Standort (2025) 49:23–31
https://doi.org/10.1007/s00548-024-00951-9

ANGEWANDTE GEOGRAPHIE

Die räumliche Dimension des EU-Emissionshandels (EU ETS): Messung des regionalen Transformationsdrucks in Deutschland

Tim Becker[1] · **Sebastian Losacker**[1,2]

Eingegangen: 16. März 2024 / Überarbeitet: 12. August 2024 / Angenommen: 18. September 2024 / Online publiziert: 9. Oktober 2024
© The Author(s) 2024

Zusammenfassung

Um die Wirtschaft in eine emissionsarme Zukunft zu führen und den Klimawandel einzudämmen, wurde auf europäischer Ebene das EU-Emissionshandelssystem (EU ETS) eingeführt. Es funktioniert über einen Cap-and-Trade-Mechanismus und reguliert derzeit etwa 40 % der CO_2-Emissionen in der EU. Aufgrund regionaler Unterschiede in der Industriestruktur und der räumlichen Konzentration regulierter Anlagen kann dieses supranationale Instrument jedoch regional unterschiedliche Wirkungen entfalten und zu einer räumlich ungleichen Verteilung des Kostendrucks zur Emissionsminderung führen. Um diesen Transformationsdruck für deutsche NUTS-3-Regionen empirisch zu messen, schlagen wir zwei Indikatoren vor: einen zur Messung der regionalen CO_2-Intensität und einen zur Messung der regionalen regulatorischen Stringenz. Eine anschließende Regionstypisierung auf Basis beider Indikatoren bietet eine Orientierungshilfe, in welchen Regionen Strukturwandel, Abwanderung von Unternehmen oder Verlagerung emissionsintensiver Produktionsschritte aktuell und in Zukunft zu erwarten sind. Dies hilft dabei die unterschiedlichen Dimensionen des Transformationsdrucks auf die regionale Wirtschaftsstruktur zu approximieren, Zielregionen für zukunftsgerichtete Transformationsstrategien zu identifizieren und regionsspezifische Unterstützungsmaßnahmen zu entwickeln.

Schlüsselwörter Emissionshandel · EU ETS · Nachhaltigkeitstransformation · Umweltpolitik · Strukturwandel

Abstract

To steer the economy towards a low-carbon future and mitigate climate change, the European Union Emissions Trading System (EU ETS) has been established at the European level. It operates through a cap-and-trade mechanism and currently regulates around 40% of the EU's CO_2 emissions. However, due to regional differences in the industry mix and the spatial concentration of regulated industrial installations, this supranational instrument has different regional impacts and leads to a spatially uneven distribution of the cost pressure to reduce emissions. In order to empirically measure this transformation pressure in German NUTS-3 regions, we propose two indicators: one to measure regional CO_2 intensity and one to measure regional regulatory stringency. A subsequent regional typification based on these two indicators provides an indication of the regions in which structural change, relocation of companies, or emission-intensive production steps are expected to occur at present and in the future. This allows to approximate the different dimensions of transformation pressure on the regional economic structure, to identify target regions for future-oriented transformation strategies and to develop region-specific support measures.

Keywords Emissions trading · EU ETS · Sustainability transition · Environmental policy · Structural change

Einleitung

Der Klimawandel stellt die Menschheit vor die Herausforderung, die Wirtschaft so schnell wie möglich zu dekarbonisieren, um drastische Folgen einer weiteren Erwärmung zu vermeiden (Pörtner et al. 2022). Die Politik hat dabei verschiedene Möglichkeiten, die Wirtschaft in eine emissionsarme Zukunft zu lenken. Dabei wird grundlegend zwi-

✉ Tim Becker
tim.becker@geogr.uni-giessen.de

[1] Institut für Geographie, Justus-Liebig-Universität Gießen, Senckenbergstraße 1, 35390 Gießen, Deutschland

[2] CIRCLE – Centre for Innovation Research, Lund University, Lund, Schweden

schen marktbasierten und nichtmarktbasierten Instrumenten unterschieden. Marktbasierte Instrumente erzeugen Marktsignale, bspw. durch eine Steuer auf CO_2, und versuchen dadurch, das Verhalten ökonomischer Akteure hin zu einem umweltfreundlicheren Verhalten zu lenken. Nichtmarktbasierte Instrumente (sog. Auflagenpolitik) dagegen versuchen das Verhalten durch explizite Vorgaben wie Emissionsgrenzwerte zu steuern (Stavins 2003). Marktbasierte Instrumente gelten dabei als ökonomisch effizient, da sie Emissionen dort vermeiden, wo am wenigsten gesamtwirtschaftliche Kosten entstehen (Liefner und Losacker 2023).

Das prominenteste Beispiel für marktbasierte Umweltpolitik ist das EU-Emissionshandelssystem (EU ETS). Das EU ETS funktioniert über einen Cap-and-Trade-Mechanismus und ist der Grundpfeiler der europäischen Klimapolitik. Es reguliert derzeit ca. 40 % der CO_2-Emissionen in der EU. Für alle regulierten Anlagen wird eine jährlich sinkende Gesamtobergrenze für Emissionen festgelegt. Innerhalb der Obergrenze können Anlagenbetreiber mit Emissionsrechten (European Union Allowances, EUAs) handeln, wobei jede EUA den Halter zur Emission von einer Tonne Kohlendioxidäquivalent (CO_2e, fortan vereinfachend als CO_2 bezeichnet) berechtigt. Beispielsweise können Anlagen, die weniger als ihre Gesamtzuteilung emittieren, die verbleibenden Zertifikate verkaufen. Ziel des Handelssystems ist es demnach, Emissionen dort zu reduzieren, wo dies am kostengünstigsten möglich ist. Das EU ETS reguliert die CO_2-Emissionen von Strom- und Wärmeerzeugung (z. B. fossil befeuerte Kraftwerke), energieintensiven Industriesektoren (z. B. Stahl, Zement, Keramik, Papier, Glas), der kommerziellen Luftfahrt innerhalb des Europäischen Wirtschaftsraums und seit 2024 auch der maritimen Schifffahrt. Im Zuge der Einführung des EU ETS 2 ab dem Jahr 2027 werden mit dem Gebäude- und Verkehrssektor sowie kleinen Industrieanlagen zudem weitere Sektoren unter die Regulierung fallen. Insgesamt wurden im Jahr 2021 mehr als 10.000 stationäre Anlagen aus dem Energiesektor und der Industrie reguliert, davon 1735 in Deutschland (European Commission 2024).

Das EU ETS wurde auf supranationaler Ebene eingeführt und hat weitreichende Auswirkungen auf die europäische Industrielandschaft. Trotz der intensiven wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit dem EU ETS werden regionale Unterschiede und die divergierenden Auswirkungen des Systems in den verschiedenen europäischen Regionen weitgehend ignoriert.

Die regionale Varianz im Industriemix und die räumliche Konzentration von Industrieanlagen führen dazu, dass der externe Druck zur Emissionsminderung regional ungleich verteilt ist (Liefner und Losacker 2023) und regionale Disparitäten in der Transformation entstehen (Südekum und Rademacher 2024).

Dies wirft die Frage auf, wie diese regionalen Unterschiede infolge der EU ETS Regulierung gemessen werden können und welchen Einfluss sie auf den Strukturwandel und nachhaltige Transformationsprozesse, hier im Sinne einer Dekarbonisierung der regionalen Industrie, in den betroffenen Regionen haben. Zur Beantwortung von ersterem bedarf es einer geeigneten Methodik, die es erlaubt, den Transformationsdruck räumlich differenziert abzubilden. Sowohl politische Entscheidungsträger als auch Wirtschaftsförderungseinrichtungen benötigen einen umfassenden Überblick darüber, wie stark einzelne Regionen vom EU ETS induzierten Transformationsdruck betroffen sind, um adäquate politische Maßnahmen zur Unterstützung des Strukturwandels und zur Förderung einer nachhaltigen Regionalentwicklung implementieren zu können.

Ziel dieses Beitrags ist es daher, eine Methodik zu entwickeln, um den EU ETS bedingten Transformationsdruck in den Regionen Deutschlands abzubilden und regionsspezifische Betroffenheit herauszuarbeiten.

Theoretische Grundlagen: Funktionsweise marktbasierter Umweltpolitik

Umweltpolitik hat das Ziel, Umweltschäden, wie den durch Treibhausgase verursachten Klimawandel, zu vermeiden oder zu verringern. Dies kann durch die Internalisierung externer Kosten und damit durch die Korrektur von Marktversagen erreicht werden. Externe Kosten bedeuten beispielsweise im Falle des Klimawandels, dass Unternehmen, die viel CO_2 emittieren und damit zur Verschärfung des Klimawandels (und seiner Folgen) beitragen, der Gesellschaft Kosten verursachen, die diese Unternehmen jedoch selbst nicht tragen. Umweltpolitische Instrumente zielen darauf ab, Umweltschäden auf eine Weise zu reduzieren, bei der der Nutzen der Vermeidung von Umweltschäden die damit verbundenen Kosten übersteigt. Wenn dieses Verhältnis optimiert wird, spricht man von einer effizienten Lösung. In der Umweltökonomik besteht Konsens darüber, dass marktorientierte Instrumente der Umweltpolitik effizienter zur Bewältigung von Umweltproblemen beitragen als Auflagenpolitik (z. B. Emissionshöchstwerte, technologische Standards), da marktorientierte Instrumente Umweltschäden (und damit Kosten) dort vermeiden, wo es gesamtwirtschaftlich am kostengünstigsten ist. Zwei solcher Instrumente sind besonders relevant: die Pigou-Steuer und der Handel mit Emissionszertifikaten (Buchholz und Rübbelke 2019; Sturm und Vogt 2018; Liefner und Losacker 2023).

Im Gegensatz zur Steuer, die einen Preis für Emissionen festlegt (Preissteuerung), basiert der Emissionshandel auf der Festlegung einer bestimmten Menge an Emissionen (Mengensteuerung). Das Ziel des Emissionshandels besteht

darin, einen künstlichen Markt für Umweltgüter (z. B. CO_2) zu schaffen, sodass Preismechanismen den Markt koordinieren. Im Emissionshandelssystem vergibt der Staat Emissionszertifikate. Das bedeutet, dass Unternehmen nur dann emittieren dürfen, wenn sie über die entsprechenden Emissionsrechte verfügen. Der Staat legt eine feste Menge des Schadstoffs fest, die insgesamt emittiert werden darf, und verteilt Zertifikate an die emittierenden Unternehmen, beispielsweise basierend auf ihren historischen Emissionen. Unternehmen müssen Emissionszertifikate einlösen, wenn sie eine bestimmte Menge des Schadstoffs emittieren möchten. Wenn ein Unternehmen keine ausreichenden Zertifikate besitzt, muss es entweder Zertifikate von anderen Unternehmen erwerben oder eine Strafzahlung entrichten. Die Vermeidungskosten für Emissionen variieren dabei zwischen Unternehmen. Unternehmen mit höheren Vermeidungskosten werden zusätzliche Zertifikate erwerben, während Unternehmen mit niedrigeren Kosten dazu neigen, eigene Zertifikate anzubieten. Dies führt dazu, dass Emissionen dort vermieden werden, wo die Kosten am geringsten sind. Der Emissionshandel führt insofern zu einer effizienten Gestaltung der Vermeidungskosten, auch wenn die genaue Höhe der optimalen Emissionsmenge aufgrund unvollständiger Informationen nicht präzise festgelegt werden kann (Baumol und Oates 1971).

Empirische Studien belegen die Wirksamkeit der Politikinstrumente auf die CO_2-Emissionsminderung, sowohl für ein Emissionshandelssystem (Dechezleprêtre et al. 2023; Ellerman et al. 2016; Martin et al. 2016) als auch eine CO_2-Steuer (Best et al. 2020; Andersson 2019), wobei Steuern eine etwas höhere Effizienz aufzuweisen erscheinen (Green 2021). Insgesamt haben Steuern und Emissionshandel jedoch grundsätzlich ähnliche Wirkungen in Bezug auf Emissionsminderung, Vermeidungskosten, Ertragsmöglichkeiten und Verteilungseffekte, sowohl unter theoretischer als auch empirischer Betrachtung (Stavins 2022).

Aus geographischer Sicht haben marktbasierte Instrumente einen Einfluss auf die räumliche Verteilung der Entstehung von Umweltschäden bzw. von Emissionen. Dadurch, dass Emissionen dort vermieden werden, wo sie am kostengünstigsten vermieden werden können, können räumliche Konzentrationsprozesse induziert werden. Bei Umweltschäden mit direkten lokalen Effekten (Smog, Grundwasserverunreinigung) sollten entsprechend auflagenpolitische Instrumente bevorzugt werden. Bei CO_2-Emissionen hingegen ist aus Perspektive des Klimaschutzes zunächst irrelevant, wo Emissionen vermieden werden (Sturm und Vogt 2018). Gleichzeitig bedeutet das jedoch auch, dass Regionen, in denen Unternehmen nicht in der Lage sind, Emissionen kostengünstig zu reduzieren, vor einem enormen Kosten- und Transformationsdruck stehen. Diese regionale Wirkung marktbasierter Umweltpolitik impliziert, dass der Strukturwandel und Nachhaltigkeitstransformationsprozesse regional sehr unterschiedlich erfolgen (Liefner und Losacker 2023; Südekum und Rademacher 2024). Für Deutschland und die EU hat das EU ETS entsprechend weitreichende Auswirkungen auf den Strukturwandel, die jedoch auf regionaler Ebene kaum wissenschaftlich untersucht sind.

Untersuchungskontext: Das EU-Emissionshandelssystem

Das EU ETS besteht seit 2005 und ist in mehrere Phasen unterteilt (Phase I: 2005–07, II: 2008–12, III: 2013–20, IV: 2021–30). In jeder Phase wurden Änderungen vorgenommen, wie z. B. eine zentrale Obergrenze und die Marktstabilisierungsreserve, um die Funktionsweise des Systems zu verbessern und einem anfänglich volatilen und niedrigen EUA-Preis entgegenzuwirken (Borghesi et al. 2016; European Energy Exchange 2023; European Commission 2024). In den ersten beiden Phasen wurden die EUAs überwiegend nach der Grandfathering-Methode zugeteilt – im Prinzip eine kostenlose Zuteilung. In Phase III hingegen wurden 57 % der EUAs über Auktionen zugeteilt, um das Verursacherprinzip (Kostenübernahme durch die Verursacher von Umweltschäden) zu gewährleisten. Allerdings gab es weiterhin eine freie Zuteilung, die im Wesentlichen auf Benchmarks und dem Risiko von Carbon Leakage (hier im Sinne der Verlagerung der Produktion in Weltregionen mit niedrigeren Umweltstandards, als ein Weg von Carbon Leakage (Cameron und Baudry 2023)) basierte. Die Benchmarks gelten für Industrieanlagen und basieren auf den durchschnittlichen CO_2-Emissionen der besten 10 % der Anlagen aus der EU und dem Europäischen Wirtschaftsraum, die ein bestimmtes Produkt herstellen. Seit Phase III existieren 54 Benchmarks, die durch technische Analysen und Konsultationen mit verschiedenen Akteuren erstellt und 2021 für Phase IV aktualisiert wurden. Die effizientesten Anlagen erreichen diese Benchmarks und erhalten notwendige Zertifikate kostenlos. Alle anderen Anlagen erhalten weniger Zertifikate als benötigt und müssen entweder ihre Emissionen reduzieren oder EUAs zukaufen. Die EU-Regeln für die kostenlose Zuteilung sind im Benchmarking-Beschluss der Europäischen Kommission von 2011 festgelegt. Alle Länder mit regulierten Anlagen sind verpflichtet, eine vorläufige Berechnung der kostenlosen Zertifikate durchzuführen und diese nationalen Umsetzungspläne der EU-Kommission zu übermitteln (Borghesi et al. 2016; European Commission 2024). Die Abb. 1 und 2 zeigen jeweils Anlagen, die für ihre nachgewiesenen CO_2-Emissionen alle Zertifikate durch kostenlose Zuteilung erhalten, was tendenziell auf effiziente Anlagen schließen lässt.

Dieser Zuteilungsprozess und die allgemeine Verschärfung treffen Regionen besonders stark, in denen sich viele

Abb. 1 Regulierte Anlage in der Nähe von San Sebastián (Spanien) zur Herstellung von Zementklinker (NACE-Code 23.51 Herstellung von Zement), betrieben von Heidelberg Materials, mit nachgewiesenen CO_2-Emissionen von rund 225.000 t im Jahr 2022 (Foto: Tim Becker)

Abb. 2 Regulierte Anlage in Mainzlar bei Gießen (Deutschland) zur Herstellung von Keramik (NACE-Code 23.2 Herstellung von feuerfesten Erzeugnissen), betrieben von RHI Magnesita Deutschland AG, mit nachgