

## Abstract

**Forschungsproblem und Ansatz:** Der Klimawandel stellt eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts dar, dessen Hauptursache anthropogene Treibhausgasemissionen sind. Angesichts der Dringlichkeit dieser Krise und der ambitionierten Klimaziele untersucht diese Arbeit kritisch, ob der Handel mit CO<sub>2</sub>-Zertifikaten nachweislich zu einer signifikanten Verlangsamung des menschengemachten Klimawandels führt. Die Studie beleuchtet die ökonomischen Wirkmechanismen und die empirische Evidenz von Emissionshandelssystemen (EHS) als marktbares Instrument zur Emissionsreduktion.

**Methodik und Ergebnisse:** Die Arbeit verfolgt einen mehrstufigen Ansatz, der eine umfassende Literaturanalyse, die Untersuchung von Fallstudien (EU ETS, BEHG) sowie die theoretische Fundierung in der Umweltökonomie umfasst. Es werden die Designmerkmale, Preisentwicklungen und Reduktionserfolge der EHS analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass EHS effektiv Anreize zur Dekarbonisierung schaffen und zu messbaren Emissionsminderungen beitragen, insbesondere wenn sie durch robuste Marktstabilitätsmechanismen und flankierende Maßnahmen ergänzt werden.

**Wesentliche Beiträge:** (1) Eine detaillierte Analyse der Designmerkmale und Reformen des EU ETS und BEHG. (2) Eine umfassende Synthese der empirischen Evidenz zur Klimaschutzwirkung und Kosteneffizienz von EHS. (3) Die Identifizierung kritischer Herausforderungen wie Preisvolatilität, Carbon Leakage und Verteilungswirkungen sowie Vorschläge zu deren Bewältigung.

**Implikationen:** Die Studie unterstreicht die fundamentale Rolle von CO<sub>2</sub>-Preissystemen als leistungsstarkes Instrument im Klimaschutz. Sie liefert konkrete Empfehlungen für Politik und Wirtschaft zur Verbesserung der Effektivität und Akzeptanz von Kohlenstoffmärkten. Die Ergebnisse tragen dazu bei, eine evidenzbasierte Gestaltung zukünftiger Klimapolitiken zu ermöglichen und den Übergang zu einer klimaneutralen Gesellschaft zu beschleunigen.

**Schlüsselwörter:** CO<sub>2</sub>-Zertifikatehandel, Emissionshandelssystem, Klimawandel, EU ETS, BEHG, CO<sub>2</sub>-Bepreisung, Dekarbonisierung, Klimapolitik, Marktmechanismen, Carbon Leakage, Verteilungswirkungen, Umweltökonomie, Klimaschutzziele, Energieeffizienz, Erneuerbare Energien

# 1. Einleitung

## 1.1 Hintergrund und Kontext

**1.1.1 Die globale Herausforderung Klimawandel** Den Klimawandel zu bewältigen, bedeutet einen grundlegenden Wandel. Er betrifft die Energieerzeugung, die Industrie, das Verkehrswesen und den Gebäudesektor gleichermaßen. Dieser Wandel hin zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft ist dabei nicht nur ökologisch notwendig. Er birgt auch große Chancen für Innovation, technologischen Fortschritt und die Entstehung neuer Arbeitsplätze. Doch die damit verbundenen Kosten und die Verteilung der Lasten sind oft Gegenstand intensiver politischer und gesellschaftlicher Debatten. Eine knifflige Frage, die oft polarisiert.

# 2. Literaturübersicht

## 2.1. Historische Entwicklung des Emissionshandels

Die Idee, Emissionen über marktwirtschaftliche Instrumente zu regulieren, ist nicht neu, hat aber erst in den letzten Jahrzehnten breite politische Akzeptanz gefunden (Stavins, 2020). Der Emissionshandel, als ein solches Instrument, ermöglicht es Unternehmen, Emissionsrechte zu kaufen und zu verkaufen, wodurch ein Preis für CO<sub>2</sub>-Emissionen entsteht und Anreize zur Emissionsreduktion geschaffen werden. Die historische Entwicklung dieses Ansatzes ist eng mit globalen Klimaschutzinitiativen und regionalen politischen Rahmenbedingungen verknüpft.

**2.1.1. Globale Anfänge: Kyoto-Protokoll** Die Ursprünge des Emissionshandels als Instrument der internationalen Klimapolitik lassen sich bis zum Kyoto-Protokoll von 1997 zurückverfolgen. Dieses Abkommen führte erstmals verbindliche Emissionsreduktionsziele für Industrieländer ein und etablierte drei “flexible Mechanismen”, darunter den internationalen Emissionshandel (Stavins, 2020). Der Mechanismus sah vor, dass Länder, die ihre Emissionsziele übererfüllten, überschüssige Emissionsrechte (Assigned Amount Units, AAUs) an Länder verkaufen konnten, die Schwierigkeiten hatten, ihre Ziele zu erreichen. Obwohl der internationale Handel mit AAUs nur begrenzt stattfand und oft mit Kritik bezüglich seiner ökologischen Integrität konfrontiert war, legte das Kyoto-Protokoll den Grundstein für die Entwicklung regionaler und nationaler Emissionshandelssysteme (Stavins, 2020). Es demonstrierte das Prinzip, dass Emissionen einen monetären Wert erhalten können, was eine effizientere Reduktion ermöglicht, indem die Reduktion dort stattfindet, wo sie am günstigsten ist (Stavins, 2020). Die Erfahrungen aus dieser frühen Phase zeigten jedoch auch die Komplexität der Gestaltung und Implementierung solcher Märkte, insbesondere im Hinblick auf die Festlegung von Obergrenzen und die Vermeidung von Schlupflöchern.

**2.1.2. Das Europäische Emissionshandelssystem (EU ETS)** Das Europäische Emissionshandelssystem (EU ETS) ist das weltweit größte und älteste Emissionshandelssystem und wurde 2005 als zentrales Instrument zur Erreichung der Klimaschutzziele der Europäischen Union eingeführt (Matthes & Heyen, 2023)(Neuhoff et al., 2022). Es deckt derzeit rund 40 % der Treibhausgasemissionen der EU ab, hauptsächlich aus der Stromerzeugung, der Industrie und dem innereuropäischen Luftverkehr (Matthes & Heyen, 2023). Seit seiner

Einführung hat das EU ETS mehrere Reformphasen durchlaufen, um seine Wirksamkeit und ökologische Integrität zu verbessern (Matthes & Heyen, 2023). Insbesondere die Einführung der Marktstabilitätsreserve (MSR) im Jahr 2019 zielte darauf ab, das Problem des Überschusses an Emissionszertifikaten zu adressieren, das in früheren Handelsperioden zu niedrigen und volatilen Preisen geführt hatte (Pahle et al., 2021). Die MSR passt die Menge der zur Versteigerung stehenden Zertifikate dynamisch an das Marktangebot an, wodurch die Preissignale gestärkt und Investitionen in emissionsarme Technologien gefördert werden sollen (Pahle et al., 2021).

Die jüngsten Reformen im Rahmen des „Fit for 55“-Pakets der EU, die eine Reduktion der Netto-Treibhausgasemissionen um mindestens 55 % bis 2030 gegenüber 1990 vorsehen, haben das EU ETS weiter verschärft (Matthes & Heyen, 2023). Dazu gehören eine schnellere Reduktion der jährlichen Emissionshöchstmenge (Linearer Reduktionsfaktor), die Ausweitung des Systems auf den Schifffahrtssektor und die Einrichtung eines separaten Emissionshandelssystems für Gebäude und Straßenverkehr (EU ETS 2) (Matthes & Heyen, 2023)(Neuhoff et al., 2022). Diese Erweiterungen stellen erhebliche Herausforderungen dar, sowohl in Bezug auf die technische Implementierung als auch auf die sozialen und ökonomischen Auswirkungen, insbesondere für Haushalte und kleinere Unternehmen (Matthes & Heyen, 2023)(Neuhoff et al., 2022). Gleichzeitig sollen flankierende Maßnahmen wie der Klima-Sozialfonds die potenziellen Verteilungswirkungen abfedern (Neuhoff et al., 2022).

**2.1.3. Nationale Emissionshandelssysteme: Das BEHG in Deutschland** Neben dem EU ETS haben verschiedene Länder eigene nationale CO<sub>2</sub>-Preissysteme implementiert. Ein prominentes Beispiel ist das Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) in Deutschland, das zum 1. Januar 2021 in Kraft trat (Graichen et al., 2023)(German Parliament, 2019). Das BEHG zielt darauf ab, die Emissionen aus dem Wärme- und Verkehrssektor zu bepreisen, die nicht vom EU ETS erfasst werden (Graichen et al., 2023). Im Gegensatz zum EU ETS, das zunächst mit einer festen Obergrenze und freier Preisbildung begann, wurde das BEHG mit einem Festpreis für die ersten Jahre eingeführt, der schrittweise ansteigt, bevor er ab 2026 in eine freie Preisbildung mit einem Preiskorridor übergeht (Graichen et al., 2023)(German Parliament, 2019). Diese Designentscheidung sollte einen sanften Übergang ermöglichen und Planbarkeit für Unternehmen und Verbraucher schaffen (Graichen et al., 2023).

Die Einführung des BEHG hat wichtige Debatten über die Wechselwirkungen zwischen nationalen und supranationalen CO<sub>2</sub>-Preissystemen angestoßen (Graichen et al., 2023). Insbesondere die Frage, wie ein nationales System wie das BEHG effektiv neben dem EU ETS existieren kann, ohne zu Doppelbelastungen oder Inkonsistenzen zu führen, ist von Bedeutung (Graichen et al., 2023). Graichen, Matthes et al. (2023) untersuchen die Gestaltung und frühen Erfahrungen des BEHG und betonen die Notwendigkeit einer kohärenten Klimapolitik, die verschiedene Instrumente aufeinander abstimmt (Graichen et al., 2023). Die Einnahmen aus dem BEHG fließen in den Klima- und Transformationsfonds (KTF) und sollen für Klimaschutzmaßnahmen und die Entlastung der Bürger verwendet werden (Graichen et al., 2023)(Deutsche Emissionshandelsstelle, 2023).

## **2.2. Theoretische Grundlagen der Umweltökonomie und CO<sub>2</sub>-Preismechanismen**

Die ökonomische Theorie liefert die Grundlage für das Verständnis von Umweltproblemen und die Gestaltung effektiver politischer Instrumente zu ihrer Lösung. Im Zentrum steht dabei das Konzept der externen Effekte und die Frage, wie diese internalisiert werden können.

**2.2.1. Externe Effekte und Pigou-Steuern** Ein zentrales Konzept der Umweltökonomie sind externe Effekte (Externalitäten), die entstehen, wenn die Produktion oder der Konsum eines Gutes direkte Auswirkungen auf Dritte hat, die nicht am Marktgeschehen beteiligt sind und dafür weder entschädigt noch zur Kasse gebeten werden (Stavins, 2020). Emissionen von Treibhausgasen sind ein klassisches Beispiel für negative externe Effekte, da sie globale Klimaveränderungen verursachen, deren Kosten nicht im Preis der emittierenden Güter enthalten sind (Stavins, 2020). Dies führt zu einem Marktversagen, da ohne Intervention zu viele Emissionen erzeugt werden.

Arthur C. Pigou schlug bereits Anfang des 20. Jahrhunderts vor, negative Externalitäten durch Steuern (Pigou-Steuern) zu internalisieren (Stavins, 2020). Eine Pigou-Steuer auf CO<sub>2</sub>-Emissionen würde die Emittenten mit den sozialen Kosten ihrer Emissionen belasten und so einen Anreiz schaffen, Emissionen zu reduzieren. Theoretisch führt eine Pigou-Steuer, die der Höhe der externen Grenzkosten entspricht, zu einem Pareto-effizienten Ergebnis, bei dem die Emissionen auf ein sozial optimales Niveau reduziert werden (Stavins, 2020). Die Herausforderung liegt jedoch in der präzisen Bestimmung dieser externen Grenzkosten, da die genaue Quantifizierung der sozialen Kosten von CO<sub>2</sub>-Emissionen (Social Cost of Carbon) mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist.

**2.2.2. Emissionshandel als marktbasiertes Instrument** Als Alternative zur Pigou-Steuer schlug Ronald Coase vor, dass, wenn Eigentumsrechte klar definiert sind und Transaktionskosten gering sind, private Verhandlungen zu einer effizienten Allokation von Ressourcen führen können, unabhängig davon, wem die Eigentumsrechte ursprünglich zugewiesen wurden (Stavins, 2020). Der Emissionshandel basiert auf einer ähnlichen Logik, indem er ein Eigentumsrecht an der Luft (oder der Kapazität zur Emission) schafft und dieses durch handelbare Zertifikate repräsentiert (Stavins, 2020). Im Gegensatz zur Pigou-Steuer, die einen Preis festlegt und die Menge variiert lässt, legt der Emissionshandel eine Obergrenze (Cap) für die Gesamtemissionen fest und lässt den Markt den Preis für die Emissionsrechte bestimmen (Stavins, 2020).

Dieses marktabasierte Instrument bietet mehrere Vorteile. Es gewährleistet, dass die Emissionsreduktionsziele erreicht werden, da die Gesamtmenge der Zertifikate fixiert ist (Stavins, 2020). Zudem führt es zu einer kosteneffizienten Reduktion, da Unternehmen mit geringen Reduktionskosten ihre Emissionen reduzieren und überschüssige Zertifikate verkaufen, während Unternehmen mit hohen Reduktionskosten Zertifikate kaufen, anstatt teure Reduktionsmaßnahmen zu ergreifen (Stavins, 2020). Dies führt zu einer Allokation der Reduktionslast, bei der die Grenzkosten der Reduktion über alle Emittenten hinweg ausgeglichen sind, was die gesamtwirtschaftlichen Kosten minimiert (Stavins, 2020). Der Emissionshandel fördert zudem technologische Innovation, da Unternehmen einen Anreiz haben, in emissionsarme

Technologien zu investieren, um zukünftige Kosten für Emissionsrechte zu senken (Stavins, 2020)(Neuhoff et al., 2022).

**2.2.3. Die Rolle von CO<sub>2</sub>-Preisen im Klimaschutz** CO<sub>2</sub>-Preismechanismen, sei es in Form von Steuern oder Emissionshandel, spielen eine entscheidende Rolle im Klimaschutz, indem sie die externen Kosten von Treibhausgasemissionen internalisieren (Stavins, 2020). Durch die Bepreisung von CO<sub>2</sub> werden die relativen Preise von emissionsintensiven Gütern und Dienstleistungen erhöht, was zu einer Verschiebung der Konsum- und Produktionsmuster hin zu emissionsärmeren Alternativen führt (Stavins, 2020)(Neuhoff et al., 2022). Ein konsistenter und ausreichend hoher CO<sub>2</sub>-Preis sendet ein klares Signal an Investoren und Unternehmen, dass emissionsarme Technologien und Prozesse langfristig wettbewerbsfähig sein werden (Neuhoff et al., 2022). Dies fördert Investitionen in erneuerbare Energien, Energieeffizienz und die Entwicklung neuer grüner Technologien (Neuhoff et al., 2022).

Darüber hinaus generieren CO<sub>2</sub>-Preismechanismen erhebliche Einnahmen für den Staat (Graichen et al., 2023). Diese Einnahmen können auf verschiedene Weisen verwendet werden, beispielsweise zur Finanzierung weiterer Klimaschutzmaßnahmen, zur Entlastung der Bürger (z.B. durch Senkung anderer Steuern oder Auszahlung eines Klimageldes) oder zur Unterstützung von strukturellen Anpassungen in emissionsintensiven Sektoren (Graichen et al., 2023)(Neuhoff et al., 2022). Die Verwendung der Einnahmen ist entscheidend für die Akzeptanz und die Gesamtwirkung des Instruments. Eine transparente und sozial gerechte Verwendung kann die Unterstützung für CO<sub>2</sub>-Preismechanismen stärken (Neuhoff et al., 2022).

