim Aufbau eines Grenzausgleichsmechanismus sowie von grünen Leitmärkten wird der reale Refinanzierungsbedarf zunehmend transparent.

Für den Fall, dass die im Rahmen des *Fit-for-55-Package* angestrebten Reformen umgesetzt werden können, ergibt sich zudem noch die Option, einen

signifikanten Teil der zukünftigen Investitionen über den EU-Innovationfond zu finanzieren. Dabei ist es denkbar, dass die von Deutschland entwickelte Infrastruktur zur Vergabe und Umsetzung von Klimaschutzverträgen genutzt werden kann, dass es zu einer Kombination der Fördermechanismen auf der Ebene von spezifischen Projekten kommt, oder dass zwei unabhängige Mechanismen etabliert werden. Unabhängig davon kann man davon ausgehen, dass in diesem Fall wiederum ein Teil der gesamten Transformationskosten über den EU-Innovationsfonds getragen werden und somit die Refinanzierungskosten für Deutschland weiter sinken.

Zu guter Letzt muss aber auch mit dem Fall gerechnet werden, dass die angestrebte Reform des EU-ETS und der Aufbau eines Grenzausgleichsmechanismus scheitert. In diesem Fall wird eine effektive Internalisierung der CO₂-Kosten auf dem Niveau der Produktionsanlagen verhindert, weil auch weiterhin ein hohes Niveau an kostenfreien Zuteilungen vergeben werden muss. In der Konsequenz müssen deutlich höhere betriebliche Mehrkosten über Klimaschutzverträge abgegolten werden und höhere Einnahmen durch eine gesteigerte Versteigerung von Emissionsberechtigungen bleiben aus. In diesem Falle kann der Aufbau einer Klimaumlage zur CO₂-Bepreisung von Endprodukten eine Alternative zur CO₂-Bepreisung der Produktion darstellen und somit einerseits Klimaschutzverträge langfristig finanzieren, andererseits aber auch sicherstellen, dass CO₂-Kosten kohärent auf Verbraucher:innen umgelegt werden, um damit das Konsumverhalten entsprechend zu steuern. Diese Alternative zum CBAM wurde von Stede et al. (2021) auf der Ebene der gesamteuropäischen Wirtschaft untersucht. Die Studie zeigt, dass eine Kombination von kostenfreien Zuteilungen für die Produktion von Grundstoffen mit Referenz- und Klimaschutzanlagen mit einer Klimaumlage sowohl auf heimisch produzierte und importierte Produkte eine Alternative zum Grenzausgleichsmechanismus darstellt. Darüber hinaus prognostizieren die Autoren zusätzliche Einnahmen durch die Klimaumlage von etwa 20 Milliarden Euro bei einem angenommenen

CO₂-Preis von 30€/tCO₂. Geht man von einem Anteil der deutschen Wirtschaft von 25 Prozent der gesamten europäischen Wirtschaft aus, so errechnen sich Einnahmen von 7,5 Milliarden Euro, mit denen Klimaschutzverträge und andere Maßnahmen finanziert werden könnten.

Die Studie bestätigt darüber hinaus, dass die erhobenen CO₂-Kosten für die Endabnehmer:innen in der Regel nur sehr geringe Mehrkosten verursachen. Außerdem fallen diese Mehrkosten vor allem für Konsument:innen der höheren Einkommensschicht an und wirken somit leicht progressiv.

Ähnliche Refinanzierungskonzepte werden auch in der Studie Klimapfade Deutschland 2.0 (BCG, 2021) diskutiert. Die Studie errechnet, dass eine Klimaabgabe auf den Endverbrauch von stahl-, zement- und kunststoffintensiven Produkten von 20 Prozent auf die jeweiligen Marktpreise zu jährlichen Einnahmen von 6 Milliarden Euro führen würde (BCG, 2021). Als Alternative dazu könnte auch die Mehrwertsteuer auf energieintensive Grundstoffe angehoben werden, um auf diese Art unbürokratisch Einnahmen zu generieren, mit denen zukünftige Kosten von Klimaschutzverträgen gegenfinanziert werden können.

In der Konsequenz stellt die Kombination von kostenfreien Zuteilungen als Schutz der Industrie vor *Carbon Leakage* in der Kombination mit einer CO₂-Bepreisung der Endprodukte durch eine Klimaumlage somit eine funktionsäquivalente Alternative zum Grenzausgleichsmechanismus dar. Dabei ist zu empfehlen, dass diese Option auch weiterhin diskutiert und weiterentwickelt wird, um damit den internationalen Handelspartnern im Rahmen der Verhandlungen zum CBAM zu zeigen, dass Europa im Falle eines Scheiterns der Verhandlungen auf alternative Politikinstrumente zurückgreifen kann.

8 Ausblick

Deutschland steht vor einer fundamentalen Transformation auf dem Weg in die Klimaneutralität bis 2045 und einer Minderung der CO₂-Emissionen um 65 Prozent bis 2030. Diese Transformation erfordert entschiedenes Handeln der neuen Bundesregierung und wirtschaftliches Umdenken. Ein umfassender Mix an politischen Maßnahmen und Instrumenten wird nötig sein, um den Transformationsprozess zu einer klimaneutralen Volkswirtschaft bis 2045 zu gestalten. Dies gilt für alle Sektoren – von der Stromwirtschaft bis hin zur Industrie. Im Koalitionsvertrag der neuen Bundesregierung vom November 2021 steht der Weg in die Klimaneutralität der deutschen Wirtschaft im Fokus. Zugleich haben die Koalitionspartner die Wichtigkeit einer zügigen und ambitionierten Transformation des deutschen Industriestandorts unterstrichen (SPD, Bündnis 90/die Grünen und FDP 2021). Als einer der Hebel für die Transformation werden Klimaschutzverträge genannt. Dieses Instrument und die dafür nötige Finanzierung müssen nun definiert werden, um den Transformationsprozess anzustoßen.

Die klimafreundliche Produktion von Grundstoffen wie Stahl, Zement und Chemie bildet die Voraussetzung und die Grundlage für eine klimaneutrale Volkswirtschaft. Ihre Produkte bilden nicht nur die Basis für zahlreiche Wertschöpfungsketten. Ihre Anlagen sind auch Anker für die Entwicklung einer für die Klimaneutralität unerlässliche Wasserstoff- und CO₂-Infrastruktur und den Aufbau von klimafreundlichen Produktionsverbänden. Vor dem Jahr 2030 stehen 53 Prozent der Erzeugungskapazitäten in Stahl-, 59 Prozent in der Chemie- und 30 Prozent in der Zementindustrie zur Reinvestition an (Wuppertal Institut 2019). Um *stranded assets* zu vermeiden und den Industriestandort zukunftssicher zu gestalten, muss in Technologien investiert werden, die mit einem Pfad zur Klimaneutralität bis 2045 kompatibel sind.

Die Produktionskosten klimafreundlicher Produkte liegen heute zum Teil deutlich über denen der konventionellen Verfahren. Das liegt zum einen daran, dass neue Technologien etabliert und Infrastrukturen aufgebaut werden müssen. Zum anderen hat die heutige Ausgestaltung des EU-Emissionshandels zur Folge, dass auch ein hoher CO₂-Preis keinen ausreichenden Anreiz für die Transformation hin zu klimafreundlichen Verfahren bietet. Die EU-Kommission hat mit dem *Fit-for-55-Package* im Juli 2021 umfassende Vorschläge zur Reform des EU-Emissionshandels und der Einführung eines Grenzausgleichsmechanismus (CBAM) vorgelegt. Unter anderem wird vorgeschlagen, die Vergabe von kostenfreien Zuteilungen so zu reformieren, dass Nachteile für die klimafreundliche Produktion ausgeräumt werden. Über den gleichzeitigen *Phase-in* eines CBAMs für die Stahl-, Zement- und Düngemittelherstellung soll dann ein alternativer Schutz vor *Carbon Leakage* erreicht werden. Mit dieser Kombination lassen sich CO₂-Preise internalisieren und damit die Kosten für Klimaschutzverträge mindern.

Während in dieser Studie vor allem die Transformation des industriellen Sektors auf deutscher Ebene im Blickpunkt steht, ist für eine Begrenzung der globalen Temperaturerwärmung um 1,5 Grad eine langfristige globale Strategie notwendig. In dieser spielt die kohärente und effiziente CO₂-Bepreisung eine bedeutende Rolle. Auch eine klimaneutrale Primärproduktion darf in einer Welt mit begrenzten Ressourcen keinen Vorzug vor Strategien der Materialeffizienz, -vermeidung, -substitution und des Recyclings genießen. Eine äquivalente effektive Bepreisung der CO₂-Intensität für eine CO₂-intensive und klimafreundliche Produktion kann ein *level playing field* schaffen, welches auch diese Strategien mitberücksichtigt. Das *Fit-for-55-Package* kann einer der Wegbereiter für die Langfristperspektive einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft sein, in der der Anteil der Primärproduktion sinkt und die

Wiederverwendung begrenzter Rohstoffe an Bedeutung gewinnt. Die genaue Umsetzung und der Zeitpunkt dieses Maßnahmenpaketes unterliegen jedoch weiterhin Unsicherheiten, die klimafreundliche Investitionsentscheidungen zusätzlich erschweren.

Hier kommen Klimaschutzverträge ins Spiel. In Ergänzung zu Maßnahmen des *Fit-for-55-Packages* sichern Klimaschutzverträge die Mehrkosten klimafreundlicher Investitionen ab, bis ihre Produkte sich am Markt durchsetzen können. Dadurch ermöglichen Klimaschutzverträge kurzfristige Investitionen und ein entschlossenes Bekenntnis zur Erreichung der Klimaziele. Mit dem Instrument können bereits in den nächsten Jahren der Aufbau einer klimaneutralen Primärproduktion und damit signifikante CO₂-Minderungen in der Industrie angestoßen werden, welche für das Zwischenziel der Emissionsminderungen bis 2030 entscheidend sind. Auch über den Klimaschutz hinaus lässt sich mithilfe von Klimaschutzverträgen Sicherheit für Arbeitsplätze und Wirtschaftsleistung schaffen. Um die Wettbewerbsfähigkeit im industriellen Sektor langfristig zu gewährleisten und den Wirtschaftsstandort Deutschland zu erhalten, ist deshalb der schnelle Einstieg in klimafreundliche Technologien mithilfe von Klimaschutzverträgen notwendig.

In den kommenden Jahren können Klimaschutzverträge als Absicherungsinstrument ein Angebot an klimafreundlichen Grundstoffen schaffen, um damit auch die Nachfrage und Zahlungswilligkeit nach solchen Produkten zu entwickeln. Die Entwicklung von grünen Leitmärkten und Produktstandards stellt somit ein positives Pendant zu einem CBAM dar. Eine aktive Vermarktung von „grünen“ Produkten am globalen Markt kann dabei nicht nur internationale Märkte für klimaneutrale Produkte und Produktionsanlagen schaffen, sondern auch andere Länder davon überzeugen, dass klimaneutrale Produktstandards und eine kohärente globale CO₂-Bepreisung im Interesse aller Industrieländer sind.

Die vorliegende Studie möchte einen Beitrag zur Frage der Ausgestaltung des Instruments leisten. Gleichzeitig ist es wichtig, auch in dieser Frage von der Möglichkeit länderübergreifender Kooperation Gebrauch zu machen und die Chance für einen Wissens- und Erfahrungsaustausch zu nutzen. Das Instrument wird bereits in leicht abgewandelter Form in anderen europäischen Ländern wie den Niederlanden umgesetzt. Über den EU-Innovationsfond werden zudem gezielt Investitionen in die Transformation der Industrie gefördert. Das *Fit-for-55-Package* schlägt vor, dass auch Klimaschutzverträge im Rahmen des EU-Innovationsfonds zum Einsatz kommen können. Eine Diskussion zur kurz- und längerfristigen Ausgestaltung des Instruments auch auf europäischer Ebene ist daher unbedingt wünschenswert.

Klimaschutzverträge können nicht nur kurzfristig die Funktion eines positiven Pendant zum EU-Emissionshandel und CBAM übernehmen. Bei richtiger Ausgestaltung können sie die Technologieführerschaft Deutschlands bei der Industriewende gewährleisten und Ideen und Innovationen für eine klimaneutrale Zukunft fördern. Durch den Export dieser Innovationen können Klimaschutzverträge auch über Deutschland hinaus zum globalen Weg in die Klimaneutralität beitragen. Somit sind sie auch eines der zentralen Puzzlestücke des klimapolitischen Instrumentenmix Deutschlands zur Bewältigung einer der größten Herausforderungen und Wahrnehmung einer der größten Chancen unserer Zeit.

9 Annex: Glossar

Glossar in einer didaktischen Sequenz		Tabelle 11
Begriff	Erläuterung	
Klimaschutzanlage/ -technologie/ -verfahren (als Synonyme verwendet)	<p>Der Begriff Klimaschutzanlage bezeichnet eine neu errichtete Anlage zur industriellen Produktion von Grundstoffen, die durch die Verwendung einer klimafreundlichen, klimaneutralen oder potenziell klimapositiven Technologie mit dem Ziel der Klimaneutralität bis 2045 kompatibel ist. Im Vergleich zur Referenzanlage führt die Produktion zu einer verifizierbaren CO₂-Minderung, ist aber wegen höherer Investitions- und Betriebskosten in der Regel teurer. Im Rahmen dieser Studie wird die Zementproduktion mit einer Oxyfuel-Anlage beziehungsweise einer E-LEILAC-Anlage in Kombination mit CCUS als Klimaschutztechnologie analysiert.</p>	
Referenzanlage/ -technologie/ -verfahren (als Synonyme verwendet)	<p>Der Begriff Referenzanlage bezeichnet eine konventionelle Anlage zur CO₂-intensiven industriellen Produktion von Grundstoffen. Durch geringere Kosten im Vergleich zur Klimaschutzanlage definiert das Verfahren die Referenzkosten für die Grundstoffproduktion.</p>	
Referenzkosten (€/t_{GS})	<p>Referenzkosten beziffern die Kosten für die Produktion einer Tonne Grundstoff (€/t_{GS}), welche in einer Referenzanlage entstehen. Referenzkosten werden durch schwankende Marktpreise für Betriebsstoffe und den effektiven CO₂-Preis beeinflusst.</p>	
Transformationskosten (€)	<p>Transformationskosten beziffern die gesamten zusätzlichen Kosten bei Investition und Betrieb einer Klimaschutzanlage im Vergleich zu einer Referenzanlage mit äquivalentem Produktionsvolumen. Transformationskosten können nach zusätzlichen Kosten bei der Investition (Δ CAPEX) und beim Betrieb (Δ OPEX) ausgewiesen werden und für einzelne Jahre oder die gesamte Dauer eines Klimaschutzvertrages beziffert werden. Über die Transformationskosten lässt sich der Bedarf an zusätzlichen Investitionen und Betriebsbeihilfen für die Transformation einer Industrieanlage oder einer ganzen Branche abschätzen.</p>	

<p>Mehrkosten (€/t_{GS})</p> <p>betriebliche Mehrkosten (€/t_{GS})</p>	<p>Mehrkosten errechnen sich aus den annualisierten Transformationskosten, beziehen sich aber auf eine Tonne des produzierten Grundstoffes (€/t_{GS}). Um zusätzliche Kosten bei der Investition (Δ CAPEX) auf die jährliche Produktion an Grundstoffen umzulegen, müssen sie mit einem geeigneten Zinssatz über ihre Abschreibungszeit annualisiert werden. Werden nur zusätzliche Kosten beim Betrieb (Δ OPEX) betrachtet und auf die Jahresproduktion umgelegt, ergeben sich betriebliche Mehrkosten. Diese beruhen auf höheren und schwankenden Kosten für Energieträger, Rohstoffe und andere Betriebsmittel. Aufgrund der Kostenschwankungen für Klimaschutz- und Referenzanlage variieren betriebliche Mehrkosten. Je nach Technologie und Regularien für die Vergabe von kostenfreien Zuteilungen kann der CO₂-Marktpreis oder aber ein effektiver CO₂-Preis auf Klimaschutz- und Referenzanlage wirken und so die Mehrkosten beeinflussen.</p>
<p>verifizierbare oder verifizierte CO₂-Senke oder Senkenleistung</p>	<p>Durch die Verwendung nachhaltiger Biomasse in Verbindung mit CCS ergibt sich über BECCS eine CO₂-Senkenleistung, die mit einer geeigneten Methode quantifiziert und verifiziert werden muss. Die Kriterien für Berechnung und Verifizierung der CO₂-Senkenleistung werden im Rahmen des Klimaschutzvertrages festgelegt.</p>
<p>verifizierbare oder verifizierte CO₂-Minderung</p>	<p>Durch die Substitution der Produktion einer Referenz- durch die Klimaschutzanlage ergibt sich eine CO₂-Minderung, die im Rahmen der Berechnung der Klimaschutzprämie anhand der effektiven Produktion verifiziert werden muss. Die Kriterien für Berechnung und Verifizierung der CO₂-Minderung anhand der Multiplikation der spezifischen CO₂-Minderung mit der anzurechnenden Produktion an Grundstoffen wird im Rahmen des Klimaschutzvertrages festgelegt. Die verifizierte CO₂-Minderung über ein Jahr ergibt sich aus der Multiplikation der spezifischen CO₂-Minderung mit der anzurechnenden Jahresproduktion. Produktvolumen die explizit als klimafreundlich vermarktet wurden müssen dafür abgezogen werden.</p>
<p>spezifische CO₂-Minderung</p>	<p>Durch die Produktion einer Tonne eines Grundstoffes mit der Klimaschutzanlage ergibt sich im Vergleich zur Referenzanlage eine spezifische CO₂-Minderung pro Tonne an finalem Produkt. Die Kriterien für Berechnung und Verifizierung der spezifischen CO₂-Minderung werden im Rahmen des Klimaschutzvertrages festgelegt.</p>

CO₂-Minderungskosten (€/tCO₂)	<p>Die CO₂-Minderungskosten ergeben sich aus dem Quotienten der Mehrkosten der Produktion einer Tonne Grundstoff (€/t_{GS}) und der dadurch erzielten verifizierbaren CO₂-Minderung (t CO₂/t_{GS}). Für die Bestimmung der CO₂-Minderungskosten können die gesamten Mehrkosten oder ausschließlich betriebliche Mehrkosten herbeigezogen werden. Je nach Perspektive und abhängig von den geltenden Regeln für kostenfreie Zuteilungen von Emissionsberechtigungen kann der CO₂-Marktpreis oder der effektive CO₂-Preis eingerechnet werden. CO₂-Minderungskosten schwanken mit den Mehrkosten. Die mittleren CO₂-Minderungskosten sind die Grundlage für die Definition des Vertragspreises. Schwankungen werden dann im Rahmen einer Dynamisierung der Klimaschutzprämie betrachtet.</p> <p>CO₂-Minderungskosten sind projekt-, anlagen- oder unternehmensspezifisch. Sie sind vom volkswirtschaftlichen (und nicht projektspezifischen) Begriff der Vermeidungskosten zu unterscheiden.</p>
Differenzkosten (€/tCO₂)	<p>Die Differenzkosten beziehen sich auf den Carbon Contract for Difference und bezeichnen den Unterschied zwischen dem Vertragspreis und dem CO₂-Marktpreis. Die Differenzkosten, zusammen mit anderen Elementen der Dynamisierung, entsprechen dann der Klimaschutzprämie.</p>
CO₂-Marktpreis (€/tCO₂)	<p>Der CO₂-Marktpreis entspricht dem variablen Preis, der im Rahmen des regulären EU-EHS-Handels für den Bezug eines Emissionsrechtes zum Tragen kommt. In Fällen, in denen der CO₂-Preis direkt und eins-zu-eins die CO₂-Minderungskosten beeinflusst, kann er direkt vom Vertragspreis abgezogen werden, um damit die Klimaschutzprämie zu bestimmen.</p>
Effektiver CO₂-Preis (€/tCO₂)	<p>Im Rahmen der herrschenden Regularien zur kostenfreien Zuteilung von Emissionsberechtigungen für Klimaschutz- und Referenztechnologie kommt es zu einer verminderten Auswirkung des CO₂-Marktpreises auf die betrieblichen Mehrkosten und somit der CO₂-Minderungskosten. In diesen Fällen spricht man vom effektiven CO₂-Preis, der durch Unterschiede im Volumen der kostenfreien Zuteilung zum Volumen an effektiven Emissionen von Klimaschutz- und Referenzanlage zustande kommt. Die verminderte Auswirkung des effektiven CO₂-Preises kann im Rahmen der Dynamisierung der Klimaschutzprämie betrachtet werden. Durch eine Anpassung der Regeln kann eine äquivalente Vergabe oder Abschaffung der kostenfreien Zuteilungen für Klimaschutz- und Referenzanlage erreicht und damit der effektive CO₂-Preis in den CO₂-Marktpreis überführt werden.</p>

Klimaschutzvertrag	Ein Klimaschutzvertrag ist ein projektbezogener Vertrag zwischen einem Unternehmen und der öffentlichen Hand. Auf der Basis eines Vertragspreises garantiert der Staat dem Unternehmen die Zahlung einer Klimaschutzprämie , um die Mehrkosten der klimafreundlichen Produktion zu tragen, und sichert damit ihren wirtschaftlichen Betrieb. Der Klimaschutzvertrag kann in der Form eines Carbon Contracts oder als Carbon Contract for Difference ausgestaltet sein.
Carbon Contract	Der <i>Carbon Contract</i> ist ein Klimaschutzvertrag , bei dem der CO₂-Marktpreis aufgrund der vorherrschenden Regularien im EU-EHS keine oder nur eine untergeordnete Rolle für die Definition der Klimaschutzprämie spielt. Bei einer Anpassung der Regularien kann ein Carbon Contract in einen CCfD überführt werden.
Carbon Contract for Difference (CCfD)	Der <i>Carbon Contract for Difference</i> (CCfD) ist ein Klimaschutzvertrag , bei dem der CO₂-Marktpreis aufgrund der vorherrschenden Regularien direkt die Mehrkosten beeinflusst. Bei einem CCfD wird der CO₂-Marktpreis vom Vertragspreis abgezogen, um eine variable Klimaschutzprämie zu errechnen. Beim CCfD wird für den Vertragspreis auch der Begriff Strike Price verwendet.
Vertragspreis (€/t CO₂)	Der Vertragspreis wird auf der Basis einer transparenten Berechnung der mittleren CO₂-Minderungskosten definiert. Der Vertragspreis ist die Grundlage zur Berechnung der Klimaschutzprämie , deren Zahlung die Mehrkosten einer Produktion mit der Klimaschutztechnologie kompensieren soll. Über eine Dynamisierung der Klimaschutzprämie können Schwankungen der CO ₂ -Minderungskosten abgebildet werden. Die Formel zur Dynamisierung der Klimaschutzprämie wird ebenfalls vertraglich definiert.
Vertragslaufzeit	Die Vertragslaufzeit definiert die gesamte Laufzeit eines Klimaschutzvertrages und wird in entsprechende Abrechnungsperioden aufgeteilt. Es kann gegebenenfalls Sinn machen, den Start der Abrechnungsperiode etwas zu flexibilisieren, um Verzögerungen bei der Erstellung und Inbetriebnahme einer Klimaschutzanlage abzubilden.
Vertragsvolumen (t_{GS})	Das Vertragsvolumen wird als maximales Produktionsvolumen an klimafreundlichem Grundstoff definiert, das durch den Klimaschutzvertrag abgesichert wird. In der Regel bezieht sich das Vertragsvolumen auf eine Abrechnungsperiode . Es kann aber auch auf die gesamte Vertragslaufzeit hochgerechnet werden.
Abrechnungsvolumen (t_{GS})	Das Abrechnungsvolumen an klimafreundlich produziertem Grundstoff wird am Ende einer Abrechnungsperiode festgestellt. Es entspricht dem effektiv klimafreundlich produzierten Grundstoff abzüglich einem eventuell als „grünes“ Produkt veräußerten Volumen. Das Abrechnungsvolumen darf das Vertragsvolumen nicht übersteigen.

Abrechnungsperiode	Die Abrechnungsperiode beträgt in der Regel ein Jahr, kann aber vertraglich auch abweichend festgelegt werden.
Klimaschutzprämie (€/t CO₂)	Die Klimaschutzprämie kompensiert die Mehrkosten . Sie bezieht sich auf die damit erreichte verifizierte CO₂-Minderung im Vergleich zur Referenzanlage und errechnet sich aus dem Vertragspreis unter der Anwendung von vertraglich definierten Formeln zur Dynamisierung und, im Falle eines CCfDs , unter Anrechnung des CO₂-Marktpreises .
Klimaschutzzahlung	Durch die Multiplikation der für eine Abrechnungsperiode zu fördernder verifizierter CO₂-Minderung mit der dynamisierten Klimaschutzprämie ergibt sich der für die Abrechnungsperiode auszahlende Förderbetrag – die Klimaschutzzahlung.
Dynamisierung	Über eine dynamische Anpassung der Klimaschutzprämie werden Effekte von variablen Mehrkosten , die durch Preisschwankungen der Betriebsmittel hervorgerufen werden, kompensiert. Über die Dynamisierung lässt sich auch die Wirkung eines effektiven CO₂-Preises und einer Änderung der dafür verantwortlichen Regularien abbilden. Der CCfD ist ein Spezialfall der Dynamisierung, bei dem der CO₂-Marktpreis direkt auf die Klimaschutzprämie angerechnet wird.
Klimaumlage	Die Klimaumlage bezeichnet ein System, bei dem die CO ₂ -Kosten in Form einer Klimaumlage auf CO ₂ -intensive Endprodukte erhoben werden. Je nach Ausgestaltung wird die Klimaumlage auf Zwischen- oder Endprodukte erhoben und mehr oder weniger pauschal berechnet.
erneuerbarer Wasserstoff	Wasserstoff, der durch die Elektrolyse von Wasser hergestellt wird. Auf der Basis von geeigneten Kriterien wird sichergestellt, dass der dabei verwendete Strom aus Erneuerbaren Energien stammt. Die THG-emissionen bei der Herstellung von erneuerbarem Wasserstoff liegen über den gesamten Lebenszyklus bei nahezu null.
klimafreundlicher Wasserstoff	Sowohl CCS-basierter Wasserstoff als auch erneuerbarer Wasserstoff werden in diesem Papier übergreifend als klimafreundlich bezeichnet, sofern ihr Einsatz im Vergleich zur bestehenden Wasserstoffproduktion über den gesamten Lebenszyklus zu deutlich reduzierten Treibhausgasemissionen führt.
CCS	Carbon Capture and Storage (CCS) beinhaltet die Abscheidung, den Transport und die dauerhafte Speicherung der anfallenden CO ₂ -Emissionen in geeigneten geologischen Lagerstätten.

CCS-basierter Wasserstoff	Wasserstoff, der aus fossilem Erdgas mit nahezu vollständiger Abscheidung und Lagerung des dabei entstehenden Kohlenstoffes oder CO ₂ (Carbon Capture & Storage (CCS)) hergestellt wurde. Die residualen THG-emissionen für das Abscheiden, den Transport und das Einlagern von Kohlenstoff oder CO ₂ sind geringer als bei Wasserstoff ohne CCS, hängen aber von der Effizienz des gesamten Prozesses ab.
CCU	Carbon Capture and Utilisation (CCU) umfasst die Abscheidung und Wiederverwendung von CO ₂ in Produkten, in denen es langfristig gebunden bleibt.
CCUS	CCUS bezeichnet die Kombination von CCS und CCU auf der Basis ihrer konzeptionellen Ähnlichkeit.
Bioenergy Carbon Capture and Storage (BECCS)	Bioenergienutzung mit anschließender Abscheidung, Transport und Speicherung der dabei entstehenden CO ₂ -Emissionen. Beim Anbau der dafür benötigten Biomasse wird der Atmosphäre CO ₂ entzogen, welches über die energetische Nutzung in Kombination mit CCS geologisch gespeichert wird. Somit stellt BECCS eine klimapositive Strategie dar. Die Nutzung des biogenen CO ₂ in langlebigen Produkten ist eine Alternative.
CO₂-armer Zement	Zement, dessen CO ₂ -Emissionen mithilfe von Klimaschutztechnologien wie Oxyfuel oder E-LEILAC abgeschieden und durch den Einsatz von CCS geologisch gespeichert werden. Bilanziell kann die Zementproduktion dadurch als CO ₂ -arm bezeichnet werden.
klimafreundlicher Zement	Sowohl CO₂-armer als auch klimapositiver Zement werden zusammenfassend als klimafreundlicher Zement bezeichnet.
klimapositiver Zement	Zement, der mithilfe von klimapositiven Technologien wie BECCS produziert wird und somit effektiv eine CO ₂ -Senke schafft, solange die Menge des gespeicherten CO ₂ die Menge des emittierten CO ₂ überschreitet.
Klinkerfaktor	Als Klinkerfaktor wird der Anteil des Zementklinkers im Zement bezeichnet.
CO₂-armer Stahl	Stahl, der durch den Einsatz der Technologie zur Eisendirektreduktion mit CCS-basiertem Wasserstoff oder Erdgas als Reduktionsmittel hergestellt wird.
klimaneutraler Stahl	Stahl, der durch den Einsatz der Technologie zur Eisendirektreduktion mit erneuerbarem Wasserstoff hergestellt wird. Wenn der Wasserstoff aus 100 Prozent Erneuerbaren Energien stammt, ist diese Technologie im Prinzip CO₂-neutral . Wird die DRI-Anlage nur anteilig mit erneuerbarem Wasserstoff betrieben, so wird nur ein entsprechender Anteil an DRI für die klimaneutrale Stahlproduktion angerechnet.
klimafreundlicher Stahl	Sowohl CO₂-armer als auch klimaneutraler Stahl werden zusammenfassend als klimafreundlicher Stahl bezeichnet.

Grünstahl oder grüner Stahl	<p>Technisch gesehen ist dieser Begriff ein Synonym für klimafreundlichen Stahl, bezieht sich aber auf seine Vermarktung im Rahmen von grünen Leitmärkten. Ziel der Vermarktung ist es den Klimanutzen eines Produktes gegen die Zahlung eines adäquaten Klimabonus an Kunden abzugeben und so die Mehrkosten der klimafreundlichen Produktion zu tragen. Die Qualität von Stahl in Bezug auf das Klima lässt sich durch die spezifischen Emissionen seiner Produktion quantifizieren. Aus dem Vergleich zum Emissionsbenchmark der Referenztechnologie ergibt sich der relative Klimanutzen. Aus dieser Definition wird klar, dass es verschiedene Klassifizierungen für verschiedene Qualitäten an klimafreundlichem oder klimaneutralem Stahl geben muss. Da diese Definitionen noch ausstehen, beziehen wir uns mit dem Begriff „Grünstahl“ auf diese Diskussion und die zu erwartenden Definitionen.</p>
grauer Stahl	<p>Im Rahmen der Diskussion zu grünen Leitmärkten bezeichnet dieser Begriff konventionellen Stahl mit CO₂-Emissionen auf dem Niveau der Hochofenroute.</p>
grüne Leitmärkte	<p>Mit diesem Begriff werden Märkte beschrieben, die durch eine Kombination von politischem Handeln zum Erreichen der Klimaneutralität und der technischen und ökonomischen Entwicklung insgesamt ein hohes Wachstumspotenzial für innovative klimafreundliche Anlagen, Güter und Dienstleistungen bieten und sich langfristig als Standard etablieren können.</p>
Klimabonus	<p>Der Klimabonus bezeichnet den Mehrbetrag, der beim freien Verkauf eines klimafreundlichen Zementproduktes im Vergleich zu einem äquivalenten, konventionellen Zementprodukt erzielt wird. Da durch diesen Verkauf die Förderung durch den Klimaschutzvertrag entfällt, ist der Klimabonus in der Regel mindestens so hoch wie die vereinbarte Klimaschutzprämie.</p>
CBAM: Carbon Border Adjustment Mechanism	<p>Grenzausgleichsmechanismus, durch den Importe, je nach ihrer spezifischen CO₂-Intensität mit einer Abgabe in Höhe des CO₂-Marktpreises belegt werden. Ein CBAM kann damit auch finanzielle Ressourcen für Klimaschutzinvestitionen generieren.</p>
Stranded Assets	<p>Frühzeitige Abschaltung noch nicht amortisierter oder noch funktionsfähiger konventioneller Produktionsanlagen, wenn deren Betrieb aus klimapolitischen Gründen nicht mehr rentabel oder vertretbar ist; Durch die frühzeitige Abschaltung entstehen sowohl unternehmerische als auch volkswirtschaftliche Kosten.</p>

klimateutral	Klimateutral bedeutet, dass THG-Emissionen in allen Bereichen vollständig oder fast vollständig vermieden werden, sodass Restemissionen durch klimatepositive Strategien und Technologien ausgeglichen werden können. Eine Industrieanlage ist dann mit dem Ziel der Klimateutralität bis 2045 kompatibel, wenn sie (nahezu) klimateutral betrieben werden kann oder sogar zu negativen Emissionen führt bzw. klimatepositiv ist.
klimatepositiv	Zur Erreichung von Klimateutralität müssen verbleibende Restemissionen mit negativen Emissionen bzw. klimatepositiven Strategien und Technologien kompensiert werden, bei denen CO ₂ aus der Atmosphäre direkt oder indirekt entnommen und langfristig eingelagert wird.
Wasserbetteffekt	Innerhalb des EU-EHS bezeichnet der Wasserbetteffekt den Vorgang, in einem EU-Mitgliedsstaat nicht mehr benötigte Zertifikate anderen EU-Mitgliedsstaaten zur Verfügung zu stellen. Dies kann dazu führen, dass Gesamtemissionen nicht gesenkt, sondern lediglich zwischen Mitgliedsstaaten verschoben werden.

Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021)

Literaturverzeichnis

AEUV (2012): *Vertrag über die Arbeitsweise der europäischen Union.* Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:12012E/TXT:de:PDF>

Agora Energiewende (2021): *Sechs Eckpunkte für eine Reform des Klimaschutzgesetzes. Konsequenzen aus dem Urteil des Bundesverfassungsgerichts und der Einigung zum EU-Klimaschutzgesetz.* Online verfügbar unter: <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/sechs-eckpunkte-fuer-eine-reform-des-klimaschutzgesetzes/>

Agora Energiewende, Agora Verkehrswende, Stiftung Klimaneutralität (2021): *Das Klimaschutz-Sofortprogramm. 22 Eckpunkte für die ersten 100 Tage der neuen Bundesregierung.* Online verfügbar unter: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_06_DE_100Tage_LP20/A-EW_229_Klimaschutz-Sofortprogramm_WEB.pdf

Agora Energiewende and Wuppertal Institute (2021): *Breakthrough Strategies for Climate-Neutral Industry in Europe: Policy and Technology Pathways for Raising EU Climate Ambition.* Online verfügbar unter: <https://www.agora-energiewende.de/en/publications/breakthrough-strategies-for-climate-neutral-industry-in-europe-study/>

Agora Energiewende und Wuppertal Institut (2019): *Klimaneutrale Industrie: Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement.* Berlin, November 2019. Online verfügbar unter: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2018/Dekarbonisierung_Industrie/164_A-EW_Klimaneutrale-Industrie_Studie_WEB.pdf

Agora Energiewende, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021a): *Klimaschutzverträge für die Industrietransformation. Analyse zur Stahlbranche. Modellversion 1.1,* Online verfügbar unter: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_10_DE_KIT/AEW_230_Klimaschutzvertraege-Industrietransformation-Stahl_WEB.pdf

Agora Energiewende, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021b): *Klimaschutzverträge für die Industrietransformation: Analyse zur Transformation der Zementindustrie* (Diskussionspapier). Online verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/354528970_Klimaschutzvertraege_fur_die_Industrietransformation_Analyse_zur_Zementindustrie

Agora Energiewende, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut (2021c): *Klimaschutzverträge für die Industrietransformation: Analyse zur Transformation der Ammoniakproduktion* – Publikation in Vorbereitung

BBH (2021): *Making renewable hydrogen cost-competitive: Legal evaluation of potential policy support instruments.* Commissioned by Agora Energiewende. Online verfügbar unter: <https://www.agora-energiewende.de/en/publications/making-renewable-hydrogen-cost-competitive-legal-analysis/>

BCG (2021): *KLIMAPFADE 2.0: Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft.* Online verfügbar unter: <https://www.bcg.com/de-de/klimapfade>

BMF (2021a): *Sofortprogramm für mehr Klimaschutz, beschlossen vom Bundeskabinett hat am 23. Juni 2021, erhältlich auf der Seite des Bundesfinanzministeriums.* Online verfügbar unter: <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Schlaglichter/Klimaschutz/klimaschutz-sofortprogramm.html>

BMF (2021b): *Deutscher Aufbau- und Resilienzplan (DARP), erhältlich auf der Seite des Bundesfinanzministeriums.* Online verfügbar unter: <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Europa/DARP/deutscher-aufbau-und-resilienzplan.html>

BMF (2021c): *Bericht des Bundesministeriums der Finanzen über die Tätigkeit des Energie- und Klimafonds im Jahr 2020 und über die im Jahr 2021 zu erwartende Einnahmen- und Ausgabenentwicklung.* Online verfügbar unter: https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/Oeffentliche-Finanzen/10-EKF-Bericht.pdf?__blob=publicationFile&v=2

BMF (2021d): *Eckwertebeschluss der Bundesregierung zum Regierungsentwurf des Bundeshaushalts 2022 und zum Finanzplan 2021 bis 2025.* Online verfügbar unter: https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Oeffentliche_Finanzen/Bundeshaushalt/2021-03-24-eckwertebeschluss-bundeshaushalt-2022-und-finanzplan.pdf?__blob=publicationFile&v=3

BMU (2021a): *Lesefassung des Bundes-Klimaschutzgesetzes 2021 mit markierten Änderungen zur Fassung von 2019, Stand: 07.07.2021.* Online verfügbar unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/ksg_aendg_2021_3_bf.pdf

BMU (2021b): *Treibhausgasemissionen sinken 2020 um 8,7 Prozent, vom 16.03.2021.* Online verfügbar unter: <https://www.bmu.de/pressemitteilung/treibhausgasemissionen-sinken-2020-um-87-prozent>

BMWi (2020a): *Die Nationale Wasserstoffstrategie, veröffentlicht am 10. Juni 2021, erhältlich auf der Seite des Bundeswirtschaftsministeriums.* Online verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.html>

BMWi (2020b): *Pressemitteilung: Altmaier: Investieren in Zukunft, in Klimatechnologie und in Pandemievorsorge – Bundestag beschließt Haushaltsgesetz.* Online verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2020/12/20201211-altmaier-investieren-in-zukunft-klimatechnologie-und-pandemievorsorge-bundestag-beschliesst-haushaltsgesetz.html>

BMWi (2021): *Bericht der Bundesregierung zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie, veröffentlicht am 10. Juni 2021, erhältlich auf der Seite des Bundeswirtschaftsministeriums.* Online verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/bericht-der-bundesregierung-zur-umsetzung-der-nationalen-wasserstoffstrategie.html>

Bundesgesetzblatt (2021): *Erstes Gesetz zur Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes, vom 18. August 2021, Teil I, Nr. 59, ausgegeben zu Bonn am 30. August 2021.* Online verfügbar unter: [https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=-Bundesanzeiger_BGBl&start=//*\[@attr_id=%27bgbl121s3905.pdf%27\]#__bgbl_%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl121s3905.pdf%27%5D__1641280004410](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=-Bundesanzeiger_BGBl&start=//*[@attr_id=%27bgbl121s3905.pdf%27]#__bgbl_%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl121s3905.pdf%27%5D__1641280004410)

BVerfG (2021): *Beschluss des Ersten Senats vom 24. März 2021, 1 BvR 2656/18, Rn. 1-270.* Online verfügbar unter: http://www.bverfg.de/e/rs20210324_1bvr265618.html

CEMCAP (2018): *Deliverable 4.4 Cost of critical performance in CO₂ capture processes comparative techno-economic analysis of CO₂ capture in cement plants.*

CEMCAP (2019): *Deliverable 4.6 CEMCAP comparative techno-economic analysis of CO capture in cement plants.*

COM (2020): COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT IMPACT ASSESSMENT, Accompanying the document COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS, *Stepping Up Europe`s 2030 Climate Ambition, Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people*, COM (2020) 562 final - SEC (2020) 301 final - SWD(2020) 177 final - SWD(2020) 178 final.

COM (2021a): *Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2003/87/EC establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the Union*, Decision (EU) 2015/1814 concerning the establishment and operation of a market stability reserve for the Union greenhouse gas emission trading scheme and Regulation (EU) 2015/757. Online verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:618e6837-ee6-11eb-a71c-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF

COM (2021b): COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS. *„Fit for 55‘: delivering the EU’s 2030 Climate Target on the way to climate neutrality.* Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021D-C0550&from=EN>

COM (2021c): *EU Emissions Trading System (EU ETS).* Online verfügbar unter: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en

COM (2021d): *Delivering the Green Deal.* Online verfügbar unter: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en

COM (2021e): *COUNCIL IMPLEMENTING DECISION on the approval of the assessment of the recovery and resilience plan for Germany*, Brussels, 22.6.2021, Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021P-C0341&from=EN>

COM (2021f): *Leitlinien für staatliche Umweltschutz- und Energiebeihilfen.* Online verfügbar unter: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014XC0628\(01\)&from=DE](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014XC0628(01)&from=DE)

DEHSt, (2021): *Deutsche Versteigerungen von Emissionsberechtigungen - Jahresbericht 2020.* Online verfügbar unter: https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/versteigerung/2020/2020_Jahresbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Destatis (2018). *Betriebe, Tätige Personen und Umsatz des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden nach Beschäftigtengrößenklassen*, Ausgabe 2018. Fachserie 4, Reihe 4.1.2

Destatis (2020): *Produzierendes Gewerbe 2019*, erschienen am 05.06.2020 https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/Publikationen/Downloads-Struktur/betriebe-taetige-personen-2040412197004.pdf?__blob=publicationFile

DEHSt (2019): Leitfaden Zuteilung 2021–2030 Teil 3 c Spezielle Zuteilungsregeln für die Anwendung der Produkt-Emissionswerte – Definition der Bilanzgrenzen und spezifische Datenerfordernisse. Online verfügbar unter:

https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/stationaere_anlagen/2021-2030/Leitfaden-3c.pdf?__blob=publicationFile&v=4

DEHSt (2014): Ergebnisse der kostenlosen Zuteilung von Emissionsberechtigungen an Bestandsanlagen für die 3. Handelsperiode 2013–2020

DEHSt (2021): Treibhausgasemissionen 2020. Emissionshandlungspflichtige stationäre Anlagen und Luftverkehr in Deutschland (VET-Bericht 2020). Online verfügbar unter:

https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/VET-Bericht-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=4

Durusut, E., Mattos, A. (2018): Industrial carbon capture business models. Report for the Department of Business, Energy and Industrial Strategy.

European Cement Research Academy (2009): Technical Report – ECRA CCS Project Report about Phase II.

European Cement Research Academy (2012): Technical Report – ECRA CCS Project Report about Phase III.

European Cement Research Academy (2017): CSI/ECRA- Technology Papers 2017. Development of State of the Art Techniques in Cement Manufacturing: Trying to Look Ahead. Düsseldorf.

EU Parliament and Council (2021): REGULATION (EU) 2021/1119 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law'). Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119&from=EN>

Fischedick, M., Marzinkowski, J., Winzer, P., Weigel, M. (2014): Techno-economic evaluation of innovative steel production technologies. Journal of Cleaner Production 84, 563–580. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.05.063

Fuel Cells and Hydrogen Observatory (2020): Hydrogen Demand. Online verfügbar unter: <https://www.fchobservatory.eu/index.php/observatory/technology-and-market/hydrogen-demand>, letzter Zugang am 26 September 2021

Gardarsdottir, S. O., De Lena, E., Romano, M., Rousanally, S., Voldsund, M., Pérez-Calvo, J.-F., Berstad, D., Fu, C., Anantharaman, R., Sutter, D., Gazzani, M., Mazzotti, M., & Cinti, G. (2019): Comparison of Technologies for CO₂ Capture from Cement Production—Part 2: Cost Analysis. *Energies*, 12(3), 542. <https://doi.org/10.3390/en12030542>

Hills, T. P., Leeson, D., Florin, N.H., Fennel, P. (2015): Carbon Capture in the Cement Industry: Technologies, Progress, and Retrofitting. In: *Environmental Science and Technology*, Vol. 50, 368–377.

Hölling, M., Weng, M. (2018): Induktive Knüppelvorwärmung als eine Möglichkeit zur Bereitstellung von Regelenergie.

IEAGHG (2021): Exporting CO₂ for Offshore Storage – The London Protocol's Export Amendment and Associated Guidelines and Guidance, 2021–TR02.

International Energy Agency Greenhouse Gas (2013):

Deployment of CCS in the cement industry. 2013/19, December 2013.

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2020):

Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität. Online verfügbar unter: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020_10_KNDE/A-EW_195_KNDE_WEB.pdf

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2021):

Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann - Zusammenfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. Online verfügbar unter: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_209_KNDE2045_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf

Rubin, E., Davison, J., Herzog, H. J. (2015):

The cost of CO₂ capture and storage. International Journal of Greenhouse Gas Control, Vol. 40, 378-400.

Ruppert, J., Wagener, C., Palm, S., Scheuer, W.,

Hoening, V. (2020): *Prozesskettenorientierte Ermittlung der Material- und Energieeffizienzpotentiale in der Zementindustrie. Abschlussbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes.*

Schneider, C. et al. (2019):

Klimaneutrale Industrie: Ausführliche Darstellung der Schlüsseltechnologien für die Branchen Stahl, Chemie und Zement. Analyse im Auftrag von Agora Energiewende. Berlin, November 2019. Online verfügbar unter: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2018/Dekarbonisierung_Industrie/166_A-EW_Klimaneutrale_Industrie_Ausfuehrliche-Darstellung_WEB.pdf

SPD, Bündnis 90/Die Grünen, FDP (2021):

Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit.

Stede, Jan; Pauliuk, Stefan; Hardadi, Gilang; Neuhoff,

Karsten (2021): *Carbon pricing of basic materials: Incentives and risks for the value chain and consumers, Ecological Economics, ISSN 0921-8009, Elsevier, Amsterdam, Vol. 189, Iss. (Article No.): 107168, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107168>*

Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende,

Agora Verkehrswende (2021): *Politikinstrumente für ein klimaneutrales Deutschland. 50 Empfehlungen für die 20. Legislaturperiode (2021-2025). Online verfügbar unter: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_06_DE_100Tage_LP20/A-EW_219_Politikinstrumente_klimaneutrales_Deutschland_WEB.pdf*

UBA (2021):

Treibhausgas-Emissionen in Deutschland seit 1990 nach Kategorien der UNFCCC-Berichterstattung. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/bild/treibhausgas-emissionen-in-deutschland-seit-1990>

Vogl, V., Ahman, M., Nilsson, L. J. (2018):

Assessment of hydrogen direct reduction for fossil-free steelmaking. Journal of Cleaner Production 203, 736-745.

ZEP - European Technology Platform for Zero

Emission Fossil Fuel Power Plants (2011): *The cost of CO₂ capture, transport, and storage. Post-demonstration CCS in the EU.*

Zieri, W., Ismail, I. (2018):

Alternative Fuels from Waste Products in Cement Industry. In: Martinez, L., Kharissova, O., Kharisov, B. (eds) Handbook of Ecomaterials. Springer, Cham.

Publikationen von Agora Energiewende

AUF DEUTSCH

Öffentliche Finanzierung von Klima- und anderen Zukunftsinvestitionen

Ein beihilfefreies und schlankeres EEG

Vorschlag zur Weiterentwicklung des bestehenden Erneuerbare-Energien-Gesetzes

Windenergie und Artenschutz – Wege nach vorn

Der Photovoltaik- und Windflächenrechner

Ein Beitrag zur Diskussion um die Ausweisung von Flächen für Photovoltaik- und Windenergieanlagen an Land

Klimaschutzverträge für die Industrietransformation (Stahl)

Analyse zur Stahlbranche

Das Klimaschutz-Sofortprogramm

22 Eckpunkte für die ersten 100 Tage der neuen Bundesregierung

Zukünftige Anforderungen an eine energiewendegerechte Netzkostenallokation

Abschätzung der Klimabilanz Deutschlands für das Jahr 2021

Stellungnahme zum Szenariorahmen Gas 2022-2032 der Fernleitungsnetzbetreiber

Konsultation durch die Fernleitungsnetzbetreiber

Politikinstrumente für ein klimaneutrales Deutschland

50 Empfehlungen für die 20. Legislaturperiode (2021-2025)

Ein Gebäudekonsens für Klimaneutralität (Langfassung)

10 Eckpunkte wie wir bezahlbaren Wohnraum und Klimaneutralität 2045 zusammen erreichen

Sechs Eckpunkte für eine Reform des Klimaschutzgesetzes

Konsequenzen aus dem Urteil des Bundesverfassungsgerichts und der Einigung zum EU-Klimaschutzgesetz

Klimaneutrales Deutschland 2045

Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann

Ladeblockade Netzentgelte

Wie Netzentgelte den Ausbau der Schnellladeinfrastruktur für Elektromobilität behindern und was der Bund dagegen tun kann

Publikationen von Agora Energiewende

AUF ENGLISCH

Transitioning to a climate-neutral EU buildings sector

Benchmarks for the success of the European Green Deal

12 Insights on Hydrogen

Global Steel at a Crossroads

Why the global steel sector needs to invest in climate-neutral technologies in the 2020s

The Future of Lignite in the Western Balkans

Scenarios for a 2040 Lignite Exit

Phasing out coal in the EU's power system by 2030

A policy action plan

Making renewable hydrogen cost-competitive

Policy instruments for supporting green H₂

EU-China Roundtable on Carbon Border Adjustment Mechanism

Briefing of the first dialogue on 26 May 2021

Towards climate neutrality in the buildings sector (Summary)

10 Recommendations for a socially equitable transformation by 2045

Matching money with green ideas

A guide to the 2021–2027 EU budget

Tomorrow's markets today

Scaling up demand for climate neutral basic materials and products

Breakthrough Strategies for Climate-Neutral Industry in Europe (Study)

Policy and Technology Pathways for Raising EU Climate Ambition

Towards a Climate-Neutral Germany by 2045

How Germany can reach its climate targets before 2050

#3 COVID-19 China Energy Impact Tracker

A recap of 2020

Alle Publikationen finden Sie auf unserer Internetseite: www.agora-energiewende.de

Über Agora Industrie

Agora Industrie erarbeitet unter dem Dach von Agora Energiewende Strategien und Politikinstrumente für eine Transformation der Industrie zur Klimaneutralität – in Deutschland, Europa und international. Agora Industrie agiert unabhängig von wirtschaftlichen und parteipolitischen Interessen und ist ausschließlich dem Klimaschutz verpflichtet.



Unter diesem Scan-Code steht diese Publikation als PDF zum Download zur Verfügung.

Agora Industrie

Anna-Louisa-Karsch-Straße 2 | 10178 Berlin

T +49 (0)30 700 14 35-000

F +49 (0)30 700 14 35-129

www.agora-industrie.de

info@agora-industrie.de

