

**Führt der Handel mit CO<sub>2</sub>-Zertifikaten  
nachweislich zu einer signifikanten  
Verlangsamung des menschengemachten  
Klimawandels?**

**KI-generiertes akademisches Thesis-Showcase**

Academic Thesis AI (Multi-Agenten-System)

Januar 2025

# Table of Contents

Abstract . . . . .	1
<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>Literaturübersicht</b>	<b>4</b>
2.1. Geschichte des Emissionshandels: Von Kyoto zum EU ETS . . . . .	4
2.2. Theoretische Grundlagen der Umweltökonomie . . . . .	7
2.3. CO2-Preismechanismen und Klimaschutz . . . . .	9
2.4. Empirische Studien zur Wirksamkeit . . . . .	12
2.5. Kritische Perspektiven und Herausforderungen . . . . .	15
<b>Methodik</b>	<b>19</b>
2.1. Analyserahmen für die Klimaschutzwirkung von Emissionshandelssystemen	19
2.2. Auswahlkriterien für Fallstudien . . . . .	22
2.3. Datenquellen und Messverfahren . . . . .	24
2.4. Statistische Methoden zur Wirksamkeitsanalyse . . . . .	27
<b>Analyse</b>	<b>31</b>
1. Emissionsreduktionen durch CO2-Handel . . . . .	31
2. Preisgestaltung und Marktmechanismen . . . . .	34
3. Fallstudien . . . . .	37
4. Vergleich mit anderen Klimaschutzinstrumenten . . . . .	42
5. Empirische Belege für Klimaschutzwirkung . . . . .	47
<b>Diskussion</b>	<b>51</b>
Implikationen für die Klimapolitik . . . . .	51
Grenzen und Herausforderungen des Emissionshandels . . . . .	53
Verbesserungsvorschläge für CO2-Märkte . . . . .	55

Rolle im globalen Klimaschutz . . . . .	58
Empfehlungen für Politik und Wirtschaft . . . . .	60
Einschränkungen . . . . .	63
Methodische Einschränkungen . . . . .	63
Umfang und Generalisierbarkeit . . . . .	64
Zeitliche und Kontextuelle Beschränkungen . . . . .	64
Theoretische und konzeptionelle Einschränkungen . . . . .	65
Zukünftige Forschungsrichtungen . . . . .	66
1. Empirische Validierung und verfeinerte Kausalitätsanalysen . . . . .	66
2. Soziale Gerechtigkeit und Verteilungseffekte von CO <sub>2</sub> -Preisen . . . . .	66
3. Wechselwirkungen mit komplementären Klimaschutzinstrumenten . . . . .	67
4. Technologische Innovation und Strukturwandel . . . . .	67
5. Internationale Kooperation und Verknüpfung von ETS . . . . .	67
6. Qualität und Integrität von Kohlenstoff-Offsets . . . . .	68
7. Resilienz und Anpassungsfähigkeit von ETS an zukünftige Schocks . . . . .	68
Fazit . . . . .	69
Anhang A: Detailliertes Design-Framework für Emissionshandelssysteme (ETS) . . . . .	74
A.1 Kernkomponenten des ETS-Designs . . . . .	74
A.2 Zusätzliche Designelemente und Überlegungen . . . . .	76
A.3 Herausforderungen bei der Implementierung . . . . .	76
Anhang C: Erweiterte Fallstudien-Metriken und Szenarien . . . . .	79
C.1 Detaillierte Entwicklung des EU ETS: Wirtschaftliche und Emissions-Metriken . . . . .	79
C.2 Szenarien für das Kalifornische Cap-and-Trade-Programm: Projektionen bis 2035 . . . . .	80
C.3 Sozioökonomische Auswirkungen von CO <sub>2</sub> -Preisen: Fallbeispiele und Metriken . . . . .	82

C.4 Chinas ETS: Sektorale Emissionsentwicklung und Compliance . . . . .	83
Anhang D: Zusätzliche Referenzen und Ressourcen . . . . .	85
D.1 Grundlagenwerke und Fachbücher . . . . .	85
D.2 Schlüsselartikel und Berichte . . . . .	86
D.3 Online-Ressourcen und Datenbanken . . . . .	86
D.4 Relevante Software/Tools (falls anwendbar) . . . . .	87
Anhang E: Glossar von Fachbegriffen . . . . .	88
References . . . . .	91

## Abstract

**Forschungsproblem und Ansatz:** Der menschengemachte Klimawandel stellt eine existenzielle Bedrohung dar, die eine rasche Reduktion von Treibhausgasemissionen erfordert. Diese Arbeit untersucht kritisch, ob der Handel mit CO<sub>2</sub>-Zertifikaten (Emissionshandelssysteme, ETS) nachweislich zu einer signifikanten Verlangsamung des Klimawandels führt. Der Fokus liegt auf der Analyse der Wirksamkeit, der zugrundeliegenden Mechanismen und der Herausforderungen von ETS als marktbasiertes Klimaschutzinstrument.

**Methodologie und Erkenntnisse:** Mittels einer umfassenden Literaturübersicht, ökonometrischer Analysen von Paneldaten und Fallstudien (EU ETS, Kalifornien, China) wurde die Klimaschutzwirkung von ETS evaluiert. Die Ergebnisse zeigen, dass gut konzipierte ETS signifikante Emissionsreduktionen erzielen und technologische Innovationen fördern können, insbesondere wenn sie durch robuste Marktstabilitätsmechanismen und ambitionierte Obergrenzen unterstützt werden.

**Wesentliche Beiträge:** (1) Eine detaillierte Aufarbeitung der historischen Entwicklung und theoretischen Grundlagen von CO<sub>2</sub>-Märkten; (2) Empirische Belege für die Emissionsreduktionswirkung und Innovationsförderung durch ETS in verschiedenen Kontexten; (3) Eine umfassende Diskussion der Limitationen und Herausforderungen, die mit der Implementierung von ETS verbunden sind, sowie (4) konkrete Empfehlungen für Politik und Wirtschaft zur Optimierung dieser Instrumente.

**Implikationen:** Die Arbeit unterstreicht die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Anpassung von ETS-Designs, einer intelligenten Einnahmenverwendung und einer verstärkten internationalen Kooperation. Nur so kann der Emissionshandel sein volles Potenzial im globalen Kampf gegen den Klimawandel entfalten und als kosteneffizientes Instrument zur Dekarbonisierung beitragen.

**Keywords:** Emissionshandel, CO2-Zertifikate, Klimawandel, Klimapolitik, EU ETS, Cap-and-Trade, Dekarbonisierung, Umweltökonomie, Marktmechanismen, Klimaschutz, Innovation, Carbon Leakage, Nachhaltigkeit, globale Emissionen, Klimaziele

# Einleitung

Der Klimawandel ist zweifellos eine der größten und komplexesten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Seine weitreichenden Folgen für Ökosysteme, Gesellschaften und die globale Wirtschaft werden bereits schmerzlich spürbar (Abeyratne, 2019)(Shah et al., 2024). Die Wissenschaft ist sich weitgehend einig: Menschliche Aktivitäten, allen voran der Ausstoß von Treibhausgasen (THG), sind die primäre Ursache der globalen Erwärmung (Abeyratne, 2019). Berichte des Weltklimarats (IPCC) betonen immer wieder, wie dringend und umfassend die nötigen Veränderungen sind, um katastrophale Folgen noch abzuwenden. Eine solche Transformation erfordert nichts weniger als eine grundlegende Neuordnung unserer Energiesysteme, Industrieprozesse, Landwirtschaft und Konsummuster. Nur so lässt sich bis Mitte des Jahrhunderts eine Netto-Null-Emission von Treibhausgasen erreichen (Shah et al., 2024).

Die globalen Herausforderungen, die damit einhergehen, zeigen sich bereits in extremen Wetterereignissen, einem steigenden Meeresspiegel, der Versauerung der Ozeane, dem Verlust der Biodiversität und einer bedrohten Ernährungssicherheit (Rutty et al., 2022). Diese Phänomene machen deutlich: Die Krise hat nicht nur eine ökologische Dimension, sondern auch tiefgreifende soziale und wirtschaftliche Auswirkungen – von der Vertreibung ganzer Gemeinschaften bis hin zu möglichen geopolitischen Spannungen.

Angesichts dieser existenziellen Bedrohung haben Regierungen und internationale Organisationen weltweit eine Reihe politischer Instrumente und Strategien entwickelt. Ihr Ziel: den Ausstoß von Treibhausgasen zu senken und eine nachhaltige Entwicklung voranzutreiben (Digitemie & Ekemezie, 2024). Dazu zählen Regulierungen, Subventionen für grüne Technologien, Investitionen in erneuerbare Energien und die Unterstützung energieeffizienter Praktiken. Eine Schlüsselrolle in diesem Maßnahmenkatalog spielen marktwirtschaftliche Instrumente. Sie sollen die externen Kosten der Umweltverschmutzung internalisieren und Anreize für emissionsreduzierendes Verhalten schaffen...

# Literaturübersicht

Die vorliegende Literaturübersicht befasst sich mit der Wirksamkeit und den vielfältigen Auswirkungen von Kohlenstoffmärkten und Emissionshandelssystemen (ETS) als zentrale Instrumente der Klimapolitik. Angesichts der Dringlichkeit, globale Treibhausgasemissionen signifikant zu reduzieren, haben sich marktwirtschaftliche Ansätze wie der Emissionshandel als vielversprechende Strategien etabliert. Diese Übersicht gliedert sich in mehrere Kernbereiche: Zunächst wird die historische Entwicklung des Emissionshandels nachgezeichnet, beginnend mit dem Kyoto-Protokoll und der Entstehung des EU ETS. Darauf aufbauend werden die theoretischen Grundlagen der Umweltökonomie beleuchtet, die diesen Mechanismen zugrunde liegen. Ein weiterer Abschnitt widmet sich den spezifischen CO<sub>2</sub>-Preismechanismen und ihrer Rolle im Klimaschutz. Im Anschluss daran werden empirische Studien zur Wirksamkeit dieser Instrumente analysiert, gefolgt von einer kritischen Betrachtung der Herausforderungen und Perspektiven, die mit ihrer Implementierung verbunden sind. Ziel ist es, ein umfassendes Verständnis des aktuellen Forschungsstandes zu vermitteln und die Lücken aufzuzeigen, die weitere Forschung erfordern.

## *2.1. Geschichte des Emissionshandels: Von Kyoto zum EU ETS*

Die Idee, Emissionen als handelbare Güter zu behandeln, hat ihre Wurzeln in den frühen Überlegungen zur Umweltökonomie, gewann jedoch erst mit dem Inkrafttreten internationaler Klimaabkommen an praktischer Relevanz. Der erste bedeutende Schritt zur Etablierung eines globalen Kohlenstoffmarktes war das **Kyoto-Protokoll** von 1997, das 2005 in Kraft trat (Abeyratne, 2019). Dieses Protokoll verpflichtete Industrieländer zu quantifizierten Emissionsreduktionszielen und führte flexible Mechanismen ein, die den Emissionshandel als kosteneffizientes Instrument zur Zielerreichung ermöglichten (Schiffer, 2018). Zu diesen Mechanismen gehörten der internationale Emissionshandel (International Emissions Trading, IET), der Clean Development Mechanism (CDM) und die Joint Implementation (JI)



(Osterburg et al., 2009). Der IET erlaubte es Ländern mit Emissionsüberschüssen, Emissionsrechte von Ländern mit Unterschüssen zu erwerben, während CDM und JI die Finanzierung von Emissionsreduktionsprojekten in Entwicklungsländern bzw. anderen Industrieländern ermöglichten, um Emissionsgutschriften zu generieren (Osterburg et al., 2009).

Die Vision des Kyoto-Protokolls war es, einen globalen Markt für Kohlenstoff zu schaffen, der die Allokation von Reduktionsanstrengungen dorthin lenkt, wo sie am kostengünstigsten sind (Osterburg et al., 2009). Obwohl das Protokoll als wichtiger Meilenstein für die internationale Klimapolitik gilt, waren seine Auswirkungen auf die globale Emissionsentwicklung begrenzt und die Mechanismen zeigten verschiedene Schwächen, darunter Fragen der Additionaliät und der Validität der generierten Gutschriften (Osterburg et al., 2009)(Schiffer, 2018). Dennoch legte Kyoto den Grundstein für die Entwicklung regionaler und nationaler Emissionshandelssysteme, indem es das Konzept des Cap-and-Trade-Ansatzes (Begrenzen und Handeln) weltweit bekannt machte (Schiffer, 2018).

Das **Europäische Emissionshandelssystem (EU ETS)**, das 2005 als Reaktion auf die Verpflichtungen des Kyoto-Protokolls eingeführt wurde, ist das größte und älteste multilaterale Emissionshandelssystem der Welt und gilt als Vorreiter für viele andere regionale und nationale Systeme (Klimko & Hasprová, 2025)(Bordignon & degl’Innocenti, 2023)(Egenhofer et al., 2011). Das EU ETS deckt derzeit rund 40 % der Treibhausgasemissionen der Europäischen Union ab und umfasst Sektoren wie Energieerzeugung, energieintensive Industrien sowie seit 2012 auch den Luftverkehr innerhalb des Europäischen Wirtschaftsraums (eea.europa.eu, 2025)(dehst.de, 2025). Die Einführung des EU ETS markierte einen Paradigmenwechsel in der europäischen Klimapolitik, weg von reinen Regulierungsansätzen hin zu marktbasierten Instrumenten, die Anreize für Innovation und Effizienz schaffen sollten (Egenhofer et al., 2011).

Die Entwicklung des EU ETS lässt sich in mehrere Phasen unterteilen, die jeweils auf Erfahrungen und Herausforderungen der vorherigen Phasen aufbauten. Die **erste Phase (2005-2007)** war eine Pilotphase, die dazu diente, Erfahrungen mit dem System zu sam-

men. In dieser Phase wurden die meisten Emissionszertifikate kostenlos zugeteilt, was zu einem Überschuss an Zertifikaten und einem Preisverfall führte, der die Reduktionsanreize schwächte (Bordignon & degl’Innocenti, 2023)(Egenhofer et al., 2011). Die **zweite Phase (2008-2012)** fiel mit der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls zusammen und führte erste Auktionen von Zertifikaten ein, wenn auch der Großteil weiterhin kostenlos vergeben wurde. Auch hier gab es aufgrund der Wirtschaftskrise 2008/2009 einen erheblichen Überschuss an Zertifikaten und volatile Preise (Bordignon & degl’Innocenti, 2023).

Die **dritte Phase (2013-2020)** brachte wesentliche Reformen mit sich, die darauf abzielten, die Wirksamkeit des Systems zu erhöhen und den Zertifikatsüberschuss zu reduzieren (Bordignon & degl’Innocenti, 2023)(Egenhofer et al., 2011). Dazu gehörten eine EU-weite Obergrenze für Emissionen, die linear absinkt, ein deutlich erhöhter Anteil an Versteigerungen von Zertifikaten und die Einführung eines Marktstabilitätsreservenmechanismus (MSR) ab 2019, um das Ungleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage zu steuern (Liu et al., 2024). Diese Reformen sollten die Preissignale stärken und somit die Anreize für Investitionen in emissionsarme Technologien verbessern (Bordignon & degl’Innocenti, 2023). Die **vierte Phase (seit 2021)** setzt diese Reformen fort und sieht eine weitere Verschärfung der Emissionsziele vor, um die EU-Klimaziele für 2030 zu erreichen. Aktuelle Entwicklungen diskutieren eine Ausweitung des ETS auf weitere Sektoren wie Gebäude und Verkehr, was das System zu einem noch umfassenderen Instrument machen würde (dehst.de, 2025).

Die Geschichte des Emissionshandels, von den bescheidenen Anfängen des Kyoto-Protokolls bis zur komplexen und sich ständig weiterentwickelnden Struktur des EU ETS, spiegelt die Herausforderungen und Lernprozesse wider, die mit der Implementierung marktwirtschaftlicher Instrumente im Bereich des Klimaschutzes verbunden sind. Die Erfahrungen aus diesen Systemen liefern wertvolle Erkenntnisse für die Gestaltung zukünftiger Kohlenstoffmärkte weltweit und unterstreichen die Notwendigkeit robuster institutioneller Rahmenbedingungen und einer kontinuierlichen Anpassung an sich ändernde wirtschaftliche und politische Gegebenheiten (Bracer & Greiber, 2008). Die Effektivität solcher Systeme hängt

maßgeblich von der Gestaltung der Obergrenze, den Allokationsregeln und den Mechanismen zur Preisstabilität ab (Egenhofer et al., 2011).

## *2.2. Theoretische Grundlagen der Umweltökonomie*

Die theoretischen Grundlagen für marktwirtschaftliche Instrumente wie den Emissionshandel liegen tief in der Umweltökonomie verankert, die sich mit der optimalen Allokation von Ressourcen unter Berücksichtigung von Umweltauswirkungen befasst. Ein zentrales Konzept ist das der **Externalitäten**, insbesondere der negativen externen Effekte. Emissionen von Treibhausgasen sind ein klassisches Beispiel für eine negative Externalität: Die Kosten der Umweltverschmutzung (z.B. Klimawandel, Gesundheitsrisiken) werden nicht vollständig vom Verursacher getragen, sondern von der Gesellschaft als Ganzes, was zu einem Marktversagen führt (education.cfr.org, 2025). Ohne Eingreifen des Staates oder anderer Akteure produzieren Unternehmen und Haushalte in der Regel zu viele Emissionen, da sie die sozialen Kosten ihrer Handlungen nicht internalisieren (education.cfr.org, 2025).

Um dieses Marktversagen zu korrigieren, schlug der Ökonom Arthur Cecil Pigou bereits im frühen 20. Jahrhundert die Einführung von **Pigou-Steuern** vor. Eine Pigou-Steuer ist eine Steuer, die auf Aktivitäten erhoben wird, die negative Externalitäten verursachen, um die Grenzkosten der Verschmutzung an die sozialen Grenzkosten anzugleichen (education.cfr.org, 2025). Im Kontext des Klimaschutzes würde eine solche Steuer auf CO<sub>2</sub>-Emissionen erhoben, um deren Preis zu erhöhen und somit Anreize für Reduktionen zu schaffen (Digitemie & Ekemezie, 2024). Der Emissionshandel, obwohl anders strukturiert, verfolgt ein ähnliches Ziel: Er setzt einen Preis auf Emissionen, wodurch die externen Kosten internalisiert werden (Digitemie & Ekemezie, 2024).

Ein weiterer bedeutender Beitrag stammt von Ronald Coase und seinem **Coase-Theorem**. Dieses Theorem besagt, dass unter bestimmten Bedingungen (insbesondere geringe Transaktionskosten und klar definierte Eigentumsrechte) die Parteien durch Verhandlungen eine effiziente Lösung für Externalitäten finden können, unabhängig von der an-

fänglichen Zuweisung der Eigentumsrechte (education.cfr.org, 2025). Im Kontext des Emissionshandels bedeutet dies, dass, wenn Emissionsrechte klar definiert und handelbar sind, Unternehmen diese Rechte kaufen und verkaufen können, um ihre Reduktionsziele kosteneffizient zu erreichen (education.cfr.org, 2025). Der Staat muss in diesem Fall lediglich die Obergrenze (das Cap) festlegen und die anfängliche Verteilung der Rechte vornehmen. Der Markt übernimmt dann die effiziente Allokation der Reduktionslast.

Der Emissionshandel basiert auf dem Prinzip des **Cap-and-Trade**. Eine zentrale Behörde (z.B. eine Regierung oder die EU) legt eine Obergrenze (Cap) für die Gesamtmenge der erlaubten Emissionen in einem bestimmten Zeitraum fest. Diese Gesamtmenge wird dann in handelbare Emissionszertifikate aufgeteilt, wobei jedes Zertifikat die Erlaubnis zur Emission einer Tonne CO<sub>2</sub> (oder eines CO<sub>2</sub>-Äquivalents) darstellt (education.cfr.org, 2025). Diese Zertifikate werden entweder versteigert oder kostenlos an die Emittenten verteilt. Unternehmen, die ihre Emissionen unter ihrer Zuteilung halten können, können überschüssige Zertifikate an Unternehmen verkaufen, deren Reduktionskosten höher sind. Dadurch entsteht ein Marktpreis für Emissionen, der die Grenzkosten der Emissionsreduktion widerspiegelt und Anreize für diejenigen Unternehmen schafft, die am kostengünstigsten reduzieren können (Digitemie & Ekemezie, 2024)(education.cfr.org, 2025).

Die Vorteile des Cap-and-Trade-Systems gegenüber einer direkten Regulierung (z.B. durch Technologievorschriften) liegen in seiner **Kosteneffizienz** und seiner Fähigkeit, Innovationen zu fördern. Durch den Handel wird sichergestellt, dass die Emissionsreduktionen dort stattfinden, wo sie am günstigsten sind, was die Gesamtkosten für die Gesellschaft minimiert (Digitemie & Ekemezie, 2024). Zudem bietet der Emissionshandel Unternehmen die Flexibilität, selbst zu entscheiden, wie sie ihre Emissionen reduzieren wollen – sei es durch Investitionen in effizientere Technologien, Prozessoptimierungen oder den Kauf von Zertifikaten (Chen et al., 2024). Dies fördert technologische Innovationen und die Entwicklung neuer, emissionsarmer Lösungen (Chen et al., 2024). Studien von Chen, Brockway et al. (2024) unterstreichen beispielsweise den positiven Einfluss von Emissionshandelssystemen

auf technologische Innovationen, insbesondere im Bereich der grünen Technologien (Chen et al., 2024).

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Umweltökonomie, der für Kohlenstoffmärkte relevant ist, ist die Unterscheidung zwischen **Mengen- und Preisinstrumenten**. Emissionshandelssysteme sind Mengeninstrumente, da sie eine feste Menge an Emissionen festlegen und der Preis sich am Markt bildet. Kohlenstoffsteuern hingegen sind Preisinstrumente, bei denen ein fester Preis pro Tonne CO<sub>2</sub> festgelegt wird und die resultierende Emissionsmenge vom Markt bestimmt wird (education.cfr.org, 2025). Die Wahl zwischen diesen beiden Ansätzen hängt von verschiedenen Faktoren ab, einschließlich der Präferenz für Preis- oder Mengenstabilität und der Unsicherheit über die Kosten der Emissionsreduktion (education.cfr.org, 2025). Wenn die Kosten der Emissionsreduktion hoch und unsicher sind, kann ein Preisinstrument (Kohlenstoffsteuer) bevorzugt werden, um die wirtschaftliche Belastung besser zu kontrollieren. Ist hingegen die Einhaltung eines bestimmten Emissionsziels von höchster Priorität, ist ein Mengeninstrument (ETS) vorteilhafter (education.cfr.org, 2025).

Die theoretische Fundierung des Emissionshandels ist robust und bietet eine starke Begründung für seine Anwendung als Instrument zur Bekämpfung des Klimawandels. Durch die Internalisierung externer Kosten, die Schaffung von Eigentumsrechten an Emissionen und die Nutzung von Marktkräften ermöglicht der Emissionshandel eine effiziente und flexible Reduktion von Treibhausgasen. Die praktische Umsetzung ist jedoch oft mit Komplexitäten behaftet, die eine sorgfältige Gestaltung der Marktregeln und eine kontinuierliche Anpassung erfordern.

### *2.3. CO<sub>2</sub>-Preismechanismen und Klimaschutz*

CO<sub>2</sub>-Preismechanismen stellen einen Eckpfeiler moderner Klimapolitik dar, indem sie einen finanziellen Anreiz zur Reduktion von Treibhausgasemissionen schaffen. Grundsätzlich lassen sich diese Mechanismen in zwei Hauptkategorien unterteilen: **Kohlenstoffsteuern** und **Emissionshandelssysteme (ETS)** (worldbank.org, 2025)(education.cfr.org,

2025). Beide Ansätze verfolgen das Ziel, die externen Kosten von CO<sub>2</sub>-Emissionen zu internalisieren, wodurch Verschmutzung teurer wird und Anreize für emissionsärmere Alternativen entstehen (Digitemie & Ekemezie, 2024).

Eine **Kohlenstoffsteuer** ist eine direkte Steuer, die auf den Kohlenstoffgehalt von Brennstoffen oder auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen erhoben wird (Digitemie & Ekemezie, 2024). Der Preis pro Tonne CO<sub>2</sub> ist hierbei fest vorgegeben, was Unternehmen und Haushalten Preissicherheit bietet. Dies erleichtert die Planung von Investitionen in emissionsärmere Technologien und Verhaltensänderungen (education.cfr.org, 2025). Zu den Vorteilen einer Kohlenstoffsteuer zählen ihre relative Einfachheit in der Implementierung und Verwaltung sowie die Einnahmen, die sie für den Staat generiert. Diese Einnahmen können zur Finanzierung von Klimaschutzmaßnahmen, zur Senkung anderer Steuern oder zur Umverteilung an die Bevölkerung genutzt werden, um soziale Härten abzufedern (Zhao et al., 2022)(elibrary.imf.org, 2022). Eine Herausforderung besteht jedoch darin, den “richtigen” Steuersatz festzulegen, der sowohl ambitionierte Reduktionsziele erreicht als auch die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit nicht übermäßig beeinträchtigt (elibrary.imf.org, 2022). Zudem ist die tatsächliche Emissionsreduktion bei einer Kohlenstoffsteuer nicht garantiert, da sie von der Preiselastizität der Nachfrage nach emissionsintensiven Gütern abhängt (education.cfr.org, 2025).

**Emissionshandelssysteme (ETS)**, wie bereits im historischen Kontext erwähnt, setzen stattdessen eine Obergrenze (Cap) für die gesamten Emissionen fest und lassen den Markt den Preis pro Tonne CO<sub>2</sub> bestimmen (Digitemie & Ekemezie, 2024)(education.cfr.org, 2025). Der Hauptvorteil eines ETS liegt in seiner Fähigkeit, ein bestimmtes Emissionsreduktionsziel mit hoher Sicherheit zu erreichen, da die Gesamtmenge der Emissionen durch das Cap begrenzt ist (education.cfr.org, 2025). Die Preisvolatilität, die sich aus der Dynamik von Angebot und Nachfrage ergibt, kann jedoch eine Herausforderung darstellen und die Investitionssicherheit beeinträchtigen (Liu et al., 2024). Um dieser Volatilität entgegenzuwirken,

wurden in einigen ETS-Designs Mechanismen wie Preisbänder (price collars) oder die Marktstabilitätsreserve (MSR) im EU ETS implementiert (Liu et al., 2024).

Die Gestaltung von ETS ist komplex und umfasst mehrere kritische Designelemente. Die **Zuteilung der Zertifikate** ist ein entscheidender Faktor. Historisch wurden Zertifikate oft kostenlos zugeteilt (Grandfathering), insbesondere in den Anfangsphasen des EU ETS, um die Akzeptanz bei den betroffenen Industrien zu erhöhen (Egenhofer et al., 2011). Zunehmend wird jedoch die Versteigerung von Zertifikaten bevorzugt, da dies nicht nur Einnahmen generiert, sondern auch Wettbewerbsverzerrungen minimiert und das “Polluter Pays”-Prinzip besser umsetzt (Bordignon & degl’Innocenti, 2023)(dehst.de, 2025). Ein weiterer Aspekt ist der **Geltungsbereich (Scope)** des Systems, d.h. welche Sektoren und Treibhausgase abgedeckt sind. Die Ausweitung des EU ETS auf den Luftverkehr und Diskussionen über die Einbeziehung von Gebäuden und Verkehr zeigen den Trend zu umfassenderen Systemen (dehst.de, 2025).

Die Rolle von CO<sub>2</sub>-Preismechanismen im Klimaschutz ist vielfältig. Sie sollen nicht nur direkte Emissionen reduzieren, sondern auch **technologische Innovationen** anregen, indem sie Investitionen in emissionsarme oder -freie Technologien profitabler machen (Chen et al., 2024). Unternehmen, die in grüne Technologien investieren, können ihre Emissionen reduzieren und somit weniger Zertifikate kaufen oder sogar überschüssige Zertifikate verkaufen (Chen et al., 2024). Dies schafft einen starken Anreiz für Forschung und Entwicklung im Bereich der Dekarbonisierung. Darüber hinaus können Kohlenstoffpreise einen **Strukturwandel in der Wirtschaft** fördern, indem sie energieintensive Industrien dazu anregen, ihre Prozesse zu überdenken oder sich neu auszurichten (Verde, 2020). Die langfristige Perspektive auf höhere Kohlenstoffpreise kann auch die Finanzmärkte dazu ermutigen, in nachhaltige Projekte zu investieren, wie die zunehmende Popularität von grünen Anleihen zeigt (Gurunlu, 2023).

Die Einnahmen aus Kohlenstoffpreisen können auch zur **Förderung eines gerechten Übergangs** genutzt werden. So können einkommensschwache Haushalte, die

proportional stärker von höheren Energiekosten betroffen sind, durch gezielte Transfers oder Investitionen in öffentliche Verkehrsmittel entlastet werden (Zhao et al., 2022). Zhao, Fujimori et al. (2022) untersuchen die Auswirkungen der Kohlenstoffpreise auf Armut und Ungleichheit und betonen die Notwendigkeit, begleitende Maßnahmen zu ergreifen, um negative soziale Folgen abzumildern (Zhao et al., 2022).

Insgesamt sind CO<sub>2</sub>-Preismechanismen mächtige Instrumente im Kampf gegen den Klimawandel. Sie bieten einen flexiblen und kosteneffizienten Weg zur Emissionsreduktion, fördern Innovationen und können bei kluger Gestaltung auch soziale Gerechtigkeit berücksichtigen. Die Komplexität ihrer Implementierung und die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Anpassung an sich ändernde Rahmenbedingungen erfordern jedoch eine sorgfältige politische Steuerung und ein tiefes Verständnis ihrer Wirkungsweisen.

#### *2.4. Empirische Studien zur Wirksamkeit*

Die empirische Forschung zur Wirksamkeit von Kohlenstoffmärkten und Emissionshandelssystemen (ETS) ist umfangreich und liefert differenzierte Ergebnisse über deren tatsächlichen Beitrag zum Klimaschutz und ihre wirtschaftlichen Auswirkungen. Ein Großteil der Studien konzentriert sich auf das EU ETS, da es das am längsten bestehende und umfassendste System ist, aber auch neuere Systeme wie Chinas regionale ETS-Piloten werden zunehmend analysiert.

**Reduktion von Treibhausgasemissionen:** Mehrere Studien bestätigen die Wirksamkeit von ETS bei der Reduktion von Treibhausgasemissionen. Klimko und Hasprová (2025) untersuchen beispielsweise den Einfluss des EU ETS auf die Emissionen in der Europäischen Union und stellen fest, dass das System zu einer signifikanten Reduktion beigetragen hat (Klimko & Hasprová, 2025). Ähnliche Ergebnisse liefert die empirische Analyse von Erdoğan (2023), die den Zusammenhang zwischen Kohlenstoffpreisen und Umweltleistung in OECD-Ländern untersucht. Er findet heraus, dass die Einführung von Kohlenstoffpreisen positive Auswirkungen auf die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen und die Energieintensität



hat, wobei die genauen Effekte von nationalen Kontexten und der Ausgestaltung der Politik abhängen (Erdoğan, 2023). Wu, Qiu et al. (2023) bewerten die Effektivität von Emissionshandelssystemen insgesamt und kommen zu dem Schluss, dass sie ein wirksames Instrument zur Emissionsminderung darstellen, wenn sie robust gestaltet und implementiert werden (Wu et al., 2023).

Die Wirksamkeit ist jedoch nicht immer linear oder universell. Bordignon und degl’Innocenti (2023) bewerten die Auswirkungen der dritten Phase des EU ETS und zeigen, dass die Reformen dieser Phase entscheidend waren, um die Reduktionsanreize zu stärken und den früheren Überschuss an Zertifikaten zu adressieren (Bordignon & degl’Innocenti, 2023). Vor den Reformen litten die ersten Phasen des EU ETS unter einem Überangebot an Zertifikaten, was zu niedrigen Preisen und somit geringen Reduktionsanreizen führte (Egenhofer et al., 2011). Die Einführung der Marktstabilitätsreserve (MSR) und die schrittweise Reduzierung der kostenlosen Zuteilung haben jedoch zu einem Anstieg der Zertifikatspreise und einer stärkeren Reduktionswirkung geführt (Liu et al., 2024). Die Europäische Umweltagentur (EEA) bestätigt, dass die Emissionen der vom EU ETS erfassten Sektoren seit der Einführung des Systems erheblich gesunken sind (eea.europa.eu, 2025).

Auch außerhalb der EU zeigen ETS-Pilotsysteme positive Effekte. Cui, Wang et al. (2021) untersuchen die Wirksamkeit der regionalen Kohlenstoffmarkt-Pilotsysteme in China und finden, dass diese zu einer Reduktion der Kohlenstoffintensität und der Emissionen in den abgedeckten Regionen beigetragen haben (Cui et al., 2021). Li und Zhao (2025) bestätigen die Effektivität des chinesischen Emissionshandelssystems bei der Förderung der Emissionsreduktion und der technologischen Innovation (Li & Zhao, 2025).

**Wirtschaftliche Auswirkungen:** Neben den Umweltauswirkungen untersuchen empirische Studien auch die wirtschaftlichen Folgen von Kohlenstoffpreisen. Ein zentrales Anliegen ist die mögliche Beeinträchtigung der **Wettbewerbsfähigkeit** von Unternehmen, insbesondere in energieintensiven Industrien, die internationalem Wettbewerb ausgesetzt

sind. Verde (2020) analysiert die Auswirkungen des EU ETS auf die Wettbewerbsfähigkeit und kommt zu dem Schluss, dass die negativen Effekte oft überschätzt werden, insbesondere wenn die Zuteilung von Zertifikaten oder andere Begleitmaßnahmen zur Verhinderung von Carbon Leakage berücksichtigt werden (Verde, 2020). Die Sorge vor **Carbon Leakage**, d.h. der Verlagerung von Emissionen in Länder mit weniger strengen Klimaschutzauflagen, ist jedoch weiterhin ein relevantes Thema, wie Gabela, Spiegel et al. (2024) im Kontext der Landwirtschaft und eines möglichen CO<sub>2</sub>-Grenzausgleichsmechanismus (CBAM) diskutieren (Gabela et al., 2024).

Ein wichtiger positiver Effekt von ETS ist die **Förderung technologischer Innovationen**. Chen, Brockway et al. (2024) liefern empirische Belege dafür, dass Emissionshandelssysteme die technologische Innovation anregen, insbesondere im Bereich der grünen Technologien. Der Anreiz, Emissionen zu reduzieren, führt zu Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie zur Einführung effizienterer und sauberer Produktionstechnologien (Chen et al., 2024). Dies kann langfristig zu einem Wettbewerbsvorteil führen und die Dekarbonisierung der Wirtschaft beschleunigen.

Die Auswirkungen auf **Wachstum und Beschäftigung** sind ebenfalls Gegenstand der Forschung. Erdoğan (2023) stellt in seiner Analyse fest, dass gut konzipierte Kohlenstoffpreismechanismen nicht notwendigerweise das BIP-Wachstum hemmen müssen, sondern unter bestimmten Umständen sogar positive Effekte durch die Förderung grüner Investitionen und Innovationen haben können (Erdoğan, 2023). Allerdings können Kohlenstoffpreise auch **distributive Auswirkungen** haben, indem sie die Kosten für Energie und Produkte erhöhen, was einkommensschwache Haushalte stärker belasten kann. Zhao, Fujimori et al. (2022) betonen die Notwendigkeit von Ausgleichsmaßnahmen, um Armut und Ungleichheit zu vermeiden (Zhao et al., 2022).

**Regionale und Sektorale Unterschiede:** Empirische Studien zeigen auch, dass die Wirksamkeit und die Auswirkungen von ETS je nach Region und Sektor variieren können. Das EU ETS hat beispielsweise in den Energiesektoren, die leichter auf erneuerbare

Energien umstellen können, stärkere Reduktionen bewirkt als in einigen energieintensiven Industriezweigen (Błażejowska et al., 2024). Błażejowska, Czarny et al. (2024) analysieren die Effektivität der EU ETS-Politik bei der Umgestaltung des Energiesektors und bestätigen deren Einfluss auf die Dekarbonisierung der Stromerzeugung (Błażejowska et al., 2024). Die Einführung von ETS in neuen Sektoren wie dem Verkehr oder dem Gebäudebereich, wie sie derzeit in der EU diskutiert wird, erfordert spezifische Anpassungen und Begleitmaßnahmen, um die Wirksamkeit zu gewährleisten und negative Auswirkungen zu minimieren (dehst.de, 2025).

Die Vielzahl der empirischen Studien zeigt ein konsistentes Bild: Emissionshandelssysteme sind, wenn sie robust gestaltet und politisch unterstützt werden, effektive Instrumente zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und zur Förderung grüner Innovationen. Ihre Implementierung erfordert jedoch eine sorgfältige Berücksichtigung wirtschaftlicher und sozialer Auswirkungen, um die Akzeptanz zu sichern und unerwünschte Nebeneffekte zu vermeiden. Die Forschung liefert dabei wertvolle Erkenntnisse für die Weiterentwicklung und Optimierung bestehender sowie die Gestaltung neuer Kohlenstoffmärkte weltweit.

## *2.5. Kritische Perspektiven und Herausforderungen*

Trotz der zunehmenden Akzeptanz und der empirisch belegten Wirksamkeit von Kohlenstoffmärkten und Emissionshandelssystemen (ETS) sind diese Instrumente Gegenstand intensiver kritischer Diskussionen und stehen vor erheblichen Herausforderungen. Diese reichen von Fragen der Marktintegrität und Preisvolatilität bis hin zu sozialen Gerechtigkeitsproblemen und der Gefahr von “Greenwashing”.

Eine der primären Herausforderungen im Kontext von ETS ist die **Preisvolatilität** der Emissionszertifikate. Schwankende Preise können Investitionsentscheidungen in emissionsarme Technologien erschweren, da Unternehmen unsicher sind, welchen Anreiz der Kohlenstoffpreis in der Zukunft bieten wird (Liu et al., 2024). Liu, Chen et al. (2024) untersuchen die Preisprognose des EU ETS der Phase 4 und unterstreichen die Komplexität

und Volatilität der Preise, die durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst werden, darunter wirtschaftliche Entwicklungen, politische Entscheidungen und externe Schocks (Liu et al., 2024). Um dieser Volatilität entgegenzuwirken, wurden Mechanismen wie die Marktstabilitätsreserve (MSR) im EU ETS eingeführt, die das Angebot an Zertifikaten an die Nachfrage anpassen sollen (Liu et al., 2024). Dennoch bleibt die Vorhersagbarkeit des Kohlenstoffpreises eine Herausforderung für die langfristige Investitionsplanung.

Ein weiteres kritisches Thema ist die Gefahr des **Carbon Leakage**. Dies tritt auf, wenn Unternehmen ihre Produktion in Länder mit weniger strengen Klimaschutzauflagen verlagern, um die Kosten des Kohlenstoffpreises zu vermeiden. Dies führt nicht zu einer globalen Emissionsreduktion, sondern lediglich zu einer Verlagerung der Emissionen (Gabela et al., 2024). Um Carbon Leakage zu begegnen, wurden im EU ETS Maßnahmen wie die kostenlose Zuteilung von Zertifikaten für bestimmte Sektoren und die Diskussion über einen Kohlenstoffgrenzausgleichsmechanismus (CBAM) eingeführt (Gabela et al., 2024). Gabela, Spiegel et al. (2024) analysieren Carbon Leakage in der Landwirtschaft und betonen die Notwendigkeit von Grenzanpassungen, um die Wettbewerbsfähigkeit heimischer Produzenten zu schützen und die Wirksamkeit der Klimapolitik zu erhalten (Gabela et al., 2024). Die Herausforderung besteht darin, diese Maßnahmen so zu gestalten, dass sie WTO-konform sind und nicht zu neuen Handelskonflikten führen.

Die **Qualität und Integrität von Emissionsgutschriften und Offsets** ist ebenfalls ein wiederkehrendes Problem, insbesondere im Kontext von freiwilligen Kohlenstoffmärkten oder den flexiblen Mechanismen des Kyoto-Protokolls. Trencher, Nick et al. (2024) weisen darauf hin, dass die Nachfrage nach minderwertigen Offsets durch große Unternehmen die Glaubwürdigkeit der Klimaschutzbemühungen untergraben kann (Trencher et al., 2024). Oftmals mangelt es an Additionalität (d.h., die Emissionsreduktion wäre auch ohne das Projekt erfolgt) oder an der Permanenz der Reduktionen (z.B. bei Aufforstungsprojekten, die durch Waldbrände gefährdet sind) (Trencher et al., 2024). Dies führt zu “Greenwashing”, bei dem Unternehmen sich durch den Kauf von Gutschriften

emissionsneutral stellen, ohne tatsächlich signifikante eigene Reduktionen zu erzielen (Trencher et al., 2024). Eine robuste Verifizierung, klare Standards und eine transparente Berichterstattung sind entscheidend, um die Integrität dieser Märkte zu gewährleisten.

**Soziale Gerechtigkeit und Verteilungseffekte** stellen eine weitere wichtige Herausforderung dar. Kohlenstoffpreise können zu höheren Preisen für Energie und Konsumgüter führen, was einkommensschwache Haushalte überproportional belasten kann (regressive Wirkung) (Zhao et al., 2022). Zhao, Fujimori et al. (2022) analysieren die Auswirkungen von Kohlenstoffpreisen auf Armut und Ungleichheit und betonen die Notwendigkeit von begleitenden Maßnahmen wie Einnahmenrückführungen, Subventionen für grüne Technologien oder gezielten sozialen Transfers, um diese Effekte abzumildern (Zhao et al., 2022). Eine sozial gerechte Ausgestaltung der Kohlenstoffpreismechanismen ist entscheidend für ihre politische Akzeptanz und langfristige Stabilität (Vanhille, 2012).

Die **politische Durchsetzbarkeit und Akzeptanz** von Kohlenstoffpreisen ist oft schwierig. Widerstand von energieintensiven Industrien, Gewerkschaften und Teilen der Bevölkerung kann die Einführung oder Verschärfung solcher Mechanismen behindern. Die Geschichte des EU ETS zeigt, dass politische Verhandlungen und Kompromisse notwendig sind, um ein System zu etablieren und weiterzuentwickeln (Egenhofer et al., 2011). Die Notwendigkeit internationaler Kooperation ist ebenfalls eine Herausforderung. Während das EU ETS ein regionales System ist, erfordert die globale Natur des Klimawandels eine globale Antwort. Qi und Choi (2019) untersuchen die Machbarkeit einer internationalen ETS-Kooperation und betonen die Vorteile der Verknüpfung nationaler oder regionaler Systeme, um die Kosteneffizienz zu erhöhen und Carbon Leakage zu reduzieren (Qi & Choi, 2019). Holtsmark und Weitzman (2020) analysieren die Effekte der Verknüpfung von Cap-and-Trade-Systemen für CO<sub>2</sub> und zeigen auf, dass dies zu einer Angleichung der Preise und einer effizienteren Allokation von Reduktionsanstrengungen führen kann (Holtsmark & Weitzman, 2020).

Schließlich bleibt die Frage der **Ambition und des Designs** von Kohlenstoffmärkten. Um die Ziele des Pariser Abkommens zu erreichen, müssen die gesetzten Obergrenzen ehrgeiziger sein und die Preise hoch genug, um signifikante Reduktionsanreize zu schaffen. Eine zu niedrige Obergrenze oder zu viele kostenlose Zertifikate können die Wirksamkeit des Systems untergraben, wie die frühen Phasen des EU ETS gezeigt haben (Bordignon & degl’Innocenti, 2023). Die Integration von CO<sub>2</sub>-Preismechanismen in ein breiteres Politikpaket, das auch Regulierungen, Subventionen für Forschung und Entwicklung und Investitionen in grüne Infrastruktur umfasst, ist entscheidend, um die Klimaziele zu erreichen (brookings.edu, 2025).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Kohlenstoffmärkte und ETS zwar vielversprechende Instrumente sind, aber ihre Implementierung und Wirksamkeit von einer Vielzahl von Faktoren abhängt. Die Überwindung der genannten Herausforderungen erfordert eine kontinuierliche Weiterentwicklung des Systemdesigns, eine transparente Governance, eine sorgfältige Berücksichtigung sozialer und wirtschaftlicher Auswirkungen sowie eine starke politische Führung und internationale Zusammenarbeit. Die Forschung muss weiterhin dazu beitragen, Lösungsansätze für diese komplexen Probleme zu entwickeln und die besten Praktiken für eine effektive und gerechte Kohlenstoffpreisgestaltung zu identifizieren.

# Methodik

Die vorliegende Masterarbeit verfolgt das Ziel, die Klimaschutzwirkung von Emissionshandelssystemen (EHS) anhand ausgewählter Fallstudien zu evaluieren. Um dieses Ziel zu erreichen, wird ein robuster und transparenter methodischer Ansatz gewählt, der sowohl qualitative als auch quantitative Elemente integriert. Dieser Abschnitt beschreibt detailliert den Analyserahmen, die Kriterien für die Fallstudienauswahl, die verwendeten Datenquellen und Messverfahren sowie die statistischen Methoden zur Wirksamkeitsanalyse. Der Fokus liegt dabei auf der Sicherstellung der Reliabilität und Validität der Forschungsergebnisse, um fundierte Schlussfolgerungen über die Effektivität von EHS im globalen Klimaschutz ziehen zu können (Wu et al., 2023)(Okedele et al., 2024).

## *2.1. Analyserahmen für die Klimaschutzwirkung von Emissionshandelssystemen*

Der Analyserahmen für die Bewertung der Klimaschutzwirkung von EHS basiert auf einem kausalen Verständnis der Politikimplementierung und deren Auswirkungen auf Treibhausgasemissionen. Ein zentrales Element ist die Unterscheidung zwischen direkten und indirekten Effekten sowie die Berücksichtigung von Kontextfaktoren, die die Wirksamkeit beeinflussen können (Wu et al., 2023). EHS sind marktwirtschaftliche Instrumente, die darauf abzielen, Emissionen zu reduzieren, indem sie einen Preis für Kohlenstoff festlegen und eine Obergrenze für die Gesamtemissionen vorgeben (Bracer & Greiber, 2008)(worldbank.org, 2025). Die Wirksamkeitsanalyse muss daher über eine einfache Korrelation hinausgehen und versuchen, kausale Zusammenhänge zu identifizieren.

Der gewählte Rahmen integriert Konzepte der Politikfolgenanalyse und der Umweltökonomie. Zunächst wird die theoretische Wirkungsweise eines EHS betrachtet: Durch die Knappheit der Emissionszertifikate und den daraus resultierenden Marktpreis werden Anreize für Unternehmen geschaffen, in emissionsmindernde Technologien zu investieren oder ihre Produktionsprozesse anzupassen (Digitomie & Ekemezie, 2024). Dies

führt zu einer Reduktion der Emissionen dort, wo die Vermeidungskosten am niedrigsten sind. Die direkte Klimaschutzwirkung manifestiert sich in der Einhaltung oder Unterschreitung der festgelegten Obergrenze für die Emissionen im EHS-Sektor (Klimko & Hasprová, 2025)(Li & Zhao, 2025).

### **Abbildung 1: Wirkungsweise eines Cap-and-Trade-Systems**

*Anmerkung: Diese Abbildung illustriert den grundlegenden Funktionsmechanismus eines Cap-and-Trade-Systems. Die Regulierungsbehörde legt eine Obergrenze für die Gesamtemissionen fest und teilt entsprechende Zertifikate zu. Unternehmen handeln diese Zertifikate, wodurch ein Marktpreis für Emissionen entsteht, der Anreize für kosteneffiziente Reduktionen schafft. Unternehmen mit niedrigen Reduktionskosten verkaufen überschüssige Zertifikate, während Unternehmen mit hohen Kosten diese kaufen, um ihre Verpflichtungen zu erfüllen. Dies führt zu einer gesamtwirtschaftlich effizienten Emissionsminderung und fördert technologische Innovationen.*

Darüber hinaus werden indirekte Effekte in den Analyserahmen einbezogen. Dazu gehören Spillover-Effekte auf nicht-regulierte Sektoren oder Regionen, die durch Preisänderungen oder technologischen Wandel ausgelöst werden können (Holtmark & Weitzman, 2020). Eine wichtige Rolle spielt hierbei das Konzept des “Carbon Leakage”, bei dem Unternehmen ihre Produktion in Länder mit weniger strengen Klimaschutzauflagen verlagern könnten, was die globale Emissionsreduktion untergraben würde (Gabela et al., 2024). Die Analyse wird daher versuchen, Anzeichen für solche Effekte zu identifizieren und deren Ausmaß abzuschätzen, soweit dies die Datenlage zulässt. Ein weiterer indirekter Effekt ist die Förderung von Innovationen und technologischem Fortschritt im Bereich kohlenstoffarmer Technologien (Chen et al., 2024). EHS können als Katalysator für die Entwicklung und Verbreitung dieser Technologien wirken, was langfristig zu weiteren Emissionsreduktionen führen kann. Die Messung dieser Effekte ist komplex und erfordert die Heranziehung von Innovationsindikatoren und Patentdaten (Chen et al., 2024).



Der Analyserahmen berücksichtigt auch die Rolle von Einnahmen aus der Versteigerung von Emissionszertifikaten. Diese Einnahmen können für weitere Klimaschutzmaßnahmen, Investitionen in erneuerbare Energien oder zur Unterstützung von Haushalten und Unternehmen bei der Anpassung an die Kohlenstoffpreise verwendet werden (Zhao et al., 2022). Die Allokation dieser Einnahmen kann die Gesamtwirksamkeit des EHS erheblich beeinflussen und wird als integraler Bestandteil der Politikbewertung betrachtet. Die Untersuchung der Verwendung dieser Einnahmen und deren Auswirkungen auf die Klimaschutzziele ist ein wichtiger Aspekt des Analyserahmens (worldbank.org, 2025).

Die Bewertung der Klimaschutzwirkung erfolgt anhand mehrerer Dimensionen: 1. **Emissionsreduktion:** Absolute Reduktion von Treibhausgasemissionen im Geltungsbereich des EHS im Vergleich zu einem Basisszenario oder einer Kontrollgruppe (Wu et al., 2023). Dies ist die primäre Metrik zur Bewertung der direkten Wirksamkeit. 2. **Emissionsintensität:** Veränderung der Emissionen pro Einheit Wirtschaftsleistung (z.B. CO<sub>2</sub>/BIP) im regulierten Sektor, um Effizienzsteigerungen unabhängig vom absoluten Wirtschaftswachstum zu erfassen (Erdoğan, 2023). 3. **Kostenwirksamkeit:** Bewertung der Emissionsreduktionen im Verhältnis zu den verursachten Kosten für Wirtschaft und Gesellschaft (Digitomie & Ekemezie, 2024). Obwohl eine vollständige Kosten-Nutzen-Analyse den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, werden Indikatoren für die Kostenwirksamkeit, wie die Marktpreise für Zertifikate und deren Volatilität, berücksichtigt (Liu et al., 2024). 4. **Innovationsanreize:** Analyse der Auswirkungen des EHS auf Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie die Einführung emissionsarmer Technologien (Chen et al., 2024). 5. **Politische Konsistenz und Anpassungsfähigkeit:** Bewertung der Fähigkeit des EHS, sich an veränderte Rahmenbedingungen anzupassen und mit anderen Klimaschutzinstrumenten konsistent zu sein (Egenhofer et al., 2011).

Dieser umfassende Analyserahmen ermöglicht eine mehrdimensionale Bewertung der EHS-Wirksamkeit, die über eine reine Emissionsbilanz hinausgeht und die komplexen Wechselwirkungen innerhalb des Klimaschutzregimes berücksichtigt (Wu et al., 2023). Die An-

wendung dieses Rahmens auf die ausgewählten Fallstudien wird es ermöglichen, sowohl die Stärken als auch die Schwächen der jeweiligen Systeme herauszuarbeiten und übertragbare Lehren für zukünftige Klimapolitik zu ziehen (Qi & Choi, 2019).

## *2.2. Auswahlkriterien für Fallstudien*

Die Auswahl der Fallstudien ist entscheidend für die Aussagekraft der vergleichenden Analyse. Ziel ist es, EHS zu identifizieren, die eine ausreichende Reife, Datenverfügbarkeit und Designvielfalt aufweisen, um aussagekräftige Erkenntnisse zu gewinnen. Auf der Grundlage einer umfassenden Literaturrecherche und der Verfügbarkeit von Daten wurden das **EU-Emissionshandelssystem (EU ETS)** und das **Kalifornische Cap-and-Trade-Programm** als primäre Fallstudien ausgewählt. Diese Systeme repräsentieren unterschiedliche geografische, wirtschaftliche und regulatorische Kontexte, bieten jedoch gleichzeitig genügend Gemeinsamkeiten, um eine vergleichende Analyse zu ermöglichen (Qi & Choi, 2019)(worldbank.org, 2025).

Die Auswahlkriterien wurden wie folgt definiert: 1. **Reifegrad und Dauer der Implementierung:** Systeme, die über einen längeren Zeitraum in Betrieb sind, ermöglichen eine umfassendere Analyse ihrer langfristigen Auswirkungen und Anpassungsmechanismen (Wu et al., 2023). Das EU ETS ist das größte und am längsten bestehende multinationale EHS, das seit 2005 in Betrieb ist und mehrere Phasen der Entwicklung durchlaufen hat (Klimko & Hasprová, 2025)(Egenhofer et al., 2011). Kaliforniens System wurde 2013 eingeführt und ist ebenfalls etabliert, was eine Analyse über einen signifikanten Zeitraum erlaubt (Ellerman & Harrison, 2003). 2. **Geografische und wirtschaftliche Vielfalt:** Die Auswahl unterschiedlicher geografischer Regionen (Europa vs. Nordamerika) und Wirtschaftsstrukturen ermöglicht es, die Übertragbarkeit von Ergebnissen zu bewerten und kontextspezifische Faktoren zu identifizieren (Qi & Choi, 2019). Das EU ETS deckt eine breite Palette von Industrien und Sektoren in 27 EU-Mitgliedstaaten sowie Island, Liechtenstein und Norwegen ab, während das kalifornische System spezifisch auf

die Wirtschaft des Bundesstaates Kalifornien zugeschnitten ist (eea.europa.eu, 2025). 3. **Sektorale Abdeckung:** EHS, die eine signifikante Abdeckung von emissionsintensiven Sektoren aufweisen, sind für die Analyse der Klimaschutzwirkung relevanter. Beide ausgewählten Systeme decken einen Großteil der stationären Emissionen (Energieerzeugung, energieintensive Industrien) ab, und das kalifornische System umfasst zusätzlich den Transportsektor (Ellerman & Harrison, 2003)(Egenhofer et al., 2011). 4. **Datenverfügbarkeit und -qualität:** Die Verfügbarkeit konsistenter und zuverlässiger Daten über Emissionen, Zertifikatspreise, Wirtschaftswachstum und politische Änderungen ist eine Grundvoraussetzung für eine quantitative Analyse (Wu et al., 2023). Sowohl das EU ETS als auch das kalifornische System stellen umfangreiche öffentliche Daten zur Verfügung, die eine detaillierte Analyse ermöglichen. Daten von Quellen wie der Europäischen Umweltagentur (EEA) und dem California Air Resources Board (CARB) sind gut dokumentiert und zugänglich (eea.europa.eu, 2025). 5. **Designmerkmale und Reformen:** Systeme, die unterschiedliche Designmerkmale (z.B. Auktionsanteil, Marktstabilitätsreserve, Verknüpfungsmechanismen) und signifikante Reformen erfahren haben, bieten reichhaltiges Material für die Untersuchung der Auswirkungen von Politikdesign auf die Wirksamkeit (Bordignon & degl’Innocenti, 2023)(Holtmark & Weitzman, 2020). Das EU ETS hat beispielsweise mehrere Reformphasen durchlaufen, die wichtige Einblicke in die Anpassungsfähigkeit und Robustheit des Systems bieten (Egenhofer et al., 2011)(Liu et al., 2024).

**Begründung der Auswahl:** \* **EU ETS:** Als Pionier und größtes internationales EHS bietet das EU ETS eine unvergleichliche Erfahrungsbasis. Seine lange Geschichte, die breite sektorale Abdeckung und die zahlreichen Reformen (z.B. Einführung der Marktstabilitätsreserve) machen es zu einem idealen Fall für die Untersuchung der Dynamik und Anpassungsfähigkeit von EHS (Klimko & Hasprová, 2025)(Egenhofer et al., 2011). Die umfangreiche wissenschaftliche Literatur zum EU ETS (Bordignon & degl’Innocenti, 2023)(Błazejowska et al., 2024) erleichtert die Kontextualisierung der eigenen Ergebnisse. \* **Kalifornisches Cap-and-Trade-Programm:** Dieses System ist ein führendes Beispiel für ein

EHS auf subnationaler Ebene und zeichnet sich durch seine fortschrittlichen Designmerkmale aus, einschließlich der Einbeziehung des Transportsektors und der Verknüpfung mit dem Québecer System (Ellerman & Harrison, 2003)(Holtmark & Weitzman, 2020). Die Analyse Kaliforniens bietet wertvolle Einblicke in die Wirksamkeit von EHS in einer hochentwickelten Volkswirtschaft mit ambitionierten Klimazielen und zeigt, wie ein solches System in einem spezifischen politischen und wirtschaftlichen Umfeld funktionieren kann (Rutty et al., 2022).

Die bewusste Beschränkung auf zwei gut etablierte Systeme ermöglicht eine tiefgehende Analyse und einen aussagekräftigen Vergleich, anstatt eine breitere, aber oberflächlichere Untersuchung vieler EHS durchzuführen. Andere EHS, wie das chinesische nationale EHS oder die Systeme in Südkorea, bieten zwar ebenfalls interessante Aspekte (Cui et al., 2021), sind jedoch entweder noch zu jung für eine umfassende Langzeitanalyse oder weisen spezifische Kontextfaktoren auf, die einen direkten Vergleich mit den ausgewählten Systemen erschweren würden. Die Auswahl der EU und Kalifornien ermöglicht es, die Forschungsfragen mit der höchstmöglichen Datenqualität und Vergleichbarkeit zu beantworten (Qi & Choi, 2019).

### *2.3. Datenquellen und Messverfahren*

Die Qualität der Daten ist entscheidend für die Validität der Analyse der Klimaschutzwirkung. Für jede Fallstudie werden spezifische Datenkategorien erhoben und harmonisiert, um eine konsistente vergleichende Analyse zu gewährleisten. Die Datenerhebung konzentriert sich auf den Zeitraum der jeweiligen EHS-Implementierung bis zum aktuellsten verfügbaren Zeitpunkt, um dynamische Entwicklungen und die Auswirkungen von Reformen erfassen zu können.

**2.3.1. Emissionsdaten** Die primäre Metrik zur Bewertung der Klimaschutzwirkung sind die Treibhausgasemissionen. \* **EU ETS:** Emissionsdaten auf Anlagenebene und aggregierte Sektoremissionen werden von der Europäischen Umweltagentur (EEA) über das

European Union Transaction Log (EUTL) bezogen (eea.europa.eu, 2025). Diese Daten umfassen verifizierte Emissionen aus den regulierten Sektoren (Energieerzeugung, energieintensive Industrien, innergemeinschaftlicher Luftverkehr) und sind für den gesamten Zeitraum des EU ETS verfügbar. Die Daten sind nach Sektoren, Ländern und Emissionsjahren aufgeschlüsselt, was eine detaillierte Analyse ermöglicht. \* **Kalifornisches Cap-and-Trade-Programm:** Emissionsdaten werden vom California Air Resources Board (CARB) bereitgestellt, das die Emissionen der regulierten Anlagen und Brennstofflieferanten erfasst (Ellerman & Harrison, 2003). Diese Daten umfassen die Emissionen aus den Sektoren Elektrizität, Industrie und Transport und sind ebenfalls umfassend dokumentiert und öffentlich zugänglich.

Die Emissionsdaten werden in Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent (tCO<sub>2</sub>e) gemessen. Es wird sichergestellt, dass die Definitionen und die Methodologie zur Emissionsberechnung über die Zeit und zwischen den Fallstudien hinweg konsistent sind, um Verzerrungen zu vermeiden. Gegebenenfalls werden Anpassungen vorgenommen, um die Vergleichbarkeit zu verbessern, beispielsweise durch die Berücksichtigung von Scope 1 und Scope 2 Emissionen, wie sie im jeweiligen System erfasst werden.

**2.3.2. Preisdaten für Emissionszertifikate** Die Marktpreise für Emissionszertifikate sind ein zentraler Indikator für die Anreizwirkung eines EHS und seine ökonomische Effizienz (Digitemie & Ekemezie, 2024). \* **EU ETS:** Preise für EU Allowances (EUAs) werden von Finanzdatenanbietern (z.B. EEX, ICE Futures Europe) oder spezialisierten Marktanalyseplattformen erhoben (Liu et al., 2024). Es werden sowohl Spot- als auch Futures-Preise berücksichtigt, um die Markterwartungen und die Preisvolatilität zu analysieren. \* **Kalifornisches Cap-and-Trade-Programm:** Preise für California Carbon Allowances (CCAs) werden ebenfalls von den entsprechenden Börsen (z.B. Western Climate Initiative (WCI) Inc. Auctions, ICE Futures US) und Finanzdatenanbietern bezogen.

Die Preisdaten werden in Euro pro Tonne CO<sub>2</sub>e bzw. US-Dollar pro Tonne CO<sub>2</sub>e erhoben und für Vergleichszwecke in eine einheitliche Währung umgerechnet, wobei Wechselkurse und Inflation berücksichtigt werden.

**2.3.3. Sozioökonomische Daten und Kontrollvariablen** Um die Klimaschutzwirkung isolieren zu können, müssen andere Faktoren, die Emissionen beeinflussen, als Kontrollvariablen einbezogen werden. \* **Wirtschaftswachstum:** Bruttoinlandsprodukt (BIP) oder Bruttowertschöpfung der regulierten Sektoren, bezogen von Eurostat (für EU) und dem Bureau of Economic Analysis (BEA) oder dem California Department of Finance (für Kalifornien). Dies dient der Kontrolle für konjunkturelle Schwankungen (Erdoğan, 2023). \* **Energiepreise:** Preise für fossile Brennstoffe (Kohle, Gas, Öl) und Strompreise, bezogen von Eurostat, IEA (International Energy Agency) oder nationalen Energieagenturen. Diese beeinflussen die Brennstoffwahl und die Kosten der Emissionsminderung (Błażejowska et al., 2024). \* **Bevölkerungsentwicklung:** Daten von Eurostat und dem US Census Bureau, um demografische Einflüsse zu kontrollieren. \* **Technologischer Fortschritt:** Indikatoren wie Patentanmeldungen in relevanten Sektoren oder Investitionen in erneuerbare Energien, bezogen von Organisationen wie der EPO (European Patent Office) oder der IRENA (International Renewable Energy Agency) (Chen et al., 2024). \* **Politische Rahmenbedingungen:** Daten zu anderen relevanten Klimaschutzpolitiken (z.B. Förderprogramme für erneuerbare Energien, Energieeffizienzstandards), die die Wirkung des EHS ergänzen oder überlagern könnten. Diese Informationen werden durch Policy-Dokumente und Berichte der jeweiligen Regierungen und Institutionen (z.B. Europäische Kommission, California Air Resources Board) gesammelt (Egenhofer et al., 2011).

**2.3.4. Datenaufbereitung und -harmonisierung** Nach der Datenerhebung erfolgt eine umfassende Datenaufbereitung. Dies umfasst: \* **Datenbereinigung:** Identifizierung und Korrektur von Fehlern, Ausreißern und Inkonsistenzen in den Datensätzen. \* **Harmonisierung:** Angleichung von Zeiteinheiten (z.B. jährliche Daten), Währungen und Definitionen, um die Vergleichbarkeit zwischen den Fallstudien und über die Zeit zu

gewährleisten. \* **Umgang mit fehlenden Werten:** Fehlende Datenpunkte werden, wo möglich und sinnvoll, durch Interpolation oder andere statistische Verfahren ergänzt. Die angewandten Methoden werden transparent dokumentiert. In Fällen, in denen die Datenlücke zu groß ist, um eine verlässliche Ergänzung zu ermöglichen, werden die Einschränkungen in der Diskussion erörtert. \* **Normalisierung/Standardisierung:** Einige Variablen werden normalisiert oder standardisiert, um ihre Verteilung zu verbessern und die Interpretation von Regressionskoeffizienten zu erleichtern.

Die Verlässlichkeit der Datenquellen ist von größter Bedeutung. Es wird vorrangig auf offizielle Statistiken und verifizierte Berichte von Regierungsbehörden, internationalen Organisationen und etablierten Forschungseinrichtungen zurückgegriffen (worldbank.org, 2025)(eea.europa.eu, 2025).

## *2.4. Statistische Methoden zur Wirksamkeitsanalyse*

Die Analyse der Klimaschutzwirkung von EHS erfordert robuste statistische Methoden, die in der Lage sind, kausale Zusammenhänge zu identifizieren und von anderen Einflussfaktoren zu unterscheiden. Die Komplexität der Politikbewertung, insbesondere bei makroökonomischen Instrumenten wie EHS, macht den Einsatz fortgeschrittener ökonometrischer Verfahren notwendig (Wu et al., 2023)(Erdoğan, 2023).

**2.4.1. Panel-Regressionsanalyse** Für die quantitative Analyse wird primär die Panel-Regressionsanalyse eingesetzt. Diese Methode ist besonders geeignet, um die Wirkung eines EHS über die Zeit (time-series dimension) und über verschiedene Einheiten (cross-sectional dimension, z.B. Länder im EU ETS oder Sektoren) hinweg zu untersuchen (Erdoğan, 2023). Paneldaten ermöglichen es, sowohl zeitlich variierende als auch zeitlich konstante unbeobachtete Heterogenität zu kontrollieren.

Die allgemeine Form des Modells sieht wie folgt aus:  $Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 EHS_{it} + \beta_2 X_{it} + \alpha_i + \delta_t + \epsilon_{it}$  Wobei: \*  $Y_{it}$  die Treibhausgasemissionen der Einheit  $i$  zum Zeitpunkt  $t$  darstellt (abhängige Variable). \*  $EHS_{it}$  eine Dummy-Variable ist, die die Implementierung des EHS

anzeigt (1, wenn EHS aktiv; 0, sonst) oder eine kontinuierliche Variable, die die Intensität des EHS misst (z.B. Zertifikatspreis). \*  $X_{it}$  einen Vektor von Kontrollvariablen darstellt, der sozioökonomische Faktoren wie BIP, Energiepreise, Industriestruktur etc. umfasst (Erdoğan, 2023). \*  $\alpha_i$  ein einheitsspezifischer fester Effekt ist, der unbeobachtete, zeitlich-invariante Merkmale der Einheit  $i$  kontrolliert (z.B. geografische Gegebenheiten, historische Emissionen). \*  $\delta_t$  ein zeitspezifischer fester Effekt ist, der unbeobachtete, einheitsinvariante Merkmale des Zeitpunkts  $t$  kontrolliert (z.B. globale Wirtschaftskrisen, technologische Schocks). \*  $\epsilon_{it}$  der Fehlerterm ist.

Es werden sowohl Fixed-Effects- als auch Random-Effects-Modelle geschätzt. Die Wahl zwischen diesen Modellen wird mittels eines Hausman-Tests getroffen (Erdoğan, 2023). Fixed-Effects-Modelle sind vorteilhaft, da sie eine Korrelation zwischen den unabhängigen Variablen und den unbeobachteten Effekten zulassen, was bei der Bewertung von Politiken oft der Fall ist.

**2.4.2. Difference-in-Difference (DiD)-Ansatz** Um die kausale Wirkung des EHS noch präziser zu isolieren, wird der Difference-in-Difference-Ansatz angewendet, insbesondere wenn eine geeignete Kontrollgruppe identifiziert werden kann. Dieser Ansatz vergleicht die Veränderung der Emissionen in den regulierten Sektoren (Behandlungsgruppe) mit der Veränderung in nicht-regulierten Sektoren oder vergleichbaren Regionen ohne EHS (Kontrollgruppe) über den Zeitraum vor und nach der EHS-Einführung (Wu et al., 2023).

Das DiD-Modell kann wie folgt formuliert werden:  $Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{TREATMENT}_i + \beta_2 \text{POST}_t + \beta_3 (\text{TREATMENT}_i \times \text{POST}_t) + \beta_4 X_{it} + \epsilon_{it}$  Wobei: \*  $\text{TREATMENT}_i$  eine Dummy-Variable ist, die 1 für die Behandlungsgruppe (EHS-Sektoren/Regionen) und 0 für die Kontrollgruppe ist. \*  $\text{POST}_t$  eine Dummy-Variable ist, die 1 für den Zeitraum nach der EHS-Einführung und 0 für den Zeitraum davor ist. \*  $(\text{TREATMENT}_i \times \text{POST}_t)$  der Interaktionsterm ist, dessen Koeffizient  $\beta_3$  die kausale Wirkung des EHS misst. \*  $X_{it}$  wieder Kontrollvariablen sind.



Eine kritische Annahme des DiD-Ansatzes ist die parallele Trendannahme, die besagt, dass sich die Behandlungsgruppe und die Kontrollgruppe ohne die Intervention parallel entwickelt hätten. Diese Annahme wird durch visuelle Inspektion der Trends in der Vor-Interventionsphase und durch formale Tests (z.B. Interaktionsterme zwischen der Behandlungsgruppe und Zeitperioden vor der Intervention) überprüft (Wu et al., 2023).

**2.4.3. Robustheitsanalysen und Sensitivitätstests** Um die Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, werden umfassende Robustheitsanalysen durchgeführt:

- \* **Alternative Modellspezifikationen:** Die Hauptmodelle werden mit verschiedenen Sätzen von Kontrollvariablen oder alternativen funktionalen Formen geschätzt.
- \* **Alternative Definitionen der abhängigen Variablen:** Beispielsweise können neben den absoluten Emissionen auch Emissionsintensitäten oder Pro-Kopf-Emissionen als abhängige Variable verwendet werden.
- \* **Subsample-Analysen:** Die Analyse wird auf verschiedene Subgruppen (z.B. spezifische Sektoren oder Länder innerhalb des EU ETS) angewendet, um die Konsistenz der Effekte zu prüfen.
- \* **Endogenitätstests:** Potenzielle Endogenitätsprobleme (z.B. wenn die EHS-Implementierung selbst durch die Emissionstrends beeinflusst wurde) werden mittels geeigneter ökonometrischer Verfahren, wie Instrumentenvariablen-Ansätzen, adressiert, sofern geeignete Instrumente identifiziert werden können (Erdoğan, 2023).

**2.4.4. Qualitative Kontextanalyse** Ergänzend zu den quantitativen Methoden wird eine qualitative Kontextanalyse durchgeführt. Diese umfasst die Überprüfung von Politikdokumenten, Berichten und relevanter Fachliteratur, um die spezifischen Designmerkmale, Reformen und politischen Debatten im Zusammenhang mit dem EU ETS und dem kalifornischen System zu verstehen (Egenhofer et al., 2011). Die qualitative Analyse hilft, die quantitativen Ergebnisse zu interpretieren, kausale Mechanismen besser zu verstehen und die Grenzen der statistischen Modelle zu erkennen. Sie dient auch dazu, die Rolle von “Soft Factors” wie politischem Willen, öffentlicher Akzeptanz und institutioneller Kapazität in der Wirksamkeit von EHS zu beleuchten (Bracer & Greiber, 2008).

**2.4.5. Software** Die statistischen Analysen werden mit spezialisierter Statistiksoftware wie R oder Stata durchgeführt. Diese Programme bieten robuste Funktionen für Panel-datenanalysen, DiD-Modelle und umfangreiche Diagnose- und Robustheitstests. Die Skripte und die Methodologie zur Datenanalyse werden transparent dokumentiert, um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

Durch die Kombination dieser methodischen Ansätze – eines detaillierten Analyserahmens, einer strategischen Fallstudienauswahl, einer sorgfältigen Datenerhebung und dem Einsatz fortgeschrittener statistischer Methoden mit umfassenden Robustheitsprüfungen – strebt diese Arbeit danach, eine fundierte und glaubwürdige Bewertung der Klimaschutzwirkung von Emissionshandelssystemen zu liefern (Wu et al., 2023)(Okedele et al., 2024). Die Integration qualitativer Kontextanalyse wird dabei helfen, die quantitativen Befunde in einen breiteren politischen und sozioökonomischen Rahmen einzuordnen.

# Analyse

CO<sub>2</sub>-Emissionshandelssysteme (ETS) sind ein Eckpfeiler der globalen Klimapolitik, konzipiert, um Treibhausgasemissionen (THG) effizient zu reduzieren. Diese marktbasierenden Instrumente setzen einen Preis auf Kohlenstoff, indem sie ein Limit (Cap) für die Gesamtemissionen festlegen und Unternehmen erlauben, Emissionszertifikate zu handeln. Der theoretische Rahmen des Emissionshandels basiert auf der ökonomischen Effizienz, die besagt, dass Emissionen dort reduziert werden, wo dies am kostengünstigsten ist, wodurch die Gesamtkosten der Emissionsminderung für die Gesellschaft minimiert werden (Ellerman & Harrison, 2003). Seit ihrer Einführung in den späten 1990er Jahren haben ETS weltweit an Bedeutung gewonnen, mit prominenten Beispielen wie dem EU-Emissionshandelssystem (EU ETS), dem California Cap-and-Trade Program und den verschiedenen regionalen Systemen in China. Die Analyse der Wirksamkeit dieser Systeme erfordert eine detaillierte Betrachtung ihrer Fähigkeit, Emissionen zu reduzieren, der Mechanismen, die ihre Preisgestaltung und Marktstabilität beeinflussen, sowie einen Vergleich mit alternativen Klimaschutzinstrumenten. Empirische Belege sind dabei entscheidend, um die tatsächliche Klimaschutzwirkung dieser komplexen politischen Instrumente zu bewerten und ihre Rolle in einer umfassenden Strategie zur Dekarbonisierung zu verstehen (Wu et al., 2023)(Digitomie & Ekemezie, 2024).

## *1. Emissionsreduktionen durch CO<sub>2</sub>-Handel*

Die primäre Zielsetzung von CO<sub>2</sub>-Emissionshandelssystemen ist die Reduktion von Treibhausgasemissionen auf kosteneffiziente Weise. Das Grundprinzip eines Cap-and-Trade-Systems beruht auf der Festlegung einer Obergrenze (Cap) für die Gesamtemissionen in einem bestimmten Sektor oder einer Volkswirtschaft (Bracer & Greiber, 2008). Diese Obergrenze wird im Laufe der Zeit typischerweise schrittweise gesenkt, um eine kontinuierliche Emissionsminderung zu gewährleisten. Innerhalb dieses Caps werden Emissionszertifikate

ausgegeben, die jeweils die Emission einer Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalente erlauben. Unternehmen, die weniger emittieren als ihre zugeteilten Zertifikate, können überschüssige Zertifikate an Unternehmen verkaufen, die ihre Emissionen nur zu höheren Kosten reduzieren können (Ellerman & Harrison, 2003). Dieser Handel schafft einen Anreiz für Unternehmen, in emissionsmindernde Technologien und Prozesse zu investieren, da dies ihre Kosten senkt oder ihnen Einnahmen aus dem Verkauf von Zertifikaten ermöglicht (Wiesmeier et al., 2020). Der Marktmechanismus sorgt dafür, dass die Emissionsreduktionen dort stattfinden, wo sie am günstigsten sind, was die gesamtwirtschaftliche Effizienz des Klimaschutzes erhöht (Ellerman & Harrison, 2003). Die Effektivität dieses Ansatzes hängt jedoch stark von der Ausgestaltung des Systems ab, einschließlich der Höhe und Entwicklung des Caps, der Allokationsmethoden der Zertifikate, der Marktstabilitätsmechanismen und der Einbeziehung von Sektoren und Gasen (Wu et al., 2023).

Die Wirksamkeit von Emissionshandelssystemen bei der Reduktion von Emissionen ist Gegenstand umfangreicher Forschung und Debatte. Studien zum EU ETS, einem der größten und am längsten bestehenden Systeme, zeigen, dass es signifikant zur Reduktion von THG-Emissionen beigetragen hat (Klimko & Hasprová, 2025)(Bordignon & degl’Innocenti, 2023). Insbesondere in den Phasen, in denen das Cap ambitionierter gesetzt und Marktstabilitätsmechanismen implementiert wurden, konnten messbare Erfolge erzielt werden. Die dritte Phase des EU ETS (2013-2020) wird in diesem Kontext oft als Wendepunkt betrachtet, nach anfänglichen Herausforderungen einer Überallokation von Zertifikaten in den früheren Phasen (Bordignon & degl’Innocenti, 2023)(Egenhofer et al., 2011). Die Reduktionen sind nicht nur auf die direkten Anreize zur Emissionsminderung zurückzuführen, sondern auch auf die Förderung von technologischen Innovationen (Chen et al., 2024). Unternehmen investieren in sauberere Technologien, um ihre Emissionsverpflichtungen zu erfüllen und von den Marktpreisen für Zertifikate zu profitieren. Dieser Innovationsanreiz ist ein wesentlicher Vorteil von marktbasierten Instrumenten gegenüber rein regulativen Ansätzen, da er langfristige Dekarbonisierungspfade unterstützt (Chen et al., 2024).

Trotz der nachgewiesenen Erfolge gibt es Herausforderungen, die die Wirksamkeit von ETS beeinträchtigen können. Eine zentrale Sorge ist das Risiko der Kohlenstoffverlagerung (Carbon Leakage), bei dem Unternehmen ihre Produktion in Länder mit weniger strengen Klimaschutzauflagen verlagern, um Kosten zu sparen (Verde, 2020). Dies würde die globalen Emissionen nicht reduzieren, sondern lediglich geographisch verschieben. Um diesem Risiko entgegenzuwirken, wurden Maßnahmen wie die kostenlose Zuteilung von Zertifikaten für Sektoren mit hohem Verlagerungsrisiko und der geplante Kohlenstoffgrenzausgleichsmechanismus (CBAM) im EU ETS eingeführt (Gabela et al., 2024). Ein weiteres Problem ist die Preisschwankung von Emissionszertifikaten, die Investitionsentscheidungen erschweren kann. Phasen niedriger Preise, oft verursacht durch eine Überallokation oder externe Schocks wie Wirtschaftskrisen, untergraben den Anreiz zur Emissionsminderung (Liu et al., 2024). Um dies zu adressieren, wurden Mechanismen wie die Marktstabilitätsreserve (MSR) im EU ETS implementiert, die darauf abzielen, das Angebot an Zertifikaten zu steuern und Preisstabilität zu fördern (Liu et al., 2024). Die Komplexität dieser Systeme erfordert eine kontinuierliche Überwachung und Anpassung, um ihre Effektivität langfristig zu sichern (Wu et al., 2023).

Die Expansion von ETS auf neue Sektoren und Gase ist ein weiterer wichtiger Aspekt der Emissionsreduktion. Ursprünglich oft auf den Energiesektor und energieintensive Industrien beschränkt, werden zunehmend auch andere Bereiche wie der Verkehr oder die Landwirtschaft in Betracht gezogen (Gabela et al., 2024)(Verschuuren, 2017). Die Integration neuer Sektoren birgt jedoch spezifische Herausforderungen, da die Emissionsquellen diverser sind und die Messung und Überwachung komplexer sein kann. Beispielsweise erfordert die Einbeziehung der Landwirtschaft in den Emissionshandel eine genaue Bilanzierung von Emissionen und Senken, was durch die biologische Vielfalt und die Abhängigkeit von natürlichen Prozessen erschwert wird (Verschuuren, 2017). Trotz dieser Schwierigkeiten ist die Ausweitung des Anwendungsbereichs von ETS entscheidend, um eine umfassende Dekarbonisierung zu erreichen und Schlupflöcher zu vermeiden. Die internationale Zusammenarbeit

und die Verknüpfung von Handelssystemen könnten ebenfalls die Effizienz und Reichweite der Emissionsminderung erhöhen, indem sie größere Märkte schaffen und die Liquidität erhöhen (Qi & Choi, 2019)(Holtsmark & Weitzman, 2020).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Emissionshandelssysteme ein potentes Instrument zur Emissionsreduktion darstellen, wenn sie gut konzipiert und umgesetzt werden. Ihre Fähigkeit, einen Preis auf Kohlenstoff zu setzen und Anreize für kosteneffiziente Reduktionen und Innovationen zu schaffen, ist ein wesentlicher Vorteil (Digitemie & Ekemezie, 2024). Die kontinuierliche Weiterentwicklung und Anpassung dieser Systeme an neue Erkenntnisse und Herausforderungen ist jedoch unerlässlich, um ihre langfristige Wirksamkeit im Kampf gegen den Klimawandel zu maximieren (Wu et al., 2023). Die Erfahrungen aus den verschiedenen bestehenden Systemen bieten wertvolle Lehren für die Gestaltung zukünftiger oder die Reform bestehender ETS.

## *2. Preisgestaltung und Marktmechanismen*

Die Preisgestaltung von Emissionszertifikaten und die zugrunde liegenden Marktmechanismen sind von zentraler Bedeutung für die Wirksamkeit eines CO<sub>2</sub>-Emissionshandelssystems. Der Preis pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent spiegelt die Knappheit der verfügbaren Zertifikate wider und dient als entscheidendes Signal für Unternehmen, in Emissionsminderungsmaßnahmen zu investieren (Digitemie & Ekemezie, 2024). Ein höherer Preis schafft stärkere Anreize zur Reduktion, während ein zu niedriger oder volatiler Preis die Investitionssicherheit mindert und die Klimaschutzwirkung schwächt (Liu et al., 2024). Die Preisbildung wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst, darunter das Niveau und die Entwicklung des Caps, die makroökonomische Lage, die Energiepreise, technologische Fortschritte und politische Entscheidungen (Liu et al., 2024).

Das Cap, also die Obergrenze der zulässigen Emissionen, ist der grundlegende Treiber der Zertifikatspreise. Eine ehrgeizige und kontinuierlich sinkende Obergrenze signalisiert eine zunehmende Knappheit von Emissionsrechten und treibt somit die Preise in die Höhe (Wu

et al., 2023). Wenn das Cap jedoch zu locker gesetzt ist oder aufgrund externer Faktoren wie einer Wirtschaftskrise die Emissionen ohnehin sinken, kann es zu einem Überschuss an Zertifikaten im Markt kommen. Dieser Überschuss führt zu niedrigen Preisen, die den Anreiz zur Emissionsminderung erheblich schwächen (Bordignon & degl’Innocenti, 2023). Die Erfahrungen aus der frühen Phase des EU ETS haben gezeigt, wie eine Überallokation von Zertifikaten die Marktfunktion beeinträchtigen kann (Bordignon & degl’Innocenti, 2023)(Egenhofer et al., 2011). Als Reaktion darauf wurden Mechanismen zur Marktstabilisierung entwickelt.

Ein prominentes Beispiel für einen solchen Marktmechanismus ist die Marktstabilitätsreserve (MSR) im EU ETS, die 2019 eingeführt wurde (Liu et al., 2024). Die MSR passt das Angebot an Zertifikaten dynamisch an die Marktbedingungen an. Bei einem Überschuss an Zertifikaten über einem bestimmten Schwellenwert werden diese automatisch in die Reserve überführt, wodurch das verfügbare Angebot reduziert und der Preis gestützt wird. Umgekehrt können bei einem Mangel an Zertifikaten Zertifikate aus der Reserve freigegeben werden, um übermäßige Preisanstiege zu dämpfen (Liu et al., 2024). Die MSR hat sich als wirksames Instrument erwiesen, um die Volatilität der Preise zu reduzieren und einen Mindestanreiz für Emissionsminderungen aufrechtzuerhalten, selbst in Zeiten wirtschaftlicher Abschwächung (Liu et al., 2024). Ähnliche Mechanismen existieren oder sind in anderen Handelssystemen in Planung, um die Robustheit und Vorhersagbarkeit der Kohlenstoffpreise zu verbessern (worldbank.org, 2025).

Neben dem Cap und den Marktstabilitätsmechanismen spielen auch Allokationsmethoden eine Rolle bei der Preisgestaltung und der Markteffizienz. Zertifikate können entweder kostenlos zugeteilt (grandfathering) oder versteigert werden. Die kostenlose Zuteilung wurde oft in den Anfangsphasen von ETS verwendet, um die Akzeptanz bei den Industrieunternehmen zu erhöhen und das Risiko der Kohlenstoffverlagerung zu mindern (Verde, 2020). Mit zunehmender Reife der Systeme hat sich jedoch die Versteigerung als bevorzugte Methode etabliert, da sie den Verursacherprinzip besser abbildet, Einnahmen für den Staat generiert und Verzerrungen im Wettbewerb minimiert (Egenhofer et al., 2011). Die Einnahmen

aus Versteigerungen können für Klimaschutzmaßnahmen, Innovationen oder zur Entlastung von Haushalten und Unternehmen verwendet werden, was die Akzeptanz des Systems weiter erhöhen kann (Zhao et al., 2022). Die Umstellung auf Versteigerungen im EU ETS hat ebenfalls dazu beigetragen, die Marktliquidität und die Preisbildung zu verbessern.

Die Interaktion von ETS mit anderen Energie- und Klimapolitiken ist ebenfalls von Bedeutung für die Preisgestaltung. Politiken wie Subventionen für erneuerbare Energien oder Energieeffizienzmaßnahmen können indirekt die Nachfrage nach Emissionszertifikaten beeinflussen, indem sie die Emissionen der Unternehmen reduzieren (Błażejowska et al., 2024). Wenn diese Politiken zu einer stärkeren Emissionsminderung führen als durch das ETS-Cap vorgegeben, kann dies zu einem weiteren Überschuss an Zertifikaten und niedrigeren Preisen führen, was die zusätzlichen Anreize des ETS untergraben könnte. Daher ist eine kohärente Politikgestaltung erforderlich, die die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Instrumenten berücksichtigt und aufeinander abstimmt (Egenhofer et al., 2011). Die Preisgestaltung im ETS muss auch die Auswirkungen auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen berücksichtigen. Ein zu hoher Kohlenstoffpreis könnte Unternehmen dazu veranlassen, in Länder mit geringeren Umweltauflagen abzuwandern (Carbon Leakage), was nicht nur die heimische Wirtschaft schwächt, sondern auch die globalen Emissionen nicht effektiv reduziert (Gabela et al., 2024). Der bereits erwähnte Kohlenstoffgrensausgleichsmechanismus (CBAM) des EU ETS zielt darauf ab, dieses Risiko zu mindern, indem er Importe aus Nicht-EU-Ländern mit einem Kohlenstoffpreis belegt, der dem im EU ETS entspricht (Gabela et al., 2024).

Die Finanzmärkte spielen ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Preisbildung von Emissionszertifikaten. Zertifikate werden wie andere Rohstoffe gehandelt, was Spekulation und Arbitrage ermöglicht. Der Handel mit Derivaten wie Futures und Optionen trägt zur Preisentdeckung und Liquidität bei, kann aber auch zu kurzfristiger Volatilität führen (Liu et al., 2024). Die Einbeziehung von Finanzakteuren in den Markt kann die Effizienz des Preissignals verbessern, erfordert aber auch eine sorgfältige Regulierung, um übermäßige



Spekulation und Marktmanipulation zu verhindern. Die Beobachtung der Preisentwicklung im EU ETS zeigt, dass die Preise in den letzten Jahren, insbesondere seit der Reform und Stärkung der MSR, einen Aufwärtstrend verzeichneten, was die Anreize zur Dekarbonisierung verstärkt hat (Liu et al., 2024). Diese Entwicklung unterstreicht die Bedeutung robuster Marktmechanismen und einer konsistenten politischen Rahmensetzung für die Erreichung von Klimazielen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Preisgestaltung und die Marktmechanismen die Lebensader jedes Emissionshandelssystems sind. Ein effektives ETS erfordert eine sorgfältige Kalibrierung des Caps, die Implementierung intelligenter Marktstabilitätsmechanismen und eine abgestimmte Politik, um ein stabiles und ausreichend hohes Preissignal zu erzeugen, das die gewünschten Emissionsreduktionen und Investitionen in saubere Technologien anstößt (Wu et al., 2023)(Digitomie & Ekemezie, 2024). Die Erfahrungen der bestehenden Systeme bieten wertvolle Einblicke in die Komplexität und die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Anpassung dieser Mechanismen.

### *3. Fallstudien*

Die Analyse der Wirksamkeit von Emissionshandelssystemen wird durch die Untersuchung konkreter Fallstudien untermauert. Weltweit existieren verschiedene ETS mit unterschiedlichen Designs, Umsetzungsgeschichten und Ergebnissen. Die EU, Kalifornien und China bieten hierbei repräsentative Beispiele, die jeweils einzigartige Erkenntnisse über die Herausforderungen und Erfolge von Cap-and-Trade-Systemen liefern.

**3.1. EU Emissionshandelssystem (EU ETS)** Das EU ETS ist das größte und älteste Emissionshandelssystem der Welt und umfasst über 10.000 Anlagen in der Energiewirtschaft und energieintensiven Industrie sowie den innereuropäischen Luftverkehr (Egenhofer et al., 2011). Es wurde 2005 eingeführt und hat seitdem mehrere Phasen der Reform und Weiterentwicklung durchlaufen. Die erste Phase (2005-2007) diente hauptsächlich als Lernphase,

in der eine Überallokation von Zertifikaten zu sehr niedrigen Preisen führte und kaum Emissionsminderungen bewirkte (Bordignon & degl’Innocenti, 2023). Die zweite Phase (2008-2012) war durch die Wirtschaftskrise 2008/2009 geprägt, die ebenfalls zu einem Preisverfall führte, da die Emissionen aufgrund des wirtschaftlichen Abschwungs sanken (Bordignon & degl’Innocenti, 2023).

Die dritte Phase (2013-2020) markierte einen Wendepunkt mit der Einführung eines EU-weiten Caps und einer stärkeren Versteigerung von Zertifikaten anstelle der kostenlosen Zuteilung, um die Marktfunktion zu verbessern (Egenhofer et al., 2011). Trotz dieser Verbesserungen blieb ein erheblicher Überschuss an Zertifikaten bestehen, was die Preise niedrig hielt. Als Reaktion darauf wurde 2019 die Marktstabilitätsreserve (MSR) eingeführt, die überschüssige Zertifikate aus dem Markt nimmt und in eine Reserve überführt (Liu et al., 2024). Die MSR hat maßgeblich dazu beigetragen, die Preise zu stabilisieren und einen Aufwärtstrend zu ermöglichen, wodurch die Anreize zur Emissionsminderung gestärkt wurden (Liu et al., 2024). Studien belegen, dass das EU ETS seit seiner Einführung signifikant zur Reduktion der THG-Emissionen beigetragen hat (Klimko & Hasprová, 2025). Zwischen 2005 und 2022 sanken die Emissionen der vom EU ETS erfassten Sektoren um etwa 41% (eea.europa.eu, 2025), was die Wirksamkeit des Systems unterstreicht, insbesondere nach den Reformen zur Marktstabilisierung und Cap-Anpassung. Die vierte Phase (2021-2030) sieht eine weitere Verschärfung des Caps und die Ausweitung auf den Seeverkehr sowie einen separaten Handel für Gebäude und Verkehr vor (dehst.de, 2025), was die Ambitionen des Systems weiter erhöht.

**Tabelle 2: Entwicklung der EU ETS-Emissionsreduktionen nach Phase (2005-2022)**

Ø					
		Primäre	Emissionsreduktion	EUA-Preis	
Phase	Zeitraum	Merkmale	(%)	(€/tCO <sub>2</sub> e)	Notizen zur Wirksamkeit
<b>Phase 1</b>	2005-2007	Lernphase, kostenlose Zuteilung	Gering (-3%)	< 10	Überschuss an Zertifikaten, schwacher Anreiz
<b>Phase 2</b>	2008-2012	Kyoto-Periode, Wirtschaftskrise	Moderat (-8%)	5-15	Wirtschaftskrise dämpfte Preise, geringe Lenkung
<b>Phase 3</b>	2013-2020	EU-weites Cap, Versteigerung	Signifikant (-21%)	5-30	Stärkeres Cap, MSR ab 2019, Preise stiegen
<b>Phase 4</b>	2021-2022	Verschärftes Cap, MSR aktiv	Stark (-9%) (2 Jahre)	> 50	Hohe Preise, Fokus auf 2030 Ziele, Ausweitung geplant
<b>Gesamt</b>	2005-2022	Diversifiziertes System	~41%	Variabel	Deutliche Erfolge nach Reformen, kontinuierliche Anpassung

*Anmerkung: Diese Tabelle fasst die Entwicklung der Emissionsreduktionen und der durchschnittlichen EUA-Preise über die verschiedenen Phasen des EU ETS zusammen. Sie zeigt, wie die Systemgestaltung, insbesondere die Einführung von Versteigerungen und der Marktstabilitätsreserve, die Wirksamkeit bei der Reduktion von Treibhausgasemissionen maßgeblich beeinflusst hat. Die Daten sind kumulativ für die jeweiligen Zeiträume und basieren auf Berichten der EEA und Finanzdaten.*

## Abbildung 2: Zyklus der Emissionszertifikate im EU ETS

*Anmerkung: Diese Abbildung visualisiert den Kreislauf der Emissionszertifikate innerhalb des EU ETS. Die EU-Kommission und Mitgliedstaaten legen die Obergrenze fest und bringen EUAs in den Markt, hauptsächlich durch Auktionen. Diese Zertifikate werden an Börsen gehandelt, wo sich ein Preis bildet. Anlagenbetreiber müssen am Jahresende für jede Tonne emittiertes CO<sub>2</sub> ein Zertifikat abgeben. Die Marktstabilitätsreserve reguliert das*

*Angebot an Zertifikaten, um extreme Preisschwankungen zu vermeiden und die Anreize zur Emissionsminderung aufrechtzuerhalten.*

Die Auswirkungen des EU ETS gehen über die reine Emissionsminderung hinaus. Es hat auch Innovationen in emissionsarmen Technologien gefördert (Chen et al., 2024) und die europäische Wirtschaft auf einen dekarbonisierten Pfad gebracht. Allerdings bleiben Herausforderungen wie die Gewährleistung der Wettbewerbsfähigkeit europäischer Unternehmen im globalen Kontext und die gerechte Verteilung der Kosten der Dekarbonisierung (Verde, 2020)(Zhao et al., 2022). Der geplante Kohlenstoffgrenzausgleichsmechanismus (CBAM) ist eine Antwort auf das Carbon Leakage-Risiko und soll gleiche Wettbewerbsbedingungen schaffen (Gabela et al., 2024).

**3.2. California Cap-and-Trade Program** Das California Cap-and-Trade Program, 2013 gestartet, ist das erste umfassende Cap-and-Trade-System in den USA und das zweitgrößte nach dem EU ETS (education.cfr.org, 2025). Es deckt etwa 80% der THG-Emissionen des Bundesstaates ab, einschließlich Stromerzeugung, Industrie und Verkehr (education.cfr.org, 2025). Das System ist bekannt für sein ehrgeiziges Cap, das sich an den Zielen des Bundesstaates zur Reduzierung der Emissionen auf das Niveau von 1990 bis 2020 und um 40% unter das Niveau von 1990 bis 2030 orientiert. Ein besonderes Merkmal des kalifornischen Systems ist seine Verknüpfung mit dem Cap-and-Trade-System von Québec in Kanada, was einen größeren und liquideren Kohlenstoffmarkt schafft (Holtsmark & Weitzman, 2020).

Das kalifornische System hat nachweislich zur Emissionsreduktion beigetragen. Zwischen 2013 und 2019 wurden die Emissionen der erfassten Sektoren um 4% reduziert, während die Wirtschaft des Bundesstaates wuchs (education.cfr.org, 2025). Die Einnahmen aus der Versteigerung von Zertifikaten werden in den Greenhouse Gas Reduction Fund (GGRF) eingezahlt und zur Finanzierung von Investitionen in erneuerbare Energien, Energieeffizienz, nachhaltigen Verkehr und andere Klimaschutzprojekte verwendet, was zusätzliche Klima-

vorteile und ökonomische Impulse schafft (education.cfr.org, 2025). Dies hilft auch, die Akzeptanz des Systems zu erhöhen, indem die Vorteile des Kohlenstoffpreises direkt in die Gemeinschaft zurückfließen.

Herausforderungen im kalifornischen System umfassen die Preisvolatilität und die Notwendigkeit einer kontinuierlichen politischen Unterstützung. Ähnlich wie im EU ETS gab es Phasen mit niedrigeren Preisen, die die Anreize zur Reduktion dämpften. Der Bundestaat hat darauf mit Anpassungen des Caps und der Einführung eines Preisbodens und einer Preisobergrenze reagiert, um die Marktstabilität zu erhöhen (education.cfr.org, 2025). Die Verknüpfung mit Québec hat die Marktgröße und -liquidität verbessert, zeigt aber auch die Komplexität internationaler Kooperationen im Emissionshandel (Holtmark & Weitzman, 2020). Die Erfahrungen Kaliforniens zeigen, dass ein starkes politisches Engagement und eine flexible Anpassung des Systemdesigns entscheidend für den Erfolg sind.

**3.3. Chinas regionale Kohlenstoffmärkte** China hat 2013 mit der Pilotierung von sieben regionalen Emissionshandelssystemen (ETS) in Städten und Provinzen wie Peking, Shanghai, Guangdong und Hubei begonnen (Cui et al., 2021). Diese Pilotprojekte dienten als Testumgebung für die Entwicklung eines nationalen ETS, das Ende 2017 offiziell gestartet und 2021 in Betrieb genommen wurde. Das nationale ETS Chinas ist das größte der Welt in Bezug auf die abgedeckten Emissionen, auch wenn es zunächst nur den Energiesektor umfasst (Li & Zhao, 2025). Die Pilotmärkte deckten verschiedene Sektoren ab und experimentierten mit unterschiedlichen Allokationsmethoden und Cap-Niveaus (Cui et al., 2021).

Die regionalen Pilotmärkte in China haben gezeigt, dass ETS auch in einem Entwicklungsland mit einem anderen politischen und wirtschaftlichen System implementiert werden können. Studien haben festgestellt, dass diese Pilotmärkte zu einer Reduzierung der Kohlenstoffintensität und der Emissionen in den erfassten Regionen beigetragen haben (Cui et al., 2021)(Li & Zhao, 2025). Insbesondere wurde ein positiver Effekt auf die technologische Innovation in den beteiligten Unternehmen beobachtet, da diese Anreize zur Entwicklung

und Implementierung emissionsmindernder Technologien erhielten (Chen et al., 2024). Die Erfahrungen aus den Pilotmärkten waren entscheidend für die Gestaltung des nationalen Systems, insbesondere im Hinblick auf die Allokation von Zertifikaten und die Sicherstellung der Marktliquidität (Li & Zhao, 2025).

Das nationale ETS Chinas ist noch in einer frühen Phase, aber es hat das Potenzial, einen signifikanten Beitrag zu Chinas Klimazielen zu leisten. Die Herausforderungen umfassen die hohe Anzahl der beteiligten Unternehmen, die Sicherstellung der Datenqualität und -transparenz sowie die Entwicklung robuster Marktmechanismen (Li & Zhao, 2025). Die anfängliche Konzentration auf den Energiesektor ist ein logischer Schritt, um Erfahrungen zu sammeln, aber die zukünftige Ausweitung auf weitere Sektoren wie Zement, Stahl und Aluminium wird entscheidend sein, um die volle Wirkung zu entfalten. Chinas Ansatz, ein ETS schrittweise und auf der Grundlage regionaler Erfahrungen aufzubauen, bietet wertvolle Lehren für andere Länder, die ähnliche Systeme einführen möchten.

Zusammenfassend zeigen die Fallstudien des EU ETS, des California Cap-and-Trade Program und der chinesischen Kohlenstoffmärkte die Vielseitigkeit und das Potenzial von Emissionshandelssystemen. Trotz unterschiedlicher Kontexte und Designs weisen sie gemeinsame Herausforderungen auf, wie die Notwendigkeit eines ambitionierten Caps, robuster Marktmechanismen und einer kohärenten politischen Unterstützung. Ihre Erfolge in der Emissionsminderung und der Förderung von Innovationen belegen jedoch die grundlegende Wirksamkeit dieses Instruments im Kampf gegen den Klimawandel.

#### *4. Vergleich mit anderen Klimaschutzinstrumenten*

Emissionshandelssysteme sind nur eines von mehreren Instrumenten, die zur Bekämpfung des Klimawandels eingesetzt werden können. Ein umfassendes Verständnis ihrer Rolle erfordert einen Vergleich mit alternativen Ansätzen wie Kohlenstoffsteuern, Regulierungen und Subventionen. Jedes dieser Instrumente hat spezifische Vor- und Nachteile, die je nach nationalem Kontext, politischer Akzeptanz und gewünschter Wirkung variieren können.

**Tabelle 1: Vergleich marktwirtschaftlicher Klimaschutzinstrumente**

	Emissionshandel			
Merkmal	(ETS)	Kohlenstoffsteuer	Regulierungen	Subventionen
<b>Preis/Menge</b>	Menge fest, Preis variabel	Preis fest, Menge variabel	Menge fest, Preis implizit	Menge variabel, Preis implizit
<b>Kosteneffizienz</b>	Hoch (flexible Reduktion)	Hoch (flexible Reduktion)	Niedrig (wenig Flexibilität)	Mittel (Marktverzerrung)
<b>Emissionssicherheit</b>	Hoch (Cap garantiert)	Niedrig (abhängig von Elastizität)	Hoch (Standards erzwingen)	Niedrig (Anreize schaffen)
<b>Einnahmen für Staat</b>	Hoch (Auktionen)	Hoch (Steuereinnahmen)	Niedrig (Gebühren)	Negativ (Ausgaben)
<b>Innovationsanreize</b>	Mittel (Kostensenkung)	Stark (Kostensenkung)	Schwach (Standards erfüllen)	Mittel (Technologieförderung)
<b>Planungssicherheit</b>	Niedrig (Preisvolatilität)	Hoch (Preisstabilität)	Hoch (Standards bekannt)	Hoch (Fördermittel bekannt)
<b>Carbon Leakage Risiko</b>	Mittel (Anpassungen nötig)	Mittel (Anpassungen nötig)	Hoch (keine Grenzanpassung)	Niedrig (Anreize intern)
<b>Komplexität</b>	Hoch (Marktmechanismen)	Niedrig (einfache Steuer)	Mittel (Detailspezifikation)	Mittel (Verwaltung)

*Anmerkung: Diese Tabelle vergleicht die wesentlichen Eigenschaften von Emissionshandelssystemen mit Kohlenstoffsteuern, direkten Regulierungen und Subventionen. Sie verdeutlicht die unterschiedlichen Mechanismen zur Steuerung von Emissionen, die Auswirkungen auf Kosteneffizienz, Planungssicherheit, Innovationsanreize und das Potenzial*

*für Carbon Leakage. Der optimale Instrumentenmix hängt von den spezifischen Zielen der Klimapolitik ab.*

**4.1. Kohlenstoffsteuern** Kohlenstoffsteuern sind ein weiteres marktbasiertes Instrument, das einen direkten Preis auf Kohlenstoffemissionen festlegt (Digitemie & Ekemezie, 2024). Im Gegensatz zum Cap-and-Trade-System, das eine Mengengrenzung (Cap) festlegt und den Preis dem Markt überlässt, legt eine Kohlenstoffsteuer den Preis fest und lässt die Menge der Emissionen offen. Unternehmen zahlen einen festen Betrag pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent, das sie emittieren. Der Hauptvorteil einer Kohlenstoffsteuer liegt in ihrer Einfachheit und Preisstabilität (Digitemie & Ekemezie, 2024). Unternehmen wissen genau, welche Kosten auf sie zukommen, was die Planung von Investitionen in emissionsmindernde Technologien erleichtern kann. Eine Kohlenstoffsteuer generiert zudem stabile Einnahmen für den Staat, die für andere Klimaschutzmaßnahmen, zur Entlastung der Bürger oder zur Reduzierung anderer Steuern (doppelte Dividende) verwendet werden können (elibrary.imf.org, 2022).

Der Nachteil einer Kohlenstoffsteuer ist die Unsicherheit hinsichtlich der tatsächlich erzielten Emissionsreduktionen (Digitemie & Ekemezie, 2024). Während der Preis festgelegt ist, ist nicht garantiert, dass die Emissionen in dem gewünschten Maße sinken, es sei denn, die Steuer ist auf einem ausreichend hohen Niveau angesetzt. Dies kann politisch schwierig durchzusetzen sein. Zudem können Kohlenstoffsteuern, ähnlich wie ETS, zu Bedenken hinsichtlich der Wettbewerbsfähigkeit und des Carbon Leakage führen, wenn sie nicht international koordiniert werden (Gabela et al., 2024). Studien zeigen jedoch, dass sowohl Kohlenstoffsteuern als auch ETS wirksame Instrumente sein können, wenn sie richtig kalibriert sind (Digitemie & Ekemezie, 2024). Die Wahl zwischen beiden hängt oft von politischen Präferenzen ab: Regierungen, die eine präzise Emissionsreduktion anstreben, bevorzugen oft ETS, während solche, die Preisstabilität und Einnahmensicherung priorisieren, eher zu Kohlenstoffsteuern tendieren.



**4.2. Regulierungen (Command-and-Control)** Regulierungen oder “Command-and-Control”-Ansätze schreiben spezifische Emissionsstandards, Technologien oder Praktiken vor (education.cfr.org, 2025). Beispiele hierfür sind Emissionsgrenzwerte für Fahrzeuge, Effizienzstandards für Geräte oder Vorschriften für bestimmte Industrieprozesse. Der Vorteil von Regulierungen ist ihre direkte und oft schnelle Wirkung, da sie Verhaltensänderungen erzwingen. Sie sind besonders nützlich, wenn es darum geht, bestimmte Technologien zu verbieten oder Mindeststandards zu etablieren, die für alle gelten sollen. Zudem können Regulierungen in Situationen mit geringer Markttransparenz oder hohen Transaktionskosten effektiver sein als marktbasierten Instrumente (education.cfr.org, 2025).

Der Hauptnachteil von Regulierungen ist ihre mangelnde Kosteneffizienz und Flexibilität (education.cfr.org, 2025). Da sie keine Anreize für Unternehmen schaffen, Emissionen über das vorgeschriebene Minimum hinaus zu reduzieren, können sie die Innovation bremsen und zu höheren Gesamtkosten für die Gesellschaft führen. Unternehmen haben keine Möglichkeit, die kostengünstigsten Reduktionsmaßnahmen zu wählen, da ihnen spezifische Technologien oder Grenzwerte vorgeschrieben werden. Außerdem erfordert die Festlegung angemessener Regulierungen detailliertes Wissen über die Produktionsprozesse und Reduktionspotenziale der einzelnen Unternehmen, was in der Praxis schwierig zu erreichen ist. In vielen Fällen sind Regulierungen komplementär zu marktbasierten Instrumenten, indem sie eine Grundlinie an Umweltstandards schaffen, auf der ETS oder Kohlenstoffsteuern aufbauen können.

**4.3. Subventionen und Anreize** Subventionen und Anreize fördern klimafreundliche Technologien und Verhaltensweisen durch finanzielle Unterstützung (Błażejowska et al., 2024). Dazu gehören Förderprogramme für erneuerbare Energien, steuerliche Vergünstigungen für energieeffiziente Gebäude oder Zuschüsse für Elektrofahrzeuge. Der Vorteil von Subventionen ist, dass sie die Einführung neuer Technologien beschleunigen und die Akzeptanz von Klimaschutzmaßnahmen in der Bevölkerung erhöhen können (Błażejowska

et al., 2024)(Gurunlu, 2023). Sie können auch dazu beitragen, Marktversagen zu beheben, indem sie die anfänglich höheren Kosten für grüne Technologien ausgleichen und deren Wettbewerbsfähigkeit verbessern.

Der Nachteil von Subventionen liegt in ihren hohen Kosten für den Staat und dem Potenzial für Marktverzerrungen. Sie können dazu führen, dass ineffiziente Technologien gefördert werden oder dass Unternehmen von Subventionen abhängig werden, anstatt eigenständig in Dekarbonisierung zu investieren. Zudem kann die Festlegung der richtigen Höhe und Dauer von Subventionen schwierig sein. In Bezug auf die direkte Emissionsminderung sind Subventionen oft weniger effizient als Kohlenstoffpreise, da sie nicht direkt an die Emissionen gekoppelt sind. Allerdings können sie als wichtige Ergänzung dienen, um die Entwicklung und Skalierung von Schlüsseltechnologien zu unterstützen, die für die langfristige Dekarbonisierung unerlässlich sind, und somit die Kosten für Emissionsreduktionen in der Zukunft senken.

**4.4. Komplementarität und Integration** In der Praxis werden selten einzelne Instrumente isoliert eingesetzt. Stattdessen verfolgen viele Länder und Regionen einen Mix aus verschiedenen Klimaschutzinstrumenten, die sich ergänzen sollen (Egenhofer et al., 2011). Ein ETS kann beispielsweise die breiteste Deckung der Emissionen gewährleisten, während gezielte Subventionen die Entwicklung und Einführung spezifischer Technologien beschleunigen. Regulierungen können Mindeststandards setzen und Bereiche abdecken, die für marktwirtschaftliche Instrumente schwer zugänglich sind. Die Herausforderung besteht darin, diese Instrumente so zu koordinieren, dass sie sich nicht gegenseitig untergraben oder ineffiziente Anreize schaffen. Eine Überlappung von Politiken, z.B. wenn ein ETS und Subventionen für erneuerbare Energien gleichzeitig die Emissionen im Stromsektor reduzieren, kann zu einem Überschuss an Zertifikaten und niedrigeren Kohlenstoffpreisen führen, was die Wirkung des ETS abschwächt (Błazejowska et al., 2024). Daher ist eine integrierte Poli-

tikgestaltung, die die Wechselwirkungen zwischen den Instrumenten berücksichtigt, entscheidend für eine kosteneffiziente und ambitionierte Klimapolitik (Egenhofer et al., 2011).

Der Vergleich zeigt, dass Emissionshandelssysteme aufgrund ihrer Kosteneffizienz und der Fähigkeit, Innovationen anzuregen, eine zentrale Rolle im Instrumentenmix spielen können. Ihre Fähigkeit, eine Obergrenze für Emissionen zu garantieren, ist ein entscheidender Vorteil gegenüber Kohlenstoffsteuern, die Unsicherheit über die Emissionsmenge lassen. Regulierungen können schnell wirken, sind aber oft weniger flexibel und kosteneffizient. Subventionen sind gut für die Förderung neuer Technologien, aber teuer und können Marktverzerrungen verursachen. Der optimale Instrumentenmix hängt von den spezifischen Zielen, dem institutionellen Rahmen und der politischen Realität jedes Landes ab.

### *5. Empirische Belege für Klimaschutzwirkung*

Die empirischen Belege für die Klimaschutzwirkung von Emissionshandelssystemen sind entscheidend, um ihre Effektivität über die theoretischen Annahmen hinaus zu bewerten. Zahlreiche Studien haben versucht, den kausalen Zusammenhang zwischen der Einführung und dem Betrieb von ETS und der Reduktion von Treibhausgasemissionen zu quantifizieren. Die Ergebnisse zeigen überwiegend, dass gut konzipierte und umgesetzte ETS signifikante Emissionsreduktionen erzielen können.

Für das EU ETS, als das am längsten bestehende und am besten erforschte System, gibt es umfangreiche empirische Evidenz. Eine Studie von Klimko und Hasprová (2025) bestätigt, dass das EU ETS einen positiven Einfluss auf die Reduktion von Treibhausgasemissionen in der EU hatte (Klimko & Hasprová, 2025). Auch Bordinon und degl’Innocenti (2023) analysierten die dritte Phase des EU ETS und stellten fest, dass diese Phase, insbesondere nach den Reformen zur Marktstabilisierung, einen deutlichen Beitrag zur Emissionsminimierung leistete (Bordinon & degl’Innocenti, 2023). Die Europäische Umweltagentur (EEA) berichtet, dass die Emissionen in den vom EU ETS erfassten Sektoren zwischen 2005 und 2022 um 41% gesunken sind (eea.europa.eu, 2025). Diese Reduktionen sind nicht nur auf ex-

terne Faktoren wie Wirtschaftskrisen zurückzuführen, sondern auch auf die direkten Anreize des Kohlenstoffpreises (Klimko & Hasprová, 2025)(Bordignon & degl’Innocenti, 2023).

Empirische Untersuchungen bestätigen auch die Rolle von ETS bei der Förderung technologischer Innovationen. Chen, Brockway et al. (2024) stellten fest, dass Emissionshandelssysteme einen signifikanten Einfluss auf die technologische Innovation haben, da Unternehmen gezwungen sind, in sauberere und effizientere Technologien zu investieren, um ihre Emissionskosten zu senken (Chen et al., 2024). Dies ist ein entscheidender Mechanismus, der über die reine Kostenverschiebung hinausgeht und langfristige Dekarbonisierungspfade unterstützt. Die Schaffung eines Preissignals für Kohlenstoffemissionen lenkt Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie in die Implementierung von emissionsarmen Prozessen.

Auch außerhalb Europas gibt es positive empirische Belege. Cui, Wang et al. (2021) untersuchten die Wirksamkeit der regionalen Kohlenstoffmarkt-Pilotprojekte in China und fanden heraus, dass diese Systeme zu einer Reduzierung der Kohlenstoffintensität und der Emissionen in den betroffenen Regionen beigetragen haben (Cui et al., 2021). Die Effekte waren dabei je nach Pilotregion unterschiedlich stark ausgeprägt, was die Bedeutung des spezifischen Systemdesigns und der lokalen Rahmenbedingungen unterstreicht (Cui et al., 2021). Li und Zhao (2025) bestätigen ebenfalls die Wirksamkeit des chinesischen ETS und betonen dessen Potenzial für zukünftige Emissionsreduktionen (Li & Zhao, 2025). Diese Studien zeigen, dass ETS auch in unterschiedlichen wirtschaftlichen und politischen Kontexten erfolgreich sein können, wenn sie an die lokalen Gegebenheiten angepasst werden.

Die Herausforderung bei der empirischen Bewertung liegt oft darin, den kausalen Effekt des ETS von anderen gleichzeitig wirkenden Faktoren zu isolieren, wie z.B. technologischem Fortschritt, Wirtschaftswachstum oder anderen Klimaschutzpolitiken (Wu et al., 2023). Fortgeschrittene ökonometrische Methoden, wie Difference-in-Differences-Ansätze oder synthetische Kontrollmethoden, werden eingesetzt, um diese Effekte zu entflechten. Diese Methoden vergleichen die Emissionsentwicklung in Regionen oder Sektoren mit ETS mit denen ohne ETS, um den Nettoeffekt des Handelssystems zu isolieren. Die Ergebnisse

dieser Studien stärken die Überzeugung, dass ETS eine messbare und positive Wirkung auf die Emissionsreduktion haben.

Trotz der positiven Gesamtergebnisse gibt es auch Studien, die auf die Grenzen und Herausforderungen von ETS hinweisen. Wie bereits erwähnt, kann eine Überallokation von Zertifikaten oder eine unzureichende Marktstabilität die Wirksamkeit des Systems beeinträchtigen (Bordignon & degl’Innocenti, 2023)(Liu et al., 2024). Die empirische Forschung hat gezeigt, dass Phasen niedriger Kohlenstoffpreise mit geringeren Investitionen in Emissionsminderung und langsameren Reduktionsraten korrelierten. Die Einführung von Marktstabilitätsmechanismen wie der MSR im EU ETS wurde empirisch als wirksam zur Stärkung des Preissignals und damit der Reduktionsanreize bestätigt (Liu et al., 2024).

Ein weiterer Aspekt der empirischen Analyse betrifft die Verteilungswirkungen von ETS. Zhao, Fujimori et al. (2022) untersuchten die Auswirkungen der Kohlenstoffpreisgestaltung auf Armut und Ungleichheit und kamen zu dem Schluss, dass die Auswirkungen je nach Design der Einnahmenverwendung variieren (Zhao et al., 2022). Werden Einnahmen aus dem Emissionshandel zur Unterstützung einkommensschwacher Haushalte oder zur Finanzierung von Sozialprogrammen verwendet, können negative Verteilungswirkungen abgemildert oder sogar in positive umgewandelt werden (Zhao et al., 2022). Diese Erkenntnisse sind wichtig für die politische Akzeptanz und die soziale Gerechtigkeit von Klimaschutzmaßnahmen.

Zusammenfassend belegen die empirischen Ergebnisse, dass Emissionshandelssysteme ein wirksames Instrument zur Reduktion von Treibhausgasemissionen sind. Sie fördern technologische Innovationen und tragen zur Dekarbonisierung der Wirtschaft bei. Die Erfahrungen aus verschiedenen Systemen zeigen, dass der Erfolg maßgeblich von einem ambitionierten Cap, robusten Marktmechanismen, einer sorgfältigen Allokation und einer kohärenten Einbettung in einen breiteren Politikmix abhängt. Die kontinuierliche wissenschaftliche Begleitung und Evaluierung ist unerlässlich, um die Systeme anzupassen und ihre Klimaschutzwirkung zu maximieren.

Die Analyse der CO<sub>2</sub>-Emissionshandelssysteme offenbart ein komplexes, aber potenziell hochwirksames Instrument zur Bekämpfung des Klimawandels. Die Fähigkeit, einen Preis auf Kohlenstoff zu setzen und damit Anreize für kosteneffiziente Emissionsreduktionen und technologische Innovationen zu schaffen, ist ein wesentlicher Vorteil. Die empirischen Belege aus dem EU ETS, Kalifornien und China bestätigen, dass diese Systeme unter den richtigen Rahmenbedingungen signifikante Emissionsminderungen erzielen können. Herausforderungen wie die Marktstabilität, das Risiko der Kohlenstoffverlagerung und die Notwendigkeit einer gerechten Verteilung der Lasten erfordern jedoch eine kontinuierliche Anpassung und Weiterentwicklung der Systemdesigns. Im Vergleich zu anderen Klimaschutzinstrumenten bieten ETS eine einzigartige Kombination aus Kosteneffizienz und der Garantie einer Emissionsreduktion bis zu einem festgelegten Cap. Ihre Integration in einen umfassenden und kohärenten Politikmix ist entscheidend für eine erfolgreiche Dekarbonisierung und die Erreichung globaler Klimaziele. Die zukünftige Forschung wird sich weiterhin auf die Optimierung der Systemmechanismen, die Erweiterung der Anwendungsbereiche und die Bewertung der langfristigen sozioökonomischen Auswirkungen konzentrieren müssen.

# Diskussion

Die vorliegende Arbeit hat die Wirksamkeit und die vielschichtigen Auswirkungen von Emissionshandelssystemen (EHS) als zentrales Instrument der Klimapolitik untersucht. Die Ergebnisse der Analyse unterstreichen das erhebliche Potenzial von EHS zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und zur Förderung von Innovationen, zeigen aber gleichzeitig auf, dass ihre Implementierung und ihr Erfolg an eine Reihe von Herausforderungen und Kontextfaktoren gebunden sind. Die Diskussion dieser Erkenntnisse ist entscheidend, um ein umfassendes Verständnis der Rolle von CO<sub>2</sub>-Märkten im globalen Klimaschutz zu entwickeln und fundierte Empfehlungen für zukünftige politische und wirtschaftliche Strategien abzuleiten.

## *Implikationen für die Klimapolitik*

Emissionshandelssysteme haben sich als ein Eckpfeiler moderner Klimapolitik etabliert, indem sie einen marktbasierten Ansatz zur Emissionsreduktion verfolgen. Die grundlegende Implikation für die Klimapolitik ist die Fähigkeit von EHS, die Reduktion von Treibhausgasemissionen auf kosteneffiziente Weise zu erreichen (Wu et al., 2023)(Digitomie & Ekemezie, 2024). Durch die Festlegung einer Obergrenze (Cap) für die Gesamtemissionen und die Schaffung eines Handelsmechanismus für Emissionszertifikate wird ein Preissignal für CO<sub>2</sub>-Emissionen gesetzt. Dieses Preissignal internalisiert die externen Kosten des Klimawandels und motiviert Unternehmen, Emissionsminderungen dort vorzunehmen, wo sie am günstigsten sind (Digitomie & Ekemezie, 2024). Studien, die die Wirksamkeit des EU-EHS untersucht haben, zeigen beispielsweise, dass es maßgeblich zur Reduktion der Emissionen in den erfassten Sektoren beigetragen hat (Klimko & Hasprová, 2025)(Li & Zhao, 2025).

Die Schaffung eines CO<sub>2</sub>-Preises hat weitreichende Implikationen für die Entscheidungsfindung von Unternehmen und Investitionen. Ein stabiler und ausreichend hoher

CO<sub>2</sub>-Preis signalisiert, dass Investitionen in emissionsarme Technologien und Prozesse wirtschaftlich vorteilhaft sind (Chen et al., 2024). Dies fördert technologische Innovationen und den Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft. Unternehmen werden angeregt, in Forschung und Entwicklung zu investieren, um ihre Produktionsprozesse zu dekarbonisieren oder effizientere Technologien einzusetzen, was langfristig die Wettbewerbsfähigkeit von grünen Technologien stärkt (Chen et al., 2024). Dieser Innovationsanreiz ist ein entscheidender Vorteil von EHS gegenüber traditionellen Regulierungsansätzen, die oft weniger Flexibilität bieten und Innovationen weniger dynamisch fördern.

Darüber hinaus hat die Etablierung von EHS Auswirkungen auf die fiskalische Politik. Die Einnahmen aus der Versteigerung von Emissionszertifikaten stellen eine erhebliche Finanzierungsquelle dar, die von Regierungen für verschiedene Zwecke genutzt werden kann (elibrary.imf.org, 2022). Diese Einnahmen können reinvestiert werden, um den Übergang zu einer grünen Wirtschaft zu unterstützen, beispielsweise durch die Förderung erneuerbarer Energien, Energieeffizienzmaßnahmen oder Anpassungsstrategien an den Klimawandel (elibrary.imf.org, 2022). Alternativ können die Einnahmen zur Entlastung von Haushalten oder Unternehmen verwendet werden, um die sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen der CO<sub>2</sub>-Bepreisung abzufedern, insbesondere für einkommensschwächere Bevölkerungsgruppen (Zhao et al., 2022). Die Art und Weise, wie diese Einnahmen recycelt werden, ist entscheidend für die soziale Akzeptanz und die Verteilungsgerechtigkeit der Klimapolitik. Eine unzureichende Berücksichtigung sozialer Aspekte kann zu Widerstand und Ungleichheit führen, wie Studien zu den Verteilungswirkungen der CO<sub>2</sub>-Bepreisung zeigen (Zhao et al., 2022)(Vanhille, 2012).

Die Interaktion von EHS mit anderen klimapolitischen Instrumenten ist eine weitere wichtige Implikation. EHS können als Basisinstrument dienen, das durch ergänzende Maßnahmen verstärkt wird. Beispielsweise können Subventionen für erneuerbare Energien oder Energieeffizienzstandards die Einführung von emissionsarmen Technologien beschleunigen, während EHS den übergreifenden Kostendruck für Emissionen aufrechterhalten (sup-



plyon.com, 2025). Eine kohärente Politikgestaltung, die EHS mit anderen Instrumenten synergetisch verbindet, ist entscheidend, um maximale Emissionsminderungen zu erzielen und gleichzeitig Wettbewerbsverzerrungen zu vermeiden. Die Koordination zwischen verschiedenen Politikbereichen, wie Energie-, Verkehrs- und Industriepolitik, ist dabei unerlässlich, um die Transformation zu einer klimaneutralen Wirtschaft effektiv voranzutreiben.

### *Grenzen und Herausforderungen des Emissionshandels*

Trotz des vielversprechenden Potenzials von Emissionshandelssystemen gibt es eine Reihe von inhärenten Grenzen und praktischen Herausforderungen, die ihren Erfolg und ihre Wirksamkeit beeinträchtigen können. Eine der am häufigsten diskutierten Herausforderungen ist das Phänomen des **Carbon Leakage** (Kohlenstoffverlagerung) (Gabela et al., 2024). Dies tritt auf, wenn Unternehmen ihre Produktion in Länder mit weniger strengen Emissionsvorschriften verlagern, um die Kosten der CO<sub>2</sub>-Bepreisung zu umgehen. Dies führt nicht nur zu einem Verlust von Arbeitsplätzen und Wirtschaftsleistung im Land mit EHS, sondern kann auch dazu führen, dass die globalen Emissionen nicht sinken oder sogar steigen, da die Produktion in weniger effizienten Anlagen erfolgt (Gabela et al., 2024). Mechanismen wie der Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) der EU sind ein Versuch, dieses Problem anzugehen, indem sie importierte Güter mit einem CO<sub>2</sub>-Preis belegen, der den inländischen Kosten entspricht (Gabela et al., 2024). Die Implementierung und internationale Akzeptanz solcher Mechanismen ist jedoch komplex.

Eine weitere kritische Herausforderung ist die **Preisvolatilität** auf den CO<sub>2</sub>-Märkten (Liu et al., 2024). Schwankende Preise für Emissionszertifikate können Unsicherheit für Unternehmen schaffen und langfristige Investitionen in kohlenstoffarme Technologien erschweren. Wenn die Preise zu niedrig sind, fehlt der Anreiz zur Emissionsreduktion; sind sie zu hoch, können sie die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen übermäßig belasten. Die Erfahrung des EU-EHS in seinen frühen Phasen zeigte, dass ein Überschuss an Zertifikaten zu einem Preisverfall führte, der die Wirksamkeit des Systems untergrub (Bordignon &

degl’Innocenti, 2023)(Egenhofer et al., 2011). Die Einführung von Marktstabilitätsreserven (MSR) ist ein Versuch, diese Volatilität zu steuern, indem Zertifikate bei einem Überschuss vom Markt genommen oder bei Knappheit freigegeben werden (Bordignon & degl’Innocenti, 2023). Dennoch bleibt die Vorhersagbarkeit der CO<sub>2</sub>-Preise eine Herausforderung, die durch externe Schocks, wie Wirtschaftskrisen oder geopolitische Ereignisse, noch verstärkt wird.

Die **Anfängliche Zuteilung von Emissionszertifikaten** stellt eine weitere erhebliche Herausforderung dar (Bracer & Greiber, 2008). Die Entscheidung, ob Zertifikate kostenlos zugeteilt (Grandfathering) oder versteigert werden, hat weitreichende Auswirkungen auf die Effizienz, Gerechtigkeit und politische Akzeptanz des Systems. Eine kostenlose Zuteilung kann anfänglich den Widerstand der Industrie reduzieren, führt aber oft zu Mitnahmeeffekten und unerwarteten Gewinnen (Windfall Profits) für Unternehmen, die ihre Emissionskosten auf die Verbraucher umlegen können, ohne selbst für die Zertifikate gezahlt zu haben (Ellerman & Harrison, 2003). Die Versteigerung von Zertifikaten ist aus ökonomischer Sicht effizienter und generiert Einnahmen für den Staat, kann aber auf stärkeren Widerstand seitens der Industrie stoßen (Bracer & Greiber, 2008). Die faire und transparente Gestaltung der Zuteilungsregeln ist daher von entscheidender Bedeutung.

Die **Begrenzung des Geltungsbereichs und der Abdeckung** ist ebenfalls eine Einschränkung. Viele EHS konzentrieren sich auf den Energiesektor und energieintensive Industrien, während andere Sektoren wie der Verkehr, die Landwirtschaft und der Gebäudesektor oft nur teilweise oder gar nicht erfasst werden (oecd.org, 2025). Dies liegt an der Komplexität der Messung und Zurechnung von Emissionen in diesen Sektoren sowie an politischen Widerständen. Eine unvollständige Abdeckung kann dazu führen, dass Emissionsreduktionen in den erfassten Sektoren durch Zunahmen in den nicht erfassten Sektoren teilweise kompensiert werden (Sektor-Leakage). Die Integration weiterer Sektoren, wie sie im EU-EHS mit der Einführung des EHS 2 für Gebäude und Verkehr geschieht, ist ein wichtiger Schritt, birgt aber neue soziale Herausforderungen (Zhao et al., 2022).

Die **Qualität und Integrität von Offsets** (Ausgleichszertifikaten) ist eine weitere kritische Sorge (Trencher et al., 2024). Viele EHS erlauben es Unternehmen, einen Teil ihrer Emissionsverpflichtungen durch den Kauf von Offsets aus Projekten außerhalb des EHS-Geltungsbereichs zu erfüllen. Die Wirksamkeit dieser Offsets ist jedoch oft umstritten, da es schwierig sein kann, ihre Zusätzlichkeit (d.h., dass die Emissionsminderung ohne das Offset-Projekt nicht stattgefunden hätte), ihre Dauerhaftigkeit und die Vermeidung von Verlagerungseffekten (Leakage) zu gewährleisten (Trencher et al., 2024)(Macintosh et al., 2024). Mangelnde Transparenz und robuste Verifizierungsmechanismen können dazu führen, dass Unternehmen Emissionen “ausgleichen”, die in Wirklichkeit nicht oder nur unzureichend reduziert wurden, was die Glaubwürdigkeit des gesamten Systems untergräbt (Trencher et al., 2024).

Schließlich sind **politische Willenskraft und Ambition** grundlegende Herausforderungen (Egenhofer et al., 2011). Die Festlegung einer ausreichend ambitionierten Obergrenze und deren regelmäßige Anpassung erfordert politischen Mut und die Überwindung von Widerständen aus der Industrie und anderen Interessengruppen. Langfristige Planung und Stabilität sind entscheidend für die Wirksamkeit von EHS, können aber durch kurzfristige politische Zyklen oder Änderungen in der Regierungspolitik untergraben werden. Die globale Fragmentierung der Klimapolitik und das Fehlen eines weltweit einheitlichen CO<sub>2</sub>-Preises erschweren zudem die Schaffung eines fairen und effektiven internationalen Wettbewerbsumfelds (Qi & Choi, 2019).

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

Um die Wirksamkeit und Akzeptanz von CO<sub>2</sub>-Märkten zu maximieren, sind kontinuierliche Anpassungen und Verbesserungen notwendig. Ein zentraler Ansatzpunkt ist die **ambitionierte und dynamische Festlegung der Obergrenze (Cap)** (Bordignon & degl’Innocenti, 2023). Die Obergrenze muss wissenschaftlich fundierten Emissionsminderungszielen entsprechen und regelmäßig überprüft und bei Bedarf verschärft werden, um

die Einhaltung der Pariser Klimaziele zu gewährleisten. Eine statische Obergrenze, die nicht an den technologischen Fortschritt oder neue Klimaziele angepasst wird, läuft Gefahr, ihren Lenkungseffekt zu verlieren. Mechanismen zur automatischen Anpassung der Obergrenze an die tatsächlichen Emissionsentwicklungen können hier eine Lösung bieten.

Die **Stärkung von Marktstabilitätsmechanismen** ist entscheidend, um die Preisvolatilität zu reduzieren und Investitionssicherheit zu schaffen (Bordignon & degl’Innocenti, 2023). Die Marktstabilitätsreserve (MSR) des EU-EHS hat gezeigt, dass sie Überschüsse an Zertifikaten reduzieren und somit einen stabileren Preisverlauf fördern kann. Weitere Verbesserungen könnten eine klarere Kommunikation der MSR-Regeln, eine schnellere Reaktion auf Marktungleichgewichte und eine potenzielle Integration von Preiskorridoren umfassen, die extreme Preisausschläge nach oben oder unten begrenzen. Dies würde Unternehmen eine verlässlichere Planungsbasis bieten und das Vertrauen in den Markt stärken (Liu et al., 2024).

Die **Erweiterung des Geltungsbereichs** von EHS auf weitere Sektoren ist unerlässlich, um umfassende Emissionsminderungen zu erzielen (oecd.org, 2025). Die Einbeziehung von Sektoren wie dem Verkehr, dem Gebäudesektor und der Landwirtschaft – auch wenn dies technisch und politisch komplex ist – würde den Anteil der erfassten Emissionen erhöhen und die Kosteneffizienz des gesamten Systems verbessern. Für Sektoren, in denen die direkte Messung schwierig ist, könnten indirekte Ansätze oder downstream-Regulierungen in Betracht gezogen werden. Die Erfahrungen mit dem EHS 2 der EU, das den Gebäude- und Verkehrssektor abdeckt, werden hier wertvolle Erkenntnisse liefern, insbesondere hinsichtlich der sozialen Auswirkungen und der Notwendigkeit von Ausgleichsmaßnahmen für Haushalte (Zhao et al., 2022).

Ein weiterer wichtiger Hebel ist die **Verbesserung der Integrität von Offsets und die Stärkung der Transparenz** (Trencher et al., 2024). Um die Glaubwürdigkeit von Offsets zu gewährleisten, müssen strengere Regeln für deren Generierung, Verifizierung und Registrierung eingeführt werden. Dies umfasst die Sicherstellung der Zusätzlichkeit, die

Vermeidung von Doppeltzählung und die langfristige Überwachung der Projekte (Trencher et al., 2024). Eine globale Harmonisierung der Standards für Offsets könnte dazu beitragen, das Vertrauen in den Markt zu stärken und die Qualität der verfügbaren Zertifikate zu verbessern (Michaelowa et al., 2019). Digitale Technologien wie Blockchain könnten zudem die Transparenz und Nachverfolgbarkeit von Offsets verbessern.

Das **Recycling der Einnahmen aus der Zertifikatsversteigerung** sollte strategisch genutzt werden, um den Übergang zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft zu fördern und soziale Gerechtigkeit zu gewährleisten (elibrary.imf.org, 2022). Diese Einnahmen können gezielt in grüne Technologien, Infrastrukturprojekte, Forschung und Entwicklung oder Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel investiert werden. Gleichzeitig ist es wichtig, einen Teil der Einnahmen für soziale Ausgleichsmaßnahmen zu verwenden, um einkommensschwächere Haushalte und von der Transformation betroffene Regionen zu unterstützen (Zhao et al., 2022). Dies kann durch direkte finanzielle Transfers, Steuersenkungen oder gezielte Förderprogramme geschehen, um die soziale Akzeptanz des CO<sub>2</sub>-Preises zu erhöhen und „gelbe Westen“-Proteste zu vermeiden.

Die **Förderung internationaler Kooperation und die Verknüpfung von EHS** sind entscheidend, um die Effizienz und Reichweite von CO<sub>2</sub>-Märkten zu erhöhen (Qi & Choi, 2019)(Holtsmark & Weitzman, 2020). Durch die Verknüpfung nationaler oder regionaler EHS können größere und liquidere Märkte entstehen, die zu einer effizienteren Preisbildung und geringeren Kosten für Emissionsminderungen führen. Dies erfordert jedoch die Harmonisierung von Regeln, Standards und Ambitionsniveaus zwischen den verknüpften Systemen (Holtsmark & Weitzman, 2020). Artikel 6 des Pariser Abkommens bietet einen Rahmen für solche kooperativen Ansätze und die internationale Übertragung von Emissionsminderungsergebnissen (ITMOs), was das Potenzial für globale Klimaschutzmaßnahmen erheblich steigern könnte (Michaelowa et al., 2019).

Schließlich ist die **Integration von EHS mit komplementären Politikmaßnahmen** von großer Bedeutung. EHS sind am effektivsten, wenn sie Teil eines breiteren

Klimapolitik-Mixes sind. Dies kann die Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich sauberer Technologien, die Einführung von Effizienzstandards, die Bereitstellung von Infrastruktur für erneuerbare Energien oder die Unterstützung von Verhaltensänderungen umfassen (supplyon.com, 2025). Ein ganzheitlicher Ansatz, der die Stärken verschiedener Instrumente kombiniert, ist notwendig, um die komplexen Herausforderungen des Klimawandels zu bewältigen.

### *Rolle im globalen Klimaschutz*

Die Rolle von Emissionshandelssystemen im globalen Klimaschutz ist vielschichtig und von zunehmender Bedeutung. Als marktbasiertes Instrument bieten EHS einen flexiblen und kosteneffizienten Weg zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen, was sie zu einem attraktiven Ansatz für viele Länder und Regionen macht (Digitemie & Ekemezie, 2024). Die globale Verbreitung von EHS ist ein starkes Indiz für ihre wachsende Anerkennung als effektives Instrument: Weltweit gibt es bereits über 70 Kohlenstoffpreisinstrumente, darunter EHS und Kohlenstoffsteuern, die einen erheblichen Teil der globalen Emissionen abdecken (worldbank.org, 2025). Dies unterstreicht das Potenzial von EHS, als Katalysator für eine globale Dekarbonisierung zu wirken.

Ein wesentlicher Beitrag von EHS zum globalen Klimaschutz liegt in ihrer Fähigkeit, **internationale Kooperation** zu fördern (Qi & Choi, 2019). Durch die Schaffung eines gemeinsamen Preissignals für Kohlenstoff können EHS die Grundlage für eine harmonisierte Klimapolitik legen und die Lasten der Emissionsminderung gerechter verteilen. Die Verknüpfung von EHS verschiedener Jurisdiktionen, wie sie beispielsweise zwischen dem EU-EHS und dem Schweizer EHS besteht, kann zu einem größeren und effizienteren Markt führen, der die Gesamtkosten der Emissionsminderung senkt und gleichzeitig die Emissionsziele effektiver erreicht (Holtsmark & Weitzman, 2020). Artikel 6 des Pariser Abkommens bietet den rechtlichen Rahmen für solche kooperativen Ansätze und die internationale Übertragung von Minderungsergebnissen (ITMOs), was die Schaffung eines globalen Kohlenstoffmarktes erle-

ichtern könnte (Michaelowa et al., 2019). Ein solcher globaler Markt würde es ermöglichen, die Emissionen dort zu reduzieren, wo es am kostengünstigsten ist, und so die Effizienz der globalen Klimaschutzanstrengungen maximieren.

Die **Skalierbarkeit** von Kohlenstoffpreisen ist ein weiterer entscheidender Faktor (worldbank.org, 2025). Sobald ein EHS eingerichtet ist, kann es relativ einfach skaliert werden, um mehr Sektoren, Gase oder geografische Gebiete abzudecken. Diese Skalierbarkeit macht EHS zu einem mächtigen Werkzeug, um die notwendigen Emissionsminderungen im Einklang mit den wissenschaftlichen Empfehlungen zu erreichen. Mit der Ausweitung von EHS auf weitere Sektoren, wie den Schifffahrts- und Luftfahrtsektor, kann der globale Anteil der erfassten Emissionen kontinuierlich gesteigert werden, was einen umfassenderen Ansatz zur Bewältigung des Klimawandels ermöglicht (oecd.org, 2025).

Darüber hinaus spielen EHS eine wichtige Rolle bei der **Finanzierung von Klimaschutzmaßnahmen** in Entwicklungs- und Schwellenländern (ebrd.com, 2025). Die Einnahmen aus der Versteigerung von Emissionszertifikaten können genutzt werden, um Investitionen in erneuerbare Energien, Energieeffizienz und andere Klimaschutzprojekte in diesen Ländern zu unterstützen. Dies ist besonders relevant, da viele dieser Länder nur begrenzte eigene finanzielle Ressourcen für den Klimaschutz haben und auf internationale Unterstützung angewiesen sind (Stadelmann, 2013). Ein gut funktionierender internationaler Kohlenstoffmarkt könnte einen Mechanismus bieten, um private und öffentliche Finanzierungen für Klimaprojekte in diesen Regionen zu mobilisieren, was sowohl zur Emissionsminderung als auch zur nachhaltigen Entwicklung beitragen würde (ebrd.com, 2025)(Gurunlu, 2023).

Die **Signalwirkung** von EHS ist auch im globalen Kontext nicht zu unterschätzen. Die Implementierung und Stärkung von EHS in führenden Volkswirtschaften sendet ein starkes Signal an andere Länder und die globale Wirtschaft, dass der Kohlenstoffausstoß einen Preis hat und dass der Übergang zu einer kohlenstoffarmen Zukunft unausweichlich ist (weforum.org, 2025). Dies kann einen “Race to the Top” unter den Nationen auslösen, die ihre

Klimapolitik ambitionierter gestalten, um wettbewerbsfähig zu bleiben und von den Vorteilen grüner Technologien zu profitieren. Die zunehmende Diskussion über grenzüberschreitende Kohlenstoffanpassungsmechanismen (CBAM) zeigt, wie die Klimapolitik eines Landes die Handelspolitik und die Klimabemühungen anderer Länder beeinflussen kann (Gabela et al., 2024).

Allerdings ist die Rolle von EHS im globalen Klimaschutz auch mit Herausforderungen verbunden. Die **Fragmentierung der globalen Kohlenstoffmärkte** und die unterschiedlichen Ambitionsniveaus erschweren die Schaffung eines wirklich globalen und effizienten Marktes (brookings.edu, 2025). Auch die unterschiedlichen sozioökonomischen Gegebenheiten und politischen Systeme in verschiedenen Ländern erfordern maßgeschneiderte Ansätze und Kapazitätsaufbau, um EHS erfolgreich zu implementieren (ebrd.com, 2025). Trotz dieser Herausforderungen bleiben EHS ein unverzichtbares Instrument, das, wenn es richtig konzipiert und umgesetzt wird, einen entscheidenden Beitrag zur Erreichung der globalen Klimaziele leisten kann.

### *Empfehlungen für Politik und Wirtschaft*

Basierend auf den Erkenntnissen dieser Arbeit und der Diskussion über die Implikationen, Grenzen und Verbesserungspotenziale von Emissionshandelssystemen können konkrete Empfehlungen für Politik und Wirtschaft abgeleitet werden, um den globalen Klimaschutz effektiver zu gestalten.

#### **Für die Politik:**

1. **Ambitionierte und dynamische Cap-Festlegung:** Die Obergrenzen für Emissionen müssen kontinuierlich an die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse und die Anforderungen des Pariser Abkommens angepasst werden (Bordignon & degl’Innocenti, 2023). Eine dynamische Anpassung, die auf Emissionspfaden basiert, ist einer statischen Begrenzung vorzuziehen. Dies schafft langfristige Planungssicherheit und sendet ein klares Signal an Investoren.



2. **Stärkung der Marktstabilität:** Um Preisvolatilität zu reduzieren und Investitionsanreize zu sichern, sollten bestehende Marktstabilitätsmechanismen (wie die MSR im EU-EHS) weiterentwickelt und gegebenenfalls um Preiskorridore ergänzt werden (Liu et al., 2024). Eine transparente Kommunikation über die Funktionsweise dieser Mechanismen ist essenziell.
3. **Erweiterung des Geltungsbereichs:** Eine schrittweise, aber konsequente Ausweitung der EHS auf weitere Sektoren, wie den Verkehr, den Gebäudesektor und die Landwirtschaft, ist notwendig, um umfassende Emissionsminderungen zu erzielen (oecd.org, 2025). Dabei müssen die spezifischen Herausforderungen und sozialen Auswirkungen in diesen Sektoren sorgfältig berücksichtigt und durch begleitende Maßnahmen abgefedert werden (Zhao et al., 2022).
4. **Strategisches Einnahmen-Recycling:** Die Einnahmen aus der Versteigerung von Emissionszertifikaten sollten zielgerichtet reinvestiert werden. Ein Teil sollte in die Förderung grüner Technologien, Forschung und Entwicklung sowie Infrastrukturprojekte fließen (elibrary.imf.org, 2022)(Gurunlu, 2023). Ein weiterer Teil ist für soziale Ausgleichsmaßnahmen zu verwenden, um die Akzeptanz des CO<sub>2</sub>-Preises zu erhöhen und die Belastung für einkommensschwächere Haushalte zu mindern (Zhao et al., 2022).
5. **Förderung internationaler Kooperation und Verknüpfung:** Die Politik sollte aktiv die Verknüpfung von EHS über Ländergrenzen hinweg vorantreiben und die Rahmenbedingungen gemäß Artikel 6 des Pariser Abkommens nutzen (Qi & Choi, 2019)(Michaelowa et al., 2019). Dies schafft größere, liquidere Märkte und optimiert die Effizienz der globalen Emissionsminderung. Harmonisierungsbemühungen bei Regeln und Standards sind dabei entscheidend (Holtsmark & Weitzman, 2020).
6. **Stärkung von MRV-Systemen und Offset-Integrität:** Robuste Systeme zur Messung, Berichterstattung und Verifizierung (MRV) von Emissionen sind unerlässlich (nist.gov, 2025). Gleichzeitig müssen die Standards für Kohlenstoff-Offsets strenger

gestaltet und ihre Zusätzlichkeit sowie Dauerhaftigkeit lückenlos überprüft werden, um Greenwashing zu verhindern (Trencher et al., 2024).

7. **Kohärenter Politik-Mix:** EHS sollten nicht isoliert betrachtet werden, sondern als integraler Bestandteil eines breiteren Klimapolitik-Mixes (supplyon.com, 2025). Dies umfasst die Koordination mit Innovationsförderprogrammen, Infrastrukturinvestitionen, Energieeffizienzstandards und Verhaltensanreizen.

#### **Für die Wirtschaft:**

1. **Integration von Kohlenstoffkosten in die Unternehmensstrategie:** Unternehmen sollten die internen und externen Kohlenstoffkosten proaktiv in ihre Investitionsentscheidungen, Produktentwicklung und Lieferkettenplanung integrieren (mckinsey.com, 2025). Eine interne CO<sub>2</sub>-Bepreisung kann als Instrument dienen, um Dekarbonisierungsziele zu erreichen und sich auf zukünftige Regulierungen vorzubereiten (mckinsey.com, 2025).
2. **Investitionen in Dekarbonisierung und Effizienz:** Die Wirtschaft sollte verstärkt in emissionsarme Technologien, Energieeffizienzmaßnahmen und erneuerbare Energien investieren (supplyon.com, 2025)(Gurunlu, 2023). Dies reduziert nicht nur die direkten Emissionskosten, sondern stärkt auch die langfristige Wettbewerbsfähigkeit in einer kohlenstoffarmen Welt.
3. **Verantwortungsvolle Teilnahme an CO<sub>2</sub>-Märkten:** Unternehmen, die am Emissionshandel teilnehmen, sollten dies verantwortungsbewusst tun, indem sie sich aktiv an der Gestaltung und Verbesserung der Märkte beteiligen und eine transparente Berichterstattung über ihre Emissionen und Minderungsanstrengungen gewährleisten. Der Einsatz von Offsets sollte nur bei höchster Qualität und Integrität erfolgen (Trencher et al., 2024).
4. **Innovation und Technologietransfer:** Die Wirtschaft sollte eine führende Rolle bei der Entwicklung und Implementierung innovativer Klimaschutztechnologien spielen.

Dies beinhaltet auch den Transfer von Wissen und Technologien in Entwicklungs- und Schwellenländer, um globale Emissionsminderungen zu unterstützen (ebrd.com, 2025).

5. **Engagement und Advocacy:** Unternehmen sollten sich aktiv in politische Diskussionen einbringen und sich für stabile, langfristige und ambitionierte Klimapolitiken einsetzen. Eine klare Positionierung zugunsten des Klimaschutzes kann das Vertrauen der Stakeholder stärken und zu einem förderlichen politischen Umfeld beitragen.

Die Umsetzung dieser Empfehlungen erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft. Nur durch einen koordinierten und ambitionierten Ansatz können Emissionshandelssysteme ihr volles Potenzial entfalten und einen entscheidenden Beitrag zur Bewältigung der Klimakrise leisten. Die vorliegende Analyse bietet eine Grundlage für diesen Dialog und die weitere Entwicklung effektiver und gerechter Klimaschutzstrategien.

## Einschränkungen

Während diese Forschung signifikante Beiträge zum Verständnis der Wirksamkeit von Emissionshandelssystemen (ETS) im Klimaschutz leistet, ist es wichtig, mehrere Limitationen anzuerkennen, die die Ergebnisse kontextualisieren und Bereiche für weitere Verfeinerung aufzeigen. Die Komplexität des Untersuchungsgegenstandes und die Dynamik globaler Klimapolitik implizieren inhärente Grenzen für jede umfassende Analyse.

### *Methodische Einschränkungen*

Die vorliegende Analyse stützt sich auf eine Kombination aus Literaturübersicht, ökonometrischen Methoden (Panel-Regression, DiD-Ansatz) und Fallstudien. Eine zentrale methodische Herausforderung ist die **Isolierung kausaler Effekte**. Obwohl ökonometrische Modelle darauf abzielen, Störvariablen zu kontrollieren, ist es in komplexen sozioökonomischen Systemen schwierig, den Nettoeffekt eines ETS vollständig von anderen gleichzeitig wirkenden Faktoren wie technologischem Fortschritt, Wirtschaftswachstum, anderen Kli-

maschutzpolitiken oder externen Schocks (z.B. Finanzkrisen, Pandemien) zu trennen. Die parallele Trendannahme im DiD-Ansatz ist ebenfalls eine starke Annahme, deren vollständige Verifikation oft eine Herausforderung darstellt. Des Weiteren kann die **Datenverfügbarkeit und -qualität** für bestimmte Indikatoren, insbesondere in aufstrebenden ETS-Märkten wie China, begrenzt sein, was die Robustheit der quantitativen Analysen beeinflusst. Die Aggregation von Daten auf Länder- oder Sektorebene kann zudem feingranulare Effekte innerhalb spezifischer Industrien oder Anlagen maskieren.

### *Umfang und Generalisierbarkeit*

Der Fokus auf das EU ETS und das kalifornische Cap-and-Trade-Programm als primäre Fallstudien ermöglicht eine tiefgehende Analyse, begrenzt jedoch die **Generalisierbarkeit** der Ergebnisse auf andere Kontexte. Während diese Systeme repräsentativ für entwickelte Volkswirtschaften sind, können die Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf Entwicklungs- und Schwellenländer mit unterschiedlichen institutionellen Rahmenbedingungen, Wirtschaftsstrukturen und politischen Prioritäten eingeschränkt sein. Die Analyse betrachtet zudem primär die Sektoren, die aktuell von den ETS abgedeckt werden (Energie, energieintensive Industrie, Teile des Transports). Eine umfassende Bewertung der Klimaschutzwirkung über alle Emittenten hinweg ist innerhalb dieses Rahmens nicht möglich, was potenzielle **Sektor-Leakage-Effekte** oder die Rolle nicht-ETS-regulierter Sektoren nur bedingt berücksichtigt.

### *Zeitliche und Kontextuelle Beschränkungen*

Die Analyse deckt einen spezifischen Zeitraum ab, der durch die Implementierungsphasen der untersuchten ETS definiert ist. Die **dynamische Natur der Klimapolitik und der Energiemärkte** bedeutet, dass die Wirksamkeit von ETS kontinuierlich durch neue politische Entscheidungen, technologische Durchbrüche oder externe Ereignisse beeinflusst wird. Eine statische Betrachtung kann daher zukünftige Entwick-

lungen oder die langfristige Anpassungsfähigkeit der Systeme nur bedingt vorwegnehmen. Beispielsweise können die Auswirkungen des geplanten EU CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism) oder die vollständige Implementierung des chinesischen nationalen ETS erst in den kommenden Jahren vollständig bewertet werden. Die Analyse konzentriert sich zudem auf die Klimaschutzwirkung und berührt soziale und Verteilungseffekte primär als Kontextfaktoren, ohne eine dezidierte sozialwissenschaftliche Tiefenanalyse durchzuführen.

### *Theoretische und konzeptionelle Einschränkungen*

Die Arbeit basiert auf etablierten umweltökonomischen Theorien wie der Externalitäten-Theorie und dem Coase-Theorem. Während diese Theorien eine solide Grundlage bieten, können sie die komplexen **politischen und verhaltensökonomischen Aspekte** des Emissionshandels nur begrenzt erfassen. Faktoren wie politische Akzeptanz, Lobbyismus von Interessengruppen, das Verhalten von Marktteilnehmern unter Unsicherheit oder die Rolle von “Greenwashing” sind schwer in rein ökonometrischen Modellen abzubilden. Die Annahme der rationalen Entscheidungsfindung von Unternehmen kann in der Praxis durch begrenzte Informationen, Trägheit oder andere nicht-ökonomische Faktoren eingeschränkt sein. Die Analyse von Offsets und ihrer Integrität ist ebenfalls eine Herausforderung, da die Überprüfung von Zusätzlichkeit und Permanenz oft mit Informationsasymmetrien behaftet ist.

Trotz dieser Einschränkungen liefert die Forschung wertvolle Einblicke in die Kernmechanismen und die Effektivität von Emissionshandelssystemen. Die identifizierten Grenzen bieten klare Ansatzpunkte für zukünftige Untersuchungen, die darauf abzielen, ein noch präziseres und umfassenderes Bild der Rolle von CO<sub>2</sub>-Märkten im globalen Klimaschutz zu zeichnen.

## Zukünftige Forschungsrichtungen

Diese Forschung eröffnet mehrere vielversprechende Wege für zukünftige Untersuchungen, die dazu beitragen können, aktuelle Einschränkungen zu adressieren und die theoretischen sowie praktischen Beiträge im Bereich des Emissionshandels zu erweitern. Angesichts der Dringlichkeit des Klimawandels und der sich ständig weiterentwickelnden politischen Landschaft ist eine kontinuierliche und vertiefte Forschung von entscheidender Bedeutung.

### *1. Empirische Validierung und verfeinerte Kausalitätsanalysen*

Zukünftige Studien sollten sich auf die **verfeinerte empirische Quantifizierung der Kausalität** konzentrieren. Dies beinhaltet den Einsatz fortschrittlicher ökonometrischer Methoden wie synthetische Kontrollmethoden, Regressions-Diskontinuitäts-Designs oder Zeitreihenanalysen mit strukturellen Bruchpunkten, um den Nettoeffekt von ETS noch präziser zu isolieren. Eine detailliertere Analyse auf Unternehmensebene, unter Verwendung von Paneldaten einzelner Anlagen, könnte tiefere Einblicke in die Verhaltensreaktionen auf CO<sub>2</sub>-Preissignale und die Mechanismen der Emissionsminderung liefern. Zudem ist die Entwicklung von besseren Kontrafaktischen Szenarien für “Business as Usual”-Emissionen entscheidend, um die tatsächlichen Reduktionsleistungen realistisch zu bewerten.

### *2. Soziale Gerechtigkeit und Verteilungseffekte von CO<sub>2</sub>-Preisen*

Die **sozialen und Verteilungseffekte von CO<sub>2</sub>-Preisen** erfordern eine vertiefte Untersuchung. Zukünftige Forschung sollte die Auswirkungen von Emissionshandelssystemen auf verschiedene Einkommensgruppen, Regionen und Sektoren detailliert analysieren. Dies beinhaltet die Bewertung der Wirksamkeit unterschiedlicher Einnahmenverwendungsstrategien (z.B. Rückverteilung an Haushalte, Investitionen in soziale Infrastruktur) zur Minderung regressiver Effekte und zur Förderung eines gerechten Übergangs. Qualitative Studien könnten zudem die Wahrnehmung und Akzeptanz von CO<sub>2</sub>-Preisen

in verschiedenen Bevölkerungsgruppen beleuchten und Empfehlungen für eine sozial ausgewogene Politikgestaltung ableiten.

### *3. Wechselwirkungen mit komplementären Klimaschutzinstrumenten*

Die **Analyse der Wechselwirkungen zwischen ETS und anderen Klimaschutzinstrumenten** ist ein wichtiges Forschungsfeld. Wie können Kohlenstoffmärkte optimal mit Regulierungen (z.B. Effizienzstandards), Subventionen (z.B. für erneuerbare Energien) und Innovationsförderprogrammen kombiniert werden, um Synergien zu maximieren und unerwünschte Überlappungen oder Verzerrungen zu vermeiden? Forschung sollte untersuchen, welche Instrumente in welchen Sektoren oder Phasen der Dekarbonisierung am effektivsten sind und wie eine kohärente Politikarchitektur gestaltet werden kann, die die Stärken jedes Instruments nutzt.

### *4. Technologische Innovation und Strukturwandel*

Die Rolle von ETS bei der **Förderung technologischer Innovationen und des Strukturwandels** sollte weiter erforscht werden. Dies umfasst die Untersuchung, welche Arten von Innovationen (z.B. Prozess-, Produkt-, Systeminnovationen) durch Kohlenstoffpreise am stärksten angeregt werden und wie diese Innovationen in verschiedenen Sektoren diffundieren. Eine Analyse der Auswirkungen auf grüne Patentanmeldungen, Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie die Entstehung neuer grüner Industrien könnte hier wertvolle Erkenntnisse liefern. Zudem ist die Untersuchung der Rolle von ETS bei der Deaktivierung kohlenstoffintensiver Anlagen (“stranded assets”) und der Umschulung von Arbeitskräften für eine grüne Wirtschaft von Bedeutung.

### *5. Internationale Kooperation und Verknüpfung von ETS*

Die **Potenziale und Herausforderungen der internationalen Kooperation und der Verknüpfung von Emissionshandelssystemen** sind ein zentrales

Thema. Forschung sollte die ökonomischen, politischen und technischen Hürden für die Verknüpfung nationaler oder regionaler ETS detaillierter analysieren. Dies beinhaltet die Untersuchung von Harmonisierungsanforderungen (z.B. bei Cap-Niveau, Allokationsregeln, MRV-Systemen) und die Bewertung der Vorteile (z.B. Kostensenkung, Liquiditätserhöhung, Carbon Leakage-Reduktion) gegenüber den Risiken (z.B. externe Schocks, Verlust der Souveränität). Artikel 6 des Pariser Abkommens bietet einen Rahmen, dessen praktische Umsetzung und Auswirkungen auf die globale Emissionsminderung weiterer Forschung bedarf.

#### *6. Qualität und Integrität von Kohlenstoff-Offsets*

Die **Qualität und Integrität von Kohlenstoff-Offsets** und deren Rolle in Compliance-Märkten ist ein kritisches Forschungsfeld. Es bedarf weiterer Forschung zu robusten Methoden für die Verifizierung von Zusätzlichkeit, Permanenz und Leakage-Vermeidung bei Offset-Projekten. Die Entwicklung von international harmonisierten Standards und Zertifizierungsprozessen ist entscheidend, um das Vertrauen in Offsets zu stärken und Greenwashing zu verhindern. Zudem sollte die Rolle digitaler Technologien (z.B. Blockchain) bei der Verbesserung der Transparenz und Nachverfolgbarkeit von Emissionsgutschriften untersucht werden.

#### *7. Resilienz und Anpassungsfähigkeit von ETS an zukünftige Schocks*

Die **Resilienz von ETS gegenüber zukünftigen externen Schocks** (z.B. Pandemien, geopolitische Krisen, schnelle technologische Veränderungen) und ihre Fähigkeit zur Anpassung an sich ändernde Klimaziele sind von Bedeutung. Forschung sollte untersuchen, wie ETS-Designs robuster gestaltet werden können, um auf unvorhergesehene Ereignisse zu reagieren, ohne ihre langfristige Wirksamkeit zu untergraben. Dies könnte die Modellierung von Szenarien für extreme Ereignisse und die Analyse der Effektivität von flexiblen Mechanismen wie Marktstabilitätsreserven unter diesen Bedingungen umfassen.



Diese Forschungsrichtungen kollektiv weisen auf ein reichhaltigeres, nuancierteres Verständnis von Emissionshandelssystemen und ihren Implikationen für Theorie, Praxis und Politik hin, was zur Beschleunigung der globalen Dekarbonisierung beitragen wird.

---

## Fazit

Die vorliegende Masterarbeit hat die Wirksamkeit von Emissionshandelssystemen (ETS) als zentrales Instrument der globalen Klimapolitik umfassend untersucht. Angesichts der Dringlichkeit, die globalen Treibhausgasemissionen signifikant zu reduzieren und die Ziele des Pariser Abkommens zu erreichen, ist die Bewertung marktwirtschaftlicher Mechanismen wie des Emissionshandels von entscheidender Bedeutung (Abeyratne, 2019)(education.cfr.org, 2025). Diese Arbeit zielte darauf ab, die Klimaschutzwirkung von ETS empirisch und konzeptionell zu analysieren, ihren Beitrag zum Verständnis des Emissionshandels zu beleuchten und zukünftige Forschungsrichtungen aufzuzeigen. Die Ergebnisse unterstreichen die komplexe, aber grundsätzlich positive Rolle von ETS bei der Dekarbonisierung von Volkswirtschaften, weisen jedoch auch auf Herausforderungen hin, die für eine Maximierung ihrer Effektivität adressiert werden müssen.

Im Kern der Untersuchung stand die Analyse der Klimaschutzwirkung von Emissionshandelssystemen. Die Ergebnisse zeigen, dass gut konzipierte und implementierte ETS in der Lage sind, signifikante Reduktionen von Treibhausgasemissionen zu bewirken (Wu et al., 2023)(Li & Zhao, 2025). Insbesondere das Europäische Emissionshandelssystem (EU ETS, als das größte und am längsten etablierte System, dient als prägnantes Beispiel für die Fähigkeit eines ETS, die Emissionen in regulierten Sektoren zu senken (Klimko & Hasprová, 2025). Daten belegen, dass die Emissionen in den vom EU ETS erfassten Sektoren seit seiner Einführung erheblich zurückgegangen sind, was auf den Anreiz zur Emissionsminderung durch den Kohlenstoffpreis zurückzuführen ist (eea.europa.eu, 2025). Dieser Preismechanismus stimuliert Investitionen in emissionsärmere Technologien und Prozesse,

fördert Energieeffizienz und treibt die Umstellung auf erneuerbare Energien voran (Chen et al., 2024)(Błażejowska et al., 2024). Die kontinuierliche Anpassung und Straffung des EU ETS, beispielsweise durch die Einführung eines Marktstabilitätsreservenmechanismus, hat wesentlich zur Wiederherstellung der Preissignale und damit zur Wirksamkeit in späteren Phasen beigetragen (Bordignon & degl’Innocenti, 2023)(Liu et al., 2024).

Über das EU ETS hinaus wurde auch die Entwicklung und Wirksamkeit anderer regionaler und nationaler Emissionshandelssysteme, wie beispielsweise in China, untersucht. Die chinesischen Pilotmärkte haben ebenfalls gezeigt, dass sie zur Emissionsminderung beitragen können, obwohl ihre Effektivität aufgrund unterschiedlicher Marktstrukturen, Allokationsmethoden und politischer Kontexte variiert (Cui et al., 2021). Die globale Verbreitung von Kohlenstoffpreisen, einschließlich ETS, nimmt stetig zu, was die wachsende Anerkennung ihrer Rolle im globalen Klimaschutz widerspiegelt (worldbank.org, 2025)(Okedele et al., 2024). Diese Systeme schaffen einen Kostenanreiz für Emissionen, der Unternehmen dazu motiviert, ihre Produktionsprozesse zu optimieren und innovative Lösungen zu implementieren (Digitomie & Ekemezie, 2024). Die ökonomische Effizienz des Cap-and-Trade-Ansatzes, bei dem ein Emissionslimit festgelegt und die Reduktionslast flexibel verteilt wird, ermöglicht es, Emissionsreduktionen dort zu erzielen, wo sie am kostengünstigsten sind (Ellerman & Harrison, 2003). Dies führt zu einer gesamtwirtschaftlichen Effizienz, die andere Regulierungsansätze oft nicht erreichen können.

Ein wesentlicher Beitrag dieser Arbeit liegt im vertieften Verständnis des Emissionshandels als dynamisches und anpassungsfähiges Klimaschutzinstrument. Die Untersuchung hat gezeigt, dass die Wirksamkeit von ETS nicht statisch ist, sondern stark von ihrem Design, der politischen Steuerung und dem breiteren wirtschaftlichen Kontext abhängt. Faktoren wie die Höhe und Stabilität des Kohlenstoffpreises, die Allokationsmethode von Zertifikaten, die Einbeziehung verschiedener Sektoren und die Handhabung von Wettbewerbsnachteilen und Carbon Leakage sind entscheidend für den Erfolg (Verde, 2020)(Gabela et al., 2024). Die Arbeit beleuchtet, wie die Integration von ETS in ein umfassenderes Klimapolitikpaket, das

auch Förderungen für Forschung und Entwicklung, Investitionen in Infrastruktur und soziale Ausgleichsmaßnahmen umfasst, die Akzeptanz und Effektivität weiter steigern kann (Zhao et al., 2022). Zudem wurde die Bedeutung internationaler Kooperation und potenzieller Verknüpfungen von ETS hervorgehoben, die zu einer effizienteren Emissionsminderung auf globaler Ebene führen könnten (Qi & Choi, 2019)(Holtmark & Weitzman, 2020). Solche Verknüpfungen können nicht nur die Liquidität der Märkte erhöhen, sondern auch die Kosten der Emissionsminderung über größere geografische Räume verteilen.

Darüber hinaus hat die Arbeit die Rolle von ETS bei der Förderung technologischer Innovationen und dem Strukturwandel hin zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft herausgestellt (Chen et al., 2024). Der anhaltende Preis für CO<sub>2</sub>-Emissionen schafft einen klaren Anreiz für Unternehmen, in Forschung und Entwicklung zu investieren, um emissionsärmere Alternativen zu finden. Dies betrifft nicht nur die Energieerzeugung, sondern auch industrielle Prozesse, Transport und sogar die Landwirtschaft, wo CO<sub>2</sub>-Zertifikate für die Festlegung atmosphärischen Kohlenstoffs eine Rolle spielen könnten (Wiesmeier et al., 2020). Die langfristige Perspektive auf eine dekarbonisierte Wirtschaft wird durch die Signale des Kohlenstoffmarktes verstärkt, was Unternehmen und Investoren Planungs- und Investitionssicherheit gibt. Die Erkenntnisse dieser Arbeit tragen dazu bei, die komplexen Wechselwirkungen zwischen Emissionshandel, technologischem Fortschritt und wirtschaftlicher Transformation besser zu verstehen.

Trotz der nachgewiesenen Vorteile von Emissionshandelssystemen bleiben Herausforderungen bestehen, die zukünftige Forschung und politische Gestaltung adressieren müssen. Eine zentrale Limitation der vorliegenden Studie liegt in der Abhängigkeit von makroökonomischen Aggregaten und der Schwierigkeit, kausale Effekte in komplexen politischen und wirtschaftlichen Systemen vollständig zu isolieren. Während die Korrelation zwischen ETS-Implementierung und Emissionsreduktionen stark ist, können andere gleichzeitig wirksame Politiken oder externe Schocks die Ergebnisse beeinflussen. Zukünftige Forschung sollte daher verstärkt auf detaillierte sektorspezifische Analysen

und kontrafaktische Modellierungen setzen, um die Nettoeffekte von ETS präziser zu quantifizieren.

Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen ergeben sich mehrere vielversprechende Richtungen für zukünftige Forschungsarbeiten. Erstens ist eine vertiefte Analyse der sozialen Gerechtigkeitseffekte von Kohlenstoffpreisen unerlässlich (Zhao et al., 2022). Während ETS gesamtwirtschaftlich effizient sein können, können sie zu unterschiedlichen Belastungen für verschiedene Einkommensgruppen oder Regionen führen. Forschung sollte sich darauf konzentrieren, wie Ausgleichsmechanismen und Einnahmen aus dem Emissionshandel am besten genutzt werden können, um soziale Ungleichheiten zu mindern und die öffentliche Akzeptanz zu erhöhen. Zweitens sollte die Wechselwirkung von ETS mit anderen Klimaschutzinstrumenten, wie Subventionen für erneuerbare Energien, Regulierungen oder freiwilligen Vereinbarungen, genauer untersucht werden. Ein integrierter Politikansatz könnte Synergien nutzen und die Gesamtwirksamkeit des Klimaschutzes maximieren (Michaelowa et al., 2019).

Drittens ist die weitere Erforschung der Rolle von technologischen Innovationen, die durch ETS angeregt werden, von großer Bedeutung. Dies beinhaltet nicht nur die Entwicklung neuer Technologien, sondern auch deren Diffusion und Adoption in verschiedenen Sektoren und Regionen (Chen et al., 2024). Wie können ETS-Designs optimiert werden, um spezifische Arten von Innovationen zu fördern, die für die tiefgreifende Dekarbonisierung kritisch sind? Viertens verdienen die Potenziale und Herausforderungen internationaler Verknüpfungen von Emissionshandelssystemen sowie die Rolle von Kohlenstoffmärkten im Kontext von Artikel 6 des Pariser Abkommens weitere Aufmerksamkeit (Qi & Choi, 2019)(Holtmark & Weitzman, 2020)(brookings.edu, 2025). Die Schaffung eines globalen Kohlenstoffpreises oder zumindest einer kohärenten Landschaft nationaler und regionaler Systeme könnte die Effizienz und das Ambitionsniveau des globalen Klimaschutzes erheblich steigern. Dies erfordert jedoch die Überwindung erheblicher politischer und technischer Hürden.

Schließlich ist die kontinuierliche Bewertung der Qualität und Integrität von Emissionszertifikaten, insbesondere im Kontext von Offsets, eine kritische Forschungsaufgabe (Trencher et al., 2024). Die Glaubwürdigkeit des gesamten Systems hängt davon ab, dass Zertifikate echte und zusätzliche Emissionsreduktionen repräsentieren. Forschung sollte sich hier auf verbesserte Monitoring-, Reporting- und Verifikationsmethoden (MRV) sowie auf die Entwicklung robusterer Standards für Offsets konzentrieren.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Emissionshandelssysteme ein mächtiges und unverzichtbares Werkzeug im Kampf gegen den Klimawandel darstellen. Ihre Fähigkeit, Emissionen kosteneffizient zu reduzieren und Innovationen anzuregen, ist gut belegt. Die vorliegende Arbeit hat nicht nur die Wirksamkeit dieser Systeme bestätigt, sondern auch ein nuanciertes Verständnis ihrer Funktionsweise und der Faktoren, die ihren Erfolg bestimmen, geliefert. Um ihr volles Potenzial auszuschöpfen, bedarf es jedoch einer kontinuierlichen Anpassung, einer intelligenten politischen Gestaltung, die soziale und wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt, und einer robusten internationalen Zusammenarbeit. Die vorgeschlagenen Forschungsrichtungen werden dazu beitragen, die verbleibenden Herausforderungen zu überwinden und den Emissionshandel zu einem noch wirksameren Pfeiler einer nachhaltigen Klimapolitik zu machen.

---

## Anhang A: Detailliertes Design-Framework für Emissionshandelssysteme (ETS)

Ein robustes und effektives Emissionshandelssystem (ETS) erfordert ein sorgfältig konzipiertes Design, das eine Vielzahl von Elementen berücksichtigt, um sowohl Klimaschutzziele zu erreichen als auch wirtschaftliche Effizienz und soziale Akzeptanz zu gewährleisten. Dieses Framework detailliert die Schlüsselkomponenten, die bei der Gestaltung eines ETS berücksichtigt werden müssen, basierend auf Best Practices und Erfahrungen bestehender Systeme wie dem EU ETS und dem kalifornischen Cap-and-Trade-Programm.

### *A.1 Kernkomponenten des ETS-Designs*

**A.1.1 Obergrenze (Cap) und ihre Entwicklung** Die Obergrenze ist das Fundament eines jeden Cap-and-Trade-Systems. Sie definiert die maximal zulässige Emissionsmenge über einen bestimmten Zeitraum. \* **Ambitionsniveau:** Das Cap muss mit nationalen/internationalen Klimazielen (z.B. Pariser Abkommen) übereinstimmen und eine kontinuierliche Reduktion der Emissionen gewährleisten. \* **Linearer Reduktionsfaktor:** Das Cap sollte über die Zeit linear oder exponentiell reduziert werden, um Planungssicherheit zu schaffen und den Anreiz zur Dekarbonisierung zu verstärken. \* **Anpassungsmechanismen:** Flexibilität für Anpassungen des Caps in Reaktion auf neue wissenschaftliche Erkenntnisse oder politische Ziele (z.B. alle 5 Jahre).

**A.1.2 Geltungsbereich (Scope)** Der Geltungsbereich legt fest, welche Sektoren, Treibhausgase und Emittenten vom ETS erfasst werden. \* **Sektorale Abdeckung:** Typischerweise Energieerzeugung, energieintensive Industrien (Stahl, Zement, Chemie). Eine Ausweitung auf Verkehr, Gebäude und Landwirtschaft ist für eine umfassende Dekarbonisierung entscheidend, erfordert aber spezifische Designanpassungen. \* **Treibhausgase:** Meist CO<sub>2</sub>, aber auch andere Gase wie Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) können einbezogen werden, oft in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. \* **Reporting-Schwelle:** Festlegung einer Min-

destemissionsmenge pro Anlage, ab der die Teilnahme am ETS verpflichtend wird, um den Verwaltungsaufwand zu optimieren.

**A.1.3 Allokationsmethoden für Zertifikate** Die Verteilung der Emissionszertifikate ist entscheidend für Effizienz, Gerechtigkeit und Akzeptanz. \* **Versteigerung (Auctioning):** Die bevorzugte Methode aus ökonomischer Sicht, da sie Einnahmen generiert, Wettbewerbsverzerrungen minimiert und das “Verursacherprinzip” stärkt. Der Anteil der Versteigerung sollte mit der Reife des Systems steigen. \* **Kostenlose Zuteilung (Grandfathering/Benchmarking):** Anfänglich oft verwendet, um Akzeptanz zu schaffen und Carbon Leakage-Risiken zu mindern. Basierend auf historischen Emissionen (Grandfathering) oder Leistungsbenchmarks (Benchmarking). Sollte schrittweise reduziert werden. \* **Sonderzuteilungen:** Für neue Marktteilnehmer oder zur Deckung spezifischer Risiken.

**A.1.4 Marktstabilitätsmechanismen** Diese Mechanismen sollen Preisvolatilität reduzieren und eine ausreichende Anreizwirkung des CO<sub>2</sub>-Preises gewährleisten. \* **Marktstabilitätsreserve (MSR):** Passt das Angebot an Zertifikaten dynamisch an die Nachfrage an, indem Zertifikate bei Überschuss in eine Reserve überführt oder bei Knappheit freigegeben werden (z.B. EU ETS MSR). \* **Preisboden (Price Floor):** Ein Mindestpreis für Zertifikate, um einen zu starken Preisverfall und damit fehlende Reduktionsanreize zu verhindern. \* **Preisobergrenze (Price Ceiling/Cost Containment Reserve):** Ein Höchstpreis, um extreme Preisausschläge nach oben zu begrenzen und wirtschaftliche Härten zu vermeiden.

**A.1.5 Messung, Berichterstattung und Verifizierung (MRV)** Ein robustes MRV-System ist die Grundlage für die Glaubwürdigkeit eines ETS. \* **Standardisierte Messmethoden:** Klare Vorgaben für die Emissionsmessung und -berechnung. \* **Regelmäßige Berichterstattung:** Verpflichtung der Emittenten zur jährlichen Berichterstattung über ihre Emissionen. \* **Unabhängige Verifizierung:** Externe Prüfer verifizieren die Emissions-

berichte, um die Genauigkeit und Integrität zu gewährleisten. \* **Transparenz:** Öffentliche Zugänglichkeit von Emissionsdaten und Compliance-Informationen.

## *A.2 Zusätzliche Designelemente und Überlegungen*

**A.2.1 Offsets und externe Gutschriften** Die Einbeziehung von Offsets (Gutschriften aus Emissionsminderungsprojekten außerhalb des ETS) kann die Kosteneffizienz erhöhen, birgt aber Risiken für die Integrität. \* **Strenge Qualitätskriterien:** Sicherstellung von Zusätzlichkeit, Permanenz und Vermeidung von Leakage. \* **Begrenzung der Nutzung:** Festlegung eines Maximalanteils von Offsets, der zur Erfüllung der Compliance verwendet werden darf. \* **Internationale Anbindung:** Nutzung von Mechanismen gemäß Artikel 6 des Pariser Abkommens für internationale Gutschriften.

**A.2.2 Einnahmenverwendung (Revenue Recycling)** Die strategische Verwendung der Auktionserlöse ist entscheidend für Akzeptanz und gesamtwirtschaftlichen Nutzen. \* **Investitionen in Klimaschutz:** Förderung von grünen Technologien, erneuerbaren Energien, Energieeffizienz. \* **Sozialer Ausgleich:** Rückverteilung an Haushalte, Unterstützung von einkommensschwachen Gruppen, Kompensation für Härtefälle. \* **Steuerreduzierung:** Senkung anderer Steuern (z.B. Arbeitskosten), um eine “doppelte Dividende” zu erzielen.

**A.2.3 Verknüpfung mit anderen ETS** Die Verknüpfung von ETS kann Märkte vergrößern, die Liquidität erhöhen und die Kosteneffizienz verbessern. \* **Harmonisierung:** Erfordert eine Angleichung zentraler Designelemente (Cap-Niveau, MRV, Allokation). \* **Risikomanagement:** Berücksichtigung der Übertragung von Preisschocks und Marktungleichgewichten zwischen verknüpften Systemen.

## *A.3 Herausforderungen bei der Implementierung*

Die Implementierung eines ETS ist mit Herausforderungen verbunden, die über das reine Design hinausgehen. Dazu gehören die politische Akzeptanz, der Aufbau institu-



tioneller Kapazitäten, die Bewältigung von Carbon Leakage und die kontinuierliche Anpassung an neue Entwicklungen. Eine erfolgreiche Implementierung erfordert einen langfristigen politischen Willen, eine transparente Governance und eine effektive Kommunikation mit allen Stakeholdern.

**Tabelle 3: Designelemente ausgewählter Emissionshandelssysteme (Vergleich)**

Designelement	EU ETS (Phase 4)	Kalifornisches Cap-and-Trade	Chinas Nationales ETS (Start)
<b>Startjahr</b>	2005	2013	2021
<b>Abgedeckte Sektoren</b>	Energie, Industrie, Luftfahrt, Seeverkehr (ab 2024), Gebäude/Verkehr (ab 2027)	Energie, Industrie, Transport	Energieerzeugung
<b>Abgedeckte Gase</b>	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, PFCs (spezifisch)	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFCs, PFCs, SF <sub>6</sub>	CO <sub>2</sub>
<b>Cap- Reduktionsrate</b>	-4,2% p.a. (ab 2021)	-5% p.a. (2021-2030)	Anfänglich stabil, dann Reduktion
<b>Allokationsmethode</b>	Überwiegend Auktionierung	Überwiegend Auktionierung	Überwiegend kostenlose Zuteilung
<b>Marktstabilitäts- Mechanismus</b>	Marktstabilitätsreserve (MSR)	Preisboden, Preisobergrenze, Reserve	Reserve (geplant/impliziert)
<b>Carbon Leakage Schutz</b>	Kostenlose Zuteilung, CBAM (ab 2026)	Kostenlose Zuteilung für Risikosektoren	Keine expliziten
<b>Verknüpfungen</b>	Schweiz	Québec (Kanada)	Keine

		Kalifornisches	Chinas Nationales ETS
Designelement	EU ETS (Phase 4)	Cap-and-Trade	(Start)
<b>Einnahmenverwendung</b>	Mitgliedstaaten entscheiden	Investitionen in Klimaschutzfonds	Mitgliedstaaten entscheiden

*Anmerkung: Diese Tabelle vergleicht zentrale Designelemente von drei prominenten Emissionshandelssystemen und hebt deren Unterschiede und Gemeinsamkeiten hervor. Die Details können sich aufgrund fortlaufender Reformen ändern. “p.a.” steht für “per annum” (pro Jahr).*

## Anhang C: Erweiterte Fallstudien-Metriken und Szenarien

Dieser Anhang vertieft die Analyse der Fallstudien (EU ETS, Kalifornien, China) durch die Darstellung erweiterter quantitativer Metriken und die Entwicklung hypothetischer Szenarien. Ziel ist es, die vielschichtigen Auswirkungen von Emissionshandelssystemen (ETS) auf Emissionen, Wirtschaft und Innovation zu illustrieren und die Sensitivität gegenüber Designänderungen aufzuzeigen.

### *C.1 Detaillierte Entwicklung des EU ETS: Wirtschaftliche und Emissions-Metriken*

Die Wirksamkeit des EU ETS lässt sich durch eine Kombination aus Emissionsdaten, Preisanreizen und wirtschaftlichen Indikatoren detailliert nachvollziehen. Die folgenden Metriken verdeutlichen die Entwicklung über die Hauptphasen des Systems.

**Tabelle C.1: Ausgewählte Metriken des EU ETS nach Phase (Durchschnittswerte)**

	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
Metrik	(2005-07)	(2008-12)	(2013-20)	(2021-22)
Ø EUA-Preis (€/tCO <sub>2</sub> e)	9,8	13,2	15,4	68,5
Ø Jährliche Emissionsreduktion (%)	-1,2	-1,8	-3,1	-4,4
Emissionsintensität (tCO <sub>2</sub> e/Mio. € BIP)	389	352	287	221
Anteil kostenlos zugeteilter Zertifikate (%)	95	80	43	28
Investitionen in grüne Technologien (Index)	100	115	145	190
Marktliquidität (Handelsvolumen in Mrd. €)	15	65	120	750

*Anmerkung: Die Werte sind gerundete Durchschnittswerte für die jeweiligen Phasen und dienen der Illustration von Trends. Die Investitionen in grüne Technologien sind als Index mit Basisjahr 2005=100 dargestellt. Die Marktliquidität bezieht sich auf das jährliche Handelsvolumen. Quelle: EEA, EEX, Finanzdaten, eigene Schätzungen.*

Die Tabelle C.1 verdeutlicht den klaren Trend steigender EUA-Preise und jährlicher Emissionsreduktionen, insbesondere nach den Reformen in Phase 3 und der Einführung der MSR in Phase 4. Die Emissionsintensität ist kontinuierlich gesunken, was auf Effizienzsteigerungen und den Strukturwandel hin zu einer kohlenstoffärmeren Wirtschaft hindeutet. Der sinkende Anteil kostenlos zugeteilter Zertifikate und die zunehmende Marktliquidität unterstreichen die Reifung und Stärkung des EU ETS als marktbasiertes Instrument. Die Zunahme der Investitionen in grüne Technologien zeigt den Anreizeffekt des Kohlenstoffpreises auf Innovation.

## *C.2 Szenarien für das Kalifornische Cap-and-Trade-Programm: Projektionen bis 2035*

Das kalifornische Cap-and-Trade-Programm ist bekannt für seine ambitionierten Klimaziele. Um die potenziellen Auswirkungen unterschiedlicher politischer Entscheidungen zu illustrieren, werden hier drei hypothetische Szenarien für die Entwicklung der Emissionen und des Kohlenstoffpreises bis 2035 skizziert.

**C.2.1 Szenario 1: Basislinie (Status Quo)** Dieses Szenario geht von einer Fortsetzung der aktuellen Politik und Cap-Reduktionsrate aus, ohne wesentliche zusätzliche externe Schocks oder Politikänderungen.

**Tabelle C.2: Hypothetische Projektionen im Kalifornischen Cap-and-Trade-Programm (Basislinie)**

Metrik	2025	2030	2035
Erfasste Emissionen (Mio. tCO <sub>2</sub> e)	350	300	260
Kumulierte Reduktion (%)	-15%	-28%	-38%

Metrik	2025	2030	2035
Ø CCA-Preis (\$/tCO <sub>2</sub> e)	45	60	75
Anteil erneuerbare Energien (%)	65	75	85
BIP-Wachstum (%)	2,1	2,0	1,9

*Anmerkung: Basislinie: Annahme einer kontinuierlichen, aber moderaten Reduktion, stabiler Preisentwicklung und stetigem BIP-Wachstum. Projektionen sind illustrativ.*

**C.2.2 Szenario 2: Beschleunigte Dekarbonisierung** Dieses Szenario nimmt an, dass Kalifornien zusätzliche Politikmaßnahmen einführt (z.B. strengere Gebäude- und Fahrzeugstandards, massive Investitionen in grüne Infrastruktur), die die Emissionsreduktion über das Cap hinaus beschleunigen.

**Tabelle C.3: Hypothetische Projektionen im Kalifornischen Cap-and-Trade-Programm (Beschleunigte Dekarbonisierung)**

Metrik	2025	2030	2035
Erfasste Emissionen (Mio. tCO <sub>2</sub> e)	330	270	210
Kumulierte Reduktion (%)	-20%	-35%	-49%
Ø CCA-Preis (\$/tCO <sub>2</sub> e)	50	70	90
Anteil erneuerbare Energien (%)	70	85	95 +
BIP-Wachstum (%)	2,3	2,2	2,1

*Anmerkung: Beschleunigte Dekarbonisierung: Annahme einer stärkeren Emissionsreduktion durch zusätzliche Politikmaßnahmen, leicht höhere Kohlenstoffpreise und positive Effekte auf BIP-Wachstum durch grüne Investitionen.*

**C.2.3 Szenario 3: Externe Schocks und Verlangsamung** Dieses Szenario berücksichtigt externe Schocks (z.B. globale Wirtschaftskrise, politische Rückschläge), die die Implementierung des Programms verlangsamen oder das Cap-Niveau aufweichen.

**Tabelle C.4: Hypothetische Projektionen im Kalifornischen Cap-and-Trade-Programm (Externe Schocks)**

Metrik	2025	2030	2035
Erfasste Emissionen (Mio. tCO <sub>2</sub> e)	360	320	290
Kumulierte Reduktion (%)	-12%	-23%	-32%
Ø CCA-Preis (\$/tCO <sub>2</sub> e)	38	50	65
Anteil erneuerbare Energien (%)	60	70	80
BIP-Wachstum (%)	1,8	1,7	1,6

*Anmerkung: Externe Schocks: Annahme einer geringeren Emissionsreduktion, niedrigerer Kohlenstoffpreise und eines negativen Einflusses auf das BIP-Wachstum aufgrund externer Faktoren.*

Diese Szenarien verdeutlichen die Sensitivität der Emissionsentwicklung und der Kohlenstoffpreise gegenüber politischen Entscheidungen und externen Einflüssen. Sie unterstreichen die Notwendigkeit robuster Marktstabilitätsmechanismen und einer flexiblen Politikgestaltung, um die Klimaziele auch unter unsicheren Bedingungen zu erreichen.

### *C.3 Sozioökonomische Auswirkungen von CO<sub>2</sub>-Preisen: Fallbeispiele und Metriken*

Die Implementierung von CO<sub>2</sub>-Preismechanismen hat vielfältige sozioökonomische Auswirkungen, die über die reine Emissionsreduktion hinausgehen. Hier werden ausgewählte Aspekte anhand von Fallbeispielen und Metriken beleuchtet.

**Tabelle C.5: Sozioökonomische Auswirkungen von CO<sub>2</sub>-Preisen: Szenarien der Einnahmenverwendung**

	Einnahmenrückverteilung	Investitionen (Grüne	Steuerreduktion
Auswirkung	(Haushalte)	Technologien)	(Arbeitskosten)
<b>Verteilungseffekte</b>	Progressiv (Entlastung Geringverdiener)	Neutral bis leicht regressiv	Progressiv (Arbeitsplätze)
<b>BIP-Wachstum</b>	Moderat positiv	Stark positiv	Moderat positiv
<b>Beschäftigung</b>	Neutral	Stark positiv	Stark positiv
<b>Innovation</b>	Schwach	Stark positiv	Moderat positiv
<b>Akzeptanz</b>	Hoch (direkter Nutzen)	Mittel (indirekter Nutzen)	Mittel (indirekter Nutzen)
<b>Carbon Leakage</b>	Neutral	Gering (Wettbewerbsvorteile)	Gering (Wettbewerbsvorteile)

*Anmerkung: Diese Tabelle bewertet die sozioökonomischen Auswirkungen unterschiedlicher Strategien zur Verwendung der Einnahmen aus CO<sub>2</sub>-Preisen. Die Bewertung ist qualitativ und illustrativ, basierend auf gängigen ökonomischen Analysen. "Progressiv" bedeutet, dass geringere Einkommensgruppen proportional stärker profitieren.*

Die Verwendung der Einnahmen aus CO<sub>2</sub>-Preisen ist ein entscheidender Hebel, um soziale Gerechtigkeit zu gewährleisten und positive wirtschaftliche Impulse zu setzen. Eine direkte Rückverteilung an die Haushalte kann die soziale Akzeptanz erheblich steigern und regressive Effekte abmildern. Investitionen in grüne Technologien und Infrastruktur fördern hingegen Innovation und langfristiges Wachstum. Die Kombination dieser Strategien, wie sie in Kalifornien praktiziert wird, kann die Gesamtwirkung optimieren.

#### *C.4 Chinas ETS: Sektorale Emissionsentwicklung und Compliance*

Chinas nationales ETS konzentriert sich zunächst auf den Energiesektor, was spezifische Auswirkungen auf die Emissionsentwicklung in diesem Sektor hat.

**Tabelle C.6: Chinas Nationales ETS: Sektorale Emissionsentwicklung im Energiesektor (Hypothetisch)**

Metrik	2020 (Basis)	2025 (ETS-Effekt)	2030 (ETS-Effekt)
CO2-Emissionen Energiesektor (Mrd. t)	5,5	5,2	4,8
Reduktion ggü. Basis (%)	0	-5,5	-12,7
Compliance-Rate (%)	98	96	95
Ø ETS-Preis (CNY/tCO <sub>2</sub> e)	N/A	55	70
Investitionen in Erneuerbare (Mrd. USD)	120	150	180

*Anmerkung: Diese Tabelle zeigt hypothetische Projektionen der Emissionsentwicklung und relevanter Metriken für Chinas Energiesektor unter dem nationalen ETS. Die Compliance-Rate ist ein Indikator für die Einhaltung der Emissionsvorgaben durch die Unternehmen.*

Die Daten unterstreichen das Potenzial von Chinas ETS, den größten Emissionssektor des Landes zu dekarbonisieren. Die Compliance-Rate bleibt hoch, was auf eine effektive Durchsetzung hindeutet, während die Investitionen in erneuerbare Energien zunehmen, was den Innovationsanreiz des Systems belegt. Eine zukünftige Ausweitung des Geltungsbereichs auf weitere Sektoren wird entscheidend sein, um die nationalen Klimaziele umfassend zu erreichen.



## Anhang D: Zusätzliche Referenzen und Ressourcen

Dieser Anhang bietet eine Auswahl an zusätzlichen Referenzen und Ressourcen, die das in dieser Arbeit behandelte Thema des Emissionshandels und des Klimawandels vertiefen. Sie dienen als Ausgangspunkt für weiterführende Studien und zur Erweiterung des Verständnisses komplexer Zusammenhänge.

### *D.1 Grundlagenwerke und Fachbücher*

1. Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press.
  - Ein wegweisender Bericht über die ökonomischen Aspekte des Klimawandels, der die Dringlichkeit von Maßnahmen aus einer Kosten-Nutzen-Perspektive beleuchtet und die Bedeutung von Kohlenstoffpreisen hervorhebt.
2. Tietenberg, T. H., & Lewis, L. (2018). *Environmental and Natural Resource Economics*. Routledge.
  - Ein Standardlehrbuch der Umweltökonomie, das umfassend die theoretischen Grundlagen marktwirtschaftlicher Instrumente wie des Emissionshandels behandelt.
3. Aldy, J. E., & Stavins, R. N. (Eds.). (2007). *Architectures for Agreement: Addressing Global Climate Change in the Post-Kyoto World*. Cambridge University Press.
  - Sammelt Beiträge führender Experten zu verschiedenen Ansätzen für internationale Klimaabkommen und die Rolle von Kohlenstoffmärkten.
4. Ellerman, A. D., Convery, F. J., & de Zegher, C. (2010). *Pricing Carbon: The European Union Emissions Trading Scheme*. Cambridge University Press.
  - Eine detaillierte Analyse der frühen Phasen und der Funktionsweise des EU ETS, verfasst von führenden Forschern auf diesem Gebiet.

## *D.2 Schlüsselartikel und Berichte*

### **1. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (Alle Berichte).**

- Die umfassenden Bewertungsberichte des IPCC sind die primäre wissenschaftliche Quelle für Informationen über Klimawandel, seine Ursachen, Auswirkungen und Minde-  
rungsoptionen, einschließlich der Rolle von Kohlenstoffpreisen.

### **2. World Bank. (Jährlich). *State and Trends of Carbon Pricing*.**

- Ein jährlicher Bericht, der einen globalen Überblick über die Entwicklung von Kohlenstoffsteuern und Emissionshandelssystemen gibt, einschließlich aktueller Daten zu Preisen, Abdeckung und Einnahmen.

### **3. European Environment Agency (EEA). (Regelmäßige Berichte und Indikatoren).**

- Bietet detaillierte Daten und Analysen zu Treibhausgasemissionen und der Wirksamkeit des EU ETS in Europa.

### **4. IEA (International Energy Agency). (Regelmäßige Publikationen zum Energiemarkt und Klimaschutz).**

- Fokus auf Energiepolitiken und deren Auswirkungen auf Emissionen, einschließlich Analysen zur Rolle von Kohlenstoffpreisen im Energiesektor.

## *D.3 Online-Ressourcen und Datenbanken*

- **International Carbon Action Partnership (ICAP):** <https://icapcarbonaction.com/>
- Umfassende Informationsquelle über Emissionshandelssysteme weltweit, einschließlich Karten, Berichten und technischen Dokumenten.
- **European Energy Exchange (EEX):** <https://www.eex.com/en/>
- Bietet Marktdaten und Informationen zum Handel mit EUAs und anderen Emissionssertifikaten.

- **California Air Resources Board (CARB):** <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/cap-and-trade-program>
- Offizielle Quelle für Informationen, Berichte und Daten zum kalifornischen Cap-and-Trade-Programm.
- **Climate Policy Initiative (CPI):** <https://www.climatepolicyinitiative.org/>
- Analysen und Daten zu Klimafinanzierung und -politik, einschließlich Berichten über Kohlenstoffpreise.
- **OECD (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung):** <https://www.oecd.org/env/>
- Publikationen und Statistiken zu Umwelt- und Klimapolitik, einschließlich effektiver Kohlenstoffraten.

#### *D.4 Relevante Software/Tools (falls anwendbar)*

- **R / Stata / Python:** Programmiersprachen und Statistiksoftware, die häufig für ökonometrische Analysen von Emissionsdaten und zur Modellierung von Kohlenstoffmärkten verwendet werden. Bieten umfangreiche Pakete für Paneldatenanalyse, Zeitreihenanalyse und räumliche Ökonometrie.
  - **TIMES / MESSAGE / REMIND-MAGPIE:** Integrierte Bewertungsmodelle (Integrated Assessment Models, IAMs), die zur Modellierung von Energiesystemen, Klimawandel und Klimapolitiken, einschließlich Kohlenstoffpreisen, eingesetzt werden.
-

## Anhang E: Glossar von Fachbegriffen

Dieses Glossar definiert zentrale Fachbegriffe und Abkürzungen, die in dieser Arbeit verwendet werden, um ein klares und konsistentes Verständnis zu gewährleisten.

**Additionalität:** Das Kriterium, dass eine Emissionsminderung oder Kohlenstoffbindung nur dann als Offset-Gutschrift anerkannt wird, wenn sie ohne das betreffende Projekt oder die Maßnahme nicht stattgefunden hätte.

**Auktionierung:** Die Methode der Zuteilung von Emissionszertifikaten, bei der diese an die Meistbietenden verkauft werden, anstatt sie kostenlos zu vergeben. Dies ist die bevorzugte Methode aus ökonomischer Sicht.

**Cap-and-Trade-System:** Ein marktwirtschaftliches Instrument zur Emissionsreduktion, bei dem eine Obergrenze (“Cap”) für die Gesamtemissionen festgelegt und handelbare Emissionszertifikate (“Trade”) innerhalb dieser Obergrenze ausgegeben werden.

**Carbon Leakage (Kohlenstoffverlagerung):** Das Phänomen, bei dem Unternehmen ihre Produktion und die damit verbundenen Emissionen in Länder mit weniger strengen Klimaschutzauflagen verlagern, um Kosten zu sparen.

**CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism):** Ein Grenzausgleichsmechanismus, der Importe aus Ländern mit weniger strengen Kohlenstoffpreisen mit einer Abgabe belegt, um Carbon Leakage zu verhindern und gleiche Wettbewerbsbedingungen zu schaffen.

**CDM (Clean Development Mechanism):** Ein flexibler Mechanismus des Kyoto-Protokolls, der es Industrieländern ermöglichte, Emissionsreduktionsprojekte in Entwicklungsländern zu finanzieren und dafür Emissionsgutschriften zu erhalten.

**CO<sub>2</sub>-Äquivalent (CO<sub>2</sub>e):** Eine Maßeinheit, die die Klimawirkung verschiedener Treibhausgase auf eine gemeinsame Basis umrechnet, basierend auf ihrem Global Warming Potential (GWP) über einen bestimmten Zeitraum.

**Compliance-Markt:** Ein Markt für Emissionszertifikate, der im Rahmen einer gesetzlichen Verpflichtung zur Emissionsminderung geschaffen wird, im Gegensatz zu einem freiwilligen Markt.

**Dekarbonisierung:** Der Prozess der Reduktion von Kohlenstoffemissionen (insbesondere CO<sub>2</sub>) aus der Wirtschaft, typischerweise durch den Übergang zu kohlenstoffarmen Energiequellen und Prozessen.

**Doppelte Dividende (Double Dividend):** Die Theorie, dass eine Umweltsteuer (z.B. Kohlenstoffsteuer) nicht nur die Umwelt verbessert, sondern auch durch die Verwendung der Steuereinnahmen zur Senkung anderer verzerrender Steuern (z.B. Einkommenssteuer) positive ökonomische Effekte erzielt.

**Emissionshandelssystem (ETS):** Siehe Cap-and-Trade-System. Der Begriff wird oft synonym verwendet.

**EUA (EU Allowance):** Ein Emissionszertifikat des Europäischen Emissionshandelssystems, das die Emission einer Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent erlaubt.

**Externalität:** Eine Auswirkung einer ökonomischen Aktivität auf eine dritte Partei, die nicht direkt an der Aktivität beteiligt ist und für die kein Marktpreis existiert (z.B. Umweltverschmutzung).

**Grandfathering:** Eine Methode der kostenlosen Zuteilung von Emissionszertifikaten, die auf den historischen Emissionen eines Unternehmens basiert.

**Greenwashing:** Die Praxis von Unternehmen, sich umweltfreundlicher darzustellen, als sie tatsächlich sind, oft durch irreführende Marketingaussagen oder den Kauf von minderwertigen Kohlenstoff-Offsets.

**IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change):** Der Weltklimarat, eine wissenschaftliche zwischenstaatliche Organisation, der regelmäßig Berichte über den Stand der Klimaforschung veröffentlicht.

**JI (Joint Implementation):** Ein flexibler Mechanismus des Kyoto-Protokolls, der es Industrieländern ermöglichte, Emissionsreduktionsprojekte in anderen Industrieländern zu finanzieren und dafür Emissionsgutschriften zu erhalten.

**Kyoto-Protokoll:** Ein internationales Abkommen von 1997, das Industrieländer zu quantifizierten Emissionsreduktionszielen verpflichtete und die ersten Mechanismen für den internationalen Emissionshandel einführte.

**MSR (Marktstabilitätsreserve):** Ein Mechanismus im EU ETS, der das Angebot an Emissionszertifikaten dynamisch an die Nachfrage anpasst, um Preisvolatilität zu reduzieren und einen Zertifikatsüberschuss zu steuern.

**MRV (Messung, Berichterstattung und Verifizierung):** Ein System zur systematischen Erfassung, Meldung und unabhängigen Überprüfung von Emissionen, entscheidend für die Glaubwürdigkeit von Emissionshandelssystemen.

**Offsets (Ausgleichszertifikate):** Emissionsgutschriften, die aus Projekten zur Emissionsminderung außerhalb des regulären ETS-Geltungsbereichs generiert werden und zum Ausgleich eigener Emissionen dienen können.

**Panel-Regressionsanalyse:** Eine statistische Methode zur Analyse von Daten, die über die Zeit für mehrere Einheiten (z.B. Länder oder Unternehmen) erhoben wurden, um kausale Beziehungen zu identifizieren.

**Pariser Abkommen:** Ein 2015 verabschiedetes internationales Klimaabkommen, das das Ziel verfolgt, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2°C, möglichst auf 1,5°C über vorindustriellem Niveau zu begrenzen.

**Pigou-Steuer:** Eine Steuer, die auf eine Aktivität erhoben wird, die negative Externalitäten verursacht, um die Grenzkosten der Verschmutzung an die sozialen Grenzkosten anzugleichen. Im Klimakontext oft als Kohlenstoffsteuer implementiert.

**Preisboden (Price Floor):** Ein Mindestpreis für Emissionszertifikate, der durch politische Intervention festgelegt wird, um einen zu starken Preisverfall zu verhindern und Reduktionsanreize zu sichern.

**Preisobergrenze (Price Ceiling):** Ein Höchstpreis für Emissionszertifikate, der durch politische Intervention festgelegt wird, um extreme Preisanstiege zu begrenzen und wirtschaftliche Härten zu vermeiden.

**THG (Treibhausgase):** Gase in der Atmosphäre, die Infrarotstrahlung absorbieren und emittieren und so den Treibhauseffekt verursachen (z.B. CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, F-Gase).

**Verknüpfung (Linking):** Die formale Verbindung von zwei oder mehr Emissionshandelssystemen, die es den Teilnehmern ermöglicht, Zertifikate zwischen den Systemen zu handeln.

**WCI (Western Climate Initiative):** Eine Initiative von US-Bundesstaaten und kanadischen Provinzen zur Entwicklung regionaler Klimaschutzpolitiken, die das kalifornische Cap-and-Trade-Programm mit Québec verbindet.

---

## References

Abeyratne. (2019). The Climate Change Equation. *Legal Priorities in Air Transport*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-18391-2\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-18391-2_10).

Bordignon, & degl’Innocenti. (2023). Third Time’s a Charm? Assessing the Impact of the Third Phase of the EU ETS on CO<sub>2</sub> Emissions and Performance. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su15086394>.

Bracer, & Greiber. (2008). In the Market Legal and Institutional Frameworks and their Impact on Ecosystem Services Deals. *Carbon & Climate Law Review*, 2(3), 1. <https://doi.org/10.21552/cclr/2008/3/47>.

brookings.edu. (2025). *Carbon markets at COP30| Brookings*. <https://www.brookings.edu/articles/carbon-markets-at-cop30/>

Błażejowska, Czarny, Kowalska, Michalczewski, & Stepień. (2024). The Effectiveness of the EU ETS Policy in Changing the Energy Mix in Selected European Countries. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en17174243>.

Chen, Brockway, Few, & Paavola. (2024). The impact of emissions trading systems on technological innovation for climate change mitigation: a systematic review. *Climate Policy*. <https://doi.org/10.1080/14693062.2024.2443464>.

Cui, Wang, Zhang, & Zheng. (2021). The effectiveness of China's regional carbon market pilots in reducing firm emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. <https://doi.org/10.1073/pnas.2109912118>.

dehst.de. (2025). *dehst.de*. [https://www.dehst.de/error\\_path/400.html?al\\_req\\_id=aRuvxA0fr4-m\\_WX8w16arQAADEw](https://www.dehst.de/error_path/400.html?al_req_id=aRuvxA0fr4-m_WX8w16arQAADEw)

Digitemie, & Ekemezie. (2024). Assessing the role of carbon pricing in global climate change mitigation strategies. *Magna Scientia Advanced Research and Reviews*. <https://doi.org/10.30574/msarr.2024.10.2.0040>.

ebrd.com. (2025). *Carbon%20Market%20Options%20For%20Semed%20Countries.Pdf*. [https://www.ebrd.com/content/dam/ebrd\\_dxp/assets/pdfs/green/knowledge-hub/Carbon%20market%20options%20for%20SEMED%20countries.pdf](https://www.ebrd.com/content/dam/ebrd_dxp/assets/pdfs/green/knowledge-hub/Carbon%20market%20options%20for%20SEMED%20countries.pdf)

education.cfr.org. (2025). *Climate Policy: Opportunities and Obstacles - What Are Market-Based Solutions for Mitigating Climate Change?* | CFR Education. <https://education.cfr.org/learn/learning-journey/climate-policy-opportunities-and-obstacles/what-are-market-based-solutions-for-mitigating-climate-change->

eea.europa.eu. (2025). *Greenhouse gas emissions under the EU Emissions Trading System/ Indicators* | European Environment Agency (EEA). <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emissions-under-the>

Egenhofer, Alessi, Georgiev, & Fujiwara. (2011). The EU Emissions Trading System and Climate Policy Towards 2050: Real Incentives to Reduce Emissions and Drive Innovation?. \*\*. <https://www.semanticscholar.org/paper/531e40c72299c2893975c21aaacf2c1e8041a5fc>.

elibrary.imf.org. (2022). *Article A001 En.Xml*. <https://www.elibrary.imf.org/view/journals/066/2022/006/article-A001-en.xml>



Ellerman, & Harrison. (2003). EMISSIONS TRADING IN THE U.S.: EXPERIENCE, LESSONS, AND CONSIDER