



**FRIEDRICH NAUMANN  
STIFTUNG** Für die Freiheit.

# **NEGATIVE EMISSIONEN IM EUROPÄISCHEN EMISSIONS- HANDELSSYSTEM**

Wilfried Rickels, Alexander Proelß, Oliver Geden

ANALYSE

# Impressum

## Herausgeber

Friedrich-Naumann-Stiftung für die Freiheit  
Truman-Haus  
Karl-Marx-Straße 2  
14482 Potsdam-Babelsberg

🌐/freiheit.org

📘/FriedrichNaumannStiftungFreiheit

📺/FNFreiheit

## Autoren

Wilfried Rickels, Institut für Weltwirtschaft Kiel (IfW Kiel)  
Alexander Proelß, Universität Hamburg  
Oliver Geden, Stiftung Wissenschaft und Politik

## Redaktion

Christine Frohn, Referentin Energiepolitik und Nachhaltigkeit  
Liberales Institut der Friedrich-Naumann-Stiftung für die Freiheit

## Kontakt

Telefon +49 30 220126-34  
Telefax +49 30 690881-02  
E-Mail [service@freiheit.org](mailto:service@freiheit.org)

## Stand

September 2020

## Hinweis zur Nutzung dieser Publikation

Diese Publikation ist ein Informationsangebot der Friedrich-Naumann-Stiftung für die Freiheit. Die Publikation ist kostenlos erhältlich und nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf nicht von Parteien oder von Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden (Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie Wahlen zum Europäischen Parlament).

## Lizenz

Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

## ISBN

978-3-948950-07-1

# Inhalt

<b>EXECUTIVE SUMMARY</b>	<b>4</b>
<b>1. AUSGANGSLAGE</b>	<b>5</b>
<b>2. GRUNDSÄTZLICHE ÜBERLEGUNGEN ZUR EINBEZIEHUNG VON NEGATIVEN EMISSIONEN IN EMISSIONSHANDELSSYSTEME</b>	<b>10</b>
2.1 Emissionshandel als Instrument zur effizienten Erreichung von Temperaturzielen	10
2.2 Emissionshandel ohne Emissionen?	12
2.3 Integration von Zertifikaten aus der CO <sub>2</sub> -Entnahme	13
2.4 Anreize zur Entwicklung von Technologien zur CO <sub>2</sub> -Entnahme	17
<b>3. DER EUROPÄISCHE EMISSIONSHANDEL ALS TEIL DER EUOPÄISCHEN STRATEGIE ZUR KLIMANEUTRALITÄT IN 2050</b>	<b>19</b>
3.1 Der Europäische Emissionshandel mit endogener Mengensteuerung	19
3.2 Preisentwicklung und Residualemissionen im EU-ETS	20
3.3 Zukünftige Reformen des EU-ETS	20
3.4 Erfahrungen aus Linking	23
3.5 Potential von CCS und NETs im EU-ETS	24
<b>4. RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN UND ANFORDERUNGEN DER EINBEZIEHUNG VON NETS IN DAS EU-ETS</b>	<b>26</b>
4.1 Vorgaben des internationalen Klimaschutzrechts	26
4.2 Einbezug von NETs in das geltende EU-ETS	27
4.3 Fördermechanismen	29
<b>5. ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>34</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>37</b>

## Executive Summary

Wenn die Europäische Union (EU) bis 2050 Netto-Null-Emissionen erzielen will, reicht es nicht aus, die Klimapolitik auf Emissionsvermeidung zu begrenzen. Nicht vermeidbare Restemissionen müssen durch ökosystembasierte Ansätze wie beispielsweise die Aufforstung sowie Negativ-Emissions-Technologien (NETs) wie beispielsweise Direktabscheidung von CO<sub>2</sub> aus der Luft (DACCS) ausgeglichen werden. Durch eine Integration von NETs in das europäische Emissionshandelssystem (EU-ETS) können dringend notwendige Anreize zur Forschung und Entwicklung von NETs gesetzt werden. Zudem bietet die Integration den Vorteil der Verlängerung des EU-ETS über den Zeitpunkt hinaus, an dem es aufgrund des Reduktionspfades keine neuen Zertifikate für den Ausstoß von CO<sub>2</sub> mehr geben wird. Wenn Zertifikate für die Entnahme von CO<sub>2</sub> europaweit gehandelt werden, ist es unerheblich, wo die Technologie eingesetzt wird.

- Die EU-Mitgliedstaaten haben beschlossen, bis 2050 Netto-Null-Treibhausgasemissionen zu erreichen. Die Europäische Kommission hat zudem kürzlich vorgeschlagen, dass EU-Emissionsreduktionsziel für 2030 zu verschärfen. Um diese Ziele zu erreichen, muss der Atmosphäre CO<sub>2</sub> entzogen und dauerhaft gespeichert werden. **Um Anreize für die Entfernung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu schaffen, muss das europäische Regelwerk für das EU-ETS, das momentan nur Anreize für die Emissionsvermeidung bietet, angepasst werden.**
- Das EU-ETS ist das weltweit größte Emissionshandelssystem und das wichtigste sowie effizienteste klimapolitische Instrument der EU. Jedes Jahr steht eine begrenzte Summe an Zertifikaten zur Verfügung, die für den Ausstoß von Treibhausgasen und entsprechend insbesondere CO<sub>2</sub> erworben werden müssen. Diese Anzahl wird jährlich reduziert und sinkt linear gegen Null. Deshalb werden in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts keine neuen Zertifikate mehr auf den Markt kommen. Aufgrund nicht oder nur schwer vermeidbarer Restemissionen werden aber weiterhin CO<sub>2</sub> und andere Treibhausgase ausgestoßen werden. Die EU muss deswegen die Frage lösen, wie sie ihr Emissionshandelssystem ohne Ausgabe neuer Zertifikate organisieren kann.
- **Die künftige Integration von NETs in das EU-ETS könnte theoretisch auf zwei unterschiedlichen Wegen erfolgen: Einerseits durch den direkten Handel der am Emissionshandel beteiligten Unternehmen mit den Anbietern von NETs und andererseits durch Zwischenschaltung einer Regulierungsbehörde, die die beiden Märkte koordiniert. Beide Varianten könnten mittels europäischer Gesetzgebungsakte umgesetzt werden.**
- Eine Besonderheit ergibt sich für Bioenergie mit anschließender CO<sub>2</sub>-Speicherung (BECCS). Wenn **Anlagen, die ausschließlich Biomasse verwenden**, künftig in das EU-ETS einbezogen werden sollten und dadurch zertifikatepflichtig würden, gleichzeitig die Betreiber dieser Anlagen aber bei der kostenlosen Zuteilung von Zertifikaten berücksichtigt würden, könnten diese Anlagen implizit Zertifikate für die CO<sub>2</sub>-Entnahme durch den Einsatz von CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung erhalten. Erhielten die Betreiber die frei zugeteilten Zertifikate aus dem bestehenden Zertifikatepool, würden **durch den Einsatz von BECCS die Netto-Emissionen im EU-ETS über den vorgegebenen Reduktionspfad hinaus verringert. Eine emissionsunabhängige Integration von NETs erfordert hingegen einen grundlegenden Umbau des EU-ETS.**
- Trotz existierender Initiativen der Europäischen Kommission befindet sich die politische Debatte über die Integration der gezielten CO<sub>2</sub>-Entnahme in die europäische Klimapolitik immer noch in einer frühen Phase. Es zeichnet sich nur rudimentär ab, welche Mitgliedstaaten, Parteien, Branchen, Unternehmen und NGOs den CO<sub>2</sub>-Entnahme-Ansatz voranbringen wollen, welche Koalitionen dabei entstehen, und welche Methoden dabei präferiert werden. Da zudem noch kaum absehbar ist, wie sich die einzelnen NETs technologisch und hinsichtlich ihrer Kosten entwickeln werden, lässt sich derzeit nicht prognostizieren, auf welche Weise und in welcher Geschwindigkeit sich der Übergang zu einer gezielten CO<sub>2</sub>-Entnahme-Politik vollziehen wird.
- **NETs werden allerdings unabdingbar sein und ohne geeignete Anreizsysteme für CO<sub>2</sub>-Entnahmen sowie eine regulatorische Öffnung des wichtigsten klimapolitischen Instruments – des EU Emissionshandels – wird das EU-Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2050 nicht zu schaffen sein. Die EU braucht jetzt einen Plan, wie diese dringend notwendige Integration von NETs in das EU-ETS ausgestaltet werden soll.**

# 1. Ausgangslage

Trotz der seinerzeit kaum Anlass zu Optimismus gebenden Bilanz der internationalen Klimapolitik seit dem Klimagipfel von Kopenhagen (2009) gelang im Rahmen der 21. Konferenz der Vertragsparteien der UN-Klimarahmenkonvention (UNFCCC) im Dezember 2015 eine Einigung auf einen neuen Weltklimavertrag (Übereinkommen von Paris). Dieser Vertrag trat am 4.11.2016 in Kraft und verfügt heute über 189 Vertragsparteien. Sein Ziel ist es, die globale Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2°C gegenüber vorindustriellen Werten zu begrenzen; ferner sollen die Vertragsparteien weitere Anstrengungen zu einer Begrenzung der globalen Durchschnittstemperatur auf unter 1,5°C unternehmen. Den zentralen Mechanismus zur Erreichung dieses Ziels bilden gemäß Art. 4 die sogenannten National Determined Contributions (NDCs). Die Vertragsparteien sind hiernach verpflichtet, in regelmäßigen Abständen (mindestens alle 5 Jahre) die im Rahmen ihrer jeweiligen Möglichkeiten höchst erreichbaren Reduktionsziele zu melden. Ausgangspunkt ist der sogenannte Global Stocktake, der erstmals im Jahr 2023 stattfinden wird. Seine Ergebnisse sollen die Vertragsparteien dazu anreizen, ihre Pflicht zu erfüllen, die nationalen Zielvorgaben kontinuierlich zu aktualisieren und zu verschärfen. Gegebenenfalls können die NDCs im Verbund mit anderen Staaten verfolgt werden, wobei dann jeweils auch die in diesem Rahmen individuell zugeteilten NDCs zu berichten sind.

Zu betonen ist, dass sich die Zielvorgaben des Übereinkommens von Paris auf die globale Durchschnittstemperatur beziehen und nicht im Sinne einer einzelstaatlichen „Erfolgspflicht“ auf die Vertragsparteien umgelegt werden können. Im Unterschied zum Kyoto Protokoll, dessen erste Verpflichtungsperiode bereits Ende 2012 abgelaufen ist (die geplante zweite Verpflichtungsperiode ist bislang nicht in Kraft getreten), statuiert das Übereinkommen von Paris keine einzelstaatlichen quantifizierten Emissionsreduktionspflichten. Die Vertragsparteien müssen lediglich die bestmöglichen Bemühungen unternehmen und geeignete Maßnahmen treffen, um dieses kollektive Ziel zu erreichen (Voigt, 2016). Völkerrechtlich wird insofern von einer due diligence Pflicht, d.h. einer staatlichen Sorgfalts- bzw. Bemühenspflicht, gesprochen. Eine solche Pflicht ist qualitativ etwas anderes als eine „Erfolgspflicht“ wie der Pflicht zur Erreichung quantifizierter Emissions-reduktionen gemäß Kyoto Protokoll (Mayer, 2018). Völkerrechtlich ist deshalb weder eine „Umrechnung“ des globalen Temperaturziels auf die einzelnen Vertragsparteien geboten, noch sind die Vertragsparteien des Übereinkommens von Paris individuell verpflichtet, die von ihnen notifizierten NDCs auch zu erreichen (Mayer, 2018). Eine Erfolgspflicht besteht nach Art. 4 Abs. 2 Satz 2 des Übereinkommens von Paris lediglich insoweit, als die Vertragsparteien innerstaatliche Minderungsmaßnahmen ergreifen müssen, um die Ziele der NDCs zu verwirklichen. Entscheidendes Gewicht für die Effektivität des Übereinkommens von Paris kommt daher seiner Implementierung in den nationalen Rechtsordnungen der Vertragsparteien zu. Dabei gibt das Übereinkommen von

Paris nicht vor, wie das in Art. 4 Abs. 1 des Übereinkommens vorgegebene Ziel, in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts ein „Gleichgewicht zwischen den anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen aus Quellen und dem Abbau solcher Gase durch Senken“ – mit anderen Worten: Netto-Null Emissionen – zu erreichen, umgesetzt werden kann.

In Europa gehen die zentralen Vorgaben und Anstöße vom Recht der Europäischen Union (EU) aus. Die EU verfügt nach Art. 192 und Art. 194 des Vertrags über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEUV) über eine Gesetzgebungszuständigkeit für die Politikbereiche Umwelt und Energie. Den auf Grundlage dieser Befugnisse erlassenen (und geplanten) Gesetzgebungsakten wird im Folgenden daher besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Seit einem Beschluss der Europäischen Rats im Jahr 2009 (kurz vor dem Klimagipfel von Kopenhagen) zielte die EU eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von 80-95 Prozent bis 2050 an (relativ zu 1990). Maßgeblich auf Betreiben der Europäischen Kommission (2018a) diskutierten die EU-Mitgliedstaaten seit der Veröffentlichung des 1,5-Grad-Sonderberichts des IPCC (IPCC, 2018) über eine Verschärfung dieses Ziels auf (netto) 100 Prozent bis 2050, also eine *treibhausgasneutrale* EU.<sup>1</sup> Nach mehreren Anläufen haben sich die EU-Mitgliedstaaten inzwischen auf dieses Ziel geeinigt und dies im März 2020 auch in ihrer offiziell bei der UNFCCC eingereichten Klima-Langfriststrategie bekräftigt (Geden und Schenuit, 2020).<sup>2</sup>

Das Zieljahr 2050 wird dabei einerseits aus Art. 4 des Übereinkommens von Paris abgeleitet (Erreichen globaler Netto-Nullmissionen in der zweiten Jahrhunderthälfte als Beitrag zur Stabilisierung der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2°C), andererseits als angemessener europäischer Beitrag zum Erreichen des 1,5 Grad-Ziels betrachtet. Laut IPCC-Sonderbericht ist es für eine mindestens 50-prozentige Chance, die globale Erwärmung bis 2100 bei 1,5 Grad Celsius zu stabilisieren, notwendig, die THG-Emissionen bis 2067 auf Netto-Null zu bringen (die leichter zu reduzierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen bereits bis 2050) – um anschließend deutlich unter die Null-Linie zu gehen, der Atmosphäre also mehr CO<sub>2</sub> zu entziehen als noch an THG ausgestoßen wird (Geden und Schenuit, 2020).<sup>3</sup>

Die Europäische Kommission hatte bereits 2018, im Rahmen ihres Vorschlags für eine neue EU-Klima-Langfriststrategie, detaillierte Szenarien entwickelt, mit denen bis 2050 annähernd Netto-Null-THG-Emissionen erreicht werden können (1.5TECH und 1.5LIFE) (Europäische Kommission, 2018b). Beide Szenarien beinhalten einerseits die Option der Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (Carbon Capture and Storage, CCS), vor allem für Emissionen aus der Industrie. Da aber auch in einer treibhausgasneutralen EU noch residuale Emissionsquellen existieren werden, die sich nicht

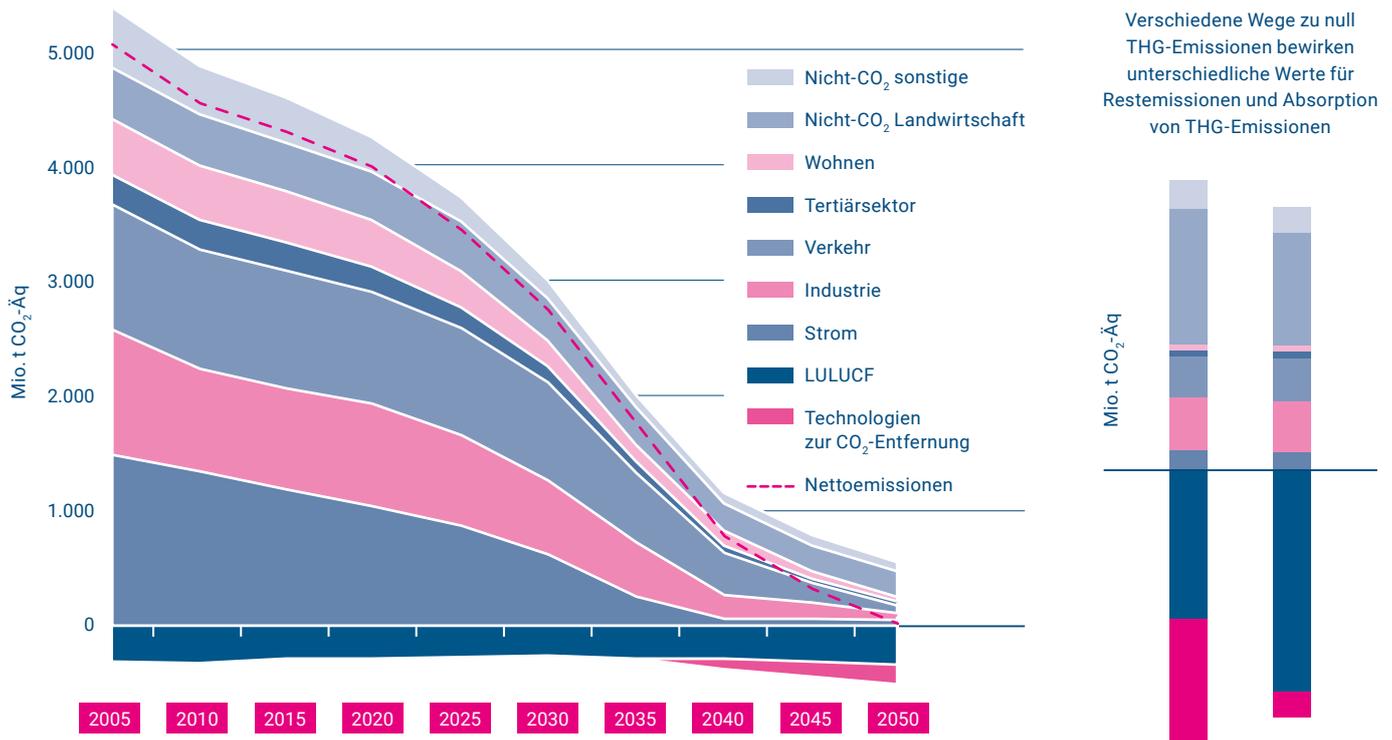
## 6 NEGATIVE EMISSIONEN IM EUROPÄISCHEN EMISSIONSHANDELSYSTEM

oder nur zu sehr hohen Kosten eliminieren lassen – etwa in der Landwirtschaft, der Stahl- und Zementindustrie oder dem Luftverkehr (Luderer et al., 2018) – sieht die Kommission andererseits auch den Einsatz von Maßnahmen zur direkten Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre vor. Die Kommission geht für 2050 von residualen Emissionen von über 550 Millionen Tonnen aus, die durch solche Maßnahmen auszu-

gleichen wären, was etwa 10 Prozent der EU28-Emissionen in 1990 entspricht (Europäische Kommission, 2018a). Abbildung 1 stellt den von der EU Kommission vorgesehenen Verlauf der Emissionen mit den jeweiligen Residualemissionen in den Szenarien dar (die beiden Szenarien werden später detaillierter präsentiert).

**Abbildung 1 | Europäische Treibhausgas-Emissions-Szenarien im Kontext des 1,5 Grad Celsius-Ziels**

Verlaufskurve der THG-Emissionen bei einem Temperaturanstieg von 1,5 °C



Quelle: Europäische Kommission, 2018a, S. 28

Eine Verschärfung des Emissionsreduktionsziels für 2050 impliziert, dass das bislang gültige Emissionsreduktionsziel für das Jahr 2030 (40 Prozent relativ zu 1990) ebenfalls angehoben werden muss. Dementsprechend hat die Kommission im September 2020 eine ökonomische Folgenabschätzung für eine Verschärfung auf 50-55 Prozent (relativ zu 1990) präsentiert (siehe zu aktuellen Zahlen auch Europäische Kommission 2020a und 2020b, Impact Assessment). Sie hat dabei auch Optionen vorgestellt, wie sich die zusätzlichen Emissionsreduktionen sowohl auf das europäische Emissionshandelssystem (EU-ETS) als auch auf die Sektoren, die derzeit nicht vom EU-ETS abgedeckt werden, verteilen lassen. Die Kommission plädiert zwar inzwischen eindeutig für eine Zielanhebung auf 55 Prozent sowie die verstärkte Anrechnung von forstwirtschaftlichen Emissions-Senken bei der Zielerreichung. Die Entscheidung über Höhe und Struktur des neuen 2030-Ziels hängt nun jedoch im Wesentlichen von der Haltung der 27 Staats- und Regierungschefs ab. Viele regulatorische Fragen werden sogar erst ab Mitte 2021 von Mitgliedstaaten und Europäischem

Parlament verhandelt werden, nachdem die Kommission detaillierte Vorschläge für die Novellierung der wichtigsten klimapolitischen Richtlinien und Verordnungen vorgelegt hat.

In dem Maße, in dem zukünftig NETs zu den netto Emissionsreduktionen im EU-ETS beitragen, müssten entsprechend mindestens in diesem Umfang negative Emissionen in das EU-ETS integriert werden. So schlägt zum Beispiel das Dänische Ministerium für Klima, Energie und Versorger in einer Stellungnahme zum 2030-Ziel vor, zu prüfen, inwieweit im Rahmen des EU-ETS Anlagen, die negative Emissionen erzeugen, Zertifikate zugeteilt werden können (Danish Ministry of Climate, Energy and Utilities, 2020). Auch Rosell (2019) schlägt in einem Beitrag für das Europäische Liberale Forum vor, dass NETs durch die Integration in das EU-ETS technologieneutral gefördert werden könnten.

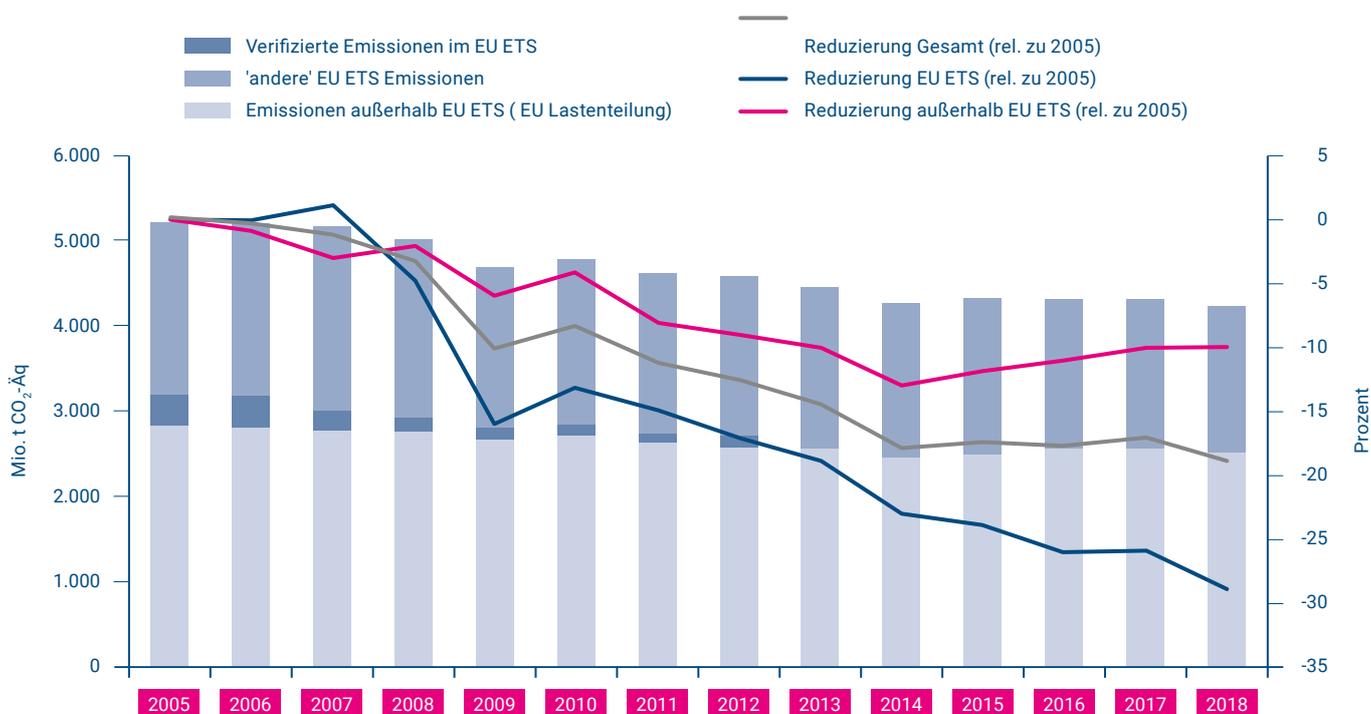
Das EU-ETS ist ein zentrales Instrument für die europäische Klimapolitik. Es gründet auf der am 25.10.2003 in Kraft getretenen Richtlinie 2003/87/EG über ein System für den Handel

mit Treibhausgasemissionszertifikaten (ETS Richtlinie), mit der die EU ihre völkerrechtlichen Pflichten aus dem Kyoto Protokoll umgesetzt hat. Das EU-ETS wurde für den Zeitraum nach 2020 reformiert und unter anderem durch das Gebot der jährlichen linearen Absenkung der Gesamtzahl der Emissionszertifikate um 2,2 Prozent (anstatt bis dahin 1,74 Prozent) sowie die Implementierung neuer Zuteilungsregeln verschärft. Derzeit deckt der EU-ETS etwa 40 Prozent der europäischen Treibhausgasemissionen ab. Im EU-ETS sinkt die Menge der jährlich ausgegebenen Zertifikate linear so, dass nach dem Jahr 2057 keine Zertifikate mehr ausgegeben werden. Die damit verbundenen Emissionen können allerdings später auf null sinken, da es für die Marktteilnehmer möglich ist, nicht genutzte Zertifikate in späteren Handelsperioden zu nutzen. Für die nicht durch das EU-ETS abgedeckten Emissionen legt die europäische Gesetzgebung zur Lastenverteilung (Effort Sharing Verordnung, ESR) für die Mitgliedstaaten für die Zeiträume 2013–2020 und 2021–2030 verbindliche jährliche Emissionsziele fest, die für 2030 durchschnittlich bei einer Reduktion von 30 Prozent (gegenüber 2005) liegen und je nach Mitgliedstaat zwischen 0 (Bulgarien) und 40 Prozent (Schweden) schwanken. Diese Ziele betreffen die Emissionen der nicht im EU-ETS enthaltenen Sektoren Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft und Abfall. Daneben reguliert die EU auch die Emissionen aus Landnutzung und Forstwirtschaft (Land-Use, Land-Use Change and Forestry, LULUCF) in einer eigenen Verordnung.

Vor allem aufgrund umfangreicher Aufforstungsmaßnahmen konnte seit dem Jahr 2000 durchschnittlich eine netto CO<sub>2</sub>-Entnahme von 320 Mt pro Jahr realisiert werden, mit zuletzt leicht abnehmender Tendenz (Böttcher et al., 2019). Diese Netto-Senke entspricht zwar gut 5 Prozent der EU-Emissionen von 1990, wird aber bislang beim Erreichen des EU-Emissionsminderungsziels (20 Prozent von 1990–2020) nicht mit angerechnet. In der Regulierungsphase 2021–2030 wird eine solche Anrechnung zum ersten Mal möglich, allerdings nur in sehr beschränktem Umfang. Die Kommission schlägt in ihrem Klimaziel-Plan 2030 vor, die LULUCF-Senke zukünftig vollständig anzurechnen.

Insgesamt wird die EU27 ihr Emissionsreduktionsziel von minus 20 Prozent in 2020 erreichen. Das liegt insbesondere an den Emissionsreduktionen innerhalb des EU-ETS. Abbildung 2 zeigt, dass das EU-ETS insbesondere seit Phase III (ab 2013) aufgrund der Verknappung des Zertifikateangebots zu deutlichen Emissionsreduktionen geführt hat, während die Emissionen außerhalb des EU-ETS ab 2014 wieder zugenommen haben. Gerade diese Maßnahmen zur Verknappung des Zertifikateangebots (die von Marktteilnehmern in ihrer Erwartung über zukünftige Preise der European Emission Allowances (EUAs) bereits vor Einführung der Maßnahmen berücksichtigt wurden) zeigen, dass das EU-ETS kostengünstig Emissionsreduktionsziele erreichen kann.

**Abbildung 2 | Entwicklung der Treibhausgasemissionen sowie deren Reduzierung gegenüber 2005**

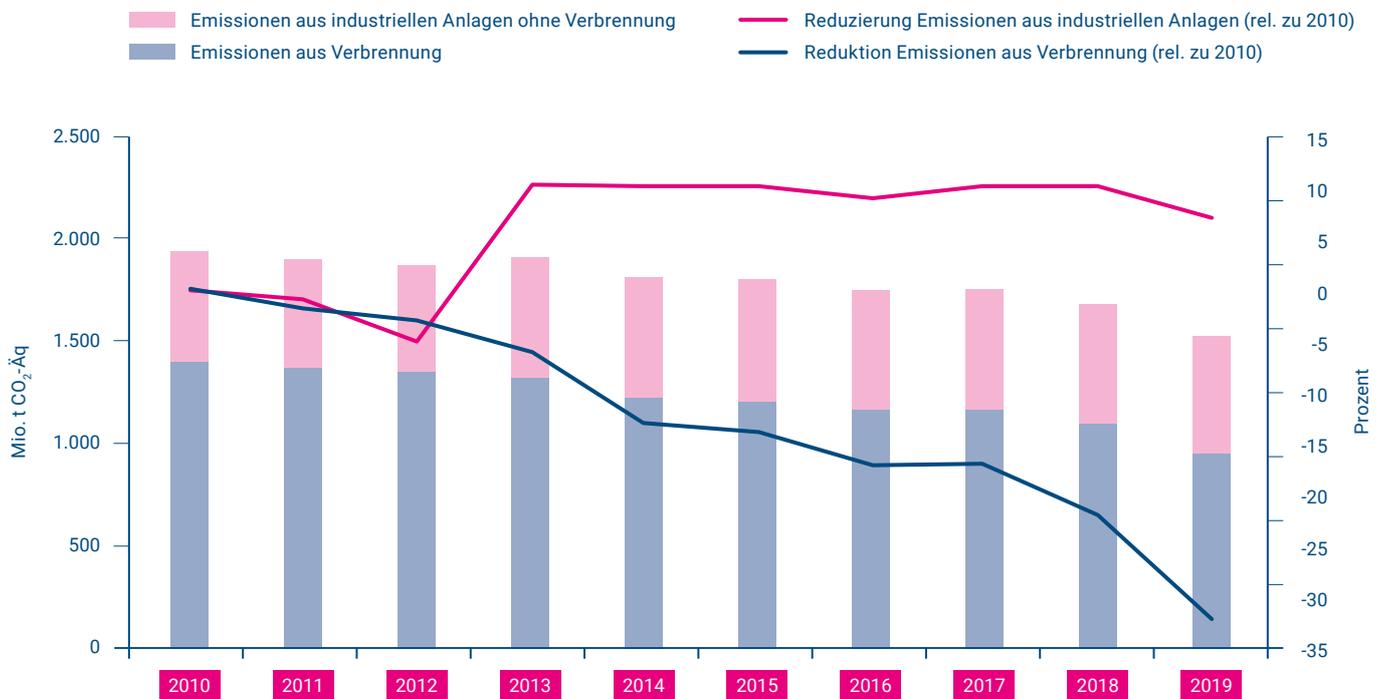


**Anmerkungen:** Entwicklung der Treibhausgasemissionen sowie deren Reduzierung gegenüber 2005 innerhalb und außerhalb des EU ETS zwischen 2005 und 2017; 'andere' EU ETS-Emissionen umfassen Emissionen, die nach heutiger Sektorenzugehörigkeit unter das EU ETS gefallen wären. Die Gesamtreduktionen fassen ETS- und Nicht-ETS-Emissionen zusammen; Emissionen aus Landnutzungsänderungen sind nicht berücksichtigt.

Aber auch innerhalb des EU-ETS sind die Emissionsreduktionen sehr ungleich verteilt. Hier wurden die Emissionen vor allem bei der Verwendung von Brennstoffen und damit überwiegend im Energiesektor reduziert. Abbildung 3 ver-

deutlicht, welche Herausforderungen durch die Anhebung der Emissionsreduktionsziele sich insbesondere für den industriellen Sektor ergeben.

Abb. 3 | Entwicklung der Emissionen im EU ETS



**Anmerkungen:** Entwicklung der Emissionen im EU ETS differenziert nach Emissionen aus Verbrennungsprozessen (Combustion of Fuels) und Emissionen aus industriellen Anlagen (ohne Verbrennungsprozesse).

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf European Environmental Agency und EuroStat

Während im Elektrizitätssektor bereits fossile und CO<sub>2</sub>-freie Anlagen zur Stromerzeugung parallel existieren und die vollständige Umstellung auf Erneuerbare Energien zwar im Hinblick auf die Stromspeicherung anspruchsvoll, aber technisch vorstellbar ist, sind die Herausforderungen in der Industrie (insbesondere in der Zement-, Stahl- und chemischen Industrie) erheblich höher. Hier befinden sich unterschiedliche Substitutionsmöglichkeiten noch im Pilotstadium (z.B. die Herstellung von „grünem“ Stahl) bzw. ist die vollständige CO<sub>2</sub>-Reduktion aufgrund prozessbedingter Emissionen (wie bei der Zementherstellung) nicht möglich. So zeigen zum Beispiel Robinius et al. (2019) für Deutschland, dass eine Steigerung des Reduktionsziels von 80 auf 95 Prozent bereits deutlich anspruchsvollere technische und wirtschaftliche Lösungen erfordert, und dass eine Steigerung des Reduktionsziels um 15 Prozentpunkte mehr als eine Verdopplung der jährlichen Mehrkosten mit sich bringt (bei einer Emissionsreduktion 80 Prozent werden Mehrkosten von 49 Mrd. Euro pro Jahr prognostiziert, bei einer Emissionsreduktion um 95 Prozent von 128 Mrd. Euro). Bei der Dekarbonisierung der industriellen Prozesse bedarf es eines zunehmenden Einsatzes neuer regenerativ gewonnener

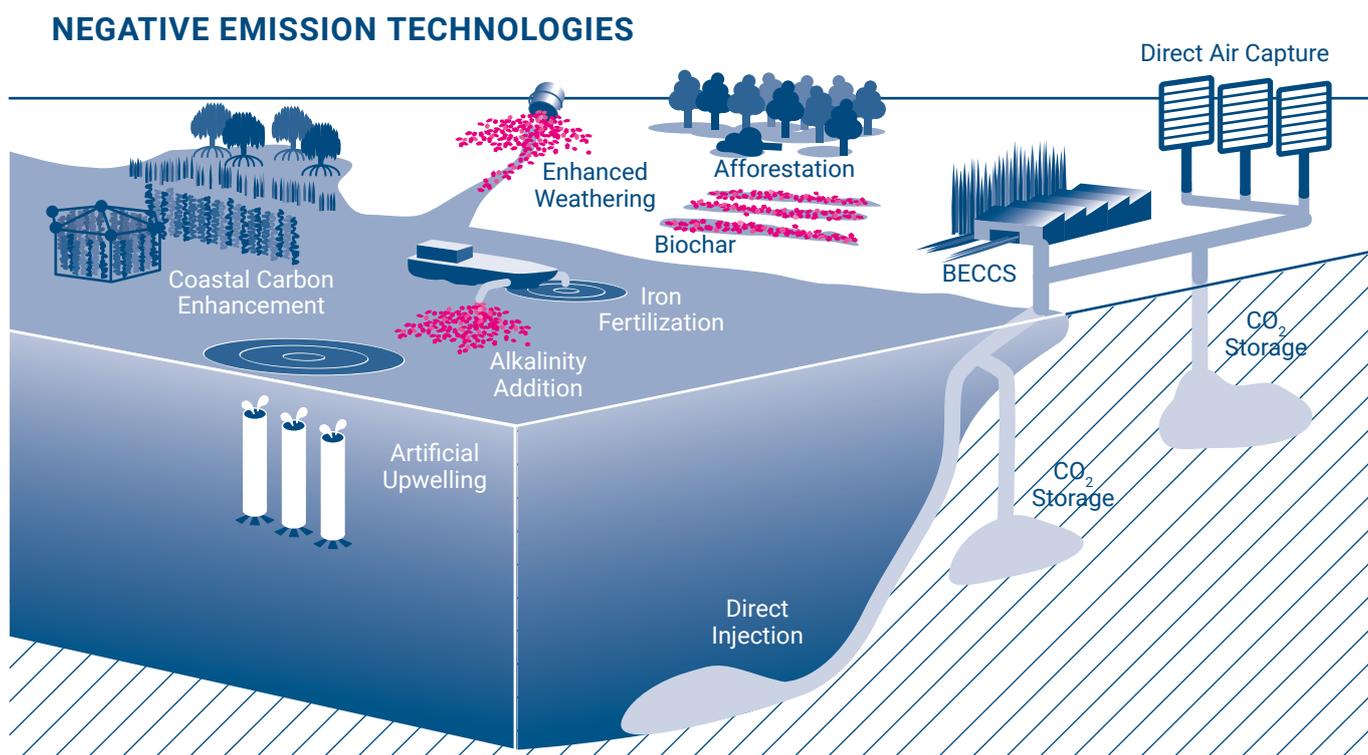
Energieträger (u.a. Wasserstoff), des Einsatzes von Carbon Capture and Storage (CCS) und der Kompensation von Residualemissionen durch die Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre. Als Oberbegriff wird für die CO<sub>2</sub>-Entnahme der Begriff Carbon Dioxide Removal (CDR) verwendet.

Die verschiedenen Ansätze, CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu entziehen, basieren darauf, biologische, chemische und physikalische Prozesse im globalen Kohlenstoffkreis zu verstärken oder künstlich zu imitieren. Durch diese Ansätze wird CO<sub>2</sub> der Atmosphäre entzogen und ist dann entweder im Ozean gelöst bzw. in Biomasse (im Ozean oder an Land) gespeichert oder liegt als Gas vor und kann entsprechend geologisch gespeichert oder dauerhaft genutzt werden. Werden natürliche Prozesse verstärkt, wird in der aktuellen Debatte teilweise der Begriff „nature-based solutions“ verwendet, insbesondere wenn mit diesen Maßnahmen neben der CO<sub>2</sub>-Entnahme weitere positive (ökologische) Effekte erreicht werden sollen. In Abgrenzung dazu ordnen man den eher technischen Ansätzen, die natürliche Prozesse imitieren, die Begriffe „technological carbon dioxide removal“ oder insbesondere „Negative Emission Technologies (NETs)“ zu.

Gerade in der internationalen Debatte wird letzteres aber zunehmend synonym mit CDR verwendet, zudem ist die Trennlinie „natürlich vs. technisch“ wissenschaftlich fragwürdig (Bellamy und Osaka, 2020). Wir verwenden deshalb hier den Begriff Negative Emission Technologies (NETs) für sämtliche CO<sub>2</sub>-Entnahme-Methoden, allerdings in Abgrenzung zu Emissionsvermeidungstechnologien, d.h. es geht darum, der Atmosphäre dauerhaft CO<sub>2</sub> zu entziehen, anstatt Emissionen lediglich zu vermeiden.

Abbildung 4 zeigt eine Übersicht der verschiedenen Ansätze, negative Emissionen zu erreichen. Die Abbildung stellt die verschiedenen Ansätze nur konzeptionell dar. So handelt es sich bei der Möglichkeit, die natürliche Verwitterung zu beschleunigen, nicht um „eine“ Technologie; sie fasst vielmehr eine Vielzahl von Möglichkeiten zusammen, die je nach Gestein, Aufbereitung des Gesteins und Ausbringung des Gesteins variieren.

**Abb. 4 | Überblick über verschiedene Ansätze, der Atmosphäre CO<sub>2</sub> zu entziehen**



Quelle: Grafik nach Rita Erven, Geomar

Die Szenarien der EU-Kommission zum Erreichen von THG-Neutralität bis 2050 zeigen nicht nur beträchtliche NETs-Volumina, sondern auch politische Spielräume bei der Frage, welche NETs in welchem Umfang zum Einsatz kommen könnten. Sowohl in 1.5 TECH als auch in 1.5 LIFE geht die Kommission vom Einsatz von Bioenergie in Kombination mit Carbon Capture und Storage (BECCS), von Direct Air Capture und Storage (DACCS) sowie von einem Ausbau von ökosystembasierten Kohlenstoffsinken, wie sie schon jetzt in der Kategorie LULUCF zusammengefasst sind, unter denen die (Wieder-)Aufforstung die bei weitem wichtigste Maßnahme darstellt, aus. Das Szenario 1.5 LIFE grenzt sich vom Szenario 1.5 TECH dadurch ab, dass noch stärkere Emissionsreduktionen durch Verhaltensänderungen erzielt werden können (u.a. im Landwirtschaftssektor durch niedrigeren Fleischkonsum) und im geringeren Umfang auf synthetische Kraftstoffe gesetzt wird, dafür aber der Anteil der CO<sub>2</sub>-Entnahmen durch Aufforstung höher ist.

Im 1.5 TECH-Szenario wird angenommen, dass im Jahr 2050 etwa 923 MtCO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entnommen werden. Diese verteilen sich zu 317 MtCO<sub>2</sub> auf den LULUCF-Sektor, zu 276 MtCO<sub>2</sub> auf das nachgelagerte Auffangen aus Biomasse und zu 210 MtCO<sub>2</sub> auf Direct Air Capture. Zusätzlich werden in dem Szenario in 2050 noch jährlich 120 MtCO<sub>2</sub> aus fossilen Quellen aufgefangen. Von den insgesamt 606Mt (technisch) aufgefangenem CO<sub>2</sub> (nachgelagert aus Biomasse und Direct Air Capture (DAC)) werden in dem Szenario 298 MtCO<sub>2</sub> geologisch (CCS) und 80 MtCO<sub>2</sub> in künstlichen Materialien permanent gespeichert. Die verbleibenden 227 MtCO<sub>2</sub> werden zu synthetischen Kraftstoffen verarbeitet und somit der Atmosphäre im Sinne einer Kreislaufwirtschaft wieder zugeführt. Durch die Verwendung von BECCS im Elektrizitätssektor sind in diesem Szenario die Emissionen sogar netto negativ (141 MtCO<sub>2</sub>), so dass nicht nur die Emissionen anderer Sektoren im EU-ETS kompensiert werden, sondern das gesamte EU-ETS netto negativ wird (-50 MtCO<sub>2</sub>),

d.h. also Zertifikate abgibt. Im 1.5 LIFE-Szenario sind diese Zahlen für die (technische) CO<sub>2</sub> Entnahme niedriger (84 MtCO<sub>2</sub> durch die Verwendung von BECCS und 123 MtCO<sub>2</sub> durch die Verwendung von DACCS, ergänzt durch 74 MtCO<sub>2</sub> fossiles CCS), dafür steigt die CO<sub>2</sub>-Entnahme durch LULUCF auf 464 MtCO<sub>2</sub>, so dass insgesamt 745 MtCO<sub>2</sub> entnommen werden. In der zweiten Hälfte des Jahrhunderts würde die Emissionskurve der EU gemäß der beiden 1,5-Grad-kompatiblen Szenarien netto-negativ werden und sich langfristig bei -450 MtCO<sub>2</sub> pro Jahr einpendeln, was einer Netto-Emissionsreduktion von 110 Prozent entspräche. In welchem Ausmaß dies durch eine weitere Verringerung der residuellen Emissionen oder einen fortwährenden Ausbau von NETs erreicht werden kann, bleibt in der technischen Analyse der Kommission offen.

Unabhängig davon, welche Anteile sich bei den verschiedenen NETs einstellen, stellt sich die Frage, wie diese NETs in einem dezentral angelegten System wie dem europäischen

Emissionshandel organisiert und die dafür notwendigen Technologien entwickelt werden können. Damit hinreichende Anreize für die Entwicklung von BECCS und DACCs bestehen, muss den Betreibern entsprechender Anlagen das entnommene CO<sub>2</sub> vergütet werden (Marcu et al., 2019). Allerdings ergibt sich diese Herausforderung nicht erst durch die Forderung nach der Klimaneutralität in der EU in 2050, denn auch ohne diese Forderung wäre durch den linearen Reduktionsfaktor die Menge der neu auf den Markt kommenden Zertifikate in 2057 auf null gesunken. Vor diesem Hintergrund kommt der Frage nach einer Integration von NETs in das EU-ETS entscheidende Bedeutung zu. Angesichts der bereits angesprochenen Unsicherheiten und der zahlreichen Möglichkeiten, wie eine Einbeziehung von NETs in der Zukunft umgesetzt werden könnte, kann die vorliegende Arbeit dabei keinen umfassenden Ansatz für eine Integration von NETs erarbeiten. Nachfolgend geht es vielmehr darum, auf konzeptionelle Fragen und Probleme hinzuweisen und erste Ansätze für Integrationsansätze zu diskutieren.

## 2. Grundsätzliche Überlegungen zur Einbeziehung von Negativen Emissionen in Emissionshandelssysteme

Bevor auf das europäische Emissionshandelssystem in Abschnitt 3 eingegangen wird, betrachten wir in diesem Abschnitt grundsätzlicher, welche Anforderungen sich an das Instrument des Emissionshandels mit sowohl positiven als auch negativen Emissionen ergeben. Die ökonomische Literatur beschränkt sich bislang auf die Situation, in der Emissionshandelssysteme genutzt werden, um Emissionen mit externen Effekten entsprechend zu reduzieren, betrachtet aber nicht explizit den Fall, dass diese Emissionen auf null beziehungsweise sogar auf eine negative Menge reduziert werden sollen. Entsprechend stellt der nachfolgende Abschnitt konzeptionelle Überlegungen zu einem Emissionshandel mit negativen Emissionen vor, die dann in nachfolgender Forschung zu vertiefen sind.

### 2.1 Emissionshandel als Instrument zur effizienten Erreichung von Temperaturzielen

Die Bepreisung von Treibhausgasen und insbesondere CO<sub>2</sub> (vereinfacht häufig als Carbon Pricing bezeichnet) ist das wichtigste Instrument für eine effiziente Klimapolitik.<sup>4</sup> Ein Preis für CO<sub>2</sub>-Emissionen (erst einmal unabhängig von der Quelle) kann exogen durch eine Steuer (vereinfacht häufig

als CO<sub>2</sub>-Steuer bezeichnet) oder endogen im Rahmen eines CO<sub>2</sub>-Emissionshandelssystem gegeben sein. In einem Emissionshandelssystem wird die Menge der erlaubten Emissionen festgelegt und in Form von Emissionszertifikaten ausgeben bzw. versteigert. Emittenten müssen dann etwa für jede Tonne emittiertes CO<sub>2</sub> ein entsprechendes Zertifikat vorhalten. Die Zertifikate sind handelbar, so dass jeder Emittent abwägen kann, ob es billiger ist, selber zu vermeiden, oder Zertifikate zu kaufen. Je nach Knappheit bildet sich auf dem Zertifikatmarkt der entsprechende Zertifikatspreis. Bei beiden Instrumenten wird nicht festgeschrieben, welche Technologien zum Einsatz kommen – der CO<sub>2</sub>-Preis führt dazu, dass dort vermieden wird, wo die Vermeidung von Emissionen am wirtschaftlichsten ist. Während bei einer Steuer als Preisinstrument der CO<sub>2</sub>-Preis festgelegt wird und die sich daraus ergebende Emissionsmenge unsicher ist, ist es bei einem Emissionshandelssystem als Mengeninstrument umgekehrt: Hier sind die Menge der Emissionen vorgegeben und der CO<sub>2</sub>-Preis unsicher. Entsprechend führt Unsicherheit über die Vermeidungskosten zu unterschiedlichen Auswirkungen, je nachdem, ob man die Menge der Emissionen fixiert oder den CO<sub>2</sub>-Preis (die Grenzvermeidungskosten) festlegt. Formal betrachtet ergibt sich in einer statischen Kosten-Nutzen-Betrachtung unter Unsicherheit auf der Regulierungsseite bezüglich der Höhe der Vermeidungskosten

die Vorteil- bzw. Nachteilhaftigkeit einer CO<sub>2</sub>-Steuer im Vergleich zu einem Emissionshandelssystem in Abhängigkeit der Steigung der Vermeidungskostenkurve zur Steigung der Schadenskostenkurve (Weitzman, 1974). Je stärker die Schäden relativ zu den Vermeidungskosten ansteigen, desto eher wählt man ein Mengeninstrument (und umgekehrt).

Die Staatengemeinschaft und als Teil davon auch die EU haben sich im Rahmen des Pariser Klimaabkommens für die Begrenzung der globalen mittleren Temperatur auf deutlich unter 2°C zum Ende des Jahrhunderts verständigt. Die Festlegung auf ein Temperaturziel impliziert, dass ein vorgegebenes Ziel kostenminimal erreicht werden soll (Kosteneffektivitätsanalyse). Interpretiert man die Temperaturobergrenze strikt (auch wenn dies, wie einleitend hervorgehoben, völkerrechtlich nicht vorgegeben ist), bedeutet das gleichzeitig, dass man in einem ökonomischen Modellrahmen zwingend ein Mengeninstrument einem Preisinstrument vorzieht, da es sicherstellt, dass die kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Einklang mit dem Temperaturziel stehen. Dies wird deutlich, wenn man die Diskussion über Instrumente mit den Überlegungen des verbleibenden globalen CO<sub>2</sub>-Budgets verbindet. Das verbleibende CO<sub>2</sub>-Budget gibt an, wie viel CO<sub>2</sub> kumulativ noch emittiert werden kann, ohne dass eine definierte Obergrenze für den global durchschnittlichen Temperaturanstieg mit einer ebenfalls definierten Wahrscheinlichkeit überschritten wird. Die Berechnung des CO<sub>2</sub>-Budgets basiert auf der nahezu linearen Beziehung zwischen kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen und Temperaturanstieg.

Grundsätzlich besteht aber die Möglichkeit, Mengen- und Preisziele zu kombinieren, um sicherzustellen, dass Preisunter- bzw. Preisobergrenzen nicht unter- und überschritten werden (Roberts and Spence, 1976). Vor dem Hintergrund des 2°C Ziels sind Preisobergrenzen (d.h. Preise, ab denen Zertifikate zu einem definierten Preis verkauft werden) nicht empfehlenswert, weil damit nicht mehr sichergestellt wäre, dass das Temperaturziel eingehalten wird. Man kann zwischen harten und weichen Preisgrenzen unterscheiden. Bei ersteren gelten die Preisgrenzen unabhängig von den damit verbundenen Mengenimplikationen, bei letzteren werden die Preise nur bis zu einer begrenzten Menge gestützt. Das bedeutet zum Beispiel für die Preisobergrenze, dass nur eine begrenzte Menge an Zertifikaten bereitsteht, die beim Erreichen der Preisobergrenze freigegeben werden. Bei einer weichen Preisobergrenze kann also die maximale Überschreitung der Mengengrenze festgelegt werden. Grundsätzlich ist es natürlich auch möglich, eine harte Preisuntergrenze mit einer weichen Preisobergrenze zu kombinieren und umgekehrt. Preisuntergrenzen im Kontext des Pariser Klimaabkommens können einen Anreiz setzen, dass die Emissionen stärker reduziert werden, als es für zum Beispiel das 2°C-Ziel notwendig wäre, wenn die Vermeidungskosten niedriger sind als angenommen.

Entsprechend könnte man den Minimumpreis an den sozialen Kosten für CO<sub>2</sub> (social cost of carbon, SCC) bei einem Temperaturanstieg von 1.5°C orientieren und die obere Mengengrenze am 2°C Ziel.<sup>5</sup> Für eine mögliche innere Lösung (d.h. Schnittmenge der marginalen kumulativen Vermeidungskostenkurve mit der marginalen Schadenskurve für Temperaturanstieg zwischen 1.5°C und 2°C Temperaturanstieg) bieten sich weitere Instrumente an, wie zum Beispiel die Zertifikatevergabe im Rahmen eines anreizkompatiblen Mechanismus wie von Montero (2008).

Allerdings ist die Abschätzung der SCC mit sehr hohen Unsicherheiten verbunden. Gerade diese Unsicherheit ist das wesentliche Argument für die Temperaturgrenzwerte aus dem Übereinkommen von Paris. Alternativ ist zu erwägen, die Unter- und Obergrenzen für die Zertifikatemengen an den zwei Pariser Temperaturzielen zu orientieren und dann die Zertifikatmenge in Abhängigkeit der beobachteten Preise innerhalb dieser Grenzen endogen anzupassen. Traeger and Karp (2017) schlagen vor, dass die Emissionszertifikate gewissermaßen mit einem Umrechnungsfaktor versehen sind, der angibt, welche Menge an CO<sub>2</sub> durch das Zertifikat abgedeckt ist. Der Umrechnungsfaktor passt sich in Abhängigkeit vom Marktpreis an, d.h. wenn der Marktpreis sinkt, sinkt der Umrechnungsfaktor, und entsprechend reduziert sich die „effektive“ Menge an Zertifikaten. Diesen Ansatz eines „smart cap“ vereinfachen Traeger et al. (2019) mit ihrem Vorschlag für die Einführung eines „FlexCap“, bei dem die CO<sub>2</sub>-Abdeckung eines Zertifikats konstant bleibt, aber die Auktionsmenge in Abhängigkeit vom Auktionspreis in der vorangegangenen Periode angepasst wird. Eine solche Anpassung der Auktionsmenge kann regelgebunden erfolgen oder diskretionär durch eine unabhängige Institution wie zum Beispiel eine CO<sub>2</sub>-Zentralbank (Felbermayr et al., 2019).

Auch wenn durch die endogene Anpassung der Zertifikatmenge Preisschwankungen reduziert werden, ergibt sich für die Teilnehmer an einem Emissionshandelssystem eine geringere Planungssicherheit im Vergleich zu der Situation mit harten Preisunter- und Preisobergrenzen. Wie aber bereits dargestellt, implizieren harte Preisobergrenzen, dass der Vorteil der Sicherheit im Hinblick auf die Mengensteuer eines Emissionshandelssystems gegenüber einer Steuer nicht mehr gegeben ist, weil zur Einhaltung der Preisobergrenze zusätzliche Zertifikate angeboten werden müssen und entsprechend die Emissionsmenge ausgeweitet wird. Es besteht auch die Möglichkeit, eine an dem 1.5 Grad-Ziel ausgerichtete Zertifikatmenge mit einer weichen Preisobergrenze zu kombinieren, die bis zur Erreichung einer mit dem 2 Grad-Ziel im Einklang stehenden Zertifikatmenge gestützt wird. Alternativ besteht auch die Möglichkeit, in diese Überlegungen NETs-Zertifikate zur Stützung einer weichen Preisobergrenze zu integrieren. Bevor wir diese Überlegungen vertiefen, betrachten wir zunächst ein Emissionshandelssystem mit negativen Emissionen.

## 2.2 Emissionshandel ohne Emissionen?

In einem Emissionshandelssystem werden Zertifikate gehandelt, die es erlauben, eine entsprechende Menge an CO<sub>2</sub>-Emissionen zu emittieren. Ist die Gesamtmenge der Zertifikate begrenzt und entsprechend irgendwann verbraucht (d.h. wurden für emittierte CO<sub>2</sub>-Emissionen abgegeben), können keine weiteren Zertifikate erworben und kann entsprechend kein CO<sub>2</sub> mehr ausgestoßen werden. Allerdings können die Zeitpunkte, wann keine Zertifikate mehr ausgegeben oder versteigert werden, und wann keine CO<sub>2</sub>-Emissionen mehr zu verzeichnen sind, auseinanderfallen, wenn es für die Teilnehmer des Handelssystems möglich ist, die Zertifikate für spätere Handelsperioden zu sparen oder aus zukünftigen Handelsperioden zu leihen. Das beeinflusst aber nicht die kumulative Menge der Zertifikate, da die „gesparten“ Zertifikate aus vorangegangenen Handelsperioden auch „gesparten“ bzw. vermiedenen Emissionen entsprechen.

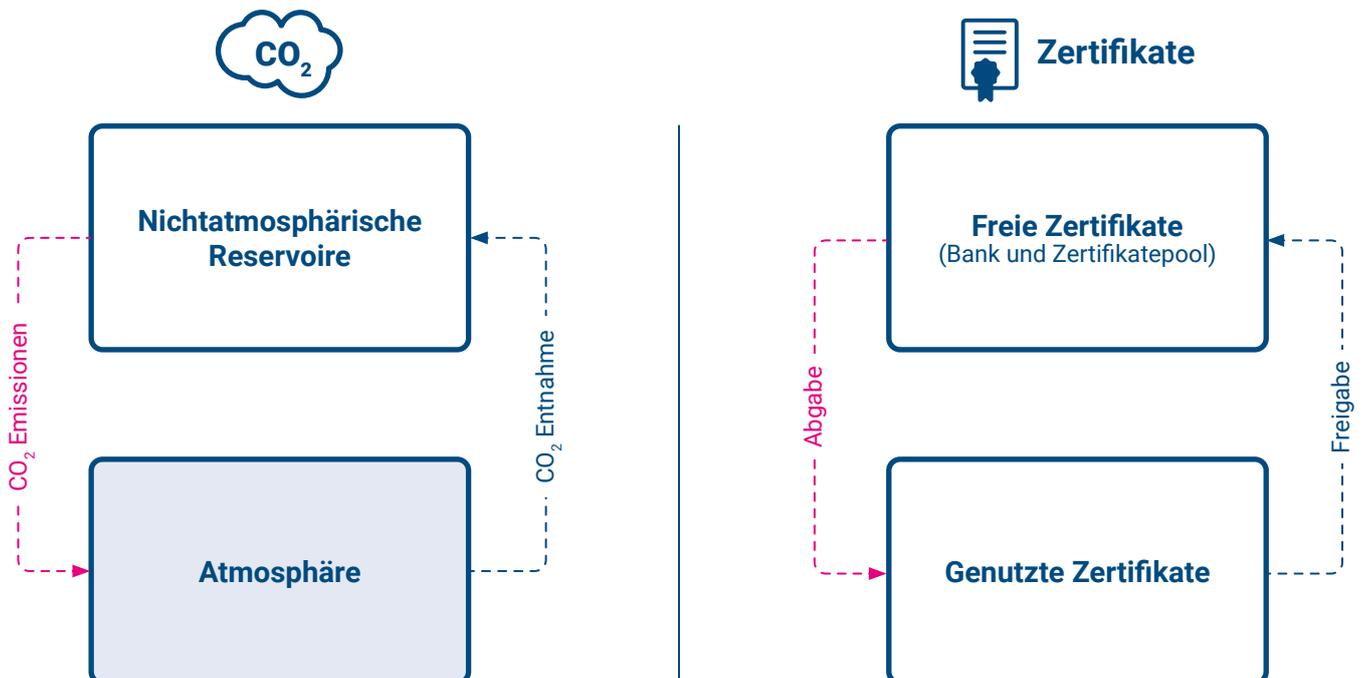
Anders als bei Effizienzsteigerungen, die es erlauben, weniger zu emittieren und entsprechend weniger Zertifikate nachzufragen, setzt eine Situation ohne Zertifikate voraus, dass i) der Produktionsprozess grundsätzlich umgestellt wird, so dass keine Emissionen mehr entstehen (durch z.B. Verwendung erneuerbarer statt fossiler Energieträger), ii) zwar weiterhin CO<sub>2</sub> freigesetzt wird, dieses aber nicht mehr in die Atmosphäre emittiert wird (durch z.B. die Verwendung von Carbon Capture and Storage, CCS), oder iii) die mit CO<sub>2</sub>-

Emissionen verbundenen Aktivitäten eingestellt wurden. In einer Situation ohne Zertifikate ist also entscheidend, dass keine CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Atmosphäre gelangen. Das bedeutet, dass es auch nicht möglich ist, bei einem Verbrennungsprozess abgefangenes CO<sub>2</sub> im Rahmen von Carbon Capture und Utilization (CCU) für andere Produkte zu verwenden, wenn dadurch wieder CO<sub>2</sub> „unmittelbar“ wieder in die Atmosphäre emittiert wird.<sup>6</sup>

Die Situation ist anders, wenn der Atmosphäre CO<sub>2</sub> entzogen wird, da für dieses CO<sub>2</sub> bereits in gleicher Menge Zertifikate abgegeben wurden. Hier wird der dem Zertifikatehandel zu Grunde liegende Prozess umgedreht. Bei der Emission von CO<sub>2</sub> muss der Emittent eine äquivalente Menge an Zertifikaten abgeben. Bei der Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre werden diese Zertifikate an den Entnehmer „zurückgegeben“. So wäre etwa vorstellbar, dass für die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die im Rahmen eines Emissionshandelssystems entstehen, ein entsprechendes Gegenkonto für die dafür erforderliche Zertifikateabgabe eingerichtet wird (vgl. Abbildung 5). Dieses Gegenkonto spiegelt den Bestand an CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Atmosphäre, und entsprechend werden bei der Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre die damit verbundenen Zertifikate auch aus dem Gegenkonto wieder „frei“. In dieser konzeptionellen Erklärung nimmt man implizit an, dass die Menge der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Entnahme ebenfalls durch die Gesamtmenge der Zertifikate des Emissionshandelssystems bestimmt ist.

Abb. 5 | CO<sub>2</sub>-Emissionen und -Entnahme bei entsprechender Umrechnung in Zertifikate

(Schematische Darstellung)



Quelle: Eigene Darstellung

Im nächsten Schritt ist es unerheblich, ob dieses Zertifikat dafür verwendet wird, um „altes“ CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre durch „neues“ zu ersetzen, d.h. das Zertifikat wird an einen Emittenten verkauft, der es zum Beispiel dafür verwendet, um fossile Energieträger (aus dem nicht-atmosphärischen Kohlenstoffreservoir) zu nutzen, und entsprechend „neues“ CO<sub>2</sub> freisetzt, während das „alte“ CO<sub>2</sub> gespeichert wird, oder ob das „alte“ CO<sub>2</sub> im Rahmen von CCU verwendet und erneut freigesetzt wird. Die bildliche Darstellung macht deutlich, dass für den Zertifikatehandel nicht zwischen „altem“ CO<sub>2</sub>, das bereits (mindestens einmal) emittiert wurde, und „neuem“ CO<sub>2</sub>, das durch Nutzung von zum Beispiel fossilen Brennstoffen zum ersten Mal freigesetzt wird, unterschieden werden muss, da beide dem Aktivposten „Nicht-atmosphärisches Reservoir“ zugeordnet sind. Im Gegensatz dazu entsteht beim CCS kein „neues“ CO<sub>2</sub>, da es hier nicht zu einem Eintritt in den Aktivposten Atmosphäre kommt, und es bleibt bei einem reinen Aktivtausch im „Nicht-atmosphärischen Reservoir“, ohne entsprechende Veränderungen bei der Zertifikateseite.<sup>7</sup>

Ohne NETs kann nur so lange emittiert werden, so lange freie Zertifikate vorhanden sind. Durch die Integration von NETs in das Emissionshandelssystem kann der Zertifikatehandel fortgesetzt werden, da wieder Zertifikate dem freien Zertifikatepool hinzugefügt werden können. Anbieter von Zertifikaten gewinnen im Sinne einer Kreislaufwirtschaft Zertifikate durch die Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zurück und bieten sie zum Verkauf an. Dabei macht es für den Fortbestand des Emissionshandels keinen Unterschied, ob die Zertifikate direkt an Unternehmen verkauft werden (in die Bank wandern) oder wieder in einen Zertifikatepool kommen, wenn eine Behörde als Zwischenhändler auftritt.

Damit unterscheidet sich ein Emissionshandelssystem mit einem Angebot an Zertifikaten durch atmosphärische CO<sub>2</sub>-Entnahme von einem (regional begrenzten) Emissionshandelssystem, das erlaubt, Zertifikate von außerhalb zuzuführen. Letzteres ist möglich, wenn Emissionshandelssysteme verbunden werden und in dem anderen Emissionshandelssystem noch ein positives Angebot an Zertifikaten besteht bzw. wenn Emissionsvermeidungen außerhalb eines Handelssystems realisiert und die Vermeidungsmaßnahmen entsprechend in Zertifikate umgewandelt werden (wie es zum Beispiel im Rahmen der flexiblen Mechanismen des Kyoto Protokolls möglich war). Bei dieser Konstruktion werden Emissionsvermeidungen *räumlich* verlagert. Die räumliche Verlagerung setzt aber voraus, dass es noch Zertifikate auf der Regulierungsseite gibt, die bislang noch nicht für „neue“ CO<sub>2</sub>-Emissionen verwendet wurden. Die mit den Temperaturzielen verbundenen globalen Emissionsbudgets implizieren indes, dass auch die Emissionen außerhalb eines (nicht umfassenden) Emissionshandelssystem endlich sein müssen, so dass die räumliche Verlagerung von Emissionen (und die damit verbundenen Zertifikate) keine Möglichkeit darstellt, ein Emissionshandelssystem nach der Verwendung der gesamten Zertifikatmenge fortzuführen.

Diese Überlegungen sollen verdeutlichen, dass für die Fortsetzung eines Emissionshandelssystems ein Angebot von Zertifikaten aus der CO<sub>2</sub>-Entnahme zwingend erforderlich ist, wenn für das Emissionshandelssystem mindestens ein Netto-Null-Ziel existiert. Die „Fortsetzung“ des Emissionshandelssystems impliziert, dass es nicht oder nur schwer vermeidbare Residualemissionen gibt – ist das nicht der Fall, kann das Emissionshandelssystem hingegen beendet werden. Theoretisch wäre bei einem Netto-Null-Ziel aber eine Situation ohne Emissionshandel, aber mit CCS denkbar.<sup>8</sup> In einer Situation ohne vollumfängliches CCS, besteht für die Marktteilnehmer, die Zertifikate für ihre Emissionen nutzen, zunächst kein Unterschied zwischen „alten“ und „neuen“ Zertifikaten. Wird das Angebot „neuer“ Zertifikate – wie im Rahmen des EU-ETS – linear auf null reduziert, beginnt ab einem gewissen Zeitpunkt parallel das Angebot „alter“ Zertifikate aus der CO<sub>2</sub>-Entnahme und ersetzt dann graduell das Angebot „neuer“ Zertifikate. Bei Netto-Negativ-Zielen werden dem Bestand der „freien“ Zertifikate laufend Zertifikate entzogen, so dass die Summe auf beiden Seiten in Abbildung 5 sinkt. Durch den Einsatz von CCS kann kein Absinken auf beiden Seiten erreicht werden, da es hier nur zu einem Tausch im Reservoir „Nicht-atmosphärisches Reservoir“ kommt.

## 2.3 Integration von Zertifikaten aus der CO<sub>2</sub>-Entnahme

Grundsätzlich gibt es natürlich die Möglichkeit, dass Aktivitäten mit CO<sub>2</sub>-Emissionen und Aktivitäten mit CO<sub>2</sub>-Entnahme in einem Unternehmen gebündelt werden und das Unternehmen nur für seine Nettoemissionen Zertifikate vorlegen muss (IEAGHG 2014). Im engeren Sinne handelt es sich dabei aber um ein „konventionelles“ Emissionshandelssystem, in dem die Unternehmen mit ihren Nettoemissionen teilnehmen. Wir fokussieren uns hier allerdings auf die Frage, wie ein Emissionshandelssystem modifiziert werden könnte (oder müsste), damit Anbieter von negativen Emissionen an dem Handel teilnehmen können.

Bei der Integration der Zertifikate, die sich aus der Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre ergeben, kann man zwischen einem Szenario mit unbegrenztem Angebot und einem Szenario mit einem begrenzten Angebot unterscheiden. In dem zweiten Szenario gibt es Begrenzungen für die Menge der NETs-Zertifikate im Markt. Dabei ist vorstellbar, dass das zweite Szenario die Einführung in den Markt beschreibt und dann in das erste Szenario übergeht.

In dem Szenario mit unbegrenztem Angebot ergibt sich der neue Gleichgewichtspreis im Schnittpunkt der Grenzvermeidungskostenkurve (der Nachfrage nach Zertifikaten) und der Grenzkostenkurve für NETs (dem zusätzlichen Angebot an Zertifikaten). Dabei aggregiert die NETs-Kostenkurve die Kosten für die verschiedenen Möglichkeiten, CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu entnehmen, und der resultierende CO<sub>2</sub>-Marktpreis würde bestimmen, in welchem Umfang

CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entnommen und entsprechend herkömmliche Emissionsvermeidung substituiert wird (Rickels et al., 2019a). In dem Szenario des unbegrenzten Angebots besteht lediglich ein Cap für die Gesamtmenge der Nettoemissionen, und man kann sich die NETs-Grenzkostenkurve als Verlängerung des Caps vorstellen. Entsprechend ergibt sich aus der Kombination von Cap und Grenzangebotskurve ein „effektives“ Cap, das durch den Schnittpunkt mit der Grenzvermeidungskostenkurve bestimmt, in welchem Umfang Emissionsvermeidung und der Einsatz von NETs stattfindet.

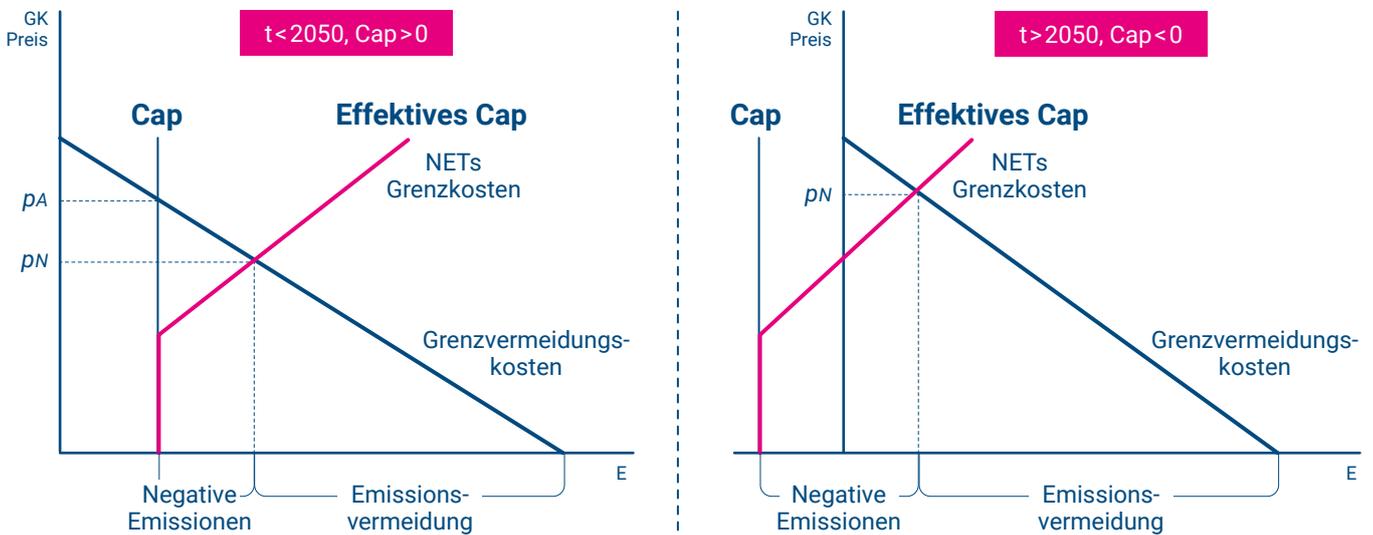
Abbildung 6 zeigt unter der Annahme des unbegrenzten Angebots (und vollständiger Konkurrenz) ein statisches Optimierungsproblem, bei dem die Vermeidungskostenkurve für herkömmliche Emissionsvermeidung durch eine quadratische Funktion<sup>9</sup> und die NETs-Kostenkurve durch eine quadratisch-lineare Kostenkurve dargestellt werden. Dadurch ergeben sich lineare Grenzkostenkurven, und die Grenzkosten für die erste Einheit NETs ergeben sich durch den linearen Term in der Kostenkurve – bei diesem CO<sub>2</sub>-Preis knickt das „effektive“ Cap ab. Abbildung 6 unterscheidet zwischen zwei Varianten: i) einem Emissionshandelssystem mit einem positiven Cap und ii) einem Netto-Negativ-Emissionshandelssystem mit einem negativen Cap. Die zwei Varianten sind

dem EU-ETS zugeordnet, wenn bis 2050 ein Netto-Null und im Anschluss ein Netto-Negativ-Ziel erreicht werden sollte. Die Netto-Null-Variante ist in der Abbildung nicht dargestellt. In dieser Variante würde das Cap auf der Y-Achse liegen.

Ein Netto-Negatives Emissionshandelssystem (und damit negatives Cap) setzt voraus, dass von der Regulierungsseite keine Zertifikate versteigert werden, sondern gekauft oder ersteigert werden. Die Schnittpunkte des effektiven Caps mit der Grenzvermeidungskostenkurve bestimmen den CO<sub>2</sub>-Preis, je flacher der abknickende Teil des effektiven Cap verläuft, desto größer ist die Substitution der Emissionsvermeidung. Es ergibt sich ein niedriger Preis (vergleiche den Preis  $p_A$ , der sich ohne NETs ergeben würde, mit  $p_N$ ). In der Variante  $Cap < 0$  kann der Schnittpunkt mit der NETs-Grenzkostenkurve nicht links von der Y-Achse liegen, da durch herkömmliche Emissionsvermeidung keine Netto-negativ-Emissionen erreicht werden können. Entsprechend kann man hier nicht den ursprünglichen Preis ohne NETs mit dem neuen Gleichgewichtspreis vergleichen. Der Gleichgewichtspreis in der Variante mit dem negativen Cap ist aber höher als in der Variante mit dem positiven Cap, außer für den theoretischen Fall, dass die NETs-Kostenkurve einen linearen Verlauf hätte und damit die zugeordnete Grenzkostenkurve konstant wäre.

**Abb. 6 | Vollständige Integration von Negativen Emissionen in ein Emissionshandelssystem**

(Schematische Darstellung)



**Anmerkungen:** Schematische Darstellung einer vollständigen Integration von Negativen Emissionen in ein Emissionshandelssystem für die Variante mit einem positiven Cap (links) und einem negativen Cap (rechts). Die Abbildung zeigt ein statisches Optimierungsproblem, der Preis  $p_A$  zeigt den Preis ohne negative Emissionen, der Preis  $p_N$  zeigt den Preis mit negativen Cap. In der Variante mit einem negativen Cap kann es nur den Preis  $p_N$  geben.

Die stilisierte Abbildung 6 verdeutlicht, dass sich durch die Integration von NETs oberhalb der Einstiegskosten für NETs ein preiselastisches Cap ergibt (im Vergleich zum preisunelastischen Cap ohne NETs). Bei einem Schnittpunkt in diesem Bereich des Caps bestimmen sich Emissionsvermeidung und negative Emissionen endogen. Entsprechend ergeben sich hier Parallelen zu einem endogenen Cap (vgl.

Abschnitt 2.1) für die Emissionsvermeidung, wenn man das absolute Cap (der Ansatzpunkt für die NETs-Kostenkurve) als Voraussetzung für die Integration von NETs nach links verschiebt. Hier ergibt sich die Schwierigkeit, dass die Regulierung weder Kenntnis über den genauen Verlauf der Grenzvermeidungskostenkurve noch über die NETs-Grenzkostenkurve hat. Welche zusätzlichen Fragen sich dadurch

ergeben, gerade im Vergleich zu der Einführung von NETs unter einer CO<sub>2</sub>-Steuer, kann hier nicht beantwortet werden, sondern muss in zukünftiger Forschung aufgegriffen werden.<sup>10</sup> Durch das abschnittsweise preiselastische Cap ergeben sich aber auch neue Implikationen aus der Verschiebung der Grenzvermeidungskostenkurve. So würde sich die Anzahl der Firmen, die eine neue Vermeidungstechnologie adaptieren, im Vergleich zu einer Situation ohne NETs erhöhen, wenn der Schnittpunkt zwischen effektivem Cap und Vermeidungskostenkurve in den elastischen Bereich fällt. Wenn das Cap hier sogar vollkommen elastisch (konstante Grenzkosten) ist, ergäbe sich bezüglich der Adaption neuer Vermeidungstechnologien kein Unterschied mehr zwischen Emissionshandel und Steuer.<sup>11</sup>

In einem Szenario mit begrenzter Integration gibt es verschiedene Varianten, die Mengen der NETs-Zertifikate zu begrenzen. Ohne expliziten Bezug zur Frage der Integration in den Emissionshandel diskutieren Geden et al. (2019), McLaren et al. (2019), Geden und Schenuit (2020), und Jeffery et al. (2020) die Möglichkeit, getrennte Ziele für sowohl Emissionsvermeidung als auch negative Emissionen einzuführen. Im Kontext des Emissionshandels würde sich dadurch ergeben, dass es allenfalls zufällig zu einer Angleichung der Grenzvermeidungskosten kommt und entsprechend Effizienzverluste eintreten.

Die Einführung getrennter Ziele wird vor allem vor dem Hintergrund der politischen Umsetzbarkeit motiviert, unter anderem um der Sorge zu begegnen, dass es bei einer unbegrenzten Integration zu einer umfangreichen Substitution der herkömmlichen Emissionsvermeidung kommen könnte, (siehe Situation a) in Abbildung 7. Eine solche Situation könnte sich unter anderem ergeben, wenn zum Beispiel unbegrenzt Zertifikate aus der Aufforstung oder Kohlenstoffsequestrierung im Boden (soil carbon sequestration) integriert würden. Bei den derzeitigen 1.5 TECH als auch in 1.5 LIFE Szenarien der EU-Kommission ist die Integration auf Maßnahmen mit einfacherer Verifizierung der CO<sub>2</sub>-Speicherung beschränkt, wie bei BECCS und DACCS und entsprechend ist derzeit eher (noch) eine Situation wie in b) zu erwarten. In einer solchen Situation könnte es sein, dass es trotz unbegrenzter Integration (noch) zu keinem Einsatz von NETs und damit zur Substitution der herkömmlichen Emissionsvermeidung kommt. Abbildung 7 stellt diesen Zusammenhang vereinfachend als statisches Optimierungsproblem dar, wobei dieselben Annahmen in Hinblick auf die Kostenfunktionen getroffen wurden wie in Abbildung 6. In einer dynamischen Betrachtung würde das Cap über die Zeit weiter nach links wandern und spätestens, wenn das Cap in den negativen Bereich kommt, zwingend den Einsatz von NETs voraussetzen.

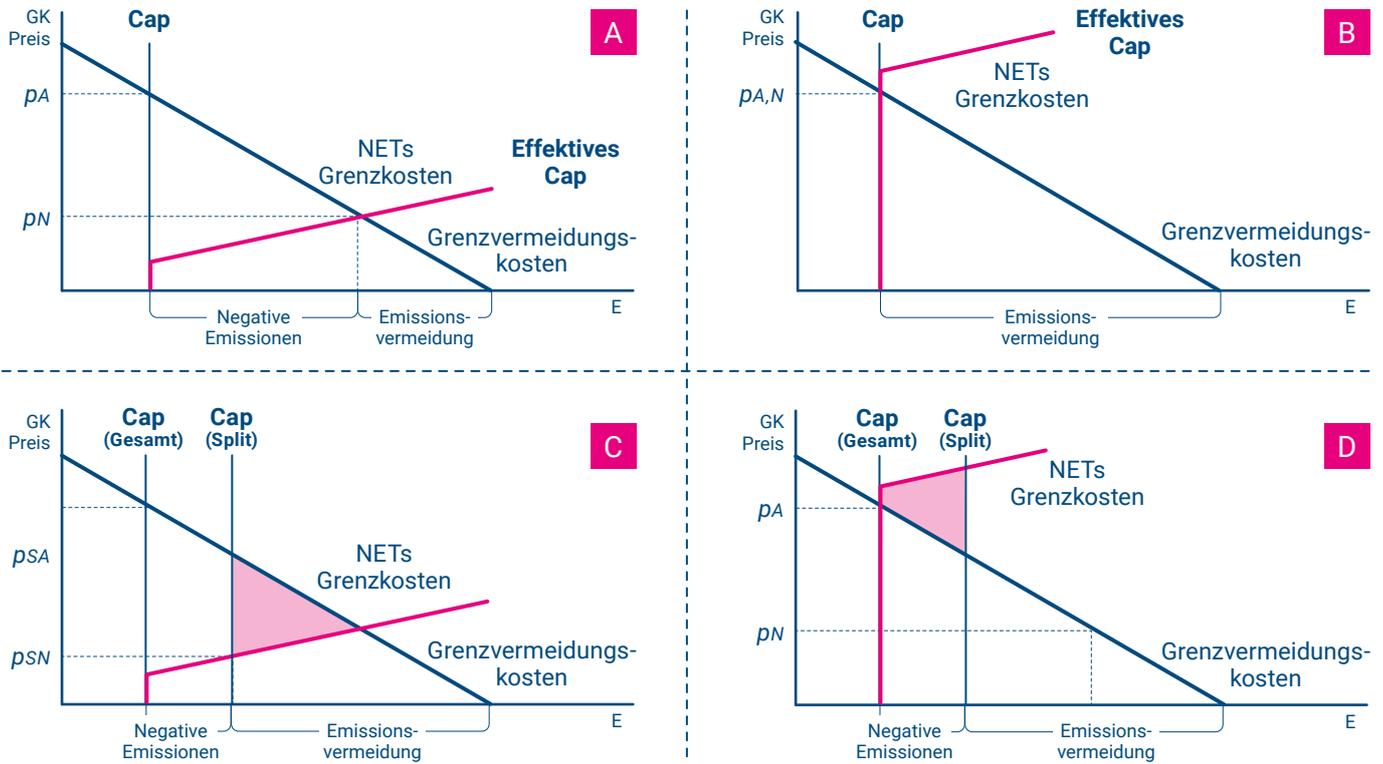
Abbildung 7 zeigt in c) und d) für die Situation a) und b) das Szenario mit begrenzter Integration mit getrennten Zielen (das gesamte Cap aggregiert die beiden getrennten Ziele, entsprechend zeigt der Cap (Split) von links betrachtet das Ziel für negative Emissionen an und von rechts betrachtet das Ziel für die Emissionsvermeidung). In diesen beiden

Situationen kommt es zu unterschiedlichen Preisen für Emissionsvermeidung und NETs, und die grau gefärbten Flächen zeigen die zusätzlichen Kosten durch die fehlende Angleichung der Grenzkosten. Entsprechend zeigt Abbildung 7, dass für die wahrscheinliche Situation b) eine Einführung von getrennten Zielen zu einer Förderung von NETs führt. Eine solche Förderung durch (vorübergehende) begrenzte Integration kann aber im Zuge von getrennten Zielen sinnvoll sein, wenn Forschungsexternalitäten und/oder Kapitalmarkt-unvollkommenheiten vorliegen und es NETs mit sehr unterschiedlichen Technologiepotentialen gibt (siehe dazu Abschnitt 2.4). Bei separaten Zielen müsste in der Situation d) die Regulierung NETs-Zertifikate ankaufen beziehungsweise die Differenz zum Marktpreis ausgleichen, d.h. die Differenz zwischen p<sub>SN</sub> und p<sub>SA</sub>. In Abschnitt 2.4 gehen wir vertiefend auf die Bedingungen ein, unter denen eine solcher Ausgleich der Differenz sinnvoll sein könnte, und welche Instrumente sich dafür anbieten.

Wie in Abschnitt 2.1 diskutiert, können Preis- und Mengensysteme kombiniert werden, indem ein Preis-korridor aus Mindest- und Höchstpreis berücksichtigt wird.<sup>12</sup> Auch wenn ein Höchstpreis in einem Emissionshandelssystem mit Preiskorridor gegenüber einem alternativen Politikrahmen mit CO<sub>2</sub>-Steuer immer noch ein höheres Maß an Zielerreichung gewährleistet, wenn der Höchstpreis oberhalb der CO<sub>2</sub>-Steuer liegt, geht der fundamentale Vorteil der Sicherheit bei der reinen Mengensteuerung verloren. Um den (harten) Höchstpreis zu gewährleisten, müssen zusätzliche „neue“ Zertifikate angeboten werden, und damit wird die Gesamtmenge an Zertifikaten und damit CO<sub>2</sub>-Emissionen erhöht. Hier ergibt sich die Variante für die begrenzte Integration, Zertifikate aus der CO<sub>2</sub>-Entnahme zu nutzen, um einen weichen Höchstpreis zu stützen. Durch das Angebot zusätzlicher Zertifikate aus der CO<sub>2</sub>-Entnahme wird der CO<sub>2</sub>-Preis entlang der Höchstpreisgrenze so lange gestützt wie Zertifikate vorliegen. Diese Möglichkeit der Integration von NETs im Rahmen von Preiskorridoren ist in Abbildung 8 dargestellt. Hier bietet es sich an, in einer dynamischen Betrachtung zu untersuchen, inwieweit die separaten Ziele in Abhängigkeit der beobachteten Preise anzupassen sind, damit ausreichend NETs-Zertifikate vorhanden sind, um den Höchstpreis „hart“ zu stützen.

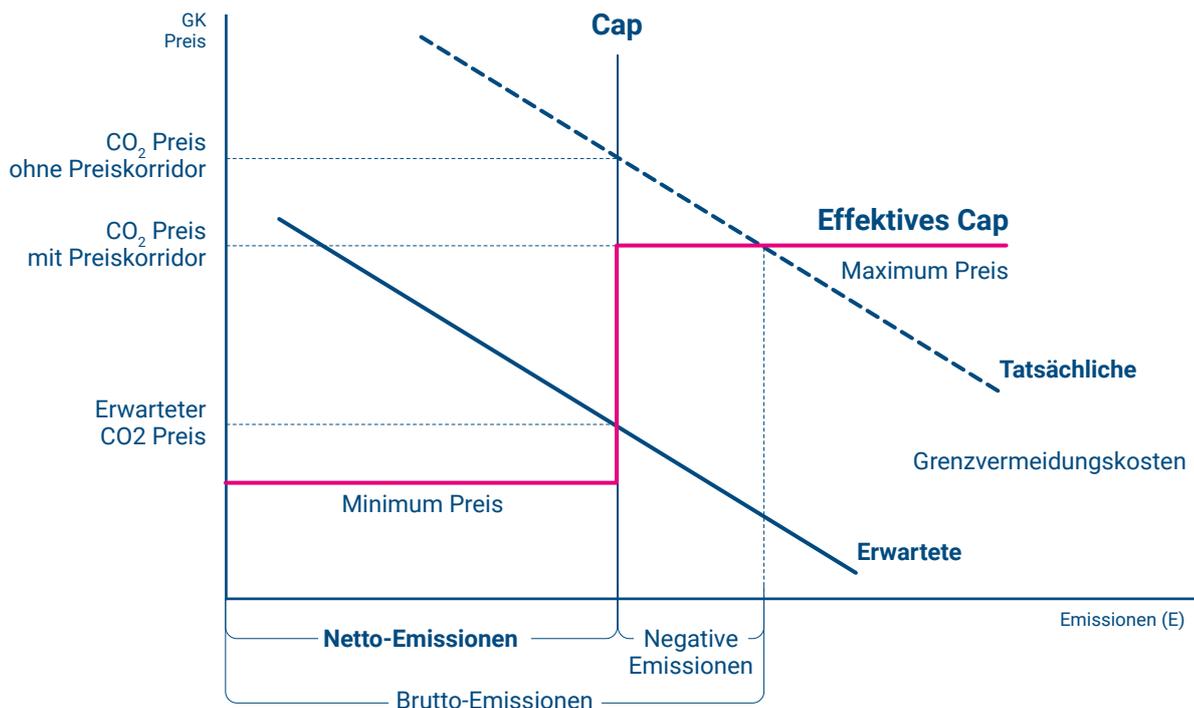
Die Verwendung von NETs-Zertifikaten zur Stützung von Höchstpreisen ist aber nur eine von vielen Möglichkeiten für eine begrenzte Integration. Es besteht auch die Möglichkeit, Mengenbeschränkungen analog zu den Mengenbeschränkungen bei den Zertifikaten aus den flexiblen Mechanismen des Kyoto-Protokolls (vgl. Abschnitt 3.4) zu berücksichtigen. Die Mengenbeschränkungen könnten im Zeitverlauf angepasst und technologiespezifisch ausgestaltet werden. Wie aber bereits im Kontext von Abbildung 7 diskutiert, ergibt sich dann in der Situation b) beziehungsweise d) die Voraussetzung, dass die Marktteilnehmer Mindestmengen durch NETs abdecken müssten. In diesem Fall würden die Unternehmen die zusätzlichen Kosten der partiellen Integration tragen.

**Abb. 7 | Partielle Integration von NETs für unterschiedliche Situationen für die Kosten von NETs.**  
(Schematische Darstellung)



**Anmerkungen:** In a) und b) ist die Situation mit niedrigen und hohen NETs-Grenzkosten und entsprechender umfangreicher und geringer Substitution der Emissionsvermeidung dargestellt. In c) und d) wird für diese beiden Situationen das Szenario mit partieller Integration und separaten Zielen gezeigt.

**Abb. 8 | CO<sub>2</sub>-Preiskorridor mit NETs-Zertifikaten zur Stützung der Preisobergrenze.**  
(Schematische Darstellung)



**Anmerkungen:** In der Abbildung wird unterstellt, dass die Menge der NETs-Zertifikate ausreichend ist, um den Maximumpreis hart zu stützen.

Die begrenzte Integration kann ebenfalls mit einer sektoralen Diskriminierung von Marktteilnehmern kombiniert werden.<sup>13</sup> Eine solche Variante würde zum Beispiel vorsehen, dass nur Sektoren, die im internationalen Wettbewerb stehen oder prozessbedingt hohe Residualemissionen haben, NETs-Zertifikate verwenden dürfen oder zugeteilt bekommen. Eine solche Konstruktion mit einem einseitigen Link existiert derzeit im EU-ETS für den Flugverkehr (vgl. Abschnitt 3.4). Flugbetreiber können sowohl spezielle (European Union Aviation Allowances, EUAAs) als auch herkömmliche Zertifikate verwenden.

Eine weitere Variante wäre, mit NETs-Zertifikaten eine Zertifikatereserve zu befüllen, die in Abhängigkeit der beobachteten Menge an Zertifikaten in Zirkulation, zusätzliche Zertifikate aus der Reserve im Rahmen einer Auktion freigibt. Die derzeit im EU-ETS verwendete Marktstabilitätsreserve (MSR) stellt eine solche Möglichkeit der endogenen Mengensteuerung dar. Die MSR dient in erster Linie dazu, einen historisch bedingten Zertifikateüberhang abzubauen (vgl. Abschnitt 3.3), gibt aber auch Zertifikate wieder frei, wenn die Menge der in Zirkulation befindlichen Zertifikate unter einen Grenzwert fällt. Entsprechend vorstellbar ist es also auch, dass eine der MSR-ähnlichen Konstruktion dazu genutzt wird, um NETs-Zertifikate in Abhängigkeit der Zertifikate im Umlauf, aus der Reserve freizugeben. Alternativ könnte auch das in Abschnitt 2.1 vorgestellte FlexCap im Zuge einer solchen Variante angewendet oder im Zuge eines „Smart Cap“ der Umrechnungsfaktor zwischen konventionellen Zertifikaten und Zertifikaten aus NETs in Abhängigkeit von beobachteten Mengen oder Preisen variiert werden. Grundsätzlich ergeben sich durch solche Begrenzungen bei der Integration, sei es durch die Begrenzung des Angebots beziehungsweise der Schaffung einer künstlichen Nachfrage, Effizienzverluste im Vergleich zu einer unbegrenzten Integration, die aber entweder durch dynamische Technologieentwicklungsargumente oder zusätzliche politische Ziele begründet werden können.

## 2.4 Anreize zur Entwicklung von Technologien zur CO<sub>2</sub>-Entnahme

Das CO<sub>2</sub>-Preissignal bietet Anreize, Emissionen dort zu vermeiden, wo es am kostengünstigsten ist (Stavins, 2003). Gleichzeitig bietet der CO<sub>2</sub>-Preis Anreize, neue Technologien zu entwickeln, da er im Falle von NETs anzeigt, wie viel mit der Entnahme einer Tonne CO<sub>2</sub> verdient werden kann. Entsprechend wird dezentral koordiniert, bis zu welchem Grad es effizienter ist, CO<sub>2</sub> zu vermeiden oder wieder aus der Atmosphäre zu entnehmen. Darüber hinaus bieten die Einnahmen aus einer CO<sub>2</sub>-Steuer beziehungsweise der Versteigerung von Zertifikaten die Möglichkeit, andere verzerrende Steuern zu reduzieren (Kampa und Moslener, 2017). Liegen neben Emissionsexternalitäten zusätzlich Forschungsexternalitäten oder Kapitalmarktperfektionen vor, bietet es sich an, weitere Instrumente zu berücksichtigen.

Forschungsexternalitäten – also die Übertragung von Wissen („Knowledge Spillover“) aus der Anwendung neuer Technologien („Learning-by-doing“) auf andere Marktteilnehmer – werden nicht kompensiert, so dass aus gesamtwirtschaftlicher Sicht das öffentliche Gut „neue Erkenntnis“ (durch Forschung und Entwicklung) zu wenig bereitgestellt wird (Jaffe et al., 2005). Existieren positive Forschungsexternalitäten, können zusätzliche Instrumente die ausreichende Bereitstellung des öffentlichen Gutes gewährleisten (Acemoglu et al., 2012) etwa durch eine Subvention für Forschungs- und Entwicklung oder eine Produktionssubvention für saubere Technologien für „Learning-by-doing“ (Acemoglu et al., 2012; Fischer and Newell, 2008).

Restriktionen auf dem Kapitalmarkt ergeben sich vor allem aus Informationsasymmetrien zwischen Kreditgeber und Kreditnehmer bezüglich der Aussichten des Projektes und den damit verbundenen Kosten, diese Informationsasymmetrien zu verringern. Entsprechend kann eine Situation eintreten, in der sich die Finanzierungskosten durch ungünstigere Konditionen erhöhen (Jaffee und Stiglitz, 1990) beziehungsweise es keinen liquiden Markt für langfristige Finanzierungen gibt (Stiglitz, 1993). In einer solchen Situation kommt es zu Einschränkungen bei der sozialen optimalen Allokation von Kapital (Kempa und Moslener, 2017).

Liegen solche Kapitalmarktperfektionen vor, sind insbesondere innovative, junge Firmen betroffen. Carpenter und Petersen (2002) zeigen, dass vor allem junge High-Tech-Firmen Probleme bei der Fremdfinanzierung haben, da High-Tech-Investitionen im Vergleich zu konventionellen Projekten mit etablierten Technologien mit einer höheren Unsicherheit verbunden sind. Hinzu kommt, dass junge Unternehmen noch keine etablierte Beziehung zu einem Kreditgeber haben (relationship banking), die die Informationsasymmetrien reduzieren (Berger und Udell, 2002). Die mit unvollkommenen Kapitalmärkten verbundenen Einschränkungen wiegen umso schwerer, je kapitalintensiver die neuen Technologien sind. Bahr et al. (2012) sowie Mazzucato und Semieniuk (2017) zeigen (ebenfalls für den Fall erneuerbarer Energien), dass die Markteintrittskosten stark durch die Finanzierungskosten beeinflusst sind. Entsprechend zeigen Mazzucato und Semieniuk ebenfalls, dass Finanzierungsstruktur und Risikopräferenzen erheblichen Einfluss auf die Zusammensetzung der Investmentportfolios und damit auf die Richtung der Technologieentwicklung haben. Zwar zeigen Fischer und Newell (2008), dass Carbon Pricing auch für den Innovationsprozess bei weitem das wichtigste Instrument ist und zusätzliche externe Effekte bzw. Marktunvollkommenheiten durch höhere CO<sub>2</sub>-Preise adressiert werden können, grundsätzlich besteht aber die Gefahr, dass sich dann, wenn sich die Höhe des CO<sub>2</sub>-Preises zusätzlich an der Internalisierung der Forschungsexternalität orientiert, ein anderer Technologiemitmix einstellt, als wenn sich der CO<sub>2</sub>-Preis an den Grenzschäden orientiert.

Entsprechend zeigen Antoniou and Strausz (2017), dass bei hohen fixen Eintrittskosten eine CO<sub>2</sub>-Steuer (oder äquivalente Subvention CO<sub>2</sub>-freier Energie) nicht ausreicht, um das gesamtwirtschaftliche Optimum zu erreichen. Eine fixe Pauschalförderung, die Markteintrittskosten reduziert, kann hingegen, kombiniert mit einem CO<sub>2</sub>-Preis, eine optimale Technologieentwicklung gewährleisten. Erhöhte fixe Markteintrittskosten ergeben sich zum Beispiel aus dem erhöhten Forschungs- und Entwicklungsbedarf neuer Technologien sowie aus den bereits diskutierten höheren Finanzierungskosten. Kempa und Moslener (2017) argumentieren, dass Instrumente zur Investitionsförderung insbesondere bei neuen Technologien zur Abmilderung der Kapitalmarktunvollkommenheiten zielführend sind. Sie zeigen, dass Zinszuschüsse und -garantien aufgrund der geringeren Kosten gegenüber Investitionszuschüssen zu bevorzugen sind, und dass direkt subventionierte Kredite eingesetzt werden sollten, wenn (i) die Regierung (oder die öffentliche Bank) besser in der Lage ist, zu prüfen und zu überwachen, oder (ii) kein Markt für (langfristige) Schulden vorhanden ist.

Dem steht gegenüber, dass es für den Staat genauso schwer ist, neue Technologien und deren Potential einzuschätzen. Letzteres ist relevant, weil eine optimale (Forschungs-)Politik nicht nur die derzeitigen Bedingungen in den Blick nimmt, sondern insbesondere auf mögliche zukünftige Kostensenkungen abzielt. Je nachdem, welche Kostensenkungspotentiale erwartet werden, kann es sinnvoll sein, eine derzeit noch vergleichsweise teure Technologie stärker zu fördern (Bramoulle und Olson, 2005). Lancker und Quaas (2019) zeigen, dass dann, wenn die unterschiedlichen Technologien in ihrer derzeitigen Produktivität, in ihrem Potential für Kostensenkungen und in dem Grad des Technologie-Spillover variieren, es auch optimal ist, in den Raten zu variieren, die den marginalen Einsatz der Technologien beeinflussen. Technologien mit bereits relativ hoher Produktivität haben erwartungsgemäß ein niedriges Kostensenkungspotential durch weitere Innovationen („marginal-learning-effect“) und sollten entsprechend eine geringere Förderung erhalten als Technologien mit geringerer relativer Produktivität. Auf der anderen Seite haben Technologien mit bereits relativ hoher Produktivität ein größeres Potential, neue Firmen anzulocken, so dass sich hier höhere Forschungs-Spillover ergeben können. Daraus würde man eine höhere Förderung für Technologien mit einer bereits relativ hohen Produktivität ableiten. Welcher Effekt dominiert, hängt neben den Elastizitäten auch davon ab, welche Kostensenkungs- bzw. Kapazitätsgrenzen für die einzelnen Technologien vorliegen, und inwieweit es möglich ist, diese aus Regulierungssicht ex ante einzuschätzen.

Grundsätzlich kann man zwischen unterschiedlichen För-

dermechanismen entlang der Technologieentwicklung neuer Produkte unterscheiden, wobei es schwierig ist abzuschätzen, ab welchem Zeitpunkt zwischen verschiedenen Förderungsmöglichkeiten gewechselt werden sollte. Da bei Überlegungen zur Integration von NETs in das EU-ETS eine entsprechende marktbasierende Preisinformation bereits existiert, bietet es sich an, eine zusätzliche Förderung an diesen Preis anzubinden. So würden zum Beispiel Differenzkontrakte erlauben, NETs-Betreibern eine feste Vergütung pro tCO<sub>2</sub> (anfänglich) als die Differenz zum aktuellen CO<sub>2</sub>-Preis zu zahlen, die eben auch negativ wird, wenn der CO<sub>2</sub>-Preis oberhalb des im Kontrakt spezifizierten Preises liegt. Dieser Preis kann in einem auktionenbasierten Tendersverfahren festgelegt werden, wobei es hier wiederum die Möglichkeit gibt, technologiespezifische Kontingente auszuschreiben, um eine breite Technologieförderung zu gewährleisten. Dies bietet sich vor allem dann an, wenn der Reifegrad der verschiedenen Technologien noch sehr unterschiedlich ausgeprägt ist.

Die derzeit diskutierten NETs sind – sowohl im Hinblick auf die jährliche als auch (mögliche) kumulative CO<sub>2</sub>-Entnahme und Speicherung – durch sehr unterschiedliche Potenziale sowie unterschiedliche Technologiereifen und entsprechend Kosten gekennzeichnet. Daher erscheint es angebracht, in der Technologieförderung zwischen den Technologien zu differenzieren. Im Gegensatz zu der Förderung der Stromerzeugung durch Erneuerbare Energien gibt es allerdings einen entscheidenden Unterschied. Die Stromnachfrage schwankt über den Verlauf des Tages, der Woche und des Jahres. Entsprechend kommt es bei Vergütungssystemen für Erneuerbare Energien, die diese wechselnde Nachfrage nicht berücksichtigen, zu potentiellen Fehlanreizen in Bezug auf die Zusammensetzung der Stromerzeugungskapazität. Hingegen hat die Nachfrage nach entnommenem CO<sub>2</sub> keine zeitabhängige Schwankung, sondern beschränkt sich auf die kumulative Menge an entnommenem CO<sub>2</sub>. Entsprechend gehen von Förderinstrumenten, die den marginalen Anreiz unabhängig von dem Zeitpunkt auf die CO<sub>2</sub>-Menge beschränken, weniger Fehlanreize aus als im Fall von Erneuerbaren Energien.

Grundsätzlich gibt es auch Überlegungen die schwankende Bereitstellung von Strom aus erneuerbaren Energien mit dem Einsatz von NETs zu kombinieren. So untersuchen zum Beispiel Wohland et al. (2018), wie sich das Überschussstromangebot für die Entnahme von CO<sub>2</sub> durch das Direct Air Capture Verfahren sinnvoll verwenden ließe. Wie sich entsprechend die Förderung von Erneuerbaren Energien und NETs kombinieren ließe, geht über die Fragestellung dieses Beitrags hinaus und sollte in zukünftiger Forschung adressiert werden.

## 3. Der europäische Emissionshandel als Teil der europäischen Strategie zur Klimaneutralität in 2050

Nach den grundsätzlichen Überlegungen zum Emissionshandel mit negativen Emissionen wird hier konkret der europäische Emissionshandel betrachtet und analysiert, welche Fragen sich bei der Integration von Zertifikaten aus NETs ergeben. Dafür wird zuerst das EU-ETS in seiner aktuellen Form vorgestellt, bevor diskutiert wird, welche Informationen für zukünftige Preisentwicklungen vorliegen, und welche Veränderungen im EU-ETS zu erwarten sind. Darüber hinaus konnten bereits Erfahrungen aus der Integration von Zertifikaten aus anderen Emissionshandelssystemen gesammelt werden, aus denen Rückschlüsse für die begrenzte Integration von NETs gezogen werden können. Abschließend gehen wir auf Schätzungen zu Potentialen von NETs aus der Literatur ein und verbinden damit empirisch Überlegungen zu den Integrationsszenarien aus dem vorherigen Kapitel.

### 3.1 Der Europäische Emissionshandel mit endogener Mengensteuerung

Das EU-ETS existiert seit 2005 und wurde seitdem mehrfach reformiert. Derzeit umfasst es über 11.000 Anlagen der Energieversorgung und energieintensiven Industrie (Eisen- und Stahlherzeugung, Mineralverarbeitung, Raffinerien, chemische Industrie, Papier- und Zellstoff- sowie Nichtmetallerzeugung) in den 27 EU-Mitgliedstaaten sowie Großbritannien, Norwegen, Island und Liechtenstein. Neben primär CO<sub>2</sub>-Emissionen werden auch Lachgas-(N<sub>2</sub>O) und Kohlenwasserstoffemissionen (PFC) erfasst. Außerdem sind seit 2012 die Emissionen aus innereuropäischen Flügen einbezogen. Damit deckt das EU-ETS etwa 40 Prozent der EU-Treibhausgasemissionen ab. Die jährliche Obergrenze wird mittlerweile auf EU-Ebene festgelegt und beträgt in 2020 etwas mehr als 1,8 GtCO<sub>2</sub> equiv. Die Obergrenze wird jährlich anhand eines linearen Reduktionsfaktors abgesenkt. Im Zeitraum von 2013 bis 2020 ergab sich dadurch eine jährliche Reduktion von knapp 40 Mt CO<sub>2</sub> equiv, für den Zeitraum von 2020 bis 2030 wird ein höherer Reduktionsfaktor (2,2 Prozent im Vergleich zu 1,74 Prozent) angesetzt, so dass sich die Obergrenze jährlich um knapp 50 MtCO<sub>2</sub> equiv reduziert. Mit diesem Reduktionsfaktor ergibt sich bis zum Jahr 2030 eine Emissionsreduktion von 43 Prozent im EU-ETS (relativ zu 2005). Unter der Annahme, dass der jetzige lineare Reduktionsfaktor (2,2 Prozent) bis 2050 fortgesetzt wird, erreicht man eine Reduktion der Zertifikateausgabe von 85 Prozent in 2050 sowie ein Auslaufen der Zertifikateausgabe in den Jahren 2057/2058 (Europäische Kommission, 2018b). Allerdings behalten nicht genutzte Zertifikate (EUAs) auch in späteren Perioden ihre Gültigkeit, und Teilnehmer können diese Zertifikate entsprechend aufheben (banking).

In Abhängigkeit von den bislang nicht festgelegten Modalitäten zur Fortsetzung des EU-ETS nach Auslaufen der Zertifikateausgabe, können sich spätere Zeitpunkte einstellen, bis alle EUAs für Emissionen verwendet wurden.

Insbesondere aus Phase II des EU-ETS (2008 bis 2012) existieren noch zahlreiche nicht genutzte Zertifikate (1.75 GtCO<sub>2</sub>), da aufgrund der wirtschaftlichen Krise im Nachgang der Finanzkrise die Emissionen stärker gesunken sind als antizipiert. 2014 wurde beschlossen, dem Markt kurzfristig Zertifikate zu entziehen und diese dann später wieder zuzuführen (sogenanntes Back-loading). Wie erwartet hatte dies nur einen geringen Effekt auf den Zertifikatpreis, da bei der Möglichkeit von Banking (also intertemporaler Flexibilität bei der Nutzung von Zertifikaten) die Erwartung auf ein späteres Backloading die Gesamtmenge an verfügbaren Zertifikaten unverändert lässt. Im Mai 2015 beschloss die EU daraufhin, die für den Zeitraum 2014–2016 und später die Phase III zurückgehaltenen Zertifikate nicht wieder auf den Markt zu bringen, sondern in die „Marktstabilitätsreserve“ (MSR) einzustellen. Diese operiert seit 2019. Seither werden jedes Jahr 24 Prozent und ab 2024 12 Prozent der im Vorjahr nicht eingesetzten Zertifikate in die MSR eingestellt, sofern der kumulierte „Überschuss“ an Zertifikaten, der für spätere Verwendung „gebanked“ wird, 833 Mio. Zertifikate übersteigt. Sinkt der „Überschuss“ unter 400 MtCO<sub>2</sub>, werden in den Folgejahren zusätzlich jeweils 100 MtCO<sub>2</sub> aus der MSR versteigert, bis diese leer ist. So wurden in 2019 397 MtCO<sub>2</sub> Zertifikate und vom 01.01.2020 bis zum 31.08.2021 werden 333 MtCO<sub>2</sub> Zertifikate in die MSR überführt (Europäische Kommission, 2019b; Europäische Kommission, 2020c). Entsprechend werden sich im August 2021 1.630 MtCO<sub>2</sub> Zertifikate in der MSR befinden.<sup>14</sup>

Die MSR darf ab 2023 nur so viele Zertifikate enthalten, wie im vorherigen Jahr versteigert wurden (in 2023 etwa 57 Prozent des Caps bzw. ca. 900 MtCO<sub>2</sub>, die jährlich um ca. 28 MtCO<sub>2</sub> sinken). Zertifikate über diese Obergrenze hinaus werden gelöscht. Durch die neue Regelung mit MSR sowie automatischer Löschung ab 2023 ergibt sich eine regelgebundene endogene Obergrenze für die Zertifikatmenge, die asymmetrische Informationsprobleme im Hinblick auf die Vermeidungskosten bei den Betreibern reduzieren und die Effizienz des EU-ETS, gemessen an den langfristigen Reduktionszielen der EU, erhöhen soll (Gerlagh und Heijmans, 2018, 2019; Gerlagh et al., 2019; Rosendahl, 2019; Quemin und Trotignon, 2019).

Rosendahl (2019) und Graichen et al. (2019) schätzen, dass bis 2030 kumulativ Zertifikate mit einem Gegenwert von 3.3 Gt CO<sub>2</sub> gelöscht werden. Gerlagh et al. (2019) schätzen 3.7 Gt CO<sub>2</sub>. Betrachtet man den Zeitraum bis zum Jahr 2050, schätzen Rosendahl (2019) und Gerlagh et al. (2019), dass insgesamt zwischen 4.5 und 5.5 Gt CO<sub>2</sub> kumulativ weniger emittiert werden, weil eine äquivalente Menge an Zertifikaten gelöscht wird. Weicht man von den Annahmen in Rosendahl (2019) und Gerlagh et al. (2019) ab, stellt also statt auf die Annahme von perfekter Voraussicht auf die Annahme eines begrenzten Planungshorizonts ab, kommen Quemin und Trotignon (2019) zu dem Ergebnis, dass sogar kumulativ 5 bis 10 Gt CO<sub>2</sub> Zertifikate durch die MSR gelöscht werden können. Wie Unternehmen Preiserwartungen bilden und entsprechend ihren Bestand an Zertifikaten anpassen, hat erhebliche Auswirkungen auf den Effekt der MSR. Wenn Unternehmen höhere Preise in der Zukunft erwarten, erhöhen sie ihren Bestand an Zertifikaten (sie sparen für die Zukunft). Das bedeutet aber, dass die Zahl der Zertifikate im Umlauf steigt und mehr Zertifikate in die MSR überführt und dann gelöscht werden. Umgekehrt bedeutet dies aber auch, dass Erwartungen über zukünftig niedrigere Preise dazu führen, dass die Unternehmen weniger Zertifikate sparen und entsprechend weniger Zertifikate über die MSR gelöscht werden. Eine solche Situation kann sich zum Beispiel aus dem angekündigten deutschen Kohleausstieg ergeben. Rosendahl (2019) und Gerlagh et al. (2019) kommen zu dem Ergebnis, dass dann sogar ein „Grünes Paradox“ eintreten kann, d.h. eine nationale Maßnahme erhöht die Emissionen im Vergleich zu der Situation ohne nationale Maßnahme unter der derzeitigen MRS- und Lösungsregulierung.<sup>15</sup>

Die Ergebnisse von Rosendahl und Gerlagh et al. basieren auf einem deterministischem Modell, d.h. es gibt keine Unsicherheiten über die zukünftigen Preise. Unter unsicherer Preiserwartung (und insbesondere kürzerem Planungshorizont der Unternehmen) würde der dem „grünen MSR-Paradox“ zugrundeliegende Mechanismus quantitativ deutlich schwächer ausfallen.

Nichtsdestotrotz sind diese Überlegungen relevant im Hinblick auf eine Integration von NETs in das EU-ETS. Je nach Ausgestaltung der Integration ergeben sich Auswirkungen auf die Preiserwartungen der Unternehmen mit entsprechenden Wechselwirkungen mit bestehenden Regulierungen. Darüber hinaus stellt sich die Frage, inwieweit (mögliche) Zertifikate aus NETs in Zukunft bestimmen, wie viele Zertifikate in eine MSR aufgenommen werden. Für letzteres ist, wie bereits erwähnt, die Anzahl der Zertifikate im Umlauf maßgeblich. Bei der Bestimmung dieser Anzahl werden die Zertifikate, die dem Flugverkehr zugerechnet sind, aber nicht berücksichtigt.

### 3.2 Preisentwicklung und Residualemissionen im EU-ETS

Unter anderem durch die oben angesprochenen Reformen ist der Zertifikatspreis, nachdem er im Anschluss an die Finanzkrise nach 2009 lange Zeit bei nur 5 bis 7 €/tCO<sub>2</sub> lag, seit 2018 wieder stark angestiegen und hat im August 2018 erstmals wieder die Marke von 20€/tCO<sub>2</sub> erreicht. Seitdem pendelt der Preis zwischen 18 und 30€/tCO<sub>2</sub>.

**Abb. 9 | Entwicklung der Zertifikatspreise im EU ETS**  
(EEX EUA Spotprice)



**Anmerkungen:** In der Abbildung wird unterstellt, dass die Menge der NETs-Zertifikate ausreichend ist, um den Maximumpreis hart zu stützen.

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf European Energy Exchange (EEX) – European Union CO<sub>2</sub> Emission Allowances EUR/tCO<sub>2</sub>, abgerufen via Thomson Reuters Eikon.

Die zwischenzeitlich sehr niedrigen Preise werden oft als Versagen des Systems angesehen. Dies ist nicht gerechtfertigt, weil das System genau wie vorgesehen funktioniert hat. Die gesetzten Emissionsziele wurden bzw. werden erreicht, und in erster Linie ist es erfreulich, dass dies zu niedrigeren als erwarteten Kosten möglich war. Grundsätzlich ist es sogar ein Vorteil eines Emissionshandelssystems, konjunkturell zu „dämpfen“ (d.h. in Phasen niedriger wirtschaftlicher Aktivität sinkt der Zertifikatspreis, während er in Phasen von starker wirtschaftlicher Aktivität entsprechend steigt). Das wurde zuletzt im Zuge des wirtschaftlichen Einbruchs während der Coronakrise deutlich. Kurzfristig hat der Preis um etwa 33 Prozent nachgegeben, weil aufgrund der reduzierten wirtschaftlichen Aktivität die CO<sub>2</sub>-Emissionen zurückgegangen sind. Mittlerweile hat sich der Preis der Zertifikate wieder auf Vor-Krisen-Niveau erholt.

Die Preisreaktion im Emissionshandelssystem spiegelt damit auch den Einfluss anderer konträrer oder komplementärer Maßnahmen und Ereignisse wider und erlaubt im Vergleich zu einer Emissionssteuer, Reduktionsziele unter veränderten Rahmenparametern kostengünstig zu erreichen. So konnten zum Beispiel im Rahmen des SO<sub>2</sub>-Emissionshandels in den USA die SO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen 1990 und 2004 um 36 Prozent zu deutlich niedrigeren Kosten als prognostiziert gesenkt werden, während gleichzeitig die kohlebasierte Stromerzeugung um etwa 25 Prozent anstieg (Ron Chan et al. 2017, Schmalensee und Stavins 2013). Dabei waren die niedrigen Zertifikatspreise nicht alleine durch technologische Innovationen begründet, sondern ergaben sich auch durch die parallele Deregulierung der Frachtraten für Schienenverkehr, die es erlaubte, schwefelarme Kohle aus dem Norden der USA günstiger in den Südosten zu transportieren. Hier zeigt sich die Flexibilität eines Emissionshandelssystems, das es erlaubt, Reduktionsziele günstiger zu erreichen, wenn sich die Rahmenparameter positiv ändern. Entsprechend ist ein niedriger Preis keine Schwäche, sondern ein Signal, dass mit einem Emissionshandel kosteneffektiv Emissionsreduktionen möglich sind. Im Fall des EU-ETS lagen die niedrigen Preise primär an der gesunkenen Nachfrage nach Zertifikaten durch den wirtschaftlichen Einbruch und die Einfuhren internationaler Gutschriften (Bel and Joseph, 2015). Dass die Preise nicht auf null fielen, lag daran, dass die Unternehmen im Hinblick die erwarteten höheren Zertifikatspreise in der Zukunft Zertifikate „sparten“.

Trotzdem ist ein gewisses Mindestpreisniveau eine wichtige Voraussetzung für strukturelle Veränderungen, insbesondere, wenn man unter Unsicherheit davon ausgeht, dass Unternehmen nur einen begrenzten Planungshorizont haben. Wie wirksam stabile Preise strukturelle Veränderungen unterstützen können, zeigt das Beispiel Großbritanniens. Großbritannien hat neben anderen Maßnahmen in 2013 einen CO<sub>2</sub>-Mindestpreis („Carbon Price Floor“) eingeführt, um nationalen Klimaziele zu erreichen. Britische Unternehmen müssen eine zusätzliche CO<sub>2</sub>-Steuer in der Höhe der Differenz zwischen dem Preis für EU-Emissionszertifikate und dem Mindestpreis entrichten, wenn der Zertifikatspreis unter den Mindestpreis fällt.<sup>16</sup> Noch in 2011 lag der Anteil der Stein-

kohle-Stromerzeugung in Großbritannien bei 40 Prozent. In 2017 sank er bereits auf 7 Prozent und in 2019 auf etwa 3 Prozent. Im Zeitraum von 2011 bis 2018 hat Großbritannien die Stromgewinnung aus erneuerbaren Energien massiv vorangetrieben, die mittlerweile knapp 40 Prozent des Bedarfs decken. Gleichzeitig ging die Nachfrage nach Strom leicht zurück, und der Anteil der Kernenergie blieb mit plus 3 Prozent nahezu unverändert. Hauptverantwortlich für den dramatischen Rückgang der Kohleverstromung ist allerdings der CO<sub>2</sub>-Mindestpreis, der Gaskraftwerke deutlich attraktiver im Vergleich zu Kohlekraftwerken gemacht hat (Staffel, 2017). Der mittlerweile von Großbritannien beschlossene Kohleausstieg bis 2025 ist auf diese Weise nicht nur mit deutlich weniger Störgeräuschen, sondern insbesondere auch mit weniger Kompensationszahlungen und fiskalischer Belastung verbunden als der deutsche dirigistische Weg.

Es besteht eine erhebliche Unsicherheit über zukünftige Grenzvermeidungskosten, wenn die Zertifikatsmenge auf null sinkt. Wie bereits in Abschnitt 2.2 dargestellt, kann die volle Übertragung dieser Unsicherheit auf die Marktteilnehmer zu erheblichen Kosten führen (vgl. auch Traeger et al., 2019). Landis (2015) schätzt, basierend auf einem allgemeinen Gleichgewichtsmodell, dass über die Zeit durch das Absinken der Zertifikatsobergrenze die Grenzkostenkurve der Emissionsvermeidung zunehmend durch einen exponentiellen Verlauf beschrieben wird (für die derzeit vorgesehenen Vermeidungsziele). Entsprechend kommt er in seiner Arbeit auf einen Zertifikatspreis (Grenzkosten) von etwa 480 Euro (in 2010 Preisen), wenn die Emissionen im Jahre 2050 auf 0,39 GtCO<sub>2</sub> reduziert werden. Quemin and Trotignon (2019) kommen hingegen, basierend auf einer empirischen Schätzung, „nur“ auf Preise von etwa 70 Euro (in derzeitigen Preisen) in 2050. Die EU-Kommission (2018b) schätzt im Jahr 2050 einen Zertifikatspreis in Höhe von etwa 250 Euro im 80 Prozent-Emissionsreduktionsszenario und von etwa 350 Euro im Szenario, in dem die Treibhausgasemissionen auf netto null fallen. Im letzteren Szenario geht die EU-Kommission für 1,5 TECH davon aus, dass die aggregierten Emissionen im EU-ETS negativ sind, d.h. dass Marktteilnehmer ihre Zertifikate entweder an Betreiber außerhalb des EU-ETS verkaufen oder die Zertifikate von der Emissionshandelsstelle aufgekauft werden. Wie dieser Verkauf organisiert wird, und ob die angenommenen Mengen der Zertifikate aus der CO<sub>2</sub>-Entnahme Ergebnis einer endogenen Optimierung sind oder sich aufgrund von Begrenzungen beim Einsatz von NETs ergeben, wird von der Kommission nicht thematisiert.

Bislang liegt nur eine geringe Zahl von Abschätzungen vor, die sich im Detail mit den Vermeidungskosten beschäftigen, die sich ergeben, wenn im EU-ETS keine neuen Zertifikate mehr ausgegeben werden. Zudem sind diese Abschätzungen mit erheblichen Unsicherheiten verbunden, nicht zuletzt, weil es schwierig ist, die Entwicklung neuer Technologien zu prognostizieren oder die Kosten einzuschätzen, die sich ergeben, wenn sich Industrien verlagern. Umgekehrt bestimmt das erwartete Preisniveau die Anreize, in emissionsarme bzw. -freie Technologien sowie in CCS und NETs zu investieren.

### 3.3 Zukünftige Reformen des EU-ETS

Mit der Einführung der MSR und der Anhebung des linearen Reduktionsfaktors wurde das EU-ETS an wirtschaftliche und klimapolitische Entwicklungen angepasst und die ETS-Richtlinie entsprechend überarbeitet. Entsprechend sind auch zukünftige Anpassungen und Überarbeitungen des EU-ETS zu erwarten, nicht nur im Zuge der bereits diskutierten Verschärfung des EU-Ziels für 2030 (von derzeit 40 auf dann 50-55 Prozent), sondern auch als Folge der weltweiten Bestandsaufnahmen der nationalen Emissionsreduktionsanstrengungen im Zuge des Übereinkommens von Paris, die ab 2023 alle 5 Jahre stattfinden werden.

Wenn innerhalb des EU-ETS Treibhausneutralität bis 2050 erreicht werden soll, muss entweder der lineare Reduktionsfaktor entsprechend angehoben oder die Menge an Zertifikaten so verknappt werden, dass das Ziel mit dem derzeitigen linearen Reduktionsfaktor erreicht wird („Rebasing the Cap“) (Graichen et al., 2019). Letzteres ist sicherlich eher eine theoretische Überlegung. Eine diskretionäre Absenkung der Zertifikateobergrenze erscheint nicht nur politisch schwer umsetzbar, sondern wäre auch für das Vertrauen der Marktteilnehmer in das EU-ETS und damit die Erreichung ambitionierter langfristiger Reduktionsziele nicht förderlich. Eine Anhebung des linearen Reduktionsfaktors wird unter anderem von Sandbag (2019) als nicht ausreichende Maßnahme dargestellt, um einen erwarteten Zertifikateüberhang in 2030 zu reduzieren. Dabei werden aber unterschiedliche Aspekte miteinander vermischt. Wenn Marktteilnehmer in ihrer intertemporalen Optimierung heute weniger emittieren und Zertifikate für die Zukunft sparen, ergibt sich kein grundsätzliches Problem durch einen Zertifikateüberhang (so lange die Obergrenze im Einklang mit den Reduktionszielen steht). Eine andere Situation ergibt sich, wenn noch Zertifikate aus vorangegangenen Handelsperioden existieren (weil sie gespart wurden), die Reduktionsziele aus diesen Handelsperioden aber kumulativ nicht mit aktuellen Reduktionszielen übereinstimmen. Entsprechend ist bei einem prognostizierten Zertifikateüberhang in 2030 zu differenzieren zwischen den Zertifikaten, die sich aus einer Überallokation in vorangegangenen Handelsperioden ergeben sowie Zertifikaten, die von Unternehmen in Erwartung (stark) steigender Zertifikatepreise für die Zukunft gespart werden.

Entsprechend erscheinen die MSR (oder andere endogene Verknappungsmechanismen) grundsätzlich geeignet, um Zertifikateüberhänge (gemessen an den neuen Reduktionszielen) zu korrigieren. Graichen et al. (2019) schlagen unter anderem vor, auch nach 2023 jährlich 24 Prozent der Zertifikate in die MSR zu überführen, wenn die Menge oberhalb des Grenzwertes liegt, als auch den linearen Reduktionsfaktor für die Grenzwerte (derzeit fest bei 833 Mio. und 400 Mio. tCO<sub>2</sub>) anzuwenden.

Ob und wie man Instrumente wie die MSR im Detail im Zuge des Ziels der Treibhausgasneutralität verlängert und anpasst, um Emissionsreduktionen effizient zu erreichen, ist eine offene Frage. Die EU-Kommission wird dazu 2021

Vorschläge vorlegen, nachdem die Mitgliedstaaten über Ambitionsniveau und Struktur des verschärften Reduktionsziels für 2030 entschieden haben. Bislang wird die MSR vor allem als Möglichkeit gesehen, den Zertifikateüberhang zu reduzieren. Mittelfristig ist aber auch denkbar, dass die MSR dazu dient, Zertifikateknappheit abzuschwächen (vgl. Abschnitt 2.3 zur begrenzten Integration von NETs). Die MSR würde in diesem Fall mit Zertifikaten aus NETs „befüllt“, und bei entsprechendem Absinken der Zertifikatmenge im Umlauf unterhalb einer kritischen Grenze könnten zusätzliche Zertifikate aus der MSR dem Auktionshandel zugeführt werden.

Eine Verknappung der kumulativen Zertifikateobergrenze durch zum Beispiel eine Absenkung des linearen Reduktionsfaktors und/oder eine Ausweitung der MSR führt zu einem geringeren Angebot an Zertifikaten und entsprechend früher zu höheren EU-ETS-Preisen. Entsprechend verschieben sich durch Reformen des EU-ETS mit Auswirkungen auf die Zertifikateobergrenze die Zeitpunkte, wann verschiedene Technologien wirtschaftlich werden, aber nicht unbedingt die Reihenfolge dieser Technologien. Anders sieht es aus, wenn sich die sektorale Abdeckung des EU-ETS erhöht und auch diffuse Emissionsquellen Teil des Emissionshandels werden. So haben Frankreich und Deutschland in der deutsch-französischen Erklärung von Toulouse betont, dass sie die EU-Kommission darin unterstützen, die sektorale Abdeckung des EU-ETS auszuweiten (Bundesregierung, 2019, Europäische Kommission, 2019a). Eine solche Ausweitung könnte schrittweise erfolgen (Rickels et al., 2019c). Im ersten Schritt führen (einige) Staaten nationale Emissionshandelssysteme für Sektoren außerhalb des EU-ETS ein (wie jetzt im Zuge des deutschen Klimaschutzgesetzes geplant). Im zweiten Schritt würden dann diese nationalen Emissionshandelssysteme horizontal integriert, d.h. zum Beispiel Frankreich und Deutschland integrieren ihre Emissionshandelssysteme für Verkehr und Gebäude. Im dritten Schritt würden diese Emissionshandelssysteme vertikal mit dem EU-ETS integriert. Wenn aber diffuse Emissionsquellen zukünftig Teil des EU-ETS werden, ist der Einsatz von CCS nicht mehr ausreichend, um nahezu Netto-Null-Emissionen zu erreichen, sondern es bedarf zwingend der Integration von NETs, wenn Residualemissionen in diesen Sektoren verbleiben.

Weitere Anpassungen im EU-ETS sind im Hinblick auf die freie Allokation von Zertifikaten zu erwarten. Eine freie Zuteilung von Zertifikaten erfolgt für Industrien, die im internationalen Wettbewerb stehen, und bei denen die Gefahr für Carbon Leakage hoch eingeschätzt wird. Die Bewertung des Carbon Leakage-Risikos bestimmt den Anteil frei zugeleiteter Zertifikate. Sowohl diese Bewertung als auch die Benchmarks für die Emissionen in diesen Sektoren werden regelmäßig überprüft und angepasst. In Phase IV sinkt der Anteil der frei zugeleiteten Zertifikate bereits deutlich. Aus der sich absinkenden Zertifikateobergrenze ergibt sich eine zunehmend begrenzte Möglichkeit, Zertifikate frei zuzuteilen. Sowohl die historischen als auch die prognostizierten Emissionen im Industriesektor oder den „anderen“ Nicht-Energie-

Sektoren sind relativ stabil (Healy et al., 2019), was darauf hindeutet, dass sich ohne beschleunigten technologischen Wandel der Wettbewerbsdruck in diesen Industrien erhöhen wird. Entsprechend werden unter absinkender Zertifikatsobergrenze andere Instrumente diskutiert, um die internationale Wettbewerbsfähigkeit dieser Unternehmen nicht zu gefährden und gleichzeitig Carbon Leakage zu verhindern. Sowohl die deutsch-französische Erklärung als auch die Kommissions-Mitteilung zum European Green Deal betrachten CO<sub>2</sub>-Grenzausgleichsmaßnahmen als eine Möglichkeit, diese Ziele zu erreichen. Die Kommission wird dazu 2021 einen konkreten Regulierungsvorschlag vorstellen. Bei diesem Instrument werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen für exportierte Güter praktisch erstattet (also fallen nicht an), während Importe entsprechend mit CO<sub>2</sub>-Abgaben belegt werden, vorausgesetzt sie sind nicht Teil eines Emissionshandelssystems oder einer CO<sub>2</sub>-Steuer. Hier besteht die Möglichkeit, dass nicht-europäische Unternehmen ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen durch NETs ausgleichen und entsprechend damit implizit NETs in die Sektoren des EU-ETS importiert werden.

### 3.4 Erfahrungen aus Linking

Im Rahmen des EU-ETS ist es durch die Verknüpfung mit den flexiblen Mechanismen des Kyoto Protokolls für Unternehmen (noch) möglich, eine begrenzte Anzahl ihrer Emissionen durch Emissionsvermeidung außerhalb des EU-ETS abzudecken, anstatt dafür EUAs zu verwenden. Die flexiblen Kyoto-Mechanismen erlauben Emissionsreduktionen in Ländern mit beziehungsweise ohne Emissionsreduktionsverpflichtungen (Joint Implementation, JI, bzw. Clean Development Mechanism, CDM). Die Zertifikate aus diesen Emissionsreduktionen (Certified Emission Reductions (CERs) im Falle von CDM beziehungsweise Emission Reduction Units (ERU) im Falle von JI) können im EU-ETS bis 2020 angerechnet werden.<sup>17</sup>

Durch diese Regelung wurde das Angebot an Zertifikaten erhöht und entsprechend das Gleichgewichtspreisniveau gesenkt. Um diesen Effekt zu begrenzen, gibt es ein quantitatives als auch qualitatives Limit für die Verwendung dieser CERs und ERUs. Das quantitative Limit orientiert sich an den historischen Emissionsreduktionen in den Sektoren in der Periode 2008 bis 2020 relativ zu 2005 (Healy et al., 2019). Durch die qualitativen Beschränkungen sind Zertifikate aus Kernenergieprojekten, aus Aufforstungs- und Wiederaufforstungsaktivitäten sowie aus Projekten zur Vernichtung von Industriegasen (HFKW-23 und N<sub>2</sub>O) ausgeschlossen und die Verwendung von Zertifikaten von Wasserkraftwerken mit mehr als 20 MW installierter Kapazität eingeschränkt. Die Verwendung von neuen CER, die nach 2012 initiiert wurden, ist nicht mehr zulässig, es sei denn, das Projekt ist in einem der am wenigsten entwickelten Länder ansässig.<sup>18</sup> Laut Healy et al. (2019) wurden bis Ende 2018 bereits etwa 97 Prozent der zulässigen Menge in das EU-ETS „importiert“ (68 Prozent wurden bereits für verbrauchte Emissionen eingereicht und 29 Prozent bereits innerhalb des EU-ETS gehandelt). Entsprechend ergeben sich durch die verbleibende Menge der CER- und ERU-Importe kaum weiteren Auswirkungen mehr

auf das Preisniveau in Phase III, wohl aber von möglichen zukünftigen Importen. Derzeit gibt es keine Planungen oder Aussagen, ab Phase IV internationale Zertifikate zu verwenden; diese Regelung wird aber voraussichtlich in Abhängigkeit von der Umsetzung von Art. 6 des Übereinkommens von Paris, der in Abschnitt 4.1 noch dargestellt wird, angepasst werden.

Ohne Begrenzungen ergibt sich durch die Verknüpfung zweier Emissionshandelssysteme ein einheitlicher Preis (bei einer dann gemeinsamen Obergrenze), in das Zertifikate von außerhalb importiert werden, bis sich die Grenzkosten (und damit Zertifikatspreise) innerhalb des integrierten Emissionshandelssystems angeglichen haben. Mit einer Begrenzung konvergieren die Preise in den beiden Emissionshandelssystemen nicht, sondern es kommt zu einer Verschiebung der Obergrenze zwischen den Systemen zu Gunsten des teureren Systems (Hintermann and Gronwald, 2019).

Hintermann and Gronwald (2019) zeigen, dass diese konzeptionelle Überlegung das Verhältnis zwischen EU-ETS und Kyoto-Zertifikatemarkt (CERs und ERUs) nur bedingt beschreiben, weil es erhebliche Unsicherheiten in Bezug auf das Angebot und die Nachfrage nach diesen Kyoto-Zertifikaten gab. Zum einen war unsicher, welche Nachfrage sich aus dem EU-ETS (die auch von den Importlimits bestimmt war) und welche sich aus anderen Staaten mit Emissionsreduktionsverpflichtungen ergab. Zum anderen war aufgrund des langwierigen und komplizierten Genehmigungsprozesses bei den CDM- und JI-Projekten unklar, wann und in welchem Umfang Zertifikate aus diesen Projekten angeboten werden konnten. Die Autoren zeigen, dass die Preisbildung auf dem CER-/ERU-Markt vor allem durch diese Unsicherheiten erklärt wurde und der CER-Preis sich insbesondere in dem Zeitpunkt vom EU-ETS abkoppelte, als die Wahrscheinlichkeit für ein bindendes Importlimit stieg. Ab diesem Moment sank der Preis für CERs und ERUs auf praktisch null.

Die teilweise negativen Erfahrungen mit den Zertifikaten aus den flexiblen Kyoto-Mechanismen sind einer der Gründe, warum der Emissionshandel beziehungsweise – allgemeiner – der Handel mit Offsets in der Öffentlichkeit kritisch gesehen und abgelehnt wird. Kritik wird insbesondere an der Zusätzlichkeit der CDM- und JI-Projekte geübt. So wird u.a. argumentiert, dass viele dieser Projekte ohnehin durchgeführt worden wären (d.h. es wäre sowieso zu Emissionsreduktionen gekommen), aber im Zuge der flexiblen Mechanismen deswegen Emissionen in Industrieländer umgangen wurden. Ohne an dieser Stelle detailliert auf diese Probleme der flexiblen Mechanismen einzugehen, kann man sicherlich feststellen, dass bei verschiedenen NETs der Nachweis der Zusätzlichkeit deutlich einfacher sein würde. Während bei Maßnahmen zur Verbesserung der Bodenqualität die Frage bleibt, ob diese nicht ohnehin durchgeführt werden, ist es relativ offensichtlich, dass es sich bei der Errichtung eines Biomassekraftwerks mit CCS oder dem Bau einer Direct Air Capture Anlage mit CCS um zusätzliche Maßnahmen handelt.

Die Integration von Zertifikaten aus den flexiblen Kyoto-Mechanismen zeigt aber auch, dass a) eine Begrenzung für Zer-

tifikate von außerhalb mit niedrigeren Vermeidungskosten notwendig ist, um das Preisniveau innerhalb des Emissionshandelssystems zu erhalten, und b) eine langwierige und komplizierte Zertifizierung mit erheblichen Unsicherheiten für die Marktteilnehmer verbunden ist. Daraus folgt, dass eine Integration von NETs wie bei den Kyoto-Zertifikaten für die Technologieentwicklung nur bedingt sinnvoll wäre. Bei den Kyoto-Zertifikaten ging es aber auch nicht darum, neue Technologien zu entwickeln, sondern bestehende Technologien zur Emissionsreduktion insbesondere in Entwicklungsländern zu verbreiten. Die Integration von Kyoto-Zertifikaten zeigt aber auch, dass qualitative Limits zum Einsatz kommen können, um die Integration zu steuern. Während es bei den Kyoto-Zertifikaten nur eine binäre Entscheidungsdimension gab (zur Anrechnung im EU-ETS erlaubt oder nicht), ist es selbstverständlich auch möglich, dass je nach Technologie zur Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre eine unterschiedliche Menge an EU-ETS-anrechenbaren Zertifikaten vergeben werden und es technologiespezifische Kontingente gibt. Grundsätzlich ist es hier ferner möglich, Umrechnungsfaktoren oberhalb von eins zu erlauben, d.h. dass für die Entnahme von einer tCO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre mehr als ein Zertifikat (das im EU-ETS angeboten wird) vergeben würde. Eine solche Konstruktion wäre zum Beispiel möglich, wenn man bei einer Technologie hohe Entwicklungspotentiale erwartet, gleichzeitig aber das Kontingent für Zertifikate aus dieser spezifischen Technologie noch sehr begrenzt ist.

Weitere Erfahrungen wurden im Zusammenhang mit der Verbindung von Emissionshandelssystemen aus der Integration von Flugverkehrsemissionen in das EU-ETS gesammelt. Flugbetreiber dürfen sowohl EUAs als auch EU Aviation Allowances (EUAAAs) verwenden, andere Anlagenbetreiber hingegen nur EUAs. Diese Konstruktion geht auf formale Gründe zurück.<sup>19</sup> Allerdings haben diese EUAAAs eine weitere Sonderstellung: Wenn Luftfahrtbetreiber ihrer Abgabepflicht mit EUAs nachkommen und ihre EUAAAs ungenutzt auf dem Registerkonto belassen, dann wirkt sich dies derzeit nicht auf die Berechnung der Menge der Zertifikate im Umlauf aus, denn insofern werden lediglich die ausgegebenen EU allowances (kostenlos und versteigert) mit der kumulierten Emissionsmenge der stationären Anlagen verglichen.<sup>20</sup> Damit hat das Abgabeverhalten der Luftfahrtbetreiber aber auch keinerlei Einfluss auf Mengen in der MSR, die ab 2023 ihre Gültigkeit verlieren. Auch wenn EUAAAs eher aus formalen Aspekten des Kyoto Protokolls hervorgegangen sind, ist dieses Konstrukt eine bislang wenig untersuchte Möglichkeit, weitere Sektoren einzubeziehen. Allerdings existiert bislang keine Forschung dazu, wie sich dies auf die bestehende ETS-Sektoren auswirkt beziehungsweise wie eine solche Konstruktion genutzt werden könnte, um Carbon Leakage bei den im internationalen Wettbewerb stehenden Unternehmen zu vermeiden. Wichtig ist aber hervorzuheben, dass es trotz einseitigem Link natürlich bereits diskutierte Steuerungsmechanismen zur Anwendung kommen können. Auch für die EUAAAs wurde der lineare Reduktionsfaktor ausgeweitet, d.h. auch wenn der Anteil der NETs-Zertifikate über die Zeit steigt, kann der Anteil, den bestimmte Sektoren „frei“ zugeteilt bekommen, sinken.

### 3.5 Potential von CCS und NETs im EU-ETS

Die Europäische Kommission (2018b) betrachtet CCS als eine kosteneffektive Option, um die Emissionen in der Industrie zu reduzieren. Darüber hinaus ist CCS eine wichtige Komponente sowohl für BECCS als auch DACCS. Das zukünftige Preisniveau im EU-ETS bestimmt die Wirtschaftlichkeit von CCS und NETs, die wiederum (je nach Koordination der Integration) den Preisanstieg begrenzen können.<sup>21</sup>

Bereits bei dem derzeitigen EU-ETS-Preisniveau wird der Einsatz von CCS in einzelnen Industrien als wirtschaftlich eingeschätzt. Dewar und Sudmeijer (2019) schätzen, dass bei der Verarbeitung von Erdgas als auch bei der Produktion von Ammoniak, Ethanol und Petrochemikalien CCS mit Kosten zwischen 7 und 28 EUR/tCO<sub>2</sub> zum Einsatz kommen könnte. In anderen Industriesektoren sind die Kostenspannen noch deutlich breiter (Zementindustrie: 21 – 104 EUR/tCO<sub>2</sub>, Kalkherstellung: 35 – 63 EUR/tCO<sub>2</sub>, Aluminiumherstellung: 35 – 56 EUR/tCO<sub>2</sub>, oder Eisen- und Stahlherstellung: 35 – 160 EUR/tCO<sub>2</sub>). Diese Schätzungen von Dewar und Sudmeijer (2019) bilden allerdings weltweite Kostenspannen ab. Je nach regionalen Gegebenheiten im Hinblick auf Pipelineinfrastruktur und Zugang zu Lagerstätten ergeben sich dann tatsächliche Kosten am unteren oder oberen Ende der Spannweite.

Die Richtlinie 2009/31/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die geologische Speicherung von Kohlendioxid (CCS-Richtlinie), die einen Rechtsrahmen für die geologische Speicherung von CO<sub>2</sub> festgelegt, bietet einen Überblick über die Speicherkapazitäten in Europa (Europäische Kommission, 2019c). Weder global noch in Europa ist geologisches Speicherpotential knapp. Im 1.5 TECH-Szenario geht ab 2050 von einem jährlichen Speicherbedarf von 300 Mt CO<sub>2</sub> aus. Allein in Dänemark wird laut dem Bericht der Kommission im Rahmen des NORDICCS Projekts von einer Speicherkapazität von 24 Gt CO<sub>2</sub> ausgegangen (also etwa dem 70-fachen des geschätzten Bedarfs im 1.5 TECH Szenario). Im Rahmen des eines aktuellen Horizon 2020 Aufrufs geht es darum, die Identifizierung und geologische Charakterisierung neuer potenzieller CO<sub>2</sub>-Speicherstätten in Europa durchzuführen.<sup>22</sup> Allerdings darf man physikalisches Speicherpotential nicht mit ökonomischem Speicherpotential gleichsetzen.

Der Einsatz von CCS würde aber vor allem in regionalen Industrieclustern, in denen CCS-Infrastruktur gemeinsam genutzt werden kann, und in denen kapitalstarke Unternehmen vorhanden sind, zum Einsatz kommen. Unterschiedliche Projekte in Europa planen bereits die CO<sub>2</sub>-Speicherung aus Industrieclustern, unter anderem in Kombination mit transnationalem CO<sub>2</sub>-Transport, um existierende Pipelines zu nutzen und geeigneten Speicher zu verwenden. Im Rahmen des Projektes Acorn der Firma Pale Blue Dot Energy soll CO<sub>2</sub> aus der Wasserstoffproduktion in erschöpften Gasfeldern unterhalb der Nordsee gespeichert werden. Mittelfristig soll Acorn 90 Prozent der schottischen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Öl- und Gasförderung binden, und das zu einem Preis von

umgerechnet rund 14 Euro pro Tonne (Schaudwet, 2019). In einem anderen Projekt plant Equinor in Kooperation mit europäischen Partnern, CO<sub>2</sub> im norwegischen Kontinentalschelf einzulagern. In diesem Projekt soll europäisches CO<sub>2</sub> mit Schiffen nach Norwegen transportiert und dort verpresst werden. Das Projekt unter dem Namen Northern Lights soll 2023 starten, die Verpressung von nicht-norwegischem CO<sub>2</sub> zwischen 2024 und 2025.

Für Installationen, die nicht Teil eines solchen Industrieclusters sind, und bei denen weder die Produktionsprozesse, die Menge der (Residual-)CO<sub>2</sub>-Emissionen oder die Kapitalausstattung einen Einsatz von CCS in Kombination mit Abtransport erlauben würden, wird ein Angebot an Zertifikaten aus NETs erforderlich sein, wenn keine emissionsfreien Technologiealternativen vorliegen und gleichzeitig die wirtschaftliche Aktivität fortgesetzt werden soll. Hinzu kommt, dass CCS-Raten oberhalb von 90 Prozent (der Emis-

sionen) technisch schwierig und entsprechend mit hohen Kosten verbunden sind (Europäische Kommission, 2018b). Das heißt, dass es auch beim Einsatz von CCS zu Residual-emissionen kommt, die nachgelagert aus der Atmosphäre entnommen werden müssen. Wie bereits in Abbildung 4 dargestellt, gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Möglichkeiten, um CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu entnehmen, und innerhalb der verschiedenen Möglichkeiten zahlreiche unterschiedliche Technologiekombinationen in Abhängigkeit zum Beispiel von den verwendeten Materialien. Die Kostenabschätzungen für verschiedene NETs-Ansätze sind aber immer noch mit großen Unsicherheiten verbunden beziehungsweise schwierig für eine Technologiegruppe zusammenzufassen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Break-Even-Kosten verschiedener NETs-Ansätze, bei den mögliche Erträge (zum Beispiel aus der Elektrizitätserzeugung) berücksichtigt sind.

**Tab. 1 | Übersicht über das Entnahmepotential und Kosten verschiedener NETs**

Technologie	Globales CO <sub>2</sub> -Entnahmepotential in Mt CO <sub>2</sub> (in 2050)	Break-Even-Kosten in 2015 EUR/tCO <sub>2</sub>
BECCS	500 – 5.000	45 – 120
Beschleunigte Verwitterung	2.000 – 4.000	<150
Waldmanagement/Aufforstung	500 – 3.600	-30 – 8
Landmanagement	2.300 – 5.300	-68 – -15
Ausbringung von Pflanzenkohle	300 – 2.000	-53 – -45
DACCS <sup>1</sup>	*	75 – 750

**Anmerkungen:** \* Bei DACCS ist kein Entnahmepotential genannt, da hier das Potential durch die Kosten begrenzt ist.

Quellen: Hepburn et al. (2019), <sup>1</sup> Keith et al. (2018) und Royal Society (2018).

Die in Spalte 2 der Tabelle gelisteten Schätzungen für das CO<sub>2</sub>-Entnahmepotential basieren mit Ausnahme von DACCS auf einer systematischen Literaturreview durch Hepburn et al. (2019). Das Entnahmepotential von DACCS ist physikalisch durch die vorhandene Speicherkapazität begrenzt, die aber unter Berücksichtigung von mineralischer Speicherung praktisch nicht knapp ist. Entsprechend ist das Entnahmepotential von DACCS vor allem durch ökonomische Faktoren begrenzt. Die Spannweite der Kosten spiegelt unterschiedliche Technologieentwicklungspfade und regionale Begebenheiten wider. So basiert die obere Grenze der Kostenspanne bei DACCS auf Ergebnissen aus Pilotanlagen; das untere Ende setzt voraus, dass diese Technologie entwickelt wurde und entsprechende Skaleneffekte realisiert wurden. Letztere sind aber schwer abzuschätzen, so dass sowohl höhere aber auch niedrigere Kosten bei entsprechender Technologieentwicklung möglich sind. Dabei sind die Kostenspannen aber auch immer als Schätzungen für technologiespezifische Angebotskurven zu verstehen. So hängen die Kosten von BECCS davon ab, wie viel Biomasse

in unmittelbarer Nähe verfügbar ist, ob geologischer Speicher in unmittelbarer Nähe verfügbar ist, und wie die Nachfrage nach Elektrizität ausfällt. Dann ist zu bedenken, dass diese Faktoren nicht notwendigerweise konstant sind und sich durch eine BECCS-Anlage die lokale Nachfrage nach Biomasse mit entsprechenden Preiseffekten verschiebt. Besonders landbasierte NETs wie Aufforstung oder BECCS stehen in Konkurrenz zu anderen Landnutzungsformen wie der Nahrungsmittelproduktion. Insbesondere BECCS wird basierend auf modellgestützten Analysen ein hohes Aufnahmepotential unterstellt; andererseits sehen Experten aber starke Einschränkungen durch Ressourcenkonkurrenz und die damit verbundenen Probleme der Akzeptanz und politischen Realisierbarkeit (Rickels et al., 2019b). Auch fehlen in Tabelle 1 technische Ansätze zur marinen CO<sub>2</sub>-Speicherung, die bislang noch weniger erforscht sind, es allerdings über die Entnahmefunktion hinaus zusätzlich erlauben, die ozeanische Versauerung zu begrenzen (im Falle von marinem Alkalinitätsmanagement). Dementsprechend ist noch unklar, welche Technologien in welchem Anteil in 2050 und

insbesondere danach einen Beitrag leisten. Die beiden von der EU-Kommission entwickelten Szenarien (1.5 TECH und 1.5 LIFE) sind daher auch nur als zwei mögliche Realisierungen zu sehen. In den kommenden Jahren dürfte eine Vielzahl von Netto-Null-Szenarien für die EU entwickelt werden, was eine genauere Einschätzung der Sensitivitäten ermöglichen wird.

Neben dem CO<sub>2</sub>-Entnahmepotential und den damit verbundenen Kosten ergibt sich als weiteres Kriterium noch die Verifizierbarkeit und Langlebigkeit der CO<sub>2</sub>-Entnahme. Hier haben BECCS und DACCS einen klaren Vorteil, da mehr oder weniger direkt abgelesen werden kann, wie viel CO<sub>2</sub> eingespeichert wurde. Die eingespeicherte CO<sub>2</sub>-Menge

muss noch um mögliche GHG-Emissionen aus dem Lebenszyklus korrigiert werden (wenn diese nicht ohnehin bereits durch das Emissionshandelssystem erfasst sind), um zu ermitteln, wie viele CO<sub>2</sub>-Zertifikate generiert werden.<sup>23</sup> Bei Verfahren wie der Aufforstung oder der natürlichen Verwitterung an Land oder im Meer muss die Abschätzung der CO<sub>2</sub>-Aufnahme modellgestützt erfolgen.<sup>24</sup> Zwar zeigen Rickels et al. (2010), dass eine solche modellgestützte Zertifikatevergabe grundsätzlich möglich ist. Allerdings erscheint es einfacher, diese modellgestützte CO<sub>2</sub>-Aufnahme in nationalen Emissionsregistern zu verrechnen, als daraus eine 1:1 Zertifikatevergabe in einem Emissionshandelssystem abzuleiten.

## 4. Rechtliche Rahmenbedingungen und Anforderungen der Einbeziehung von NETs in das EU-ETS

Nachdem das System des europäischen Emissionshandels ausführlich dargestellt, hinsichtlich seiner Effektivität bewertet und mit Blick auf die ökonomischen Anforderungen einer künftigen Einbeziehung von NETs diskutiert worden ist, wird nunmehr den rechtlichen Rahmenbedingungen Aufmerksamkeit geschenkt. Gefragt wird, ob und gegebenenfalls inwieweit NETs bereits heute vom EU-ETS umfasst sind bzw. in dieses integriert werden können. Soweit dies nicht der Fall ist, ist zu untersuchen, inwieweit das bestehende Recht – insbesondere die ETS Richtlinie – geändert werden muss, damit künftig Zertifikate für eine atmosphärische CO<sub>2</sub>-Entnahme unter Beachtung der in Abschnitt 2.2 und 2.3 dargestellten Maßgaben bereitgestellt und in den Emissionshandel einbezogen werden können. Dabei ist auch zu berücksichtigen, welche Einschränkungen bezüglich der Einbeziehung von NETs zu erwarten sind. Schließlich wird erörtert, ob und gegebenenfalls inwieweit bestehende Instrumente im Rahmen des ETS – etwa der Innovationsfonds und der Modernisierungsfonds – genutzt werden können, um die Technologieentwicklung von NETs zu fördern.

### 4.1 Vorgaben des internationalen Klimaschutzrechts

Wenn nachfolgend Möglichkeiten der Einbeziehung von NETs in das EU-ETS im Vordergrund stehen, trägt dies dem Umstand Rechnung, dass das internationale Klimaschutzrecht – verkörpert insbesondere im Übereinkommen von Paris – sich nicht ausdrücklich zum Einsatz von NETs verhält. Zu beachten ist allerdings, dass es sich bei einem solchen Einsatz regelmäßig um eine Maßnahme i.S.v. Art. 5 Abs. 1 des Übereinkommens von Paris handeln wird. Hiernach sollen die Vertragsparteien „Maßnahmen zur Erhaltung

und gegebenenfalls Verbesserung von Senken und Speichern von Treibhausgasen, darunter Wälder, nach Artikel 4 Absatz 1 Buchstabe d des Rahmenübereinkommens ergreifen.“ Mit „Rahmenübereinkommen“ ist die UNFCCC gemeint, die den Begriff „Senke“ in Art. 1 Nr. 8 wiederum als „Vorgang, eine Tätigkeit oder einen Mechanismus [definiert], durch die ein Treibhausgas, ein Aerosol oder eine Vorläufersubstanz eines Treibhausgases aus der Atmosphäre entfernt wird.“ Diese Definition ist nicht auf natürliche Prozesse beschränkt, sondern auch auf technische Maßnahmen anwendbar (Craik and Burns, 2019). Art. 4 Abs. 1 lit. d UNFCCC, auf den das Übereinkommen von Paris in Art. 5 Abs. 1 ausdrücklich Bezug nimmt, schreibt vor, dass die Vertragsparteien die „Erhaltung und gegebenenfalls Verbesserung von Senken und Speichern aller nicht durch das Montrealer Protokoll geregelten Treibhausgase, darunter Biomasse, Wälder und Meere sowie andere Ökosysteme auf dem Land, an der Küste und im Meer, fördern und dabei zusammenarbeiten“ sollen. Auch wenn dem im Lichte der vergleichsweise „weichen“ Terminologie („fördern“, „zusammenarbeiten“) keine Rechtspflicht der Vertragsparteien entnommen werden kann, konkrete NETs einzusetzen, steht doch fest, dass das internationale Klimaschutzrecht dergleichen Technologien grundsätzlich positiv bewertet. Dies ist insoweit von großer Bedeutung, als der Abbau von CO<sub>2</sub> durch Senken, wie in Abschnitt 1 dargestellt, mit Blick auf das Ziel, in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts Netto-Null-Emissionen zu erreichen, in Ansatz zu bringen ist. Klimaschutzrechtlich sind NETs daher eine Komponente des mit „Mitigation“ auf den Begriff gebrachten Maßnahmenbündels zur Abmilderung der Erderwärmung (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2019; Craik and Burns, 2019). Welche konkreten Maßnahmen auf welche Weise getroffen werden sollen, sagen indes weder das Übereinkommen von Paris noch die UNFCCC. Daher ist der

Implementierung der allgemeinen Pflicht zur Erhaltung und gegebenenfalls Verbesserung von Senken auf europäischer Ebene – und damit auch im Rahmen des EU-ETS – maßgebliche Bedeutung zuzuweisen.

Daneben betrifft Art. 6 des Übereinkommens von Paris die Zusammenarbeit der Vertragsparteien bei der Umsetzung ihrer NDCs. Diese Zusammenarbeit tritt an die Stelle des Kyoto-Zertifikatemarkts, in dessen Rahmen die in anderen Staaten erreichten Emissionsreduktionen nur noch bis Ende 2020 im EU-ETS angerechnet werden können (dazu Abschnitt 3.4). Art. 6 Abs. 2 adressiert kooperative Ansätze, „die die Verwendung international übertragener Minderungsergebnisse zum Erreichen der national festgelegten Beiträge beinhalten“, stellt eine Beteiligung daran aber in die freie Entscheidung der Vertragsparteien. Die Kooperation vollzieht sich hier unmittelbar im zwischenstaatlichen Verhältnis. Leitlinien über ein verlässliches Abrechnungsverfahren, mit dem Doppelzählungen vermieden werden sollen, sollen von der jährlich stattfindenden Tagung der Vertragsparteien des Übereinkommens von Paris (Meeting of the Parties to the Paris Agreement – CMA) beschlossen werden. Nach Art. 6 Abs. 3 des Übereinkommens von Paris ist die Verwendung international übertragener Minderungsergebnisse zum Erreichen der NDCs freiwillig und bedarf der Genehmigung durch die teilnehmenden Vertragsparteien. Im Unterschied dazu sieht Art. 6 Abs. 4 des Übereinkommens von Paris die Einrichtung eines Mechanismus zur Minderung der Emissionen von Treibhausgasen und zur Unterstützung der nachhaltigen Entwicklung unter der Weisungsbefugnis und Leitung der Tagung der Vertragsparteien vor. Hier soll sich die Kooperation der Vertragsparteien also im Rahmen einer institutionellen Architektur und nicht auf zwischenstaatlicher Ebene vollziehen. Dieser Mechanismus kann von den Vertragsparteien, die sich künftig entscheiden, an kooperativen Mechanismen mitzuwirken, auf freiwilliger Grundlage genutzt werden. Zu seinen Aufgaben zählt es u.a., die Beteiligung der durch eine Vertragspartei ermächtigten öffentlichen und privaten Rechtsträger an der Minderung der Emissionen von Treibhausgasen durch bestimmte Anreize zu fördern und zu erleichtern sowie zu globalen Emissionsminderungen beizutragen. Dabei stellt Art. 6 Abs. 5 des Übereinkommens von Paris klar, dass die Emissionsreduktionen, die sich künftig aus der Anwendung dieses Mechanismus ergeben, nur zum Nachweis des Erreichens der NDC derjenigen Vertragspartei, die die Emissionsreduktionen im Gastland bewirkt, verwendet werden darf.

Unabhängig von den unterschiedlichen Formen der Kooperation, die Art. 6 des Übereinkommens von Paris vorsieht – neben die hier im Vordergrund stehenden Marktmechanismen treten nach Art. 6 Abs. 8 nicht-marktbasierte Ansätze –, dürfte die von der Norm ausgehende Anreizwirkung angesichts des durchgehend auf Freiwilligkeit beruhenden Regelungsansatzes begrenzt sein. Anreize zu emissionsreduzierendem Handeln werden sich erst aus den Kooperationsmechanismen selbst und der auf ihnen gründenden Praxis der Vertragsparteien ergeben. Obwohl auf der 23. Vertragsstaatenkonferenz (COP 23) der UNFCCC beschlossen worden war, dass über die zur Umsetzung von Art. 6 des Übereinkommens

von Paris erforderlichen Maßnahmen bis Ende 2018 entschieden werden solle (sog. „Paris Rulebook“), gelang es trotz zäher Verhandlungen jedoch weder im Rahmen von COP 24 noch im Rahmen von COP 25 (die zugleich als CMA 2 fungierte), eine Verständigung über die von Art. 6 Abs. 2 des Übereinkommens von Paris in Bezug genommenen Leitlinien sowie die Einzelheiten des Aufsichtsgremiums im Sinne von Abs. 4 der Norm zu erreichen.

## 4.2 Einbezug von NETs in das geltende EU-ETS

Bezüglich der Einbeziehung von NETs in das EU-ETS ist zunächst zwischen „technischen“ und „ökosystem-basierten“ Prozessen des Abbaus und der Speicherung von Treibhausgasen zu differenzieren. „Ökosystem-basierte“ Ansätze zum Abbau und zur Speicherung von Treibhausgasen werden von vornherein aus dem EU-ETS ausgeklammert, wenn sie in den Anwendungsbereich der LULUCF-Verordnung<sup>25</sup> fallen. Dies betrifft die Sektoren Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft.<sup>26</sup> Diese Bereiche wurden mit dem Argument als eigenständige Säule der europäischen Klimaschutzpolitik ausgestaltet, dass ihre Wirkung umkehrbar sei und sie stärkeren Schwankungen und Ungenauigkeiten unterlägen.<sup>27</sup> Dementsprechend sind sie nach den Vorgaben der LULUCF-Verordnung auf einen Ausgleich angelegt, der auf eine Balance zwischen der Verursachung und dem Abbau von Treibhausgasen durch diese Tätigkeitsbereiche abzielt. Angestrebt wird eine neutrale Gesamtbilanz. So muss jeder EU-Mitgliedstaat nach Art. 4 der LULUCF-Verordnung dafür sorgen, dass „[f]ür den Zeitraum von 2021 bis 2025 und den Zeitraum von 2026 bis 2030 [...] die Emissionen nicht den Abbau übersteigen, wobei dies [...] als die Summe der Gesamtemissionen und des Gesamtabbaus in seinem Hoheitsgebiet in allen in Artikel 2 genannten Kategorien der Flächenverbuchung zusammengenommen zu berechnen ist.“ Die von der LULUCF-Verordnung erfassten Sektoren können – in begrenztem Rahmen – im Bereich der sog. Effort Sharing-Verordnung<sup>28</sup> in Ansatz gebracht werden. Diese Verordnung legt für die Mitgliedstaaten für den Zeitraum 2021 bis 2030 verbindliche jährliche Emissionsziele bezüglich derjenigen Bereiche fest, die nicht von der ETS Richtlinie erfasst werden. Sie erlaubt es den Mitgliedstaaten, unter bestimmten, im Einzelnen in Art. 7 Abs. 1 der Effort Sharing-Verordnung genannten Bedingungen Nettoentnahmen aus LULUCF im Rahmen der Berechnung der Erreichung der Emissionsziele zu berücksichtigen, dies allerdings nur in einem Umfang von insgesamt (d.h. EU-weit) maximal 280 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent (vgl. Art. 2 Abs. 2 i.V.m. Art. 7 und Art. 9 Abs. 2 der Effort Sharing-Verordnung). Bei der Bestimmung der Gesamtmenge und ihrer Aufteilung auf die Mitgliedstaaten soll dem „geringeren Emissionsminderungspotenzial des Sektors Landwirtschaft und Landnutzung und einem angemessenen Beitrag dieses Sektors zur Minderung und Bindung von Treibhausgasen Rechnung getragen werden“<sup>29</sup> Die quantitativen und qualitativen Zulässigkeitsbeschränkungen der Anrechnungsmöglichkeit resultieren dabei aus der für vorzugswürdig erachteten Ausgestaltung der LULUCF-Sektoren als eigenständige Säule der europäischen Klimaschutzpolitik.

Soweit es sich bei NETs um technische und damit nicht in den Anwendungsbereich der LULUCF-Verordnung einbezogene Maßnahmen handelt, hängt die Integration der zum Einsatz kommenden Anlagen in das Regime des EU-ETS vor dem Hintergrund von Art. 2 Abs. 1 i.V.m. Anhang I ETS Richtlinie davon ab, ob die betreffenden Techniken die Abscheidung<sup>30</sup> und Beförderung von CO<sub>2</sub> zwecks anschließender Speicherung sowie die geologische Speicherung vorsehen. Diese Einbeziehung, von der wiederum Anlagen, die nur mit Biomasse arbeiten, ausdrücklich ausgenommen werden,<sup>31</sup> gilt derzeit allerdings nur im Hinblick auf die Pflicht, für CO<sub>2</sub>-Emissionen Zertifikate vorzuhalten und diese entsprechend abzugeben. Mit anderen Worten *entfällt* die Verpflichtung zur Abgabe von Zertifikaten für Emissionen, die aufgrund einer Prüfung als abgeschlossen und zur ständigen Speicherung in eine genehmigte Anlage verbracht anzusehen sind. Dies ergibt sich ausdrücklich aus Art. 12 Abs. 3a ETS Richtlinie. Eine Generierung *zusätzlicher* Zertifikate durch die Speicherung von CO<sub>2</sub> ist hingegen nicht vorgesehen. Ihr stünde die in Art. 2 Abs. 1 zum Ausdruck kommenden Grundkonzeption der ETS Richtlinie, wonach die Anwendbarkeit des EU-ETS grundsätzlich das *Vorliegen von Emissionen* voraussetzt, entgegen.<sup>32</sup> Wie der Gerichtshof der Europäischen Union (EuGH) unlängst entschieden hat, ist der Geltungsbereich der Richtlinie daher z.B. nicht eröffnet, wenn Wärme für einen Herstellungsprozess aus einer Drittanlage bezogen wird und unmittelbar keine Emissionen erzeugt werden. Schon nach dem Wortlaut von Art. 2 Abs. 1 ETS Richtlinie unterlägen die von ihrem Anhang I erfassten Tätigkeiten nur dann dem mit der Richtlinie eingeführten System für den Handel mit Emissionszertifikaten, „wenn sie ‚Emissionen‘ der in Anhang II der Richtlinie aufgeführten Treibhausgase erzeugen“ (EuGH 2018: Rn. 45); dies setze die Freisetzung von Treibhausgasen in die Atmosphäre durch eine Anlage voraus (EuGH 2018: Rn. 48). Das geltende EU-ETS setzt also nur den Anreiz, dass CO<sub>2</sub>, das nicht in die Atmosphäre gelangt, nicht durch entsprechende Zertifikate ausgeglichen werden muss; für negative Emissionen ist hingegen derzeit kein zusätzlicher Anreiz vorgesehen.

Abgesehen vom Preissignal, das im Idealfall vom Emissionshandelssystem ausgeht, liegt nach geltendem Recht somit im Wegfall der Verpflichtung zur Abgabe von Emissionszertifikaten (vgl. Art. 12 Abs. 3a ETS Richtlinie) der Hauptanreiz für die Nutzung von NETs.<sup>33</sup> Zur geologischen Speicherung von Kohlendioxid statuiert Art. 49 der Verordnung Nr. 601/2012 detailliertere Regelungen. Diesbezüglich ist zwar zu berücksichtigen, dass nach der Rechtsprechung des EuGH die in dieser Vorschrift vorgesehene Einschränkung, wonach nur Emissionen abgezogen werden dürfen, die durch entsprechende Techniken i.e.S. gespeichert werden, mangels Vereinbarkeit mit Art. 12 Abs. 3a ETS Richtlinie ungültig ist (EuGH 2017: Rn. 49).<sup>34</sup> Stets kann aber eben nur das Ziel erreicht werden, eine geringere Anzahl oder keine Zertifikate abgeben zu müssen. Das derzeitige System lässt insofern die zusätzliche bzw. separate Integration von Anlagen, die Treibhausgase aus der Atmosphäre entfernen, nicht zu, sondern beruht auf der Koppelung emittierender Anlagen mit Minderungs- und Vermeidungsstrategien. Denn nur dort kann nach Einschätzung des Ordnungsgebers ein wirtschaftliches Interesse daran

bestehen, eigentlich anfallende Emissionen zu vermeiden. Dieser Ansatz kommt im 14. Erwägungsgrund der 2018 verabschiedeten Richtlinie (EU) 2018/410, mit der die ETS Richtlinie geändert wurde, deutlich zum Ausdruck.<sup>35</sup>

Der Umstand, dass die ETS Richtlinie in ihrer aktuellen Fassung nicht auf NETs abstellt, unterstreicht, dass diese vom europäischen Gesetzgeber bislang nicht als kurzfristige Option zur Erreichung der europäischen Klimaziele in Erwägung gezogen wurden (EASAC, 2018). Selbst im Hinblick auf CCS hat der Gesetzgeber den Fokus primär auf die Förderung und Entwicklung einschlägiger Technologien gelegt – ein Umstand, der die verhaltene Entwicklung in diesem Bereich in den vergangenen zehn Jahren widerspiegelt (Geden et al., 2018). Vorbehaltlich von Art. 10a Abs. 8 ETS Richtlinie, wonach ein bestimmter Anteil der zunächst kostenlos zugeteilten und später versteigerten Zertifikate für Innovationen auf dem Gebiet von Technologien und Prozessen mit geringem CO<sub>2</sub>-Ausstoß, einschließlich CCU und CCS, zur Verfügung gestellt werden soll (sog. Innovationsfonds), ist eine Zuteilung kostenloser Zertifikate für CCS-Anlagen ausdrücklich ausgeschlossen (vgl. Art. 10a Abs. 3 ETS Richtlinie). Letztlich kann daher allenfalls von einer indirekten Förderung von NETs unter dem geltenden EU-ETS gesprochen werden.<sup>36</sup>

Wie unter Abschnitt 1 aufgezeigt, werden von der ETS Richtlinie derzeit nur etwa die Hälfte der THG-Emissionen in der Union erfasst. Andere Sektoren unterliegen hingegen den Regelungen der Effort Sharing-Entscheidung bzw. -Verordnung. Mit ihr wurden für die Mitgliedstaaten verbindliche Jahresziele für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen in den Zeiträumen 2013–2020 und 2021–2030 festgelegt. Die Pflichten der Effort Sharing-Verordnung beziehen sich auf Treibhausgasemissionen, die den Sektoren Energie, Industrieprozesse und Produktverwendung, Landwirtschaft und Abfall zuzuordnen sind – allerdings nur insoweit, als diese wiederum nicht bereits von der ETS Richtlinie erfasst werden (vgl. Art. 2 Abs. 1 der Effort Sharing-Verordnung). Dies ist zwar nach Anlage I ETS Richtlinie, wie gezeigt, an sich – und mit Ausnahme von Anlagen, die ausschließlich Biomasse nutzen – für Tätigkeiten der Fall, die die Abscheidung von CO<sub>2</sub> zwecks Beförderung und geologischer Speicherung, die Beförderung von CO<sub>2</sub> sowie die geologische Speicherung betreffen. Im Lichte von Art. 2 Abs. 1 Effort Sharing-Verordnung („Treibhausgasemissionen“) und des der Verordnung insgesamt zugrundeliegenden Emissionsbezugs sprechen aber die besseren Gründe dafür, dass Tätigkeiten, die auf den Abbau von Treibhausgasemissionen abzielen, nur unter den Bedingungen von Art. 2 Abs. 2 („unbeschadet des Artikels 7 und des Artikels 9 Absatz 2“) als von der Effort Sharing-Verordnung erfasst betrachtet werden können. Diese Bedingungen beziehen sich wiederum ausschließlich auf den Abbau von Treibhausgasen im Zusammenhang mit LULUCF.<sup>37</sup> Der Abbau von Treibhausgasen durch Senken und Speicher, der nach Maßgabe des internationalen Klimaschutzrechts auch den Einsatz von NETs umfasst (dazu Abschnitt 4.1), ist in der Effort Sharing-Verordnung damit lediglich – und eben, wie oben dargestellt, auch nur teilweise – im Hinblick auf LULUCF berücksichtigt worden, vgl. Art. 2 Abs. 2 i.V.m. Art. 7

und Art. 9 Abs. 2 der Effort Sharing-Verordnung. Obwohl die LULUCF-Verordnung nicht explizit auf den Anlagenbegriff Bezug nimmt, dürfte die Möglichkeit der Einbeziehung in die Effort Sharing-Verordnung immerhin auch für BECCS-Anlagen gelten. Denn die LULUCF-Verordnung berücksichtigt Emissionen aus zu energetischen Zwecken genutzter Biomasse<sup>38</sup> – und damit wohl auch BECCS-Anlagen. Hiervon abgesehen werden technische NETs jedoch nicht von der Effort Sharing-Verordnung erfasst.<sup>39</sup>

### 4.3 Fördermechanismen

Indirekt sind NETs insoweit in das EU-ETS einbezogen, als die Einnahmen des Emissionshandels u.a. für die Förderung neuer Technologien verwendet werden sollen, vgl. Art. 10 Abs. 3 ETS Richtlinie. Nach dem bereits erwähnten Art. 10a Abs. 8 ETS Richtlinie beträgt die Summe der insoweit einzusetzenden Zertifikate für die vierte ETS-Handelsperiode bis zu 450 Mio. Zwecks Durchführung der Förderung wurde ein Innovationsfonds eingesetzt. Er dient dem Ziel, „Innovationen auf dem Gebiet von Technologien und Prozessen mit geringem CO<sub>2</sub>-Ausstoß, einschließlich umweltverträglicher CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Nutzung (CCU), die maßgeblich zur Eindämmung des Klimawandels beiträgt, sowie von Produkten, die CO<sub>2</sub>-intensiv hergestellte Produkte ersetzen [...]“ anzustoßen und damit „einen Anreiz für den Bau und Betrieb von Projekten, die auf die umweltverträgliche Abscheidung und geologische Speicherung (CCS) von CO<sub>2</sub> ausgerichtet sind, sowie von innovativen Technologien im Bereich erneuerbarer Energien und der Speicherung von Energie“ zu setzen. Die Fördermöglichkeit soll ferner auf Technologien erstreckt werden, „die kommerziell noch nicht verfügbar sind, jedoch eine bahnbrechende Lösung darstellen oder ausgereift genug sind, um für die Demonstration in vorkommerziellem Maßstab in Betracht zu kommen.“ Im Juli 2020 wurde die erste Ausschreibung für mögliche Projekte veröffentlicht,<sup>40</sup> Projekte, bei denen es um eine CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Nutzung geht, müssen eine Nettoerleichterung der Emissionen bewirken und die Vermeidung oder dauerhafte Speicherung von CO<sub>2</sub> sicherstellen. Nach Art. 10a Abs. 8 UAbs. 3 ETS Richtlinie können bis zu 60 Prozent der relevanten Projektkosten aus dem Innovationsfonds finanziert werden; mindestens 60 Prozent dieses Anteils müssen an die nachweisliche Vermeidung von Treibhausgasemissionen gebunden sein. Die Details des Fördersystems, u.a. Formen der Unterstützung (primär Finanzhilfen) sowie Fragen des Antrags- und Auswahlverfahrens, der Eignungskriterien und der Überwachung betreffend, sind in der Delegierten Verordnung (EU) 2019/856 der Kommission vom 26. Februar 2019 zur Ergänzung der Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf die Funktionsweise des Innovationsfonds geregelt.

Vom Innovationsfonds ist der den Regelungsgegenstand von Art. 10d ETS Richtlinie bildende Modernisierungsfonds zu unterscheiden. Mit ihm werden die Energiesysteme in den EU-Mitgliedstaaten in deren Verantwortung gefördert. Die Ausrichtung dieser Förderung verdeutlicht Art. 10d Abs. 2 ETS Richtlinie, der insbesondere „die Erzeugung und Nutzung von

Strom aus erneuerbaren Energiequellen, [...] die Verbesserung der Energieeffizienz mit Ausnahme von Energieeffizienz der Energieerzeugung unter Verwendung fester fossiler Brennstoffe, [...] die Energiespeicherung und [...] die Modernisierung von Energienetzen, einschließlich Fernwärmeleitungen [...]“ sowie den Übergang für kohleabhängige Regionen nennt. Für NETs ist der Modernisierungsfonds damit letztlich nicht relevant. Um eine Förderung bemühen können sich nur diejenigen Mitgliedstaaten, deren Pro-Kopf-BIP zu Marktpreisen im Jahr 2013 unter 60 Prozent des Unionsdurchschnitts lag.

### 4.4 Möglichkeiten der Einbeziehung von NETs während der laufenden Handelsperiode

Soweit nach alledem eine separate Integration von NETs, die über die Berücksichtigung bei der Emissionsberechnung der vom EU-ETS umfassten Anlagen einerseits und Maßnahmen der technologischen Förderung andererseits hinausgeht, derzeit nicht vorgesehen ist, stellt sich die Frage, ob die ETS Richtlinie eine Integration während der vierten Handelsperiode (2021–2030) – sei es durch Entscheidung eines oder mehrerer Mitgliedstaaten, sei es durch Beschluss der EU-Kommission – wenigstens ermöglicht.

Entgegen dem ersten Anschein bildet Art. 24 ETS Richtlinie, wonach die Mitgliedstaaten unter den im Einzelnen genannten Voraussetzungen den Handel mit Emissionszertifikaten ab 2008 auf nicht in Anhang I genannte Tätigkeiten (was freilich gerade für CCS bereits der Fall ist) und Treibhausgase ausweiten können, keine Grundlage für eine separate (d.h. emissionsunabhängige) Einbeziehung von NETs. Denn die von der Vorschrift ermöglichte Ausweitung sieht im Übrigen kein Abweichen vom Regime der ETS Richtlinie und insbesondere dem ihm zugrundeliegenden Emissionsbezug bzw. der mit Blick auf die Einbeziehung in den Zertifikatehandel bestehenden unmittelbaren Verknüpfung von emittierender Tätigkeit einerseits und dem Einsatz emissionsmindernder Technologien andererseits vor. Eine zeitliche Verlagerung der Emissionen (siehe o. Abschnitt 2.2) lässt die Norm damit nicht zu. Folglich kann Art. 24 ETS Richtlinie nicht zugunsten einer „Öffnung“ des EU-ETS zugunsten einer direkten und von Emissionen entkoppelten Erwirtschaftung zusätzlicher Zertifikate durch den Einsatz von NETs fruchtbar gemacht werden. Dies setzte vielmehr eine grundlegende Veränderung bzw. Ergänzung des Regimes der ETS Richtlinie voraus.

Eine Besonderheit gilt insoweit für BECCS. Die betreffenden Tätigkeiten verfügen über den erforderlichen Emissionsbezug, könnten also wie CCS theoretisch in das EU-ETS integriert werden (wenn auch wiederum prinzipiell nur insoweit, als die Verpflichtung zur Abgabe von Zertifikaten für abgeschiedene und gespeicherte Emissionen entfällt). Der Grund für die derzeitige Nichtberücksichtigung liegt genau genommen nicht darin, dass es sich um eine nicht in Anhang I genannte Tätigkeit handelt. Vielmehr sind Anlagen, die ausschließlich Biomasse nutzen, aufgrund der Bereichsausnahme in Ziff. 1 des Anhangs I der ETS Richtlinie vom EU-ETS

ausgeschlossen. Würde diese Ziffer aufgehoben, fielen Anlagen, die ausschließlich Biomasse nutzen, in den Anwendungsbereich der ETS Richtlinie, und zwar ohne dass von der (einzelnen Mitgliedstaaten eröffneten) Möglichkeit des Art. 24 ETS Richtlinie Gebrauch gemacht werden müsste. Biomasseanlagen würden sodann in Abhängigkeit von der Gesamtfeuerwärmeleistung in das EU-ETS aufgenommen. In der Folge wären die Anlagenbetreiber prinzipiell verpflichtet, jährlich eine Anzahl von Zertifikaten abzugeben, die den Gesamtemissionen der Anlage im betreffenden Zeitraum entspricht (vgl. Art. 12 Abs. 3 der ETS Richtlinie). Im Falle von BECCS-Anlagen würde Art. 12 Abs. 3a der ETS Richtlinie zur Anwendung gelangen, wonach die Verpflichtung zur Abgabe von Zertifikaten nicht für abgeschiedene und gespeicherte Emissionen gilt. Dies führte bei BECCS-Anlagen im Idealfall dazu, dass keine bzw. nur wenige Zertifikate abgegeben werden müssten, sondern diese im Rahmen des Emissionshandels verkauft werden könnten. Deshalb stellt sich vordringlich die Frage, auf welche Weise den Betreibern von BECCS-Anlagen Emissionszertifikate zugeteilt werden könnte. Theoretisch bestünde die Möglichkeit, Betreiber von BE(CCS)-Anlagen bei der freien Allokation von Zertifikaten zu berücksichtigen. Bislang ist diese Möglichkeit auf besonders energieintensive und dem internationalen Handel ausgesetzte Industrien beschränkt. Bei einer freien Zuteilung von Zertifikaten und deren anschließendem Verkauf würden die Betreiber von BECCS-Anlagen implizit Zertifikate für die Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre erhalten. Eine solche Privilegierung könnte unter Bezugnahme auf den besonderen Beitrag zur Klimapolitik gerechtfertigt werden, der mit dem Betrieb von BECCS-Anlagen geleistet würde. Um diesen Beitrag entsprechend zu verbuchen, sollten allerdings von den herkömmlichen Zertifikaten unterscheidbare Zertifikate zum Einsatz kommen. Eine analoge Regelung existiert bereits für Zertifikate für Flugbetreiber (EUAs, vergleiche Abschnitt 3.4). Diese Zertifikate werden zum Beispiel bei der Berücksichtigung der Zertifikate im Umlauf (für die Marktstabilitätsreserve) nicht berücksichtigt. Wenn BECCS-Anlagen zum Einsatz kommen, würden sich bei einer Verwendung von Zertifikaten aus dem bestehenden Zertifikatepool (d.h. wenn es nicht zu einer Ausweitung der Zertifikatemen-

ge für die freie Zuteilung an Biomasse-Anlagen kommt) die Nettoemissionen im EU-ETS voraussichtlich stärker als durch den linearen Reduktionsfaktor vorgesehen verringern. Um diesen Effekt quantitativ abzuschätzen, müssen aber Rückkopplungseffekte durch die Marktstabilitätsreserve berücksichtigt werden (vergleiche Abschnitt 3.1).

Auch Art. 24a ETS Richtlinie eröffnet nicht die Möglichkeit der Integration von NETs in das EU-ETS durch separate (d.h. emissionsunabhängige) Zuteilung von Zertifikaten. Diese Norm ermächtigt die EU-Kommission zwar dazu, „[z]usätzlich zu der in Artikel 24 vorgesehenen Einbeziehung [...] Maßnahmen für die Vergabe von Zertifikaten oder Gutschriften in Bezug auf Projekte [zu] erlassen, die von Mitgliedstaaten verwaltet werden und Reduzierungen von Treibhausgasemissionen bewirken, die nicht vom EU-ETS erfasst werden“. Im Lichte der Ausrichtung und Systematik der ETS Richtlinie geht es indes auch hier nur um Projekte zur Minderung vorhandener Emissionen, wiederum also um Tätigkeiten, die grundsätzlich selbst Emissionen zur Folge haben. Die separate Regelung in Art. 24a ETS Richtlinie betrifft darüber hinaus nur Tätigkeiten, die in einem anderen EU-Mitgliedstaat durchgeführt werden, die also dort zu Emissionsminderungen führen, wo ihre Durchführung günstiger ist (Situation der räumlichen Verlagerung, siehe o. Abschnitt 2.2). Dies belegt das in Art. 24a Abs. 2 ETS Richtlinie kodifizierte Verbot der Doppelanrechnung von Emissionsminderungen ebenso wie der in Art. 24a Abs. 3 Satz 2 ETS Richtlinie enthaltene Hinweis darauf, dass „[s]olche Projekte [...] auf der Grundlage der Zustimmung des Mitgliedstaats durchgeführt [werden], in dem dieses Projekt stattfindet.“

Die ETS-Richtlinie enthält in ihrer geltenden Form somit keine Öffnungsklauseln, auf deren Grundlage Zertifikate durch die Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre generiert und zum Verkauf angeboten werden könnten. Die emissionsunabhängige Integration von NETs in das Regime des EU-ETS setzt eine grundlegende Änderung der ETS Richtlinie voraus, mit der die unmittelbare Verknüpfung von emittierender Tätigkeit einerseits und dem Einsatz emissionsmindernder Technologien andererseits aufgelöst wird.

## 5 Zusammenfassung

Das EU-Emissionshandelssystem (EU-ETS) ist nach wie vor das weltweit größte seiner Art. Es deckt etwa 40 Prozent der THG-Emissionen der EU27 ab und gilt als das wichtigste klimapolitische Instrument der EU. Aufgrund eines jährlichen linearen Reduktionsfaktors (LRF) gibt es einen Zeitpunkt, an dem keine weiteren Zertifikate mehr auf den Markt kommen. Unter dem derzeitigen LRF von 2,2 Prozent p.a. würde dies nach 2057 geschehen. Die Europäische Kommission, Mitgliedstaaten und Europäisches Parlament müssen also die Frage lösen, wie sie das EU-ETS organisieren können (und wollen), wenn keine neuen Zertifikate mehr auktioniert werden. Diese Frage wird angesichts der Diskussion um eine Verschärfung des EU-Emissionsreduktionsziels 2030 und das Erreichen von Netto-Null-Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 noch dringlicher. Aus Art. 12 Abs. 3a der aktuellen ETS Richtlinie geht ausdrücklich hervor, dass es keine Verpflichtung zur Abgabe von Zertifikaten für Emissionen gibt, die nachweislich abgetrennt und zur dauerhaften Speicherung an eine genehmigte Anlage übertragen wurden. Verschiedene Vorschläge fordern jedoch die Ausweitung des EU-ETS, indem auch potentielle diffuse Emissionsquellen wie Heizungen in Gebäuden und der Verkehr einbezogen werden, was den Einsatz von Kohlenstoffabscheidung und -speicherung um Residualemissionen zu vermeiden, erschwert. Dementsprechend hat die Europäische Kommission als Teil ihres Vorschlags für eine neue langfristige Klimastrategie der EU Szenarien entwickelt, mit denen bis 2050 nahezu Netto-Null-Treibhausgasemissionen erreicht werden können (1.5 TECH und 1.5 LIFE), die zusätzlich zu CCS die Einbeziehung von Maßnahmen zur direkten Entfernung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre vorsehen. Diese Maßnahmen sollen nicht nur Residualemissionen, die nicht oder nur zu sehr hohen Kosten eliminiert werden können, wie z.B. in der Landwirtschaft, der Stahl- und Zementindustrie oder der Luftfahrt erfassen, sondern es auch ermöglichen, netto negative Emissionsziele zu erreichen. Das Szenario 1.5 TECH sieht vor, dass das gesamte EU-ETS netto negativ wird (-50 MtCO<sub>2</sub> in 2050), d.h. es werden aus negativen Emissionen mehr Zertifikate generiert, als zur Kompensation positiver Emissionen verwendet werden. Derzeit gibt es jedoch keine Anreize für die Generierung zusätzlicher Zertifikate durch die Entfernung und Speicherung von CO<sub>2</sub>. Dies stünde im Widerspruch zum Grundkonzept der ETS Richtlinie, das in Art. 2 Abs. 1 zum Ausdruck kommt, wonach die Anwendbarkeit des EU-ETS grundsätzlich die Existenz von Emissionen voraussetzt.

Aus konzeptioneller Sicht kommt es bei einer Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu einer Umkehrung des herkömmlichen Ablaufs in einem Cap-Trade-Emissions-Handelssystem. Bei der Emission von CO<sub>2</sub> muss der Emittent eine entsprechende Menge an Zertifikaten abgeben. Wenn CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entnommen wird, werden diese Zertifikate an den Entnehmer „zurückgegeben“. Man kann sich also vorstellen, dass für die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die im Rahmen eines Emissionshandelssystems entstehen, ein entsprechendes

Gegenkonto mit der erforderlichen Zertifikatrückgabe verknüpft wird. Dieses Gegenkonto spiegelt den Bestand an CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Atmosphäre und die damit verbundene Menge an „verbrauchten“ Zertifikaten wider. Wenn CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entnommen wird, werden auch die damit verbundenen Zertifikate vom Gegenkonto wieder „freigegeben“ (die entweder von den Unternehmen gehalten werden oder in einen Zertifikatspool wandern).

Aus ökonomischer Sicht lässt sich die unbegrenzte Integration von Zertifikaten aus NETs als eine elastische Verlängerung des Caps darstellen. Dementsprechend kann man in diesem stilisierten Modellrahmen zwischen dem regulativen und dem effektiven Cap unterscheiden. Dabei kann das regulative Cap positiv (wie im Moment innerhalb des EU-ETS), null (wenn keine Zertifikate mehr ausgegeben werden) oder sogar netto negativ sein (wenn mehr Zertifikate aus NETs generiert werden als für die Kompensation von Residualemissionen notwendig). Für ein netto negatives Cap sind zwingend Zertifikate aus NETs erforderlich. Durch die Integration von NETs und damit ein preiselastisches Cap verändert sich der Charakter des Emissionshandelssystems. So kommt es bei Veränderungen der Vermeidungskosten (durch zum Beispiel Innovationen) nicht mehr nur zu einer Preisreaktion (wie Falle des regulativen unelastischen Caps), sondern auch zu einer Substitution von NETs durch Emissionsvermeidung.

Aus politischer Sicht erscheint aber eine unbegrenzte Integration von Zertifikaten durch NETs nicht realistisch. Für eine schrittweise Integration wird diskutiert, für die Emissionsvermeidung einerseits und für NETs andererseits getrennte Ziele zu definieren. Bei getrennten Zielen kommt es aber allenfalls zufällig zu einer Angleichung der Grenzvermeidungskosten und entsprechend zu Effizienzverlusten. Die Einführung getrennter Ziele wird vor allem im Kontext der politischen Machbarkeit betont, um unter anderem der Sorge Rechnung zu tragen, dass eine unbeschränkte Integration zu einer weitgehenden Substitution konventioneller Emissionsminderungen führen könnte. Eine solche Situation könnte sich bei einer vollständigen Integration von Zertifikaten z.B. aus der Aufforstung oder der Land- und Waldbewirtschaftung ergeben, bei denen die Kosten pro Tonne CO<sub>2</sub> als sehr niedrig oder sogar negativ eingeschätzt werden. Angesichts der Szenarien der EU-Kommission, die Integration von NETs in das EU-ETS auf Maßnahmen mit einfacherer Verifizierung der CO<sub>2</sub>-Speicherung zu beschränken (z.B. Bioenergie mit CCS (BECCS) oder direkte technische CO<sub>2</sub>-Entnahme mit CCS (DACCS)), bei denen die derzeit geschätzten Kosten immer noch teilweise deutlich oberhalb der aktuellen und der mittelfristig prognostizierten Zertifikatspreisen im EU-ETS liegen, ist eine Situation mit einer Substitution der Emissionsvermeidung (noch) nicht zu rechnen. In einer solchen Situation könnte es sein, dass es trotz vollständiger Integration (noch) keine Nutzung von NETs und damit keinen Ersatz für konventionelle Emissionsminderungen geben würde. Betrachtet man hingegen in einer

solchen Situation die Einführung von getrennten Zielen, implizieren diese statt einer Priorisierung der Emissionsminderung eine Förderung von NETs. Diese Überlegungen zeigen, dass bei der Einführung getrennter Ziele (zumindest übergangsweise) diese so zu wählen sind, dass die Entnahme von CO<sub>2</sub> zu einer zusätzlichen Reduktion der Nettoemissionen führen muss, wenn es nicht zu einer Einschränkung der Emissionsvermeidung kommen soll.

Es ist derzeit noch offen, wie eine begrenzte Integration von Zertifikaten durch NETs in das EU-ETS organisiert werden könnte. Eine Möglichkeit wäre, solche Zertifikate nach dem Vorbild der Zertifikate aus den flexiblen Mechanismen des Kyoto-Protokolls zu integrieren. Dies erscheint vor allem vor dem Hintergrund interessant, dass im Zuge steigender Ankündigungen von staatlichen Netto-Null- oder sogar Netto-Negativ-Emissionszielen ein internationaler Markt für CO<sub>2</sub>-Entnahmezertifikate analog zu dem Markt für Kyoto-Offsets entstehen könnte. Mengengrenzungen könnten mit einer sektoralen Begrenzung für die Verwendung solcher Zertifikate verbunden werden. Eine Möglichkeit wäre, dass nur Sektoren, die im internationalen Wettbewerb stehen, oder die aufgrund ihrer Prozesse hohe Restemissionen haben, (begrenzt) NETs-Zertifikate verwenden oder zugeteilt bekommen dürfen. Eine solche Konstruktion mit einem einseitigen Link existiert bereits im Rahmen des EU-ETS für den Luftverkehr. Flugbetreiber können sowohl spezielle (European Union Aviation Allowances, EUAAs) als auch konventionelle Zertifikate verwenden – gleichzeitig dürfen andere Sektoren die EUAAs aber nicht verwenden. Eine vergleichbare Konstruktion ist für Unternehmen im internationalen Wettbewerb denkbar, die derzeit noch (zunehmend eingeschränkt) Zertifikate kostenlos zugeteilt bekommen. Trotz solcher „einseitiger“ Zertifikate ergibt sich ein einheitlicher Marktpreis (so lange es parallel zu NETs-Zertifikaten auch noch herkömmliche Zertifikate gibt), allerdings mit entsprechenden Verteilungswirkungen in Abhängigkeit der Organisation der Zuteilung dieser Zertifikate sowie durch die Reaktion des Marktpreises.

Allerdings wären in einer Situation, in der NETs-Zertifikatanbieter noch nicht wettbewerbsfähig sind, statt Obergrenzen Mindestmengen für die Verwendung solcher Zertifikate erforderlich, um die Integration von NETs zu fördern. In einem solchen Szenario würden Marktteilnehmer die zusätzlichen Kosten für die Integration und damit der Technologieentwicklung tragen. Alternativ bedürfte es weiterer Instrumente, um die Preisdifferenz zwischen NETs und herkömmlichen Zertifikaten zu überbrücken, solange erstere noch nicht wettbewerbsfähig sind. Die Begleichung der Preisdifferenz (d.h. die Subventionierung der Integration) durch den Regulierer könnte aus sozialer Sicht unter der Voraussetzung von positiven F&E-Externalitäten (durch Spillovers) sowie höheren Kapitalkosten beziehungsweise Kreditrestriktionen aufgrund von Kapitalmarktunvollkommenheiten vorteilhaft sein, insbesondere wenn parallel NETs mit sehr unterschiedlichen Potenzialen und technologischen Reifegraden existieren.

Naheliegender ist es, eine zusätzliche Förderung an den beobachtbaren Zertifikatepreis im EU-ETS zu koppeln. Beispielsweise würden Differenzverträge es ermöglichen, den Betreibern von NETs (zunächst) eine Gebühr pro tCO<sub>2</sub> zu zahlen, die die Differenz zum aktuellen Zertifikatpreis im EU-ETS ausgleicht – was auch impliziert, dass die Betreiber von NETs die Differenz zahlen müssten, falls der Zertifikatpreis den im Vertrag festgelegten Preis übersteigt. Die Gebühr könnte in einem auktionsbasierten Ausschreibungsverfahren festgelegt werden, wobei es auch möglich wäre, technologiespezifische Quoten auszuschreiben, um eine breite Technologieunterstützung zu gewährleisten. Eine solche Überlegung ist insbesondere dann sinnvoll, wenn der Reifegrad der verschiedenen Technologien noch sehr unterschiedlich ist. Im Gegensatz zur Förderung der Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien gibt es jedoch einen entscheidenden Unterschied. Die Nachfrage nach Strom schwankt im Tages-, Wochen- und Jahresverlauf. Entsprechend führen Vergütungssysteme für erneuerbare Energien, die die schwankende Nachfrage nicht berücksichtigen, nicht notwendigerweise zu einer effizienten Zusammensetzung der Stromerzeugungskapazität. Die Nachfrage nach dem gewonnenen CO<sub>2</sub> schwankt nicht im Laufe der Zeit, sondern bezieht sich lediglich auf die kumulierte Menge des gewonnenen CO<sub>2</sub>. Dementsprechend gehen von Vergütungssystemen, die auf die (zeitunabhängige) marginale Bereitstellung fokussieren, für den Fall der CO<sub>2</sub>-Entnahme geringere Fehlanreize aus als im Fall der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien.

Anstatt die Differenz zwischen dem Marktpreis für Zertifikate und dem Preis für Zertifikate von NETs auszugleichen, könnte die Regulierung auch als Vermittler fungieren, indem sie Zertifikate von NETs direkt kauft (z.B. über ein technologiespezifisches Ausschreibungssystem) und sie dann auf dem EU-ETS in Abhängigkeit von den beobachteten Preisen oder gehandelten Mengen wieder verkauft. Ein solcher Ansatz ist attraktiv, weil i) unterschiedliche Temperaturziele (1.5°C und 2°C Ziel) unter Unsicherheit über die Vermeidungskosten eine endogene Emissionsobergrenze favorisieren, die es erlaubt, das ambitioniertere Ziel anzustreben, falls die (Vermeidungs-) Kosten niedriger sind als erwartet, und ii) eben das Angebot von NETs praktisch eine solche preiselastische Obergrenze für die Emissionsvermeidung impliziert. Entsprechend könnten Zertifikate aus NETs zur Auffüllung einer Zertifikatsreserve verwendet werden, die in Abhängigkeit von beobachteten Preisen oder Mengen zusätzliche Zertifikate auf den Markt bringt. Grundsätzlich impliziert eine solche Konstruktion, dass das Angebot an Zertifikaten aus NETs zur Unterstützung eines (weichen) Preiskorridors verwendet werden könnte. Im Gegensatz zu einem Preiskorridor ohne Verwendung von NETs-Zertifikaten kann die Preisobergrenze (weich) gestützt werden, ohne dass es zu einer Veränderung der Nettoemissionen kommt (vorausgesetzt, genügend NETs-Zertifikate liegen vor). Trotzdem gilt natürlich auch hier, dass es nicht zu einer Angleichung der Grenzkosten kommt und sich entsprechend Effizienzverluste einstellen.

Die politische Debatte über die Integration der gezielten CO<sub>2</sub>-Entnahme in die europäische Klimapolitik befindet sich immer noch in einer frühen Phase. Dementsprechend bestehen auch noch große Freiheitsgrade, was Optionen für die Integration von Zertifikaten aus NETs angeht. Die bereits seit längerem bestehende Möglichkeit einer räumlichen Verlagerung von Emissionen sowie die geplante Verknüpfung mit anderen Emissionshandelssystemen (vgl. Art. 25 ETS Richtlinie) zeigen aber, dass das EU-ETS in verschiedenen Richtungen flexibilisiert werden kann. In zeitlicher Hinsicht wäre es zwar vorstellbar, NETs bereits parallel zum Handel mit Emissionszertifikaten in die 2021 beginnende vierte ETS-Handelsperiode zu integrieren; es ist insoweit aber derzeit noch unklar, welches Preisniveau im EU-ETS gewährleistet werden müsste, damit es zu dem erforderlichen technologischen Wandel in der Industrie kommt.

Wie bereits dargestellt, könnte die künftige Integration von NETs in das EU-ETS theoretisch auf zwei unterschiedlichen Wegen erfolgen: Einerseits im Wege der unmittelbaren Interaktion der am Emissionshandel beteiligten Unternehmen mit den Anbietern von NETs und andererseits durch Zwischenschaltung einer Regulierungsbehörde, die die beiden Märkte koordiniert. Beide Varianten könnten mittels europäischer Gesetzgebungsakte umgesetzt werden. Im zweitgenannten Fall würde die Regulierungsbehörde die NETs-Zertifikate ankaufen und die Abhängigkeit von beobachteten Preisen oder Mengen wieder in das EU-ETS einführen. Anders als in Situationen, in denen die Marktteilnehmer unmittelbar interagieren, können die beiden Märkte (ETS und NETs) bei Zwischenschaltung einer Regulierungsbehörde getrennt voneinander so gestaltet werden, dass es einerseits definierte Emissionsreduktionen (ETS-Markt) erreicht werden können und andererseits der Technologieentwicklung der unterschiedlichen NETs Rechnung getragen werden kann. Als Regulierungsbehörden kommen die EU-Kommission selbst, die nationalen Emissionshandelsstellen, die die supranationalen Vorgaben umsetzen, oder eine noch zu gründende europäische Agentur in Betracht. Schon unter dem Gesichtspunkt der Subsidiarität und um der Kohärenz mit dem existierenden System des Emissionshandels willen dürfte sich die Einbeziehung der nationalen Emissionshandelsstellen als vorzugswürdiger Ansatz erweisen.

Im Hinblick auf den Anpassungsbedarf des EU-ETS ergibt sich aber eine Besonderheit für BECCS. Durch die Aufhebung der Bestimmung, dass Anlagen, die ausschließlich Biomasse verwenden, nicht unter die ETS-Richtlinie fallen, würden BE(CCS)-Anlagen grundsätzlich in den Anwendungsbereich der ETS-Richtlinie fallen. Theoretisch wäre es möglich, Betreiber von BE(CCS)-Anlagen bei der kostenlosen Zuteilung von Zertifikaten zu berücksichtigen. BECCS-Betreiber könnten diese Zertifikate durch den Einsatz von CCS verkaufen und würden somit implizit Zertifikate für die Entfernung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre erhalten. Wenn für die Zuteilung keinen neuen, sondern bestehende Zertifikate umgewidmet werden,

würden sich dadurch beim Einsatz von BECCS, die Netto-Emissionen im EU-ETS über den linearen Reduktionsfaktor hinaus verringern. Eine adäquate Berücksichtigung dieser negativen Emissionen setzt aber die Unterscheidbarkeit der Zertifikate, die an Biomasse-Anlagen vergeben werden, von den herkömmlichen Zertifikaten voraus. Für eine quantitative Abschätzung der Entwicklung der Brutto- als auch Nettoemissionen müssen ferner mögliche Rückkopplungseffekte über die Marktstabilitäts-reserve berücksichtigt werden.

Bislang ist für etwaige Anpassung bzw. Änderung des existierenden EU-ETS, sowohl im Hinblick auf BECCS als auch die emissionsunabhängige Integration von NETs betreffend, noch kein klarer Zeitpunkt erkennbar. Vorschläge für eine neuerliche Novelle der ETS Richtlinie wird die Kommission in der ersten Hälfte des Jahres 2021 präsentieren, nachdem die Mitgliedstaaten Ambitionsniveau und Struktur eines neuen Emissionsminderungsziel für 2030 beschlossen und somit Klarheit über den unmittelbaren Regulierungsbedarf geschaffen haben. Spätestens mit der Vorlage ihrer Szenarien zur THG-Neutralität hat die Kommission damit begonnen, dem Konzept der CO<sub>2</sub>-Entnahme einen signifikanten Stellenwert einzuräumen. Dies spiegelt sich auch im Kommissionsentwurf zum EU-Klimagesetz (KOM/2020/80) sowie in ihrem Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft (KOM/2020/98, Ziff. 6.1) wider, in dem sie ankündigt, bis 2023 die Entwicklung eines rechtlichen Rahmens für die Zertifizierung der Kohlenstoffabscheidung auf der Grundlage einer robusten und transparenten Kohlenstoffbuchhaltung prüfen zu wollen.<sup>41</sup> In ihrer Strategie für ein faires und umweltfreundliches Lebensmittelsystem (KOM/2020/381) deutet die Kommission zudem an, dass ökosystembasierte NETs aus Mitteln der Gemeinsamen Agrarpolitik gefördert werden und langfristig ebenfalls in CO<sub>2</sub>-Märkte integriert werden könnten.

Trotz der Initiativen der Kommission befindet sich die politische Debatte über die Integration der gezielten CO<sub>2</sub>-Entnahme in die europäische Klimapolitik immer noch in einer frühen Phase. Es zeichnet sich bislang allenfalls rudimentär ab, welche Mitgliedstaaten, Parteienfamilien, Branchen, Unternehmen und NGOs den CO<sub>2</sub>-Entnahme-Ansatz voranbringen wollen, welche Koalitionen dabei entstehen und welche Methoden dabei präferiert werden. Da zudem noch kaum absehbar ist, wie sich die einzelnen NETs technologisch und hinsichtlich ihrer Kosten entwickeln werden, lässt sich derzeit nicht prognostizieren, auf welche Weise und in welcher Geschwindigkeit sich der Übergang zu einer gezielten CO<sub>2</sub>-Entnahme-Politik vollziehen wird. Kein Zweifel kann aber daran bestehen, dass zum Erreichen des EU-Ziels der Treibhausgasneutralität bis 2050 eine Ausgestaltung geeigneter Anreizsysteme für CO<sub>2</sub>-Entnahmen sowie eine regulatorische Öffnung des wichtigsten klimapolitischen Instruments – dem EU Emissionshandel – für NETs unabdingbar sein wird.

# Literaturverzeichnis

**Acemoglu D, P Aghion, L Bursztyn, D Hemous** (2012)

The Environment and Directed Technical Change, *American Economic Review*, 102, 131–166, doi:10.1257/aer.102.1.131.

**Anderson, K, G Peters** (2016) The trouble with negative emissions, *Science* 354: 182, doi:10.1126/science.aah4567.

**Antoniou F, R Strausz** (2017) Feed-in Subsidies, Taxation, and Inefficient Entry, *Environmental and Resource Economics* 67: 925–940, doi:10.1007/s10640-016-0012-8.

**Bel G, S Joseph** (2015) Emission abatement: Untangling the impacts of the EU-ETS and the economic crisis, *Energy Economics* 49: 531–539, doi:10.1016/j.eneco.2015.03.014.

**Berger A, G Udell** (2002) Small Business Credit Availability and Relationship Lending: the Importance of Bank organisational Structure, *The Economic Journal* 112(477): 32–53. doi:10.1111/1468-0297.00682.

**Bock L, U Burkhardt** (2019) Contrail cirrus radiative forcing for future air traffic, *Atmos. Chem. Phys* 19: 8163–8174, doi:10.5194/acp-19-8163-2019.

**Bramouille Y, LJ Olsen** (2005) Allocation of pollution abatement under learning by doing, *Journal of Public Economics* 89: 1935–1960.

**Bundesregierung** (2020) Deutsch-Französische Erklärung von Toulouse: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/deutsch-franzoesische-erklaerung-von-toulouse-16-oktober-2019-1682252>, last access: 16 February 2020.

**Carpenter RE, BC Petersen** (2002) Capital Market Imperfections, High-Tech Investment, and New Equity Financing, *The Economic Journal* 112(477): 54–72, doi: 10.1111/1468-0297.00683.

**Craik AN, WCG Burns** (2019) Climate Engineering under the Paris Agreement, *Environmental Law Reporter* 43: 11113–11129.

**Danish Ministry of Climate, Energy and Utilities** (2020) The Danish Government's position paper on an ambitious and cost-effective EU climate architecture – a response to the public consultation on the European Commission's 2030 Climate Target Plan, KEF Alm.del - Bilag 371. <https://www.dmmz-ft.ft.dk/samling/20191/alm.del/KEF/bilag/371/2218142.pdf>, abgerufen am 20.07.2020

**Deutsch M, M Buck, P Graichen, F Vorholz** (2018) Die Kosten von unterlassenem Klimaschutz für den Bundeshaushalt, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende, Berlin.

**Dewar A, B Sudmeijer** (2019) The Business Case for Carbon Capture, Boston Consulting Group, 2019.

**Edenhofer O, C Flachsland, M Kalkuhl, B Knopf, M Pahle**

(2019) Optionen für eine CO<sub>2</sub>-Preisreform: MCC-PIK-Expertise für den Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) gGmbH, Berlin.

**EASAC** (2018): Negative emission technologies: What role in meeting Paris agreement targets? (European Academies Science Advisory Council Policy Report 35). Halle.

**Europäische Kommission** (European Commission) (2018a): A Clean Planet for all: A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy, Brussels, Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions, and the European Investment Bank, COM(2018) 773.

**Europäische Kommission** (European Commission) (2018b) In-Depth Analysis in Support of the Commission Communication COM (2018) 773A: Clean Planet for all: A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy, Brüssel.

**Europäische Kommission** (European Commission) (2019a) Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: The European Green Deal, Brussels, COM(2019) 640 final.

**Europäische Kommission** (European Commission) (2019b) Publication of the total number of allowances in circulation in 2018 for the purposes of the Market Stability Reserve under the EU Emissions Trading System established by Directive 2003/87/EC, European Commission, Brüssel, C(2019) 3288 final.

**Europäische Kommission** (European Commission) (2019c) Report from the Commission to the European Parliament and the Council on Implementation of Directive 2009/31/EC on the Geological Storage of Carbon Dioxide, Brüssel, COM(2019) 566 final.

**Europäische Kommission** (European Commission) (2020a) 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)', Brussels, SWD 177final, Part 1/2.

- Europäische Kommission** (European Commission) (2020b) 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)', Brussels, SWD 177final, Part 2/2. Europäische Kommission (European Commission) (2020c) Publication of the total number of allowances in circulation in 2019 for the purposes of the Market Stability Reserve under the EU Emissions Trading System established by Directive 2003/87/EC, European Commission, Brüssel, C(2020) 2835 final.
- European Environmental Agency** (2018) Trends and projections in Europe 2018. Tracking progress towards Europe's climate and energy targets, Publications Office of the European Union, Luxembourg, EEA Report, No 16/2018.
- Felbermayr, G, S Peterson, W Rickels** (2019) Für ein duales System der CO<sub>2</sub>-Bepreisung in Deutschland und Europa, Kiel Institute for the World Economy, Kiel, Kiel Focus, 07/2019.
- Fischer, C, RG Newell** (2008) Environmental and technology policies for climate mitigation, *Journal of Environmental Economics and Management* 55: 142–162, doi:10.1016/j.jeem.2007.11.001.
- Fuglestvedt, J, J Rogelj, RJ Millar, MR Allen, O Boucher, M Cain, PM Forster, E Kriegler, D Shindell** (2018) Implications of possible interpretations of 'greenhouse gas balance' in the Paris Agreement, *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0445>.
- Geden O, V Scott, J Palmer** (2018) Integrating carbon dioxide removal into EU climate policy: Prospects for a paradigm shift, *WIREs Climate Change*, doi: 10.1002/wcc.521.
- Geden O, G Peters, V Scott** (2019) Targeting carbon dioxide removal in the European Union, *Climate Policy*, doi: 10.1080/14693062.2018.1536600.
- Geden O, F Schenuit** (2020) Unconventional Mitigation: Carbon Dioxide Removal as a New Approach in EU Climate Policy, SWP Research Paper 2020/RP 08, Berlin, doi:10.18449/2020RP08.
- Gerlagh R, RJRK Heijmans, KE Rosendahl** (2019) Endogenous Emission Caps Always Induce a Green Paradox, Cesifo, Munich, Working Paper 7862.
- Graichen V, J Graichen, S Healy, O Haanperä, S Purolila, J Peljo** (2019) The Role of the EU-ETS in Increasing EU Climate Ambition: Assessment of Policy Options, Helsinki, Sitra Studies, 161.
- Hansing, A., M. Fridahl** (2018) European and Swedish Point Sources of Biogenic Carbon Dioxide, in: M. Fridahl (Ed.), *Bioenergy with Carbon Capture and Storage. From Global Potentials to Domestic Realities*: 31-44. Brüssel: European Liberal Forum.
- Healy, S., Graichen, V., Graichen, J., Nissen, C., Gores, S., and Siemons, A.**: Trends and projections in the EU-ETS in 2019, European Topic Centre on Climate change mitigation and energy, Eionet Report-ETC/CME 3/2019, 2019.
- Hepburn, C., Adlen, E., Beddington, J., Carter, E. A., Fuss, S., Mac Dowell, N., Minx, J. C., Smith, P., and Williams, C. K.**: The technological and economic prospects for CO<sub>2</sub> utilization and removal, *Nature*, 575, 87–97, doi:10.1038/s41586-019-1681-6, 2019.
- Hintermann, B. and Gronwald, M.**: Linking with Uncertainty: The Relationship Between EU-ETS Pollution Permits and Kyoto Offsets, *Environ Resource Econ*, 74, 761–784, doi:10.1007/s10640-019-00346-7, 2019.
- Hoel, M, L Karp** (2002), Taxes versus quotas for a stock pollutant, *Resource and Energy Economics* 24: 367–384, doi:10.1016/S0928-7655(02)00014-3.
- Jaffe AB, RG Newell, RN Stavins** (2005) A tale of two market failures: Technology and environmental policy, *Ecological Economics* 54: 164–174, doi:10.1016/j.ecolecon.2004.12.027.
- Jeffery L, N Höhne, M Moisisio, T Day, B Lawless** (2020) Options for supporting Carbon Dioxide Removal, Discussion Paper, NewClimate Institute, [https://newclimate.org/wp-content/uploads/2020/07/Options-for-supporting-Carbon-Dioxide-Removal\\_July\\_2020.pdf](https://newclimate.org/wp-content/uploads/2020/07/Options-for-supporting-Carbon-Dioxide-Removal_July_2020.pdf), abgerufen am 27.08.2020.
- Jaffee D, J Stiglitz** (1990) Credit rationing, in: BM Friedman and FH Hahn (Eds), *Handbook of Monetary Economics* 2: 837–888, Amsterdam: North Holland. doi:10.1016/S1573-4498(05)80023-2.
- Keith DW, G Holmes, D St. Angelo, K Heidel** (2018) A Process for Capturing CO<sub>2</sub> from the Atmosphere. *Joule* 2: 1573–1594, doi:10.1016/j.joule.2018.05.006.
- Kempa K, U Moslener** (2017) Climate Policy with the Chequebook—An Economic Analysis of Climate Investment Support. *Economics of Energy and Environmental Policy* 6(1): 111-129, doi: 10.5547/2160-5890.6.1.kkem.
- Landcker K, MF Quaas** (2019) Increasing marginal costs and the efficiency of differentiated feed-in tariffs. *Energy Economics* 83: 104–118, doi:10.1016/j.eneco.2019.06.017, 2019.
- Landis, F.**: Final Report on Marginal Abatement Cost Curves for the Evaluation of the Market Stability Reserve, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH, Mannheim, Dokumentation, 15-01, 2015.

**Leinen, M** (2008). Building relationships between scientists and business in ocean iron fertilization. *Marine Ecological Progress Series* 364, 251–256.

**Luderer G, Z Vrontisi, C Bertram, OY Edelenbosch, RC Pietzcker, J Rogelj, HS de Boer, L Drouet, J Emmerling, O Fricko, S Fujimori, P Havlík, G Iyer, K Keramidas, A Kitous, M Pehl, V Krey, K Riahi, B Saveyn, M Tavoni, DP van Vuuren, E Kriegler** (2018) Residual fossil CO<sub>2</sub> emissions in 1.5–2°C pathways, *Nature Climate Change* 8: 626–633, doi:10.1038/s41558-018-0198-6.

**Marcu, A., Alberola, E., Caneil, J.-Y., Mazzoni, M., Schleicher, S., Vailles, C., Stoefs, W., Vangenechten, D., and Cecchetti, F.**: 2019 State of the EU-ETS Report, Institute for Climate Economics, 2019.

**Mayer, B.**: Obligations of conduct in the international law on climate change: A defence, *Review of European, Comparative & International Environmental Law*, 27, 130–140, doi:10.1111/reel.12237, 2018.

**McLaren DP, DP Tyfield, R Willis, B Szerszynski, NO Markusson** (2019) Beyond Net-Zero: A Case for Separate Targets for Emissions Reduction and Negative Emissions, *Frontiers in Climate* 1 (4): 1–5.

**Montero, J. P.**: A simple auction mechanism for the optimal allocation of the commons, *American Economic Review*, 496–518, 2008.

**Moslener, U. and Requate, T.**: The dynamics of optimal abatement strategies for multiple pollutants—An illustration in the Greenhouse, *Ecological Economics*, 68, 1521–1534, doi:10.1016/j.ecolecon.2008.10.010, 2009.

**National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine**: Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda., The National Academies Press, Washington, DC, 2019.

**Newell RG, WA Pizer** (2003) Regulating stock externalities under uncertainty, *Journal of Environmental Economics and Management* 45: 416–432, doi:10.1016/S0095-0696(02)00016-5.

**Quemin, S. and Trotignon, R.**: Intertemporal emissions trading and market design: an application to the EU-ETS, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, Working Paper, 316, 2019.

**Requate T, W Unhold** (2003) Environmental policy incentives to adopt advanced abatement technology: Will the true ranking please stand up? *European Economic Review* 47: 125–146.

**Rickels W, C Merk, J Honneth, J Schwinger, M Quaas, A Oschlies** (2019a) Welche Rolle spielen negative Emissionen für die zukünftige Klimapolitik? Eine ökonomische Einschätzung zum 1,5 °C-Sonderbericht des Weltklimarats, *Perspektiven der Wirtschaftspolitik* 20: 145–158.

**Rickels W, C Merk, F Reith, DP Keller, A Oschlies** (2019b) (Mis)conceptions about modeling of negative emissions technologies, *Environmental Research Letters* 14: 104004, doi:10.1088/1748-9326/ab3ab4.

**Rickels W, S Peterson, G Felbermayr** (2019c) Schrittweise zu einem umfassenden europäischen Emissionshandel, Institut für Weltwirtschaft, Kiel, Kiel Policy Brief 127.

**Rickels, W., Rehdanz, K., and Oschlies, A.**: Methods for greenhouse gas offset accounting: A case study of ocean iron fertilization, *Ecological Economics*, 69, 2495–2509, doi:10.1016/j.ecolecon.2010.07.026, 2010.

**Roberts, M. J. and Spence, M.**: Effluent charges and licenses under uncertainty, *Journal of Public Economics*, 5, 193–208, doi:10.1016/0047-2727(76)90014-1, 1976.

**Robinius, M., Markewitz, P., Lopion, P., Kullmann, F., Heuser, P.-M., Syranidis, K., Cerniauskas, S., Reuß, M., Ryberg, S., Kotzur, L., Caglayan, D., Welde, L., Linßen, J., Grube, T., Heinrichs, H., Stenzel, P., and Stolten, D.**: Wege für die Energiewende—Kosteneffiziente und klimagerechte Transformationsstrategien für das deutsche Energiesystem bis zum Jahr 2050, Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, 2019.

**Ron Chan, H., Chupp, B. A., Cropper, M. L., and Muller, N. Z.**: The Impact on Trading on the Cost and Benefits of the Acid Rain Program, NBER working paper series, 21383, 2017.

**Rosell E** (2019) Taking Back Emissions: Using the market to capture carbon dioxide from the atmosphere, European Liberal Forum asbl, Brussels, Belgium. [https://www.liberalforum.eu/wp-content/uploads/2020/03/Take\\_it\\_back\\_pdf.pdf](https://www.liberalforum.eu/wp-content/uploads/2020/03/Take_it_back_pdf.pdf), abgerufen am 13.08.2020.

**Rosendahl KE** (2019) EU-ETS and the new green paradox, Cesifo, Munich, Working Paper, 7645.

**Royal Society/Royal Academy of Engineering**: Greenhouse Gas Removal, London 2018.

**Sandbag: Halfway There**: Existing policies put Europe on track for emission cuts of at least 50 percent by 2030, Brussels, 2019.

**Schaudwet C** (2019) CO<sub>2</sub> ab 2024 unter die schottische Nordsee. *Tagesspiegel*, 10.12.2019.

**Schmalensee R, R Stavins** (2013) The SO<sub>2</sub> Allowance Trading System: The Ironic History of a Grand Policy Experiment, *Journal of Economic Perspectives* 27: 103–122.

**Stavins, RN** (2003) Experience with Market-based Environmental Policy Instruments, in Mäler, KG, Vincent JR (editors), Handbook of Environmental Economics, Volume I: 355-435. Amsterdam: Elsevier Science.

**Stiglitz JE** (1993) The Role of the State in Financial Markets, World Bank Economic Review 7(suppl 1): 19–52. doi:10.1093/wber/7.suppl\_1.19.

**Traeger C, L Karp** (2017) Smart Cap. Cesifo, Munich, Area Conferences: Energy and Climate.

**Traeger C, G Perino, K Pittel, T Requate, A Schmitt** (2019) Das Flexcap – eine innovative CO<sub>2</sub>-Bepreisung für Deutschland, ifo, München, ifo schnelldienst, 72(18): 38-45.

**UNFCCC** (1997) Report of the Conference of the Parties on its Third Session, held at Kyoto from 1 to 11 December 1997. Tech. rep, UNFCCC.

**Voigt C** (2016) The Paris Agreement: What is the Standard of Conduct for Parties? Questions of International Law 26: 17–28.

**Weitzman M** (1974) Prices vs. Quantities. Review of Economic Studies 41: 477–491.

**Wohland J, D Witthaut, CF Schleussner** (2018) Negative emission potential of Direct Air Capture powered by renewable excess electricity in Europe. Earth's Future 6: 1380–1384. <https://doi.org/10.1029/2018EF000954>

## Endnoten

<sup>1</sup> Obwohl beide Begriffe häufig synonym verwendet werden, ist Treibhausgasneutralität nicht mit einer (breiter gefassten) Klimaneutralität gleichzusetzen. Politisch relevant wird diese Unterscheidung beispielsweise im Luftverkehr, dessen Klimawirkungen über den THG-Ausstoß hinausgehen; vgl. Fuglestedt et al. (2018) und Bock and Burkhardt (2019).

<sup>2</sup> Rat der Europäischen Union: Langfristige Strategie der Europäischen Union und ihrer Mitgliedstaaten für eine hinsichtlich der Treibhausgase emissionsarme Entwicklung – Vorlage beim UNFCCC im Namen der Europäischen Union und ihrer Mitgliedstaaten. Dok 6612/20.

<sup>3</sup> Der langfristig netto-negative Emissionsverlauf in der EU wird politisch bislang kaum diskutiert, ist als Vision aber bereits in § 15 der Verordnung zum Governance-System der Energieunion angelegt (VO 2018/1999). Im Rahmen der laufenden Verhandlungen zum EU-Klimagesetz ist die Frage, ob und in welcher Weise sich die EU politisch bereits jetzt zum langfristigen Erreichen von Netto-Negativemissionen bekennen soll, einer der Streitpunkte, wenn auch nicht der wesentliche.

<sup>4</sup> Basierend auf der IPCC-Definition von Dauerhaftigkeit erfolgt die Umrechnung der Erwärmungswirkung unterschiedlicher Treibhausgase über einen Zeitraum von 100 Jahren. Die Wahl von 100 Jahren basierte nicht auf einer wissenschaftlichen Begründung, sondern war eher eine politische Entscheidung (Leinen, 2008). Bei der 24. Vertragsstaatenkonferenz der UNFCCC 2018 wurde der 100-Jahreszeitraum für die nationale Emissionsberichterstattung im Rahmen des Pariser Übereinkommens abermals als Standard bekräftigt. Tatsächlich ist die Umrechnung anderer Treibhausgase auf statische CO<sub>2</sub>-Äquivalente nicht unproblematisch, da sich dadurch in

einer dynamischen Betrachtung Ineffizienzen ergeben. Moslener and Requate (2009) schlagen entsprechend separate Handelssysteme bzw. variable Umrechnungskurse zwischen den verschiedenen Treibhausgasemissionen im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse vor. Ähnliche Probleme ergeben sich, wenn Temperaturziele zu einem festen Datum (z.B. 2100) zu erreichen sind, da sich in Abhängigkeit von Zeit bis zur Zielerreichung die Umrechnungsfaktoren anpassen. Diese Fragestellung ist insbesondere für NETs relevant, da die Entnahme von CO<sub>2</sub>-Emissionen unter anderem auch damit motiviert wird, um schwer zu vermeidende nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Agrarsektor auszugleichen. Allerdings ist das nicht Fragestellung dieser Studie, und es wird nicht vertiefend darauf eingegangen.

<sup>5</sup> Die SCC sind die marginalen gesamtwirtschaftlichen globalen Schäden der Emission einer zusätzlichen Tonne CO<sub>2</sub>. Bei der Orientierung des Minimumpreises an den SCC beim 1.5°C-Ziel würde man sich bei der Bestimmung auf die Grenzscha den entlang eines Emissionspfads, der im Einklang mit dem 1.5°C-Ziel steht, beschränken – in diesem Fall sind die Grenzscha den geringer als bei einem Emissionspfad im Einklang mit dem 2.0°C-Ziel. Der so ermittelte Minimumpreis sollte nicht mit dem CO<sub>2</sub>-Preis verwechselt werden, der sich ergibt, wenn exogen ein maximaler Temperaturanstieg von 1.5°C vorgegeben ist.

<sup>6</sup> Je nach Dauer zwischen „Capture“ und Emission durch „Utilization“ ergibt sich natürlich trotzdem ein Nutzen bzw. in einer nicht-stetigen Betrachtung wie bei der Umrechnung der Erwärmungswirkung verschiedener Treibhausgase sogar Permanenz (Dauer von mindestens 100 Jahren).

- <sup>7</sup> Zu berücksichtigen ist, dass es sich hier um eine schematische Abgrenzung handelt, um CCS, CCU und NETs konzeptionell zu unterscheiden. Beim CCS kommt es je nach Verfahren zu keiner vollständigen Abscheidung, sondern es verbleiben auch hier Residualemissionen, so dass sowohl Emissionen in die Atmosphäre gelangen als auch eine Zertifikatebewegung stattfindet.
- <sup>8</sup> Praktisch ist es das nicht, weil eine vollständige Abscheidung und Speicherung technisch, geschweige denn wirtschaftlich, sehr anspruchsvoll ist (vergleiche Abschnitt 3.5). In diesem Abschnitt geht es aber darum, konzeptionell zwischen CCS und NETs zu unterscheiden.
- <sup>9</sup> Empirisch betrachtet ist eine lineare Grenzvermeidungskostenkurve, insbesondere für Vermeidungslevel nahe des Ursprungs eine schlechte Approximation, da die Vermeidung der Residualemissionen zunehmend teurer wird (vgl. dazu Abschnitt 3.2 über die zukünftige Preisentwicklung im EU-ETS).
- <sup>10</sup> Bei der Einführung von NETs unter einer CO<sub>2</sub>-Steuer kann die Situation eintreten, dass beide Grenzkostenkurven unter- oder überschätzt werden, so dass die Abweichung im Hinblick auf die intendierte Mengenwirkung stärker ausfällt, als wenn nur die Grenzvermeidungskostenkurve geschätzt werden muss. Umgekehrt kann auch die Situation eintreten, dass eine Kurve unter- und eine andere Kurve überschätzt wird, so dass sich die „Fehler“ gegenseitig abschwächen.
- <sup>11</sup> Vgl. dazu Requate und Unhold (2003) für die Situation ohne NETs.
- <sup>12</sup> Ohne Preiskorridore wird die Unsicherheit über die Grenzvermeidungskosten vollständig auf die Marktteilnehmer eines Emissionshandelssystems übertragen und kann entsprechend zu hohen Kosten führen – insbesondere wenn ein Emissionshandelssystem eingeführt oder um neue Sektoren ausgeweitet wird (Hoel and Karp, 2002; Newell and Pizer, 2003).
- <sup>13</sup> Eine sektorale Diskriminierung kann ebenfalls mit einer unbegrenzten Integration kombiniert werden. Dann können NETs-Zertifikate-Besitzer ihre konventionellen Zertifikate an die übrigen Anlagebetreiber verkaufen bis sich ein neuer Gleichgewichtspreis einstellt. Bei einem (mindestens) Netto-Null-Ziel gilt diese Aussage nicht mehr, da hier (ohne Berücksichtigung von Banking) eine Situation eintritt, in der es keine konventionellen Zertifikate mehr gibt.
- <sup>14</sup> 2019: 397.124.722 tCO<sub>2</sub> Zertifikate und vom 01.01.2020 bis zum 31.08.2021: 332.519.078 tCO<sub>2</sub> Zertifikate in die MSR überführt, entsprechend MSR im August 2021: 1.629.643.802 tCO<sub>2</sub>.
- <sup>15</sup> Dabei ist zu bedenken, dass sich das grüne Paradox im Vergleich zur Situation ohne staatliche Maßnahme ergibt, es aber nicht zu einer Ausweitung der Emissionen über die durch den linearen Reduktionsfaktor gegebene Zertifikatmenge kommen kann.
- <sup>16</sup> Der „Carbon Price Floor“ wurde 2013 mit einem Satz von £16 (€18,05) pro Tonne Kohlendioxid-Äquivalent (tCO<sub>2e</sub>) eingeführt und sollte ursprünglich bis 2020 auf £30 (€33,85) steigen. Die Regierung hat jedoch in 2018 beschlossen, den „Carbon Price Floor“ bis 2021 auf £18,08 (€20,40) zu begrenzen.
- <sup>17</sup> Seit Phase III dürfen CERs und ERUs nicht mehr direkt gehandelt werden, sondern müssen in EUAs getauscht werden. Seit April 2015 können CERs und ERUs aus der ersten Kyoto Phase (2008–2012) nicht mehr umgetauscht werden (Healy et al. 2019).
- <sup>18</sup> [https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/credits\\_de](https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/credits_de).
- <sup>19</sup> So sah die die entsprechende Mitteilung der Kommission aus dem Jahr 2005[1] Folgendes vor: „Im Rahmen des Kyoto-Protokolls sind nur CO<sub>2</sub>-Emissionen von Inlandsflügen relevant, weshalb spezielle Regelungen notwendig wären, um sicherzustellen, dass das Registrierungssystem, das die Verknüpfung zwischen dem EU-System und dem Kyoto-Protokoll gewährleistet, dadurch nicht beeinträchtigt wird.“
- <sup>20</sup> Siehe Art. 1 Abs. 4 des Beschlusses 2015/1814 sowie die jährlichen Mitteilungen der Kommission zur Berechnung des Überhangs: [https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/reform\\_en#tab-0-1](https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/reform_en#tab-0-1).
- <sup>21</sup> Dabei ist es unabhängig wo und in welchem Umfang die Speicherung von CCS stattfindet.
- <sup>22</sup> Siehe LC-SC3-NZE-6-2020: Geological Storage Pilots in im Horizon 2020 Work Programme 2018-2020, 10. Secure, clean and efficient energy.
- <sup>23</sup> In dem Maße, wie die Emissionen durch vorgelagerte Produktionsschritte (zum Beispiel das Mahlen von Gestein für die natürliche Verwitterung) und verbundene Transporte (zum Beispiel durch das Ausbringen des Materials auf Feldern) bereits dem Emissionshandelssystem unterliegen, ist keine Korrektur der Zertifikatevergabe notwendig.
- <sup>24</sup> Die Aufnahme und Speicherung von CO<sub>2</sub> ist nicht direkt messbar, sondern erfordert den Einsatz von naturwissenschaftlichen Modellen zur Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Aufnahme.
- <sup>25</sup> Verordnung (EU) 2018/841 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die Einbeziehung der Emissionen und des Abbaus von Treibhausgasen aus Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft in den Rahmen für die Klima- und Energiepolitik bis 2030 und zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 525/2013 und des Beschlusses Nr. 529/2013/EU.

- <sup>26</sup> Vgl. Art. 1 und 2 Verordnung (EU) 2018/841.
- <sup>27</sup> Vgl. etwa den 5. Erwägungsgrund der Verordnung (EU) 2018/841.
- <sup>28</sup> Verordnung (EU) 2018/842 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Festlegung verbindlicher nationaler Jahresziele für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2021 bis 2030 als Beitrag zu Klimaschutzmaßnahmen zwecks Erfüllung der Verpflichtungen aus dem Übereinkommen von Paris sowie zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 525/2013.
- <sup>29</sup> Vgl. den 22. Erwägungsgrund der Verordnung (EU) 2018/842.
- <sup>30</sup> Von sonstigen Anlagen, die unter die Richtlinie fallen.
- <sup>31</sup> Vgl. Ziff. 1 Anhang I der ETS Richtlinie. Bei aus mehreren technischen Einheiten bestehenden Anlagen werden bei der Berechnung der (für die Aufnahme in das EU-ETS maßgeblichen) Gesamtfeuerungswärmeleistung diejenigen Einheiten, die ausschließlich Biomasse nutzen, nicht berücksichtigt. Dazu zählen nach Ziff. 3 Anhang I der ETS Richtlinie „auch Einheiten, die nur bei Inbetriebnahme und Abschaltung fossile Brennstoffe nutzen.“ Obwohl es zu Emissionen kommt, wird der Betrieb von BECCS-Anlagen im Rahmen des EU-ETS damit nicht berücksichtigt bzw. mit dem Emissionsfaktor Null angerechnet (vgl. Anhang IV A. der ETS Richtlinie). Die Anlagenbetreiber erwerben keine Zertifikate und beteiligen sich nicht am Handel. Anstelle dessen sind BECCS-Anlagen – eigentlich systemwidrig – in den Geltungsbereich der LULUCF-Verordnung einbezogen.
- <sup>32</sup> Vgl. auch Art. 4 ETS Richtlinie: „Tätigkeiten, bei denen die für diese Tätigkeit spezifizierten Emissionen entstehen“.
- <sup>33</sup> Vgl. Richtlinie 2009/29/EG, Erwägungsgrund 19 („[...] für die Abscheidung und Speicherung von CO<sub>2</sub> sollten Zertifikate nicht kostenlos zugeteilt werden, weil der Anreiz für diese Maßnahmen in Zertifikaten besteht, die in Bezug auf gespeicherte Emissionen nicht zurückgegeben werden müssen. [...]“) und Erwägungsgrund 20 („Der wichtigste langfristige Anreiz für die Abscheidung und Speicherung von CO<sub>2</sub> sowie für neue Technologien für erneuerbare Energie besteht darin, dass keine Zertifikate für Kohlendioxidemissionen, die dauerhaft gespeichert oder vermieden werden, abgegeben werden müssen. [...]“). Siehe auch Europäischer Rechnungshof, Sonderbericht, Großkommerzielle Demonstration von CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung und innovativen Technologien für erneuerbare Energien in der EU: Die für die letzten zehn Jahre geplanten Fortschritte wurden nicht erzielt, 2018, S. 39.
- <sup>34</sup> Ausreichend ist es für die Möglichkeit der Anrechnung auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz einer Anlage z.B., wenn das CO<sub>2</sub> dauerhaft chemisch gebunden wird.
- <sup>35</sup> Erwägungsgrund 14 lautet: „Der wichtigste langfristige Anreiz der Richtlinie 2003/87/EG für die Abscheidung und Speicherung von CO<sub>2</sub> (im Folgenden „CCS“), für die Entwicklung neuer Technologien für erneuerbare Energien und für bahnbrechende Innovationen auf dem Gebiet von Technologien und Prozessen mit geringem CO<sub>2</sub>-Ausstoß, darunter die umweltverträgliche CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Nutzung (im Folgenden „CCU“), ist das von ihr ausgehende CO<sub>2</sub>-Preissignal und die Tatsache, dass Zertifikate nicht für CO<sub>2</sub>-Emissionen abgegeben werden müssen, die vermieden oder dauerhaft gelagert werden. Zusätzlich zu den Ressourcen, die schon jetzt verwendet werden, um die Demonstration kommerzieller CCS-Anlagen und innovativer Technologien für erneuerbare Energien zu beschleunigen, sollten Zertifikate auch als sichere Belohnung für die Realisierung von CCS- oder CCU-Anlagen, neuen Technologien für erneuerbare Energien und Industrie-Innovationen auf dem Gebiet von Technologien und Prozessen mit geringem CO<sub>2</sub>-Ausstoß innerhalb der Union genutzt werden, soweit CO<sub>2</sub> in hinreichender Menge gespeichert oder vermieden wird und sofern eine Vereinbarung über den Wissensaustausch besteht.“
- <sup>36</sup> Nach Art. 10 Abs. 3 ETS Richtlinie sollten die Mitgliedstaaten einen bestimmten Anteil der Einnahmen aus der Versteigerung von Zertifikaten für die Entwicklung der umweltverträglichen Abscheidung und geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub> sowie die Kohlenstoffspeicherung durch die Forstwirtschaft verwenden. Eine Rechtspflicht liegt hierin freilich nicht.
- <sup>37</sup> Vgl. Erwägungsgrund 22, Art. 7, Art. 9 Abs. 2, Art. 11 Abs. 2 lit. c ii) (mit Bezug auf Art. 7) sowie Anhang III der Effort Sharing-Verordnung.
- <sup>38</sup> Vgl. Erwägungsgrund 15 der LULUCF-Verordnung: „In der Union werden die Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse derzeit gemäß Artikel 38 der Verordnung (EU) Nr. 601/2012 der Kommission und den Bestimmungen in der Verordnung (EU) Nr. 525/2013 mit Null verbucht, weshalb die Einhaltung der IPCC-Leitlinien nur gewährleistet ist, wenn diese Emissionen im Rahmen der vorliegenden Verordnung korrekt berücksichtigt werden.“ Siehe auch Anlage IV A c LULUCF-Verordnung.
- <sup>39</sup> DACCS-Anlagen, die mit Anlagen gemäß ETS Richtlinie verbunden sind, fallen in den Anwendungsbereich der ETS Richtlinie. Unabhängig von der Frage, ob eine Anlage von der ETS Richtlinie oder der Effort Sharing-Verordnung erfasst wird, fehlt es nach geltendem Recht, wie dargestellt, jedoch an der Möglichkeit, unabhängige Zertifikate für den Entzug von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu generieren.
- <sup>40</sup> [https://ec.europa.eu/clima/policies/innovation-fund\\_en#tab-0-0](https://ec.europa.eu/clima/policies/innovation-fund_en#tab-0-0).