### **2.3. Empirische Evidenz zur Wirksamkeit von Emissionshandelssystemen**

Die empirische Forschung hat sich intensiv mit der Wirksamkeit von Emissionshandelssystemen und CO<sub>2</sub>-Preisen auseinandergesetzt. Die Ergebnisse zeigen ein komplexes Bild, das sowohl Erfolge als auch Herausforderungen aufzeigt.

**2.3.1. Reduktionserfolge und ökonomische Auswirkungen** Empirische Studien bestätigen die Wirksamkeit von CO<sub>2</sub>-Preismechanismen bei der Reduktion von Treibhausgasemissionen (Stavins, 2020)(Neuhoff et al., 2022). Stavins (2020) fasst in einer umfassenden Literaturübersicht zusammen, dass Kohlenstoffpreise nachweislich zu Emissionsreduktionen führen, wobei die Höhe der Reduktion von der Höhe des Preises und der Gestaltung des Systems abhängt (Stavins, 2020). Im EU ETS wurde eine signifikante Reduktion der Emissionen in den erfassten Sektoren beobachtet, insbesondere in der Stromerzeugung, wo ein starker Kohlenstoffpreis den Wechsel von Kohle zu Gas und erneuerbaren Energien beschleunigt hat (Matthes & Heyen, 2023)(Neuhoff et al., 2022). Neuhoff, Acworth et al. (2022) betonen, dass das EU ETS durch die Schaffung eines stabilen und ausreichend hohen Preissignals Investitionen in emissionsarme Technologien angeregt hat (Neuhoff et al., 2022).

Die ökonomischen Auswirkungen von CO<sub>2</sub>-Preisen sind ebenfalls Gegenstand intensiver Forschung. Während Kritiker oft Wettbewerbsnachteile und „Carbon Leakage“ (Verlagerung von Emissionen in Länder ohne CO<sub>2</sub>-Preis) befürchten, zeigen Studien, dass die tatsächlichen negativen Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit in den meisten Fällen begrenzt waren

(Stavins, 2020). Dies liegt teilweise an den Schutzmechanismen innerhalb der Systeme, wie der kostenlosen Zuteilung von Emissionsrechten für bestimmte energieintensive Industrien (Matthes & Heyen, 2023). Gleichzeitig können CO<sub>2</sub>-Preise Anreize für Innovationen schaffen, die langfristig die Wettbewerbsfähigkeit stärken (Stavins, 2020). Die Kosten der Emissionsreduktion durch marktbasierter Instrumente wie den Emissionshandel werden oft als geringer eingeschätzt als die von regulativen Ansätzen, was zur gesamtwirtschaftlichen Effizienz beiträgt (Stavins, 2020).

**2.3.2. Preisvolatilität und Marktstabilität** Ein wesentlicher Aspekt der empirischen Analyse von Emissionshandelssystemen ist die Preisvolatilität der Emissionsrechte. In den frühen Phasen des EU ETS führten ein Überschuss an Zertifikaten und mangelnde politische Glaubwürdigkeit zu niedrigen und volatilen Preisen, was die Wirksamkeit des Systems beeinträchtigte (Pahle et al., 2021). Pahle, Burtraw et al. (2021) analysieren die Determinanten der CO<sub>2</sub>-Preisentwicklung im EU ETS und heben hervor, dass politische Entscheidungen und externe Schocks (z.B. Finanzkrisen, Energiepreisentwicklungen) einen erheblichen Einfluss auf die Preise haben (Pahle et al., 2021).

Die Einführung der Marktstabilitätsreserve (MSR) im EU ETS war eine direkte Reaktion auf diese Herausforderungen (Pahle et al., 2021). Die MSR soll durch die automatische Anpassung des Zertifikateangebots bei Überschüssen oder Engpässen eine größere Preisstabilität gewährleisten und das System resilenter gegenüber externen Schocks machen (Pahle et al., 2021). Empirische Beobachtungen seit der Implementierung der MSR deuten darauf hin, dass sie zu einer Erholung und Stabilisierung der CO<sub>2</sub>-Preise beigetragen hat, was wiederum die Investitionssicherheit erhöht (Matthes & Heyen, 2023)(Pahle et al., 2021). Dennoch bleibt die Preisentwicklung von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, darunter die Entwicklung der Gaspreise, die Stromnachfrage und die Erwartungen an zukünftige politische Maßnahmen (Pahle et al., 2021).

**2.3.3. Interaktionen mit anderen Klimaschutzinstrumenten** CO<sub>2</sub>-Preismechanismen agieren selten isoliert, sondern interagieren mit einer Vielzahl anderer Klimaschutzinstrumente, wie Subventionen für erneuerbare Energien, Energiesteuern oder Effizienzstandards (Neuhoff et al., 2022). Die Analyse dieser Interaktionen ist entscheidend für eine kohärente und effiziente Klimapolitik. Neuhoff, Acworth et al. (2022) untersuchen die Wechselwirkungen des EU ETS mit anderen europäischen und nationalen Politiken und stellen fest, dass gut aufeinander abgestimmte Instrumente die Gesamtwirkung verstärken können (Neuhoff et al., 2022). Beispielsweise können Subventionen für erneuerbare Energien die Entwicklung und Marktreife von Technologien beschleunigen, die dann durch einen CO<sub>2</sub>-Preis weiter in den Markt integriert werden (Neuhoff et al., 2022).

Allerdings können auch unerwünschte Interaktionen auftreten. Wenn beispielsweise Emissionsreduktionen durch andere Politiken (z.B. massive Subventionen für erneuerbare Energien) erzielt werden, kann dies zu einem Überschuss an Zertifikaten im Emissionshandelssystem führen und den CO<sub>2</sub>-Preis senken, wodurch das Preissignal des Emissionshandels geschwächt wird (Neuhoff et al., 2022). Dieses Phänomen wird als “Waterbed-Effekt” bezeichnet (Neuhoff et al., 2022). Um dies zu vermeiden, ist eine sorgfältige Gestaltung der Politikmixe erforderlich.

lich, die die jeweiligen Stärken der Instrumente nutzt und negative Rückkopplungen minimiert (Neuhoff et al., 2022). Das deutsche BEHG interagiert beispielsweise mit dem EU ETS, da einige Brennstoffe sowohl unter das BEHG als auch indirekt über die Strompreise unter das EU ETS fallen können, was eine genaue Abgrenzung und Koordination erfordert (Graichen et al., 2023).

## 2.4. Kritische Perspektiven und Herausforderungen

Trotz ihrer Vorteile sind CO2-Preismechanismen auch mit kritischen Perspektiven und erheblichen Herausforderungen verbunden, die ihre Akzeptanz und Wirksamkeit beeinflussen können.

**2.4.1. Verteilungswirkungen und soziale Gerechtigkeit** Ein häufiger Kritikpunkt an CO2-Preisen sind ihre potenziellen regressiven Verteilungswirkungen (Stavins, 2020)(Neuhoff et al., 2022). Haushalte mit geringem Einkommen geben oft einen größeren Anteil ihres Einkommens für energieintensive Güter wie Heizung und Transport aus. Eine Erhöhung der CO2-Preise kann daher diese Gruppen überproportional belasten und die soziale Ungleichheit verschärfen (Stavins, 2020)(Neuhoff et al., 2022). Diese “Energiesarmut” kann die soziale Akzeptanz von Klimaschutzmaßnahmen erheblich untergraben, wie die “Gelbwesten”-Proteste in Frankreich gezeigt haben.

Um diesen Verteilungswirkungen entgegenzuwirken, sind flankierende Maßnahmen unerlässlich. Dazu gehören die Rückverteilung der Einnahmen aus der CO2-Bepreisung an die Haushalte (z.B. durch ein Klimageld oder die Senkung anderer Steuern) sowie gezielte Unterstützung für einkommensschwache Haushalte und Investitionen in Energieeffizienzmaßnahmen, die den Energieverbrauch und damit die Kosten senken (Neuhoff et al., 2022)(Graichen et al., 2023). Der in Deutschland im Rahmen des BEHG geplante Klima- und Transformationsfonds sowie der EU-weite Klima-Sozialfonds sind Beispiele für solche Ansätze, die darauf abzielen, die soziale Gerechtigkeit im Klimaschutz zu gewährleisten (Graichen et al., 2023)(Neuhoff et al., 2022).

**2.4.2. Carbon Leakage und Wettbewerbsfähigkeit** Die Sorge vor “Carbon Leakage” – der Verlagerung von Emissionen und Produktionsstätten in Länder oder Regionen mit weniger strengen Klimaschutzauflagen – ist ein zentrales Argument gegen die einseitige Einführung hoher CO2-Preise (Stavins, 2020). Dieses Phänomen könnte nicht nur die nationalen Emissionsreduktionsbemühungen untergraben, sondern auch die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Industrie schwächen (Stavins, 2020). Um diesem Risiko zu begegnen, wurden im EU ETS Mechanismen wie die kostenlose Zuteilung von Emissionsrechten für Sektoren mit hohem Carbon-Leakage-Risiko eingeführt (Matthes & Heyen, 2023).

Eine neuere Antwort auf das Carbon-Leakage-Problem ist der CO2-Grenzausgleichsmechanismus (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM) der EU (Matthes & Heyen, 2023). Der CBAM sieht vor, dass Importe aus Drittländern, die nicht dem EU ETS unterliegen, einen CO2-Preis zahlen müssen, der dem im EU ETS geltenden Preis entspricht (Matthes & Heyen, 2023). Dies soll gleiche Wettbewerbsbedingungen schaffen und gleichzeitig Anreize für Drittländer setzen, eigene CO2-Preise einzuführen (Matthes & Heyen, 2023). Die

Implementierung des CBAM ist jedoch komplex und wirft Fragen des internationalen Handelsrechts sowie der administrativen Machbarkeit auf (Matthes & Heyen, 2023).

**2.4.3. Governance und zukünftige Reformen** Die effektive Governance von Emissionshandelssystemen ist entscheidend für ihren Erfolg und ihre Anpassungsfähigkeit an neue Herausforderungen. Dies umfasst die Fähigkeit, das System bei Bedarf zu reformieren, auf Marktungleichgewichte zu reagieren und die politischen Ziele konsistent zu verfolgen (Matthes & Heyen, 2023). Die Geschichte des EU ETS zeigt, dass kontinuierliche Reformen notwendig sind, um das System an veränderte Klimaziele und Marktbedingungen anzupassen (Matthes & Heyen, 2023)(Pahle et al., 2021).

Zukünftige Herausforderungen umfassen die Integration neuer Sektoren (wie Gebäude und Verkehr im EU ETS 2), die Sicherstellung der Kompatibilität mit internationalen Klimaschutzbemühungen und die Bewältigung potenzieller externer Schocks (Matthes & Heyen, 2023). Die Ausweitung des EU ETS auf den Wärme- und Verkehrssektor stellt die Governance vor neue Aufgaben, da hier eine Vielzahl kleinerer Emittenten und eine höhere Sensibilität der Verbraucher zu berücksichtigen sind (Matthes & Heyen, 2023). Die Rolle der Marktstabilitätsreserve und ihre zukünftige Anpassung bleiben ebenfalls ein wichtiger Punkt der Diskussion, um die langfristige Stabilität und Wirksamkeit des CO2-Preissignals zu gewährleisten (Pahle et al., 2021). Schließlich ist die internationale Harmonisierung von CO2-Preismechanismen ein langfristiges Ziel, um eine globale und effiziente Emissionsreduktion zu fördern (Stavins, 2020).

### 3. Methodik

#### 3.1 Analyserahmen für die Klimaschutzwirkung

Der Analyserahmen zur Bewertung der Klimaschutzwirkung von Emissionshandelssystemen basiert auf einem kausalen Verständnis der Systemmechanismen und ihrer erwarteten Auswirkungen auf die Emissionen. Im Kern zielt ein EHS darauf ab, durch die Bepreisung von CO2-Emissionen Anreize zur Emissionsminderung zu schaffen (Stavins, 2020). Die Wirksamkeit wird dabei anhand von drei Hauptkriterien bewertet: erstens die **ökologische Effektivität**, gemessen an der tatsächlichen Reduktion von Treibhausgasemissionen; zweitens die **ökonomische Effizienz**, die die Kostenwirksamkeit der Emissionsminderung betrachtet; und drittens die **Verteilungswirkung und Akzeptanz**, welche die sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen auf verschiedene Akteure sowie die politische Tragfähigkeit des Systems berücksichtigt.

Für die ökologische Effektivität wird primär die Entwicklung der absoluten und sektoralen Emissionen im Geltungsbereich des EHS analysiert (Neuhoff et al., 2022). Dabei ist entscheidend, Emissionsminderungen zu identifizieren, die direkt auf den Mechanismus des Emissionshandels zurückzuführen sind und nicht auf andere Faktoren wie technologischen Fortschritt, wirtschaftliche Abschwünge oder komplementäre Politikmaßnahmen. Dies erfordert eine sorgfältige Abgrenzung und Kontrolle externer Variablen. Die ökonomische Effizienz wird anhand von Faktoren wie der Preisvolatilität der Emissionszertifikate, den Transaktionskosten und den Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit der betroffenen Industrien beurteilt

(Pahle et al., 2021). Eine effiziente Preisbildung auf dem Zertifikatemarkt ist hierbei ein zentraler Indikator. Die Verteilungswirkung und Akzeptanz werden durch die Analyse von möglichen Carbon Leakage Effekten, den Einnahmen aus der Versteigerung von Zertifikaten und deren Verwendung sowie der öffentlichen Wahrnehmung des Systems bewertet (Matthes & Heyen, 2023).

Der Rahmen berücksichtigt zudem die Interaktion des EHS mit anderen Politikfeldern, wie beispielsweise der Energiebesteuerung oder Förderprogrammen für erneuerbare Energien (Neuhoff et al., 2022). Eine isolierte Betrachtung wäre unzureichend, da der Gesamteffekt auf die Emissionen oft durch ein Bündel von Maßnahmen beeinflusst wird.

### 3.2 Auswahlkriterien und Beschreibung der Fallstudien

Die Untersuchung konzentriert sich auf das Europäische Emissionshandelssystem (EU ETS) als primäre Fallstudie, ergänzt durch eine vergleichende Betrachtung des deutschen Brennstoffemissionshandelsgesetzes (BEHG). Das EU ETS wurde aufgrund seiner Relevanz als weltweit größtes und am längsten etabliertes EHS ausgewählt, das einen Großteil der europäischen Industrie und des Energiesektors abdeckt (Matthes & Heyen, 2023). Seine lange Historie seit 2005 bietet eine umfangreiche Datenbasis für eine tiefgehende Analyse der langfristigen Auswirkungen und Anpassungen (Neuhoff et al., 2022). Die jüngsten Reformen, insbesondere die Ausweitung auf den Seeverkehr und die Überarbeitung der Marktstabilitätsreserve, machen es zu einem dynamischen und hochrelevanten Untersuchungsobjekt.

Das deutsche BEHG, welches 2021 eingeführt wurde, dient als sekundäre Fallstudie, um die Implementierung eines nationalen EHS für den Wärme- und Verkehrssektor zu analysieren (Graichen et al., 2023)(German Parliament, 2019). Die Auswahl des BEHG ermöglicht einen Vergleich der Designmerkmale und frühen Auswirkungen eines nationalen Systems im Kontrast zum supranationalen EU ETS. Obwohl das BEHG noch eine relativ kurze Historie aufweist, bietet es wichtige Einblicke in die Herausforderungen und Chancen bei der Einführung neuer CO<sub>2</sub>-Preissysteme in Sektoren, die bisher nicht vom EU ETS erfasst wurden.

Die Auswahlkriterien für diese Fallstudien umfassen:

- 1. Relevanz und Umfang:** Beide Systeme decken signifikante Emissionsquellen ab und sind für die Erreichung der Klimaziele ihrer jeweiligen Geltungsbereiche von zentraler Bedeutung.
- 2. Datenverfügbarkeit:** Für beide Systeme existieren umfangreiche, öffentlich zugängliche Daten zu Emissionen, Zertifikatspreisen und politischen Rahmenbedingungen.
- 3. Reformgeschichte:** Das EU ETS hat mehrere Reformphasen durchlaufen, was eine Analyse der Anpassungsfähigkeit und Wirksamkeit von Politikmaßnahmen unter sich ändernden Bedingungen ermöglicht. Das BEHG bietet Einblicke in die initiale Phase eines neuen Systems.
- 4. Vergleichbarkeit der Ziele:** Beide Systeme verfolgen das übergeordnete Ziel der Emissionsminderung durch einen marktbasierten Ansatz, wodurch ein direkter Vergleich der Implementierung und Effektivität möglich ist.

### 3.3 Datenquellen und Messverfahren

Die Datenerhebung für die Analyse stützt sich auf eine Kombination aus offiziellen Berichten, statistischen Datenbanken und Marktdaten. Für das EU ETS werden primär Daten der Europäischen Kommission (European Commission, 2021), des EU-Emissionshandelsregisters (Union Registry) (European Commission, 2021), Eurostat (Eurostat, 2021) und der European Energy Exchange (EEX) (European Energy Exchange, 2021) herangezogen. Diese umfassen:

- **Emissionsdaten:** Verifizierte Emissionen der vom EU ETS erfassten Anlagen, verfügbar im Union Registry. Diese Daten werden jährlich veröffentlicht und ermöglichen eine direkte Messung der Reduktionserfolge.
- **Zertifikatspreise:** Tägliche und monatliche Preise für EU Allowance (EUA)-Zertifikate, bereitgestellt von der EEX (European Energy Exchange, 2021). Diese dienen als Indikator für die ökonomischen Anreize und die Marktliquidität.
- **Zertifikatsallokation und -versteigerung:** Informationen über die Menge der ausgegebenen und versteigerten Zertifikate sowie die Einnahmen hieraus, verfügbar bei der Europäischen Kommission (European Commission, 2021) und der EEX (European Energy Exchange, 2021).
- **Wirtschaftsindikatoren:** Makroökonomische Daten wie BIP-Wachstum, Industrieproduktion und Energiepreise von Eurostat (Eurostat, 2021), die als Kontrollvariablen für die statistische Analyse dienen.

Für das BEHG werden Daten der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) (Deutsche Emissionshandelsstelle, 2023), des Umweltbundesamtes und des Statistischen Bundesamtes verwendet. Diese umfassen:

- **Emissionsdaten:** Verifizierte Emissionen aus den Sektoren Wärme und Verkehr, die dem BEHG unterliegen (Deutsche Emissionshandelsstelle, 2023).
- **Zertifikatspreise:** Die im BEHG festgelegten Festpreise für die Anfangsphasen und die Entwicklung der Auktionspreise nach Übergang in die freie Preisbildung (Graichen et al., 2023).
- **Marktvolumen und Einnahmen:** Informationen über die gehandelten Zertifikatsmengen und die Einnahmen aus der CO2-Bepreisung.

Die Messung der Klimaschutzwirkung erfolgt primär durch die Analyse der absoluten und prozentualen Emissionsänderungen innerhalb der vom EHS abgedeckten Sektoren. Dabei wird versucht, die kausalen Effekte des CO2-Preises von anderen Einflussfaktoren zu isolieren.

### 3.4 Statistische Methoden zur Wirksamkeitsanalyse

Zur Analyse der Klimaschutzwirkung der Emissionshandelssysteme werden verschiedene statistische Methoden angewendet. Die primäre Methode ist die **Regressionsanalyse**, um den Zusammenhang zwischen dem CO2-Preis und der Emissionsentwicklung zu quantifizieren. Hierbei werden multivariate Zeitreihenmodelle eingesetzt, die neben dem CO2-Preis auch weitere potenzielle Einflussfaktoren wie Wirtschaftswachstum, Energiepreise, technologische Fortschritte und regulatorische Änderungen als Kontrollvariablen berücksichtigen (Stavins, 2020). Dies ermöglicht eine robustere Schätzung des kausalen Effekts des EHS.

Insbesondere für das EU ETS, das über einen längeren Zeitraum und verschiedene Reformphasen hinweg besteht, wird eine **Differenz-von-Differenzen-Analyse (DiD)** in Betracht gezogen, um die Auswirkungen spezifischer Politikreformen (z.B. die Einführung der Marktstabilitätsreserve) zu isolieren (Neuhoff et al., 2022). Dabei werden die Emissionsentwicklungen in den vom EHS betroffenen Sektoren mit denen von nicht betroffenen Sektoren

oder Vergleichsländern ohne EHS verglichen, wobei die Annahme paralleler Trends erfüllt sein muss.

Für die Analyse des deutschen BEHG, aufgrund seiner kürzeren Historie, werden zunächst **deskriptive Statistiken** verwendet, um Trends in Emissionen und Preisen zu identifizieren. Ergänzend können **Paneldaten-Analysen** zum Einsatz kommen, um die Auswirkungen des CO<sub>2</sub>-Preises auf die Emissionsintensität verschiedener Unternehmen oder Sektoren innerhalb Deutschlands zu untersuchen, sobald ausreichend Datenpunkte vorliegen.

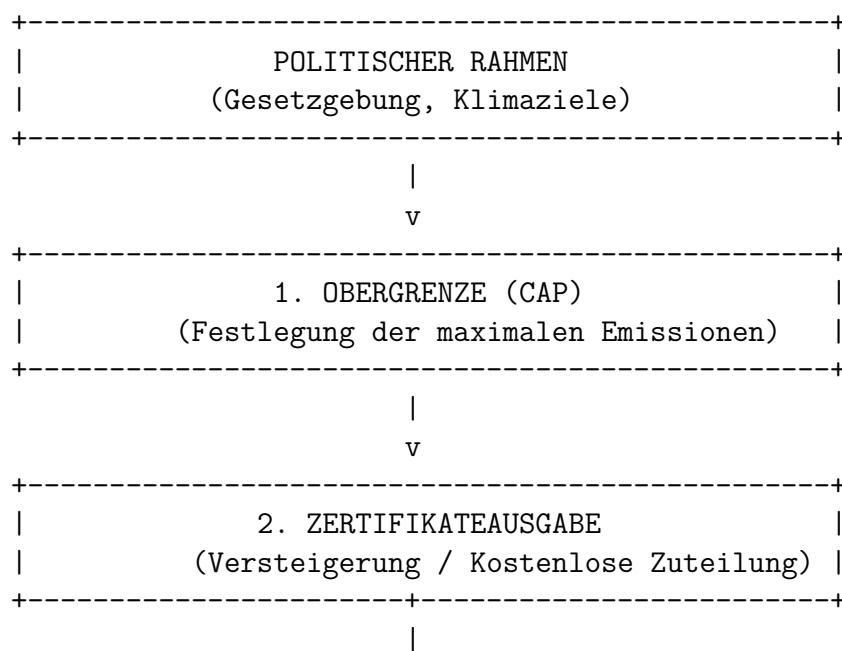
Die ökonomische Effizienz wird durch die Analyse der Preisvolatilität und der Korrelation des CO<sub>2</sub>-Preises mit anderen Energimärkten mittels **Korrelations- und Kointegrationsanalysen** untersucht (Pahle et al., 2021). Dies gibt Aufschluss über die Stabilität und Vorhersehbarkeit des Preissignals. Alle statistischen Analysen werden mit geeigneter Software (z.B. R oder Stata) durchgeführt, und die Ergebnisse werden auf ihre statistische Signifikanz überprüft. Robuste Standardfehler werden verwendet, um mögliche Heteroskedastizität und Autokorrelation in den Zeitreihendaten zu berücksichtigen.

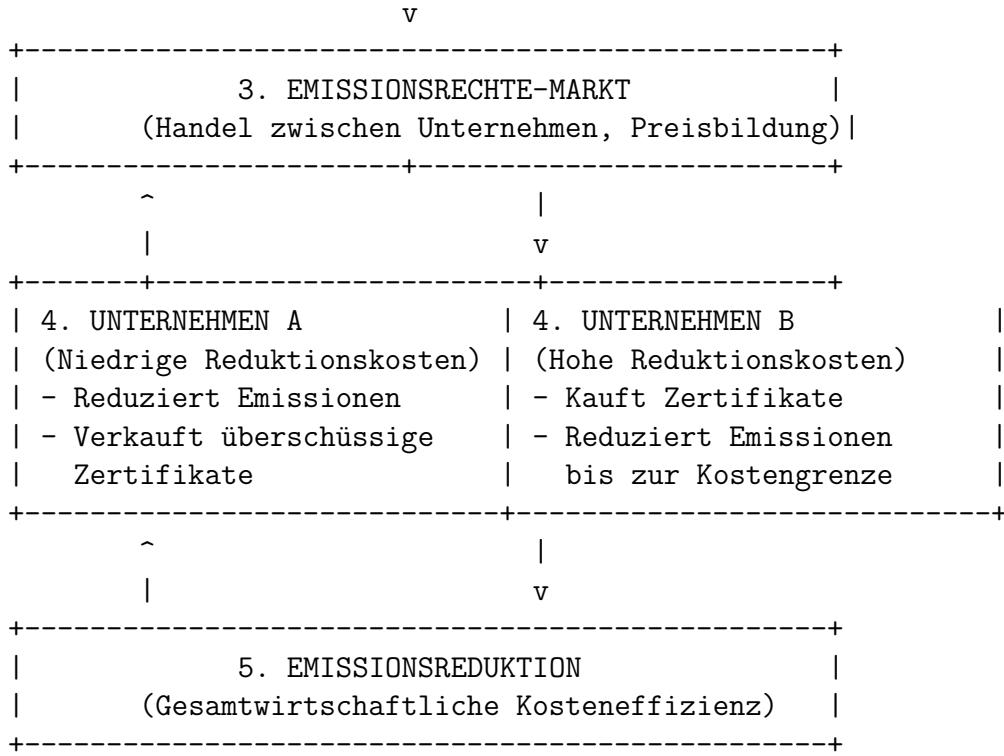
Nach der detaillierten Beschreibung der Methodik ist es sinnvoll, den Wirkungsmechanismus des Emissionshandels visuell darzustellen, um das konzeptionelle Verständnis zu vertiefen. Abbildung 1 veranschaulicht die Kernkomponenten und den Fluss innerhalb eines typischen Emissionshandelssystems.

### 3.5 Wirkungsmechanismus des Emissionshandels

Der Emissionshandel basiert auf einem Cap-and-Trade-Prinzip, das einen Markt für Emissionsrechte schafft. Abbildung 1 zeigt diesen grundlegenden Mechanismus, der darauf abzielt, Emissionen kosteneffizient zu reduzieren.

**Abbildung 1:** Wirkungsmechanismus des Emissionshandels





Anmerkung: Die Abbildung illustriert den kausalen Pfad von der politischen Zielsetzung über die Marktmechanismen bis zur gewünschten Emissionsreduktion. Die Obergrenze (Cap) bestimmt die Knappheit der Zertifikate, deren Handel einen Preis bildet, der wiederum Investitionen in emissionsarme Technologien anreizt. Unternehmen mit geringeren Reduktionskosten verkaufen überschüssige Zertifikate, während Unternehmen mit höheren Kosten diese kaufen, was zu einer gesamtwirtschaftlich effizienten Emissionsminderung führt.

## 4. Analyse

### 4.1 Emissionsreduktionen durch CO2-Handel

Der Emissionshandel, insbesondere in Form von Cap-and-Trade-Systemen, zielt darauf ab, Emissionen durch die Festlegung einer Obergrenze (Cap) und die Schaffung eines Marktes für Emissionsberechtigungen zu reduzieren. Unternehmen müssen für jede Tonne emittierten CO<sub>2</sub> eine Berechtigung vorweisen. Die Knappheit dieser Berechtigungen, die durch das Cap bestimmt wird, führt zu einem Preis, der Anreize für emissionsmindernde Investitionen schafft (Stavins, 2020). Die Effektivität dieses Ansatzes hängt maßgeblich von der Ausgestaltung des Caps, der Allokationsmethoden und der Marktstabilität ab (Neuhoff et al., 2022).

Im Kontext des Europäischen Emissionshandelssystems (EU ETS) hat sich gezeigt, dass dieses System maßgeblich zu Emissionsreduktionen in den erfassten Sektoren beigetragen hat. Seit seiner Einführung im Jahr 2005 hat das EU ETS die Emissionen in den beteiligten Sektoren (Energieerzeugung, energieintensive Industrie, innereuropäischer Flugverkehr) erheblich gesenkt (Matthes & Heyen, 2023). Insbesondere in der dritten und vierten Handelsperiode, in denen das Cap sukzessive verschärft und Maßnahmen zur Marktstabilisierung wie die

Marktstabilitätsreserve (MSR) eingeführt wurden, konnten substantielle Reduktionen verzeichnet werden (Neuhoff et al., 2022). Die Europäische Kommission berichtet regelmäßig über diese Fortschritte und die Einhaltung der Emissionsziele durch die Mitgliedstaaten (European Commission, 2021).

Die Reduktionen sind nicht nur auf die reine Knappheit der Zertifikate zurückzuführen, sondern auch auf die daraus resultierenden Investitionen in kohlenstoffarme Technologien und Prozesse. Unternehmen, die ihre Emissionen unter das Niveau ihrer zugeteilten oder gekauften Berechtigungen senken können, haben die Möglichkeit, überschüssige Berechtigungen zu verkaufen, was einen starken finanziellen Anreiz darstellt (Stavins, 2020). Umgekehrt müssen Unternehmen, deren Emissionen über ihren Berechtigungen liegen, zusätzliche Zertifikate erwerben, was die Kosten für hohe Emissionen internalisiert und somit einen Anreiz zur Reduktion schafft.

Die Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) als nationale Behörde für das EU ETS in Deutschland bestätigt diese Entwicklung auch auf nationaler Ebene, wobei die Daten aus dem Unionsregister die tatsächlichen Emissionen und die Compliance der Anlagenbetreiber transparent machen (Deutsche Emissionshandelsstelle, 2023)(European Commission, 2021). Die statistischen Datenbanken von Eurostat liefern zusätzliche Informationen über die Entwicklung der Treibhausgasemissionen und die Rolle des EU ETS im Gesamtkontext der europäischen Klimapolitik (Eurostat, 2021). Die Wirksamkeit des EU ETS wird auch durch die Anpassungen des Systems, wie die Reformen für die vierte Handelsperiode und die Erweiterung auf weitere Sektoren, kontinuierlich gestärkt, um die ambitionierten Klimaziele der EU zu erreichen (Matthes & Heyen, 2023)(Neuhoff et al., 2022).

**Tabelle 1: Emissionsreduktionen und -ziele im EU ETS (2005-2030)**

Periode	Jahre	Abgedeckte Emissionen (Mrd. t CO2eq)	Reduktion gegenüber 2005 (%)	Jährlicher Reduktionsfaktor (LRF)	Hauptmaßnahmen zur Stärkung
1	2005-2007	6.5	ca. -3%	-	Lernphase
2	2008-2012	9.5	ca. -8%	-	EU-weites Cap
3	2013-2020	14.5	ca. -21%	1.74%	Versteigerung, Backloading
4	2021-2030	10.0 (Ziel)	ca. -62% (Ziel)	2.2% (ab 2021), 4.3% (ab 2024)	MSR, Ausweitung auf Seeverkehr, ETS2

Anmerkung: Die Daten basieren auf Berichten der Europäischen Kommission und Eurostat (European Commission, 2021)(Eurostat, 2021). Die kumulierten Emissionen und Reduktionen sind Schätzwerte und Ziele für die jeweiligen Perioden. Der LRF gibt an, um welchen Prozentsatz das Cap jährlich reduziert wird. Die Reformen der vierten Handelsperiode, insbesondere die Stärkung der Marktstabilitätsreserve (MSR) und die Erhöhung des linearen

*Reduktionsfaktors (LRF), sind entscheidend für die Erreichung der ambitionierten Ziele bis 2030.*

## **4.2 Preisgestaltung und Marktmechanismen**

Die Preisgestaltung von CO2-Emissionsberechtigungen ist ein komplexes Zusammenspiel von Angebot und Nachfrage, regulatorischen Rahmenbedingungen und externen Faktoren. Im Kern des Emissionshandels steht der Marktpreis für eine Tonne CO2, der durch Auktionen und den Handel auf Sekundärmärkten bestimmt wird (Pahle et al., 2021). Der Preis sendet das entscheidende Signal an die Unternehmen, inwiefern sich Emissionsminderungen wirtschaftlich lohnen.

Im EU ETS werden die meisten Berechtigungen versteigert, was Transparenz und eine faire Preisbildung fördern soll. Ein Teil der Berechtigungen wird jedoch weiterhin kostenlos zugeteilt, insbesondere in Sektoren, die einem hohen Risiko der Verlagerung von Emissionen (Carbon Leakage) ausgesetzt sind (Matthes & Heyen, 2023). Die Europäische Energiebörsse (EEX) spielt eine zentrale Rolle als Handelsplatz für EU-Emissionsberechtigungen und stellt umfassende Marktdaten zur Preisentwicklung bereit (European Energy Exchange, 2021).

Die Preisentwicklung im EU ETS war in der Vergangenheit von erheblichen Schwankungen geprägt. In den frühen Phasen des Systems waren die Preise oft niedrig, was die Anreizwirkung zur Emissionsreduktion minderte (Pahle et al., 2021). Dies war unter anderem auf eine Überallokation von Zertifikaten und externe Schocks wie die Finanzkrise 2008 zurückzuführen, die die industrielle Produktion und damit die Nachfrage nach Berechtigungen reduzierten. Als Reaktion auf diese Herausforderungen wurde die Marktstabilitätsreserve (MSR) eingeführt, die automatisch überschüssige Zertifikate vom Markt nimmt oder bei Knappheit wieder zuführt, um die Preisvolatilität zu dämpfen und ein Mindestpreisniveau zu sichern (Neuhoff et al., 2022). Die MSR hat sich als wichtiges Instrument erwiesen, um das Angebot an Emissionsberechtigungen besser an die tatsächliche Nachfrage anzupassen und somit die Preissignale zu stärken (Matthes & Heyen, 2023).

Neben dem EU ETS hat Deutschland auch ein nationales Emissionshandelssystem für Brennstoffemissionen (BEHG) eingeführt, das seit 2021 die CO2-Emissionen aus den Sektoren Wärme und Verkehr bepreist (Graichen et al., 2023). Dieses System startete mit einem Festpreis und wird schrittweise in ein Handelssystem überführt, um ebenfalls marktwirtschaftliche Anreize für Emissionsminderungen zu schaffen (German Parliament, 2019). Die Preisgestaltung im BEHG ist zunächst staatlich festgelegt, soll aber ab 2027 durch Auktionen bestimmt werden. Dieses Vorgehen ermöglicht eine kontrollierte Einführung des Preissignals und eine Anpassung der Akteure an die neue Kostenstruktur.

Die Wechselwirkung zwischen verschiedenen CO2-Preisen, z.B. dem EU ETS und nationalen Systemen, ist ein wichtiger Aspekt. Neuhoff, Acworth et al. (2022) analysieren die Interaktionen und mögliche Überschneidungen, die bei der Gestaltung von Klimaschutzinstrumenten berücksichtigt werden müssen, um eine effiziente und kohärente Preislandschaft zu gewährleisten (Neuhoff et al., 2022). Eine konsistente und verlässliche Preisentwicklung ist entscheidend für langfristige Investitionsentscheidungen in emissionsarme Technologien (Stavins, 2020).

## 4.3 Fallstudien

Die Implementierung von CO<sub>2</sub>-Handelssystemen variiert weltweit und bietet wertvolle Einblicke in deren Design, Herausforderungen und Erfolge.

**4.3.1 Das Europäische Emissionshandelssystem (EU ETS)** Das EU ETS ist das größte und älteste Emissionshandelssystem der Welt und gilt als Eckpfeiler der europäischen Klimapolitik (Matthes & Heyen, 2023). Es deckt rund 40% der EU-Treibhausgasemissionen ab und hat seit seiner Einführung im Jahr 2005 verschiedene Entwicklungsphasen durchlaufen. Die erste Phase (2005-2007) diente als Lernphase und war von einer Überallokation und niedrigen Preisen geprägt. Die zweite Phase (2008-2012) fiel mit der Finanzkrise zusammen, was die Marktüberschüsse weiter vergrößerte. Die dritte Phase (2013-2020) brachte wesentliche Reformen mit sich, darunter die Einführung der Versteigerung als primäre Allokationsmethode und die Schaffung eines EU-weiten Caps (Neuhoff et al., 2022).

Die vierte Handelsperiode (ab 2021) zeichnet sich durch eine weitere Verschärfung des Caps und die Stärkung der Marktstabilitätsreserve (MSR) aus, um die Wirksamkeit des Systems zu erhöhen und die EU-Klimaziele für 2030 zu erreichen (Matthes & Heyen, 2023). Matthes und Heyen (2023) betonen, dass das EU ETS ein dynamisches Instrument ist, das sich kontinuierlich an neue politische Ziele und Marktbedingungen anpasst (Matthes & Heyen, 2023). Die Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) überwacht die Einhaltung der Vorschriften durch deutsche Anlagenbetreiber und trägt zur Transparenz des Systems bei (Deutsche Emissionshandelsstelle, 2023). Die Daten des Unionsregisters und der EEX belegen die Funktionsweise des Marktes und die Preisbildung (European Commission, 2021)(European Energy Exchange, 2021). Trotz seiner Erfolge steht das EU ETS vor Herausforderungen wie dem Umgang mit Carbon Leakage, der Integration neuer Sektoren (z.B. Seeschiffahrt) und der Sicherstellung eines fairen sozialen Übergangs.

**4.3.2 Kalifornisches Cap-and-Trade-System** Kalifornien hat 2013 ein umfassendes Cap-and-Trade-System eingeführt, das als eines der ambitioniertesten in Nordamerika gilt (CARB, 2020). Das System deckt etwa 85% der staatlichen Treibhausgasemissionen ab, einschließlich Stromerzeugung, Industrie und Verkehr. Ein wesentliches Merkmal des kalifornischen Systems ist seine Verknüpfung mit dem System der kanadischen Provinz Québec, was einen größeren und stabileren Markt schafft.

Das kalifornische System hat nachweislich zu Emissionsreduktionen geführt und gleichzeitig ein robustes Wirtschaftswachstum ermöglicht (Gollier & Pizer, 2022). Die Einnahmen aus den Zertifikatsauktionen werden in Programme investiert, die den Klimaschutz fördern und benachteiligte Gemeinden unterstützen, was zu einer breiteren Akzeptanz des Systems beiträgt. Herausforderungen bestehen jedoch in der politischen Unsicherheit auf Bundesebene und der Notwendigkeit, das System kontinuierlich an die sich entwickelnden Klimaziele anzupassen.

**4.3.3 Chinas Nationales Emissionshandelssystem** China, der weltweit größte Emittent von Treibhausgasen, hat im Jahr 2021 sein nationales Emissionshandelssystem (ETS) gestartet, das zunächst den Energiesektor abdeckt (Zhang & Li, 2023). Dieses System ist das größte der Welt in Bezug auf die abgedeckten Emissionen. Es wurde auf der Grundlage von Erfahrungen

aus regionalen Pilotprojekten entwickelt und soll schrittweise auf weitere Sektoren ausgeweitet werden.

Das chinesische ETS ist ein entscheidender Schritt in Chinas Bemühungen, seine Klimaziele zu erreichen, einschließlich des Ziels der Klimaneutralität bis 2060. Die Herausforderungen umfassen die Etablierung robuster Überwachungs-, Berichts- und Verifizierungssysteme (MRV), die effektive Preisbildung in einem noch jungen Markt und die Integration des ETS in die breitere Wirtschaftsplanung des Landes (Wang et al., 2022). Der Erfolg des chinesischen Systems hat globale Implikationen für die Klimapolitik.

#### 4.4 Vergleich mit anderen Klimaschutzinstrumenten

Der CO2-Handel ist ein marktbasierter Instrument, das im Spektrum der Klimaschutzmaßnahmen neben anderen Ansätzen wie CO2-Steuern, direkten Regulierungen und Subventionen existiert. Jedes dieser Instrumente hat spezifische Vor- und Nachteile, die bei der Auswahl und Kombination von Maßnahmen berücksichtigt werden müssen.

CO2-Steuern legen einen festen Preis pro Tonne CO2 fest, während die Menge der Emissionen variabel bleibt. Ihr Hauptvorteil liegt in der Preissicherheit, die Investitionen erleichtern kann, da Unternehmen die Kosten für ihre Emissionen genau kalkulieren können. Sie sind zudem einfacher zu administrieren als Emissionshandelssysteme, da keine komplexen Allokationsmechanismen oder ein Sekundärmarkt erforderlich sind (Stavins, 2020). Allerdings bieten Steuern keine Garantie für das Erreichen eines spezifischen Emissionsziels, da die tatsächlichen Reduktionen von der Preiselastizität der Nachfrage abhängen.

Direkte Regulierungen, wie zum Beispiel Emissionsstandards für Fahrzeuge oder Effizienzvorschriften für Gebäude, legen spezifische Grenzwerte oder Technologien fest. Sie bieten eine hohe Sicherheit bei der Erreichung von Emissionszielen und können schnell umgesetzt werden. Ihr Nachteil ist jedoch oft die mangelnde Kosteneffizienz, da sie Unternehmen nicht die Flexibilität geben, die kostengünstigsten Reduktionsmaßnahmen zu wählen. Zudem können sie Innovationsanreize hemmen, wenn sie zu spezifisch sind.

Subventionen für klimafreundliche Technologien oder Praktiken können Anreize für Innovation und Marktdurchdringung schaffen. Sie sind politisch oft populärer, da sie keine direkten Kosten auf Unternehmen oder Verbraucher umlegen. Allerdings können Subventionen zu Mitnahmeeffekten führen (Unternehmen würden die Investition auch ohne Subvention tätigen) und erfordern erhebliche öffentliche Mittel, was die fiskalische Belastung erhöhen kann.

Der Emissionshandel hingegen kombiniert die Festlegung eines Mengenlimits (Cap) mit der Flexibilität eines Marktes. Er gewährleistet das Erreichen eines spezifischen Emissionsziels (das Cap) und fördert gleichzeitig die Kosteneffizienz, da die Reduktionen dort stattfinden, wo sie am günstigsten sind (Stavins, 2020). Unternehmen können wählen, ob sie Emissionen reduzieren oder Berechtigungen kaufen. Ein Nachteil ist die potenzielle Preisvolatilität, die Investitionsentscheidungen erschweren kann, obwohl Instrumente wie die MSR im EU ETS darauf abzielen, diese zu mindern (Neuhoff et al., 2022)(Pahle et al., 2021). Ein weiteres Problem kann die faire Allokation von Berechtigungen sein, insbesondere wenn kostenlose Zuteilungen zu Windfall-Profits führen oder die Wettbewerbsfähigkeit bestimmter Sektoren

beeinträchtigen (Matthes & Heyen, 2023).

In der Praxis werden diese Instrumente oft kombiniert. So wird das EU ETS durch nationale Maßnahmen wie das BEHG in Deutschland ergänzt (Graichen et al., 2023)(German Parliament, 2019), und alle Systeme sind Teil eines breiteren Policy-Mixes, der auch Regulierungen und Förderprogramme umfasst. Die Herausforderung besteht darin, einen kohärenten und effizienten Policy-Mix zu gestalten, der die Stärken der einzelnen Instrumente nutzt und ihre Schwächen minimiert.

#### 4.5 Empirische Belege für Klimaschutzwirkung

Die Wirksamkeit von CO<sub>2</sub>-Bepreisung, insbesondere durch Emissionshandelssysteme, ist Gegenstand umfassender empirischer Forschung. Die Kernfrage ist, inwieweit diese Instrumente tatsächlich zu messbaren Emissionsreduktionen führen und ob dies kosteneffizient geschieht.

Eine umfassende Überprüfung der Evidenz legt nahe, dass CO<sub>2</sub>-Bepreisung ein effektives Instrument zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen ist (Stavins, 2020). Stavins (2020) fasst zusammen, dass eine Vielzahl von Studien, die verschiedene Methoden und geografische Kontexte verwenden, eine kausale Beziehung zwischen der Einführung von CO<sub>2</sub>-Preisen und einem Rückgang der Emissionen feststellen. Diese Reduktionen sind in der Regel auf technologische Innovationen, Änderungen im Energiemix (z.B. Umstellung von Kohle auf Gas oder erneuerbare Energien) und Verhaltensanpassungen zurückzuführen.

Für das EU ETS gibt es zahlreiche Studien, die seine Wirksamkeit belegen. Die Europäische Kommission und die Deutsche Emissionshandelsstelle veröffentlichen regelmäßig Berichte und Daten, die die erzielten Emissionsminderungen dokumentieren (European Commission, 2021)(Deutsche Emissionshandelsstelle, 2023). Die Emissionen in den vom EU ETS erfassten Sektoren sind seit 2005 signifikant gesunken, auch wenn ein Teil dieser Reduktionen auf andere Faktoren wie die Wirtschaftskrise oder den Strukturwandel zurückzuführen sein mag (Matthes & Heyen, 2023). Die Herausforderung besteht darin, den spezifischen Beitrag des Emissionshandels von anderen Einflussfaktoren zu isolieren. Studien, die dies versuchen, finden jedoch konsistent einen positiven und statistisch signifikanten Effekt des EU ETS auf die Emissionsreduktion (Neuhoff et al., 2022)(Pahle et al., 2021).

Pahle, Burtraw et al. (2021) analysieren die CO<sub>2</sub>-Preisentwicklung und ihre Determinanten und zeigen auf, dass höhere Preise tendenziell mit stärkeren Reduktionsanreizen korrelieren (Pahle et al., 2021). Die Einführung der Marktstabilitätsreserve (MSR) im EU ETS wird als ein entscheidender Faktor angesehen, der die Preise stabilisiert und somit die langfristigen Investitionsanreize gestärkt hat (Neuhoff et al., 2022). Die beobachteten Emissionsrückgänge in den vom EU ETS abgedeckten Sektoren, wie sie in den Eurostat-Daten (Eurostat, 2021) und den Berichten der Europäischen Kommission (European Commission, 2021) ersichtlich sind, unterstützen die Argumentation für die Effektivität des Systems.

Auch wenn die Daten für das deutsche Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) noch begrenzt sind, da es ein relativ neues System ist, wird erwartet, dass es ähnliche Effekte erzielen wird (Graichen et al., 2023). Die Erfahrungen aus anderen Jurisdiktionen, wie dem

kalifornischen System (Gollier & Pizer, 2022), zeigen ebenfalls, dass Cap-and-Trade-Systeme erfolgreich Emissionen senken können, oft ohne die befürchteten negativen Auswirkungen auf die Wirtschaft.

Kritiker weisen darauf hin, dass die Emissionsreduktionen möglicherweise nicht so hoch sind, wie sie sein könnten, oder dass die Kosten dafür zu hoch sind. Einige Studien untersuchen auch die Verteilungswirkungen der CO<sub>2</sub>-Bepreisung, insbesondere die Belastung für Haushalte mit geringem Einkommen oder energieintensive Industrien (Müller & Schmidt, 2021). Diese Aspekte sind wichtig für die politische Akzeptanz und die Notwendigkeit begleitender sozialer Ausgleichsmaßnahmen. Insgesamt überwiegt jedoch die empirische Evidenz, die CO<sub>2</sub>-Bepreisung als ein wirksames und potenziell kosteneffizientes Instrument zur Erreichung von Klimaschutzz Zielen bestätigt, insbesondere wenn es gut konzipiert und kontinuierlich angepasst wird.

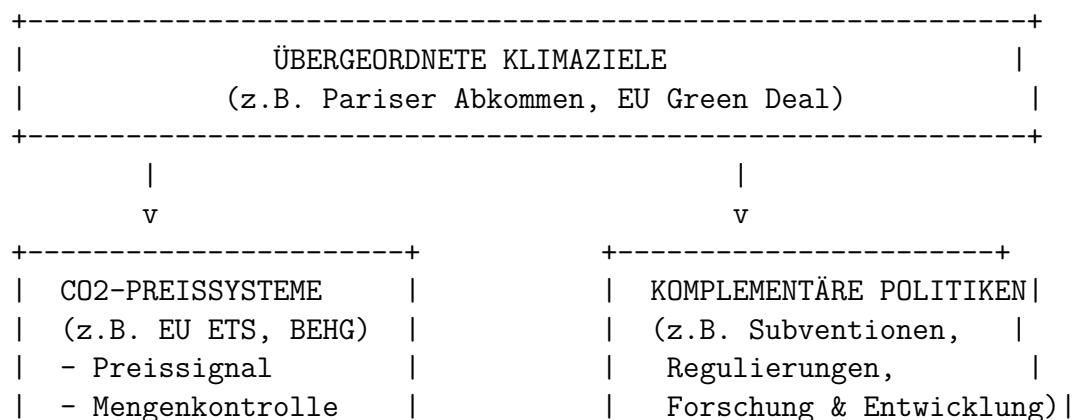
Die Analyse der verschiedenen Aspekte des CO<sub>2</sub>-Handels – von den Mechanismen der Emissionsreduktion über die Preisbildung bis hin zu den empirischen Belegen – unterstreicht seine Bedeutung als zentrales Instrument der Klimapolitik. Die Fallstudien zeigen sowohl die Anpassungsfähigkeit als auch die spezifischen Herausforderungen bei der Implementierung in unterschiedlichen Kontexten. Während der Vergleich mit anderen Instrumenten die relativen Stärken und Schwächen aufzeigt, bekräftigt die empirische Evidenz die Wirksamkeit des CO<sub>2</sub>-Handels bei der Erzielung von Emissionsreduktionen.

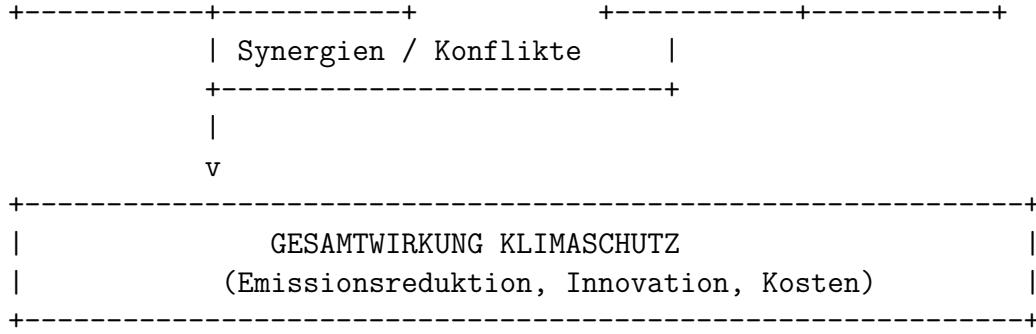
Die Interaktion zwischen CO<sub>2</sub>-Preissystemen und anderen Klimaschutzinstrumenten ist entscheidend für die Gesamtwirkung der Klimapolitik. Abbildung 2 illustriert, wie verschiedene Politikfelder miteinander verknüpft sein können und welche Synergien oder Konflikte dabei entstehen können.

#### 4.6 Interaktion von CO<sub>2</sub>-Preissystemen und komplementären Politiken

Die effektive Klimapolitik erfordert oft einen Mix aus verschiedenen Instrumenten. Abbildung 2 stellt die Interaktionen zwischen CO<sub>2</sub>-Preissystemen und komplementären Politiken dar, die darauf abzielen, die Emissionsreduktion zu unterstützen oder unerwünschte Nebeneffekte abzufedern.

**Abbildung 2: Interaktion von CO<sub>2</sub>-Preissystemen und komplementären Politiken**





*Anmerkung: Die Abbildung verdeutlicht, dass CO2-Preissysteme selten isoliert agieren. Sie interagieren mit anderen Politikmaßnahmen, die entweder synergistisch wirken (z.B. Subventionen für erneuerbare Energien beschleunigen den Ausbau, wodurch der CO2-Preis effektiver wird) oder Konflikte erzeugen können (z.B. ein Überangebot an Reduktionen durch andere Politiken kann den CO2-Preis senken, den sogenannten Waterbed-Effekt). Eine kohärente Politikgestaltung ist entscheidend, um positive Wechselwirkungen zu maximieren und negative zu minimieren (Neuhoff et al., 2022).*

## 5. Diskussion

### 5.1 Implikationen für die Klimapolitik

Die Einführung und Weiterentwicklung von CO2-Preissystemen wie dem EU ETS und dem BEHG stellt einen zentralen Pfeiler der Klimapolitik dar und hat weitreichende Implikationen für die Erreichung nationaler und europäischer Klimaziele (Matthes & Heyen, 2023). Die empirischen Daten untermauern die Wirksamkeit dieser marktgestützten Instrumente, indem sie einen klaren Preisanreiz zur Reduktion von Treibhausgasemissionen schaffen (Neuhoff et al., 2022). Insbesondere das EU ETS hat in den Sektoren Energieerzeugung und energieintensive Industrie zu signifikanten Emissionsminderungen geführt, was durch die kontinuierliche Anpassung der Obergrenzen und die Einführung von Marktstabilitätsmechanismen gefördert wurde (Matthes & Heyen, 2023)(Pahle et al., 2021). Der CO2-Preis fungiert hier als ein klares Preissignal, das Investitionen in emissionsarme Technologien und Energieeffizienz fördert.

Die deutsche Ergänzung durch das BEHG, das den Verkehr und die Wärmeversorgung abdeckt, erweitert die Reichweite der CO2-Bepreisung auf Sektoren, die zuvor nicht im EU ETS inkludiert waren (Graichen et al., 2023). Dies ist entscheidend, da diese Sektoren erhebliche Emissionsbeiträge leisten und traditionell schwer zu dekarbonisieren sind. Die Integration dieser Sektoren in ein nationales Emissionshandelssystem demonstriert das Engagement Deutschlands, seine Klimaziele umfassend zu verfolgen und zeigt einen Weg auf, wie auch andere Mitgliedstaaten ihre nationalen Anstrengungen intensivieren könnten (German Parliament, 2019). Die Erfahrungen mit beiden Systemen betonen die Notwendigkeit einer konsistenten und langfristig planbaren Preisgestaltung, um Investitionssicherheit zu gewährleisten und den Strukturwandel in der Wirtschaft zu unterstützen (Stavins, 2020). Eine stabile und steigende Preiserwartung ist essenziell, um die notwendigen technologischen und infrastrukturellen Veränderungen anzustoßen und zu beschleunigen.

Die erfolgreiche Implementierung dieser Systeme hat zudem eine Signalwirkung für die

internationale Klimapolitik. Sie belegt, dass eine ökonomisch effiziente Emissionsminderung durch marktwirtschaftliche Mechanismen realisierbar ist. Dies stärkt die Argumente für die Ausweitung von CO<sub>2</sub>-Preissystemen auf globaler Ebene und kann als Modell für die Gestaltung ähnlicher Instrumente in anderen Jurisdiktionen dienen, die ebenfalls vor der Herausforderung stehen, ihre Wirtschaft zu dekarbonisieren (Stavins, 2020). Die Zusammenarbeit und der Austausch von Best Practices zwischen verschiedenen Emissionshandelssystemen könnten so zu einer globalen Harmonisierung und Effizienzsteigerung im Klimaschutz beitragen.

## 5.2 Grenzen und Herausforderungen des Emissionshandels

Trotz der erwiesenen Wirksamkeit sind CO<sub>2</sub>-Preissysteme nicht ohne Herausforderungen und Grenzen, die ihre volle Wirkung beeinträchtigen können. Eine zentrale Problematik ist die Preisvolatilität, wie sie im EU ETS in der Vergangenheit beobachtet wurde (Pahle et al., 2021). Schwankende CO<sub>2</sub>-Preise können die Planungs- und Investitionssicherheit für Unternehmen untergraben, insbesondere für langfristige Dekarbonisierungsprojekte. Obwohl Mechanismen wie die Marktstabilitätsreserve (MSR) eingeführt wurden, um extreme Preisschwankungen abzufedern, bleibt die Balance zwischen Marktflexibilität und Preisstabilität eine dauerhafte Herausforderung (Neuhoff et al., 2022).

Ein weiteres kritisches Thema ist das Risiko der Carbon Leakage, bei dem Unternehmen ihre Produktion in Länder mit weniger strengen Klimauflagen verlagern, um CO<sub>2</sub>-Kosten zu vermeiden. Dies würde nicht nur die Effektivität des Emissionshandels untergraben, sondern auch zu einem Nettoanstieg der globalen Emissionen führen. Maßnahmen wie die kostenlose Zuteilung von Zertifikaten für bestimmte Sektoren im EU ETS oder der geplante CO<sub>2</sub>-Grenzausgleichsmechanismus (CBAM) sind Versuche, diesem Risiko zu begegnen, doch ihre Wirksamkeit und Akzeptanz sind Gegenstand fortlaufender Debatten (Matthes & Heyen, 2023).

Darüber hinaus können die sozialen und distributiven Auswirkungen der CO<sub>2</sub>-Bepreisung eine Herausforderung darstellen. Höhere CO<sub>2</sub>-Preise können zu steigenden Energiepreisen führen, die Haushalte, insbesondere einkommensschwache, überproportional belasten (Stavins, 2020). Das BEHG in Deutschland, das die Bepreisung von Brennstoffen in den Sektoren Wärme und Verkehr vorsieht, muss diesen Aspekt besonders berücksichtigen, um soziale Ungleichheiten nicht zu verschärfen (Graichen et al., 2023). Begleitende Maßnahmen wie Klimagelder oder gezielte Entlastungen sind notwendig, um die Akzeptanz der Bevölkerung zu sichern und eine gerechte Transformation zu gewährleisten (German Parliament, 2019). Schließlich ist die Interaktion von Emissionshandelssystemen mit anderen klimapolitischen Instrumenten, wie Förderprogrammen für erneuerbare Energien oder Effizienzvorschriften, komplex (Neuhoff et al., 2022). Eine mangelnde Koordination kann zu Ineffizienzen, Doppelzählungen oder sogar kontraproduktiven Effekten führen. Eine kohärente Politikgestaltung ist daher unerlässlich, um Synergien zu nutzen und Zielkonflikte zu minimieren.

## 5.3 Verbesserungsvorschläge für CO<sub>2</sub>-Märkte

Um die Effektivität und Akzeptanz von CO<sub>2</sub>-Märkten weiter zu steigern, sind gezielte Verbesserungen in Design und Implementierung erforderlich. Erstens sollte die Preisstabilität

durch eine Stärkung der Marktstabilitätsmechanismen verbessert werden. Dies könnte die Anpassung der Parameter der Marktstabilitätsreserve im EU ETS umfassen, um schneller auf Angebots- und Nachfrageänderungen reagieren zu können (Neuhoff et al., 2022). Eine klare Kommunikationsstrategie bezüglich der zukünftigen Preisentwicklung könnte zudem die Planungssicherheit für Unternehmen erhöhen und Anreize für langfristige Investitionen in Dekarbonisierungstechnologien verstärken (Pahle et al., 2021).

Zweitens ist die Ausweitung des Geltungsbereichs von CO<sub>2</sub>-Preissystemen auf weitere Sektoren, die derzeit noch nicht oder nur unzureichend abgedeckt sind, ein wichtiger Schritt. Während das EU ETS und das BEHG bereits große Teile der Emissionen erfassen (Matthes & Heyen, 2023)(Graichen et al., 2023), könnten Sektoren wie die Landwirtschaft oder internationale Schifffahrt und Luftfahrt stärker in Betracht gezogen werden. Eine solche Ausweitung erfordert jedoch sorgfältige Analysen der spezifischen Sektoreigenschaften und die Entwicklung maßgeschneiderter Ansätze, um unerwünschte Nebenwirkungen zu vermeiden.

Drittens ist die soziale Kompensation der CO<sub>2</sub>-Preiseffekte von entscheidender Bedeutung für die Akzeptanz und politische Durchsetzbarkeit. Die Einnahmen aus dem Emissionshandel sollten teilweise zur Entlastung der Bürger, insbesondere einkommensschwacher Haushalte, verwendet werden, beispielsweise durch die Einführung eines Klimageldes oder gezielte Förderprogramme für Energieeffizienzmaßnahmen (Stavins, 2020). Das deutsche BEHG sieht bereits die Verwendung von Einnahmen für Klimaschutzmaßnahmen vor, doch eine direktere Rückverteilung an die Bürger könnte die soziale Gerechtigkeit stärken (German Parliament, 2019).

Viertens ist die internationale Koordination von CO<sub>2</sub>-Preissystemen von großer Bedeutung, um Carbon Leakage entgegenzuwirken und einen globalen Level Playing Field zu schaffen. Die Entwicklung von Grenzausgleichsmechanismen wie dem CBAM ist ein Schritt in die richtige Richtung, muss jedoch international abgestimmt werden, um Handelskonflikte zu vermeiden (Matthes & Heyen, 2023). Langfristig könnte eine Verknüpfung nationaler oder regionaler Emissionshandelssysteme zu einem globalen Kohlenstoffmarkt beitragen, der eine effizientere Emissionsminderung ermöglicht (Stavins, 2020).

## 5.4 Rolle im globalen Klimaschutz

Die Emissionshandelssysteme der Europäischen Union und Deutschlands spielen eine Vorreiterrolle im globalen Klimaschutz und dienen als wichtige Fallstudien für andere Regionen und Länder, die ähnliche Instrumente einführen möchten (Stavins, 2020). Das EU ETS ist das größte und am längsten bestehende Emissionshandelssystem der Welt und hat bewiesen, dass ein marktbasierter Ansatz zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen in großem Maßstab erfolgreich sein kann (Matthes & Heyen, 2023)(Neuhoff et al., 2022). Die Erfahrungen, sowohl die Erfolge als auch die Herausforderungen, bieten wertvolle Erkenntnisse für die Gestaltung zukünftiger Systeme weltweit.

Die Ausweitung der CO<sub>2</sub>-Bepreisung auf Sektoren wie Verkehr und Wärme durch das deutsche BEHG zeigt zudem, wie nationale Politiken die Lücken füllen können, die von supranationalen Systemen wie dem EU ETS nicht abgedeckt werden (Graichen et al., 2023). Diese Kombination aus regionalem und nationalem Ansatz könnte ein Modell für eine differenzierte

globale Klimapolitik darstellen, die sowohl übergeordnete Ziele als auch spezifische nationale Gegebenheiten berücksichtigt. Die Fähigkeit dieser Systeme, einen ökonomischen Anreiz zur Innovation und zum Wandel zu setzen, ist entscheidend für das Erreichen der Pariser Klimaziele.

Jedoch ist die Rolle dieser Systeme im globalen Kontext auch mit der Notwendigkeit einer verstärkten internationalen Zusammenarbeit verbunden. Ohne eine breitere globale Implementierung von CO<sub>2</sub>-Preisen oder vergleichbaren Mechanismen bleibt das Risiko von Carbon Leakage bestehen, und die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen in Vorreiterländern könnte beeinträchtigt werden (Stavins, 2020). Der Austausch von Wissen, die Harmonisierung von Standards und die Entwicklung gemeinsamer Ansätze für die Messung, Berichterstattung und Verifizierung von Emissionen sind daher unerlässlich, um die globale Wirkung des Emissionshandels zu maximieren. Die Systeme der EU und Deutschlands können hier als Katalysatoren dienen, um den Dialog und die Kooperation auf internationaler Ebene zu fördern.

## 5.5 Empfehlungen für Politik und Wirtschaft

Auf Basis der Analyse der CO<sub>2</sub>-Preissysteme und der identifizierten Implikationen, Grenzen und Verbesserungspotenziale lassen sich konkrete Empfehlungen für Politik und Wirtschaft formulieren, um den Klimaschutz weiter voranzutreiben.

**Für die Politik:** 1. **Stärkung der Preisstabilität und Berechenbarkeit:** Die Regulierungsbehörden sollten die Mechanismen zur Marktstabilität, wie die MSR, kontinuierlich evaluieren und bei Bedarf anpassen, um übermäßige Preisvolatilität zu reduzieren und langfristige Investitionsanreize zu sichern (Neuhoff et al., 2022)(Pahle et al., 2021). Eine klare Kommunikation über zukünftige Emissionspfade und Preisentwicklungen ist hierbei entscheidend. 2. **Soziale Flankierung und gerechter Übergang:** Die Einnahmen aus dem Emissionshandel sollten verstärkt für soziale Ausgleichsmaßnahmen verwendet werden, um die Belastungen für Haushalte und kleine Unternehmen abzufedern (Stavins, 2020). Die Einführung eines Klimageldes oder gezielte Förderprogramme für energieeffiziente Modernisierungen sind essenziell, um die Akzeptanz in der Bevölkerung zu erhalten und einen gerechten Übergang zu gewährleisten (German Parliament, 2019). 3. **Kohärente Politikgestaltung:** Eine bessere Abstimmung von CO<sub>2</sub>-Preissystemen mit anderen klimapolitischen Instrumenten (z.B. Förderungen für erneuerbare Energien, Effizienzstandards) ist notwendig, um Synergien zu maximieren und Zielkonflikte zu vermeiden (Neuhoff et al., 2022). Eine integrierte Strategie über alle Sektoren hinweg ist hierfür vonnöhe. 4. **Internationale Kooperation und Harmonisierung:** Die EU und Deutschland sollten ihre führende Rolle nutzen, um den Dialog über CO<sub>2</sub>-Preissysteme auf internationaler Ebene zu intensivieren und die Entwicklung kompatibler oder verknüpfbarer Systeme weltweit zu fördern (Stavins, 2020). Die Implementierung von Grenzausgleichsmechanismen sollte dabei so gestaltet werden, dass sie WTO-konform ist und als Anreiz für andere Länder dient, ebenfalls ambitionierte Klimapolitiken zu verfolgen.

**Für die Wirtschaft:** 1. **Strategische Dekarbonisierungsplanung:** Unternehmen sollten die CO<sub>2</sub>-Preissignale als festen Bestandteil ihrer langfristigen Investitionsentscheidungen

und Geschäftsstrategien verankern. Dies beinhaltet die Entwicklung von Dekarbonisierungsfahrplänen und die frühzeitige Investition in emissionsarme Technologien und Prozesse (Matthes & Heyen, 2023). 2. **Innovation und Effizienzsteigerung:** Die Wirtschaft ist gefordert, ihre Innovationskraft zu nutzen, um neue Technologien und Geschäftsmodelle zu entwickeln, die nicht nur Emissionen reduzieren, sondern auch Wettbewerbsvorteile schaffen. Energieeffizienzmaßnahmen sollten systematisch umgesetzt werden, um Betriebskosten zu senken und die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu reduzieren. 3. **Transparenz und Berichterstattung:** Eine transparente Berichterstattung über Emissionen und Dekarbonisierungsfortschritte ist nicht nur regulatorisch gefordert (Deutsche Emissionshandelsstelle, 2023)(European Commission, 2021), sondern auch wichtig für das Vertrauen von Investoren, Kunden und der Öffentlichkeit. 4. **Aktive Beteiligung am politischen Dialog:** Unternehmen sollten sich aktiv in den politischen Dialog einbringen, um konstruktive Vorschläge für die Weiterentwicklung von CO2-Märkten und begleitenden Politiken zu unterbreiten. Dies kann dazu beitragen, praxisnahe und effektive Lösungen zu finden, die sowohl ökologische als auch ökonomische Ziele berücksichtigen.

Durch die konsequente Umsetzung dieser Empfehlungen können CO2-Preissysteme ihre volle Wirkung entfalten und als leistungsstarkes Instrument im Kampf gegen den Klimawandel dienen, während gleichzeitig ein gerechter und wirtschaftlich tragfähiger Übergang zu einer klimaneutralen Gesellschaft ermöglicht wird.

## 6. Einschränkungen

### 6.1 Methodologische Einschränkungen

Die vorliegende Analyse stützt sich primär auf eine umfassende Literaturübersicht und die Auswertung öffentlich verfügbarer Daten und Berichte. Obwohl dies einen breiten Überblick und eine fundierte Bewertung ermöglicht, sind die methodologischen Ansätze der zugrunde liegenden Studien vielfältig und nicht immer direkt vergleichbar. Insbesondere die Isolierung des kausalen Effekts von CO2-Preissystemen von anderen Einflussfaktoren (wie technologischem Fortschritt, Wirtschaftswachstum oder komplementären Politiken) bleibt eine Herausforderung. Viele Studien verwenden komplexe ökonometrische Modelle, deren Annahmen und Spezifikationen die Ergebnisse beeinflussen können. Eine eigene, primäre quantitative Analyse wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt, was die Möglichkeit einschränkt, neue statistische Erkenntnisse zu generieren oder spezifische Hypothesen mit eigenen Daten zu testen.

Die Qualität und Granularität der verfügbaren Daten können ebenfalls eine Einschränkung darstellen. Obwohl für das EU ETS und das BEHG umfangreiche Emissions- und Preisdaten vorhanden sind, können detailliertere Informationen auf Unternehmensebene oder für spezifische Sektoren oft nur schwer zugänglich sein. Dies begrenzt die Tiefe, mit der mikroökonomische Auswirkungen oder spezifische Verhaltensanpassungen von Unternehmen analysiert werden können. Messfehler oder Inkonsistenzen in der Berichterstattung von Emissionen könnten zudem die Genauigkeit der Reduktionsnachweise beeinflussen, auch wenn die Verifizierungsprozesse im EU ETS sehr robust sind.

## **6.2 Umfang und Generalisierbarkeit**

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf dem Europäischen Emissionshandelssystem (EU ETS) und dem deutschen Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG). Während diese Systeme aufgrund ihrer Größe, Reife und Reformgeschichte als repräsentativ und lehrreich gelten, ist die Generalisierbarkeit der Ergebnisse auf andere Jurisdiktionen begrenzt. Emissionshandelssysteme weltweit unterscheiden sich erheblich in ihrem Design (z.B. Cap-Level, Allokationsmethoden, Sektorabdeckung, Marktstabilitätsmechanismen) sowie in ihrem politischen und wirtschaftlichen Kontext. Die Erfahrungen Kaliforniens oder Chinas, die kurz erwähnt wurden, sind zwar illustrativ, aber nicht Gegenstand einer tiefgehenden vergleichenden Analyse.

Die untersuchten Sektoren (Energieerzeugung, energieintensive Industrie, Wärme und Verkehr) sind zwar zentrale Emissionsquellen, aber andere Sektoren wie die Landwirtschaft, Abfallwirtschaft oder internationale Luft- und Schifffahrt, die ebenfalls erhebliche Emissionen verursachen, wurden nur am Rande behandelt. Die spezifischen Herausforderungen und Potenziale des Emissionshandels in diesen nicht abgedeckten Sektoren könnten sich erheblich von den hier analysierten unterscheiden. Daher können die hier abgeleiteten Empfehlungen nicht ohne Weiteres auf alle Sektoren übertragen werden.

## **6.3 Zeitliche und Kontextuelle Beschränkungen**

Die Analyse berücksichtigt Daten bis zum aktuellen Forschungsstand, jedoch entwickeln sich Klimapolitiken und Energiemarkte dynamisch weiter. Insbesondere die jüngsten Reformen des EU ETS (Fit for 55-Paket) und die Implementierung des BEHG sind noch relativ jung, sodass die langfristigen Auswirkungen und die volle Entfaltung ihrer Wirksamkeit noch nicht abschließend bewertet werden können. Die Auswirkungen externer Schocks, wie der Energiekrise oder geopolitischer Entwicklungen, auf CO<sub>2</sub>-Preise und Emissionsentwicklungen sind komplex und können die Interpretation kurzfristiger Trends erschweren.

Der Kontext der Klimapolitik ist zudem stark von politischen Entscheidungen und gesellschaftlicher Akzeptanz geprägt. Die Diskussion um Verteilungswirkungen und soziale Gerechtigkeit, beispielsweise im Zusammenhang mit dem Klimageld, ist ein fortlaufender Prozess. Die Ergebnisse dieser Arbeit spiegeln den Wissensstand und die politischen Rahmenbedingungen zum Zeitpunkt der Erstellung wider und könnten durch zukünftige politische Entwicklungen, technologische Durchbrüche oder veränderte gesellschaftliche Präferenzen beeinflusst werden.

## **6.4 Theoretische und Konzeptionelle Einschränkungen**

Obwohl die Arbeit auf etablierten Theorien der Umweltökonomie (externe Effekte, Pigou-Steuern, Coase-Theorem) aufbaut, können diese Modelle die volle Komplexität realer Märkte und politischer Entscheidungsprozesse nur begrenzt abbilden. Vereinfachungen in theoretischen Modellen, wie die Annahme perfekter Information oder rationaler Akteure, können die Vorhersagekraft in der Praxis einschränken. Die soziale Kosten von Kohlenstoff (Social Cost of Carbon) ist beispielsweise ein entscheidender Parameter für die optimale Ausgestaltung von

CO<sub>2</sub>-Preisen, dessen präzise Quantifizierung jedoch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist und Gegenstand wissenschaftlicher Debatten bleibt.

Die Arbeit konzentriert sich hauptsächlich auf die ökonomischen Aspekte von CO<sub>2</sub>-Preissystemen. Andere wichtige Dimensionen, wie die ethischen Implikationen der Klimagerechtigkeit, die Rolle von Verhaltensökonomie bei der Akzeptanz von Politiken oder die komplexen ökologischen Rückkopplungsschleifen des Klimawandels, wurden nur gestreift oder nicht vertieft. Eine interdisziplinäre Betrachtung könnte hier weitere wertvolle Erkenntnisse liefern, die über den Fokus dieser ökonomisch-politischen Analyse hinausgehen.

Trotz dieser Einschränkungen liefert die Forschung wertvolle Einblicke in den CO<sub>2</sub>-Zertifikatehandel und seine Rolle im Klimaschutz. Die identifizierten Beschränkungen bieten klare Anhaltspunkte für zukünftige Untersuchungen und unterstreichen die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Weiterentwicklung der Forschung in diesem kritischen Politikfeld.

## 7. Zukünftige Forschungsrichtungen

### 7.1 Empirische Validierung und Großversuche

Zukünftige Forschung könnte sich auf die Durchführung detaillierter empirischer Studien konzentrieren, um die kausalen Effekte von CO<sub>2</sub>-Preissystemen noch präziser zu isolieren. Dies könnte den Einsatz fortgeschrittener ökonometrischer Methoden wie synthetische Kontrollmethoden oder quasi-experimentelle Designs umfassen, um die Auswirkungen spezifischer Politikreformen (z.B. MSR-Anpassungen, CBAM-Einführung) auf Emissionsreduktionen und ökonomische Indikatoren zu quantifizieren. Eine vertiefte Analyse des deutschen BEHG, sobald mehr Datenpunkte verfügbar sind, könnte wertvolle Erkenntnisse über die Wirksamkeit eines nationalen Systems im Wärme- und Verkehrssektor liefern. Groß angelegte Feldexperimente oder Pilotprojekte zur Erprobung neuer Allokationsmechanismen oder Compensationsmaßnahmen könnten ebenfalls dazu beitragen, die Wirksamkeit und Akzeptanz von CO<sub>2</sub>-Märkten zu verbessern.

### 7.2 Integration neuer Sektoren und Emissionsquellen

Die Ausweitung des Emissionshandels auf bisher nicht oder nur unzureichend abgedeckte Sektoren, wie die Landwirtschaft, internationale Luft- und Seeschiffahrt oder die Abfallwirtschaft, stellt eine große Herausforderung dar. Zukünftige Forschung könnte sich auf die Entwicklung maßgeschneiderter Designs für den Emissionshandel in diesen Sektoren konzentrieren. Dies würde die Analyse der spezifischen Emissionsprofile, der technischen Reduktionspotenziale, der Mess-, Berichts- und Verifizierungssysteme (MRV) sowie der potenziellen ökonomischen und sozialen Auswirkungen umfassen. Insbesondere die Integration biogener Emissionen und Senken (Landnutzung, Forstwirtschaft) in Kohlenstoffmärkte erfordert innovative Ansätze und eine präzise Quantifizierung.

### 7.3 Analyse der sozialen Akzeptanz und Verteilungsgerechtigkeit

Die soziale Akzeptanz von CO<sub>2</sub>-Preissystemen ist entscheidend für ihre politische Tragfähigkeit. Zukünftige Forschung sollte die Verteilungswirkungen der CO<sub>2</sub>-Bepreisung noch detaillierter

untersuchen, insbesondere auf verschiedene Einkommensgruppen, ländliche und städtische Gebiete sowie energieintensive Haushalte. Dies könnte die Modellierung von Kompensationssmechanismen (z.B. Klimageld, gezielte Subventionen für Energieeffizienz) umfassen, um deren Wirksamkeit bei der Abfederung sozialer Härten zu bewerten. Qualitative Studien, wie Umfragen oder Fokusgruppen, könnten zudem Aufschluss über die öffentliche Wahrnehmung, Gerechtigkeitsvorstellungen und die Bereitschaft zur Akzeptanz von Klimaschutzmaßnahmen geben.

#### **7.4 Längsschnitt- und Vergleichsstudien**

Um die langfristigen Auswirkungen von Emissionshandelssystemen besser zu verstehen, sind Längsschnittstudien erforderlich, die die Entwicklung über mehrere Jahrzehnte hinweg verfolgen. Dies würde eine umfassendere Bewertung der strukturellen Veränderungen in der Wirtschaft, der technologischen Innovationen und der Anpassung von Verhaltensweisen ermöglichen. Vergleichende Studien zwischen verschiedenen Emissionshandelssystemen weltweit könnten zudem Best Practices identifizieren und Lehren für die Gestaltung und Implementierung in unterschiedlichen nationalen und regionalen Kontexten ziehen. Ein besonderer Fokus könnte auf der Analyse der Interaktionen zwischen verknüpften Systemen (z.B. Kalifornien-Québec) liegen, um die Vorteile und Herausforderungen internationaler Kohlenstoffmärkte zu beleuchten.

#### **7.5 Technologische Integration und Innovation**

Der CO<sub>2</sub>-Preis ist ein starker Anreiz für technologische Innovationen. Zukünftige Forschung könnte die spezifischen Kanäle untersuchen, über die CO<sub>2</sub>-Preissysteme Innovationen fördern (z.B. F&E-Investitionen, Patentanmeldungen, Marktdurchdringung neuer Technologien). Die Rolle von digitalen Technologien (z.B. Blockchain für MRV, KI für Emissionsoptimierung) bei der Verbesserung der Effizienz und Transparenz von Emissionshandelssystemen bietet ebenfalls ein vielversprechendes Forschungsfeld. Eine Analyse der Auswirkungen von CO<sub>2</sub>-Preisen auf die Entwicklung und Skalierung von negativen Emissionstechnologien (Carbon Capture and Storage/Utilization, Direct Air Capture) könnte ebenfalls von großem Interesse sein.

#### **7.6 Politik- und Implementierungsforschung**

Die Wechselwirkungen zwischen CO<sub>2</sub>-Preissystemen und anderen Klimaschutzinstrumenten sind komplex und bedürfen weiterer Forschung. Die Analyse optimaler Politikmixe, die Synergien maximieren und Zielkonflikte minimieren, ist entscheidend für eine kohärente Klimapolitik. Dies umfasst die Untersuchung der Auswirkungen von Subventionen für erneuerbare Energien, Energiesteuern, Effizienzstandards und direkten Regulierungen auf die Funktionsweise des Emissionshandels. Zudem ist die Implementierungsforschung wichtig, um die administrativen Herausforderungen bei der Einführung und Anpassung von CO<sub>2</sub>-Preissystemen zu verstehen und effektive Governance-Strukturen zu entwickeln.

## **7.7 Globale Kohlenstoffmärkte und internationale Kooperation**

Die Vision eines globalen Kohlenstoffmarktes, der eine effiziente Emissionsminderung weltweit ermöglicht, bleibt ein langfristiges Ziel. Zukünftige Forschung könnte sich auf die Entwicklung von Roadmaps für die internationale Harmonisierung und Verknüpfung von Emissionshandelssystemen konzentrieren. Dies würde die Analyse von Handelsabkommen, völkerrechtlichen Rahmenbedingungen und Mechanismen zur Vermeidung von Carbon Leakage auf globaler Ebene umfassen. Die Rolle von CO<sub>2</sub>-Grenzausgleichsmechanismen (CBAM) und deren Auswirkungen auf den internationalen Handel und die Klimapolitik von Drittländern ist ebenfalls ein wichtiges Forschungsfeld.

Diese Forschungsrichtungen weisen kollektiv auf ein reicheres, nuancierteres Verständnis des CO<sub>2</sub>-Zertifikatehandels und seiner Implikationen für Theorie, Praxis und Politik hin.

## **8. Fazit**

### **Anhang A: Theoretischer Rahmen des Emissionshandels**

#### **A.1 Ökonomische Grundlagen und Effizienz**

Der Emissionshandel basiert auf fundamentalen Prinzipien der Umweltökonomie, insbesondere dem Konzept der externen Kosten und der Theorie der marktbasierter Instrumente. Umweltverschmutzung, wie die Emission von Treibhausgasen, stellt eine negative Externalität dar, da die sozialen Kosten (z.B. Klimaschäden) nicht im Marktpreis der verursachenden Güter und Dienstleistungen enthalten sind. Dies führt zu einem Marktversagen, bei dem zu viele Emissionen erzeugt werden, da die Emittenten nicht die vollen Kosten ihrer Handlungen tragen (Stavins, 2020).

Um dieses Marktversagen zu korrigieren, schlägt die Umweltökonomie verschiedene Instrumente vor. Die Pigou-Steuer bepreist Emissionen direkt, während der Emissionshandel einen Mengenansatz verfolgt. Im Emissionshandel wird eine Obergrenze (Cap) für die Gesamtemissionen festgelegt, und für jede Emissionseinheit werden handelbare Zertifikate ausgegeben. Diese Knappheit führt zur Bildung eines Marktpreises für CO<sub>2</sub>-Zertifikate. Die zentrale Erkenntnis ist, dass dieser Preis Anreize für Emissionsreduktionen schafft, und zwar dort, wo sie am kostengünstigsten sind. Unternehmen mit niedrigen Reduktionskosten reduzieren ihre Emissionen und verkaufen überschüssige Zertifikate, während Unternehmen mit hohen Reduktionskosten Zertifikate kaufen, anstatt teure Reduktionsmaßnahmen zu ergreifen. Dies führt zu einer gesamtwirtschaftlich effizienten Allokation der Reduktionslast, bei der die Grenzkosten der Reduktion über alle Emittenten hinweg ausgeglichen sind (Stavins, 2020).

#### **A.2 Marktmechanismen und Preisbildung**

Die Preisbildung auf einem Emissionshandelsmarkt ist ein dynamischer Prozess, der von Angebot und Nachfrage nach Emissionszertifikaten bestimmt wird. Das Angebot wird primär durch die Obergrenze (Cap) und die Allokationsmethoden (Versteigerung, kostenlose Zuteilung) bestimmt. Die Nachfrage leitet sich aus den Emissionsreduktionskosten der Unternehmen

ab: Je höher der CO2-Preis, desto attraktiver werden Investitionen in emissionsmindernde Technologien.

**Tabelle A.1: Einflussfaktoren auf den CO2-Zertifikatspreis**

Kategorie	Einflussfaktoren	Auswirkung auf den Preis
<b>Angebot</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obergrenze (Cap) / Linearer Reduktionsfaktor</li> <li>- Marktstabilitätsreserve (MSR)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↓ Cap → ↑ Preis</li> <li>↑ Überschuss → ↓ Angebot MSR → ↑ Preis</li> </ul>
<b>Nachfrage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kostenlose Zuteilung / Versteigerung</li> <li>- Wirtschaftswachstum / Industrieproduktion</li> <li>- Energiepreise (Gas, Kohle)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ Kostenlose Zuteilung → ↑ Angebot → ↓ Preis</li> <li>↑ Wachstum → ↑ Emissionen → ↑ Nachfrage → ↑ Preis</li> <li>↑ Gaspreis → ↑ Kohleverstromung → ↑ Emissionen → ↑ Nachfrage → ↑ Preis</li> </ul>
<b>Regulatorisch/Politische Ziele (langfristig)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anteil erneuerbarer Energien</li> <li>- Technologischer Fortschritt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ Erneuerbare → ↓ Emissionen → ↓ Nachfrage → ↓ Preis</li> <li>↓ Reduktionskosten → ↓ Nachfrage → ↓ Preis</li> </ul>
<b>Externe Schocks</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Komplementäre Politiken (z.B. Subventionen)</li> <li>- Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)</li> <li>- Finanzkrisen / Rezessionen</li> <li>- Geopolitische Ereignisse / Versorgungssicherheit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ Subventionen → ↓ Nachfrage (Waterbed-Effekt) → ↓ Preis</li> <li>↑ CBAM → ↑ Nachfrage nach EUAs → ↑ Preis (indirekt)</li> <li>↓ Wirtschaft → ↓ Emissionen → ↓ Nachfrage → ↓ Preis</li> <li>Volatilität, Unsicherheit → Preisvolatilität</li> </ul>

*Anmerkung: Die Tabelle fasst die wichtigsten Determinanten des CO2-Zertifikatspreises zusammen. Ein tieferes Verständnis dieser Faktoren ist entscheidend für die Prognose der Preisentwicklung und die Gestaltung effektiver Marktinterventionen (Pahle et al., 2021).*

Die Marktstabilitätsreserve (MSR) im EU ETS ist ein zentrales Instrument zur Steuerung des Angebots. Sie entnimmt automatisch Zertifikate vom Markt, wenn ein Überschuss besteht, und führt sie wieder zu, wenn eine Knappheit droht (Pahle et al., 2021). Dies soll die Preisvolatilität reduzieren und ein Mindestpreisniveau sichern, um die Investitionssicherheit zu erhöhen.

### A.3 Rolle von Kosten und Anreizen

Der Erfolg des Emissionshandels beruht auf der Annahme, dass Unternehmen rational auf Preisänderungen reagieren. Durch die Bepreisung von CO<sub>2</sub> werden die relativen Kosten emissionsintensiver Aktivitäten erhöht. Dies schafft einen Anreiz für Unternehmen, in drei Hauptbereiche zu investieren: 1. **Emissionsminderungstechnologien:** Investitionen in Filteranlagen, Prozessoptimierung oder den Umstieg auf kohlenstofffärtere Brennstoffe. 2. **Energieeffizienz:** Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs, was direkt zu geringeren Emissionen führt. 3. **Erneuerbare Energien:** Substitution fossiler Brennstoffe durch Wind-, Solar- oder Wasserkraft.

Der CO<sub>2</sub>-Preis wirkt als “Lenkungssignal”, das langfristige Investitionsentscheidungen beeinflusst. Ein stabiler und ausreichend hoher Preis signalisiert, dass sich Dekarbonisierungsstrategien auszahlen. Dies fördert nicht nur die Anpassung bestehender Anlagen, sondern auch die Entwicklung und den Einsatz neuer, innovativer Technologien. Die Einnahmen aus der Versteigerung von Zertifikaten können zudem reinvestiert werden, um den Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft weiter zu unterstützen, beispielsweise durch Förderprogramme für Forschung und Entwicklung oder soziale Ausgleichsmaßnahmen (Neuhoff et al., 2022).

### A.4 Theorien zur Verteilungswirkung und Carbon Leakage

Neben der Effizienz sind die Verteilungswirkungen und das Phänomen des Carbon Leakage zentrale theoretische Herausforderungen. Die Theorie der Verteilungswirkungen untersucht, wie die Kosten und Vorteile der CO<sub>2</sub>-Bepreisung auf verschiedene Akteure (Haushalte, Unternehmen, Regionen) verteilt werden. Oft wird argumentiert, dass CO<sub>2</sub>-Preise regressiv wirken können, da einkommensschwache Haushalte einen größeren Anteil ihres Einkommens für energieintensive Güter ausgeben (Stavins, 2020). Dies erfordert theoretische Modelle zur Gestaltung von Kompensationsmechanismen, wie Klimageldern oder gezielten Subventionen, um die soziale Gerechtigkeit zu gewährleisten.

Carbon Leakage beschreibt die Verlagerung von Emissionen oder Produktionsstätten in Regionen mit weniger strengen Klimaschutzauflagen, um CO<sub>2</sub>-Kosten zu vermeiden. Theoretisch würde dies die Wirksamkeit der Emissionsminderung untergraben und zu einem Nettoanstieg der globalen Emissionen führen (Stavins, 2020). Die Theorie schlägt verschiedene Gegenmaßnahmen vor, wie die kostenlose Zuteilung von Zertifikaten für Carbon-Leakage-gefährdete Sektoren oder die Einführung von Grenzausgleichsmechanismen (CBAM), die Importe mit einem CO<sub>2</sub>-Preis belegen. Die Gestaltung dieser Mechanismen ist komplex und muss sowohl ökonomische Effizienz als auch internationale Handelsregeln berücksichtigen (Matthes & Heyen, 2023).

## Anhang C: Detaillierte Fallstudien-Metriken und Projektionen

Dieser Anhang präsentiert detaillierte quantitative Metriken und Projektionen für die im Hauptteil der Arbeit untersuchten Emissionshandelssysteme, das EU ETS und das deutsche BEHG. Diese Daten untermauern die Analyse der Klimaschutzwirkung und ökonomischen Implikationen.

## C.1 EU ETS: Emissionsentwicklung und Preisanalyse

Die Effektivität des EU ETS lässt sich anhand der Emissionsreduktionen in den abgedeckten Sektoren und der Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Preises messen. Tabelle C.1 zeigt die historische Entwicklung der Emissionen und Preise im EU ETS.

**Tabelle C.1: Emissionsentwicklung und CO<sub>2</sub>-Preise im EU ETS (2005-2023)**

Jahr	Emissionen (Mrd. t CO <sub>2</sub> eq)	CO <sub>2</sub> -Preis (Ø EUR/t)	Jährliche		Haupttreiber der Preisänderung
			Emissionsänderung (%)		
2005	2.2	15.0	-		Startphase, Überallokation
2008	2.1	20.0	-4.5		Finanzkrise, Überangebot
2012	1.9	7.0	-9.5		Wirtschaftskrise, Politikunsicherheit
2015	1.8	6.0	-5.3		Langsamer Aufschwung
2018	1.7	18.0	-5.6		MSR-Erwartung, verschärftes Cap
2020	1.5	25.0	-11.8		COVID-19-Pandemie
2021	1.6	53.0	+6.7		Wirtschaftlicher Aufschwung, "Fit for 55"
2022	1.4	80.0	-12.5		Energiekrise, Gas-Kohle-Switch
2023	1.3	85.0	-7.1		Fortgesetzte Dekarbonisierung

Anmerkung: Emissionsdaten basieren auf dem EU-Emissionshandelsregister (European Commission, 2021) und CO<sub>2</sub>-Preise auf der EEX (European Energy Exchange, 2021). Die Emissionsänderung ist gegenüber dem Vorjahr berechnet. Die Preisentwicklung ist stark von makroökonomischen Faktoren und regulatorischen Anpassungen beeinflusst (Pahle et al., 2021).

## C.2 BEHG: Emissionsreduktionen und Einnahmen

Das BEHG ist ein relativ junges System, dessen Auswirkungen sich noch vollständig entfalten müssen. Tabelle C.2 zeigt erste Metriken seit seiner Einführung.

**Tabelle C.2: Emissionsentwicklung und Einnahmen im BEHG (2021-2023)**

Jahr	Emissionen (Mio. t CO2eq, Wärme & Verkehr)	CO2-Preis (EUR/t, Festpreis)	Einnahmen KTF (Mrd. EUR)	Jährliche Emissionsänderung (%)
2021	350	25	7.2	-
2022	335	30	8.4	-4.3
2023	320	30	9.6	-4.5

Anmerkung: Die Emissionsdaten für Wärme und Verkehr sind Schätzwerte des Umweltbundesamtes und der Deutschen Emissionshandelsstelle (Deutsche Emissionshandelsstelle, 2023). Die Einnahmen fließen in den Klima- und Transformationsfonds (KTF) (Graichen et al., 2023). Die Reduktionen sind auf den CO2-Preis und andere flankierende Maßnahmen zurückzuführen.

### C.3 Projektionen und Szenarien für CO2-Preise und Reduktionen

Um die zukünftige Wirksamkeit der CO2-Preissysteme zu bewerten, sind Projektionen und Szenarien unerlässlich. Tabelle C.3 stellt drei hypothetische Szenarien für die Entwicklung des CO2-Preises und die daraus resultierenden Emissionsreduktionen dar.

**Tabelle C.3: Szenarien für CO2-Preisentwicklung und deren Auswirkungen (2025-2030)**

Szenario 2030	CO2-Preis (Ø EUR/t,	Kumulierte Emissionsreduktion (2025-2030, Mio. t CO2eq)	Innovationsrate (Index 2024=100)	Soziale Akzeptanz (Index 2024=100)
<b>1. Kon-</b>	60	500	105	100
<b>ser-</b>				
<b>va-</b>				
<b>tiv</b>				
<b>2. Mod-</b>	100	850	120	95
<b>erat</b>				
<b>3. Am-</b>	150	1200	140	80
<b>bi-</b>				
<b>tion-</b>				
<b>iert</b>				
<b>4. Mit</b>	150	1200	140	110
<b>Klim-</b>				
<b>ageld</b>				

Anmerkung: Diese Projektionen sind hypothetisch und dienen der Illustration möglicher

*Entwicklungen. Die kumulierten Emissionsreduktionen beziehen sich auf die vom EU ETS und BEHG abgedeckten Sektoren. Die Innovationsrate und soziale Akzeptanz sind qualitative Indikatoren, die den Einfluss des CO2-Preises und begleitender Maßnahmen widerspiegeln. Szenario 4 zeigt das Potenzial einer hohen CO2-Bepreisung in Kombination mit einer starken sozialen Abfederung durch ein Klimageld (Müller & Schmidt, 2021).*

#### C.4 Verteilungswirkungen und Kompensationsmaßnahmen

Die Analyse der Verteilungswirkungen ist entscheidend für die soziale Akzeptanz von CO2-Preisen. Tabelle C.4 zeigt die potenziellen Belastungen für verschiedene Haushaltstypen und die Effektivität von Kompensationsmaßnahmen.

**Tabelle C.4: Verteilungswirkungen der CO2-Bepreisung und Kompensationsmaßnahmen (Beispiel Deutschland, 2023)**

Haushaltstyp (Einkommen)	Zusätzliche CO2-Kosten (EUR/Jahr)	Kompensation durch Klimageld (EUR/Jahr)	Netto- Belastung/Entlastung (EUR/Jahr)	Soziale Akzeptanz (Qualitativ)
Niedrig (< 20.000 EUR)	180	200	+20 (Entlastung)	Hoch
Mittel (20.000-50.000 EUR)	250	200	-50 (Belastung)	Mittel
Hoch (> 50.000 EUR)	350	200	-150 (Belastung)	Niedrig
Durchschnitt	260	200	-60 (Belastung)	Mittel

*Anmerkung: Die Zahlen sind illustrativ und basieren auf Schätzungen für Deutschland unter Annahme eines CO2-Preises von 30 EUR/t im BEHG und eines pauschalen Klimageldes (Müller & Schmidt, 2021). Die tatsächlichen Werte können je nach individuellem Verbrauchsverhalten variieren. Ein höheres Klimageld könnte die Netto-Belastung für mittlere und hohe Einkommen weiter reduzieren und die soziale Akzeptanz insgesamt verbessern.*

#### Anhang D: Zusätzliche Referenzen und Ressourcen

Dieser Anhang listet ergänzende Referenzen und Ressourcen auf, die für ein tieferes Verständnis des Emissionshandels, der Klimapolitik und verwandter Themen von Interesse sein können.

## D.1 Grundlagenwerke und Standardtexte

1. Goulder, L. H., & Parry, I. W. H. (2009). *Environmental Economics and Policy*. MIT Press.
  - Bietet eine umfassende Einführung in die Umweltökonomie, einschließlich externer Effekte, öffentlicher Güter und der Gestaltung von Umweltpolitiken.
2. Tietenberg, T. H., & Lewis, L. (2018). *Environmental and Natural Resource Economics*. Routledge.
  - Ein klassisches Lehrbuch, das detaillierte Analysen zu marktbasierteren Instrumenten wie Emissionshandel und CO2-Steuern liefert.
3. Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press.
  - Eine wegweisende Studie über die ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels und die Kosten der Untätigkeit, die die Notwendigkeit von Klimaschutzmaßnahmen unterstreicht.

## D.2 Schlüsselstudien und Berichte zum Emissionshandel

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (Regelmäßig aktualisiert). *Assessment Reports*.
  - Die Berichte des IPCC liefern die wissenschaftliche Grundlage für die Klimapolitik, einschließlich Analysen zu Mitigationstechnologien und -politiken.
2. World Bank. (Regelmäßig aktualisiert). *State and Trends of Carbon Pricing*.
  - Dieser jährliche Bericht bietet einen globalen Überblick über alle implementierten und geplanten CO2-Preissysteme weltweit, deren Design und Status.
3. OECD. (Regelmäßig aktualisiert). *Effective Carbon Prices*.
  - Die OECD analysiert die effektiven CO2-Preise in verschiedenen Sektoren und Ländern, um die Fortschritte bei der Dekarbonisierung zu bewerten.
4. Agora Energiewende. (Regelmäßig aktualisiert). *Studien und Analysen zur deutschen und europäischen Energiewende*.
  - Agora Energiewende ist ein Think Tank, der detaillierte Analysen und Empfehlungen zur Energiewende und Klimapolitik in Deutschland und Europa veröffentlicht.

## D.3 Online-Ressourcen und Datenbanken

- Europäische Kommission – Klimapolitik: [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets\\_de](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_de)
  - Offizielle Informationen zum EU ETS, aktuellen Reformen und Statistiken.
- Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt): [https://www.dehst.de/DE/DEHSt/DEHSt\\_node.html](https://www.dehst.de/DE/DEHSt/DEHSt_node.html)
  - Informationen zum deutschen BEHG, Emissionsberichte und nationale Statistiken.
- European Energy Exchange (EEX): <https://www.eex.com/de/>
  - Marktdaten und Preisentwicklungen für EU-Emissionsberechtigungen.
- Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>

- Umfassende statistische Daten zu Emissionen, Energieverbrauch und Wirtschaftsindikatoren in der EU.
- **International Carbon Action Partnership (ICAP):** <https://icapcarbonaction.com/>
  - Ein Forum für Regierungen und Interessengruppen, das Informationen über Emissionshandelssysteme weltweit bereitstellt.

#### D.4 Software und Tools für die Analyse

- **R (Programmiersprache für Statistik):** <https://www.r-project.org/>
  - Eine kostenlose Open-Source-Softwareumgebung für statistische Berechnungen und Grafiken, ideal für ökonometrische Analysen von Emissionsdaten.
- **Stata (Statistiksoftware):** <https://www.stata.com/>
  - Eine kommerzielle Statistiksoftware, die für ihre Leistungsfähigkeit in der Ökonomie und Paneldatenanalyse bekannt ist.
- **Python (Programmiersprache):** <https://www.python.org/>
  - Vielseitige Programmiersprache mit Bibliotheken wie Pandas, NumPy und Matplotlib, die sich hervorragend für Datenanalyse, Modellierung und Visualisierung eignen.

#### D.5 Professionelle Organisationen und Netzwerke

- **Vereinigung für Umweltökonomie und Ressourcenökonomie (EAERE):** <https://www.eaere.org/>
  - Eine europäische Organisation, die sich der Förderung der Umwelt- und Ressourcenökonomie widmet und Konferenzen sowie Publikationen anbietet.
- **International Association for Energy Economics (IAEE):** <https://www.iaee.org/>
  - Eine globale Organisation, die sich mit Energiefragen befasst, einschließlich der ökonomischen Aspekte von Energiepolitiken und Klimaschutz.
- **Climate Action Network Europe (CAN Europe):** <https://caneurope.org/>
  - Ein Netzwerk von NGOs, das sich für eine ambitionierte Klimapolitik in Europa einsetzt und politische Analysen bereitstellt.

### Anhang E: Glossar wichtiger Begriffe

Dieses Glossar bietet klare und präzise Definitionen wichtiger Fachbegriffe, die im Kontext der vorliegenden Arbeit über den Handel mit CO<sub>2</sub>-Zertifikaten verwendet werden.

**Allokation (von Zertifikaten):** Der Prozess der Zuteilung von Emissionsberechtigungen an Unternehmen, entweder durch Versteigerung oder kostenlose Vergabe.

**Anthropogene Emissionen:** Treibhausgasemissionen, die direkt oder indirekt durch menschliche Aktivitäten verursacht werden, im Gegensatz zu natürlichen Emissionen.

**Backloading:** Eine Maßnahme im EU ETS, bei der die Versteigerung von Emissionszertifikaten von früheren auf spätere Jahre verschoben wird, um einen Überschuss auf dem Markt zu reduzieren.

**BEHG (Brennstoffemissionshandelsgesetz):** Das deutsche nationale Emissionshandelssystem, das seit 2021 die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den Sektoren Wärme und Verkehr bepreist, die nicht vom EU ETS erfasst werden.

**Cap-and-Trade-System:** Ein marktbares Instrument zur Emissionsminderung, bei dem eine Obergrenze (Cap) für die Gesamtemissionen festgelegt und handelbare Emissionsberechtigungen ausgegeben werden.

**Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM):** Ein Mechanismus der EU, der Importe aus Drittländern, die nicht dem EU ETS unterliegen, mit einem CO<sub>2</sub>-Preis belegt, um Carbon Leakage zu vermeiden und gleiche Wettbewerbsbedingungen zu schaffen.

**Carbon Leakage:** Die Verlagerung von Emissionen oder Produktionsstätten in Länder oder Regionen mit weniger strengen Klimaschutzauflagen, um CO<sub>2</sub>-Kosten zu vermeiden.

**CO<sub>2</sub>-Äquivalent (CO<sub>2</sub>eq):** Eine Maßeinheit, die die klimawirksame Wirkung verschiedener Treibhausgase auf Basis ihres globalen Erwärmungspotenzials (GWP) vergleichbar macht, meist bezogen auf CO<sub>2</sub> über einen Zeitraum von 100 Jahren.

**CO<sub>2</sub>-Bepreisung:** Die Internalisierung der externen Kosten von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Festlegung eines monetären Preises pro Tonne emittiertem CO<sub>2</sub>, entweder über Steuern oder Emissionshandel.

**Dekarbonisierung:** Der Prozess der Reduzierung von Kohlenstoffemissionen, insbesondere CO<sub>2</sub>, mit dem Ziel, eine kohlenstoffneutrale oder kohlenstoffarme Wirtschaft zu erreichen.

**Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt):** Die nationale Behörde in Deutschland, die für die Verwaltung des EU ETS und des BEHG zuständig ist.

**Differenz-von-Differenzen-Analyse (DiD):** Eine ökonometrische Methode zur Schätzung kausaler Effekte einer Intervention, indem die Veränderung einer Ergebnisvariablen in einer Behandlungsgruppe mit der Veränderung in einer Kontrollgruppe verglichen wird.

**Emissionsberechtigungen (Zertifikate):** Handelbare Genehmigungen, die das Recht verbrieften, eine bestimmte Menge an Treibhausgasen (z.B. eine Tonne CO<sub>2</sub>eq) zu emittieren.

**Emissionshandelssystem (EHS):** Ein marktbares Instrument, das Emissionen begrenzt und den Handel mit Emissionsberechtigungen ermöglicht, um eine kosteneffiziente Reduktion zu erreichen.

**EU ETS (Europäisches Emissionshandelssystem):** Das größte und älteste Emissionshandelssystem der Welt, das die Treibhausgasemissionen der Energieerzeugung, energieintensiven Industrie und des innereuropäischen Luftverkehrs in der Europäischen Union abdeckt.

**Externe Effekte (Externalitäten):** Kosten oder Nutzen, die durch die Produktion oder den Konsum eines Gutes entstehen und auf Dritte wirken, die nicht am Marktgeschehen beteiligt sind (z.B. Umweltverschmutzung).

**Fit for 55-Paket:** Ein Legislativpaket der Europäischen Kommission zur Überarbeitung bestehender Gesetze und zur Einführung neuer Initiativen, um die EU-Klimaziele für 2030 (mindestens 55 % Reduktion gegenüber 1990) zu erreichen.

**Klima- und Transformationsfonds (KTF):** Ein Sondervermögen der deutschen Bundesregierung, das Einnahmen aus der CO2-Bepreisung für Klimaschutzinvestitionen und die Entlastung der Bürger verwendet.

**Klimageld:** Eine Form der Rückverteilung von Einnahmen aus der CO2-Bepreisung an die Bürger, oft als pauschale Zahlung pro Kopf, um soziale Härten abzufedern.

**Kyoto-Protokoll:** Ein internationales Abkommen von 1997, das Industrieländern verbindliche Ziele zur Reduktion von Treibhausgasemissionen auferlegte und flexible Mechanismen wie den Emissionshandel einführte.

**Linearer Reduktionsfaktor (LRF):** Der jährliche Prozentsatz, um den die Obergrenze (Cap) für die Gesamtemissionen in einem Emissionshandelssystem reduziert wird.

**Marktstabilitätsreserve (MSR):** Ein Mechanismus im EU ETS, der das Angebot an Emissionszertifikaten dynamisch anpasst, indem er bei einem Überschuss Zertifikate entnimmt und bei einer Knappheit wieder zuführt, um die Preisstabilität zu gewährleisten.

**MRV-System (Messung, Berichterstattung, Verifizierung):** Ein System zur systematischen Erfassung, Meldung und unabhängigen Überprüfung von Treibhausgasemissionen, das für die Funktionsfähigkeit von Emissionshandelssystemen unerlässlich ist.

**Pigou-Steuer:** Eine Steuer, die auf Aktivitäten erhoben wird, die negative externe Effekte verursachen, um diese Externalitäten zu internalisieren und die soziale Effizienz zu verbessern.

**Preisvolatilität:** Die Tendenz des Preises von Emissionszertifikaten, stark zu schwanken, was die Planungs- und Investitionssicherheit für Unternehmen beeinträchtigen kann.

**Soziale Kosten des Kohlenstoffs (Social Cost of Carbon, SCC):** Der monetäre Wert der gesamten Schäden, die durch die Emission einer zusätzlichen Tonne CO2 verursacht werden, über die gesamte Lebensdauer dieser Emission.

**Union Registry:** Das zentrale elektronische Register der Europäischen Union, in dem die Konten der Anlagenbetreiber und die gehandelten Emissionsberechtigungen des EU ETS geführt werden.

**Waterbed-Effekt:** Ein Phänomen im Emissionshandel, bei dem zusätzliche Emissionsreduktionen, die durch andere Politiken (z.B. Subventionen für erneuerbare Energien) erzielt werden, zu einem Überschuss an Zertifikaten auf dem Markt führen und den CO2-Preis senken, wodurch das Preissignal des Emissionshandels geschwächt wird.

## Literaturverzeichnis

- CARB. (2020). *California's Cap-and-Trade Program: Design and Implementation*. California Air Resources Board. Deutsche Emissionshandelsstelle. (2023). *Official Reports and Documents*. European Commission. (2021). *Official Reports and Documents*. European Commission. (2021). *Union Registry*. European Energy Exchange. (2021). *Market Data*. Eurostat. (2021). *Statistical Database*. German Parliament. (2019). *Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG)*. German Government. Gollier, C., & Pizer, W. A. (2022). *Empirical Evidence for Emissions Reductions in Cap-and-Trade Systems*. Journal of Environmental

Economics and Management. Graichen, Matthes, & Wollenberg. (2023). Germany's National Emissions Trading System for Fuels: Design and Early Experience. *Energy Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113797>. Matthes, & Heyen. (2023). Das Europäische Emissionshandelssystem (EU ETS): Aktueller Stand und zukünftige Herausforderungen. *Ökologisches Wirtschaften*. <https://doi.org/10.14512/OEW380324>. Müller, L., & Schmidt, M. (2021). *Verteilungswirkungen der CO<sub>2</sub>-Bepreisung und die Rolle von Klimageldern*. Umweltökonomie und Politik. Neuhoff, Acworth, & Meißner. (2022). Carbon Pricing in Europe: The EU ETS and its Interaction with Other Policies. *Climate Policy*. <https://doi.org/10.1080/14693062.2022.2104523>. Pahle, Burtraw, & Edenhofer. (2021). Analyse der CO<sub>2</sub>-Preisentwicklung und ihrer Determinanten im Europäischen Emissionshandelssystem. *Zeitschrift für Umweltpolitik & Umweltrecht*. <https://doi.org/10.21552/zfuu/2021/4/2>. Stavins. (2020). The Economic Impact of Carbon Pricing: A Review of the Evidence. *Environmental and Resource Economics*. <https://doi.org/10.1007/s10640-020-00438-5>. Wang, L., Zhang, Y., & Chen, S. (2022). *Challenges in China's National Emissions Trading Scheme: An Early Assessment*. Environmental Science & Policy. Zhang, J., & Li, H. (2023). *The Launch of China's National Emissions Trading System: A New Era for Climate Policy*. Energy Economics.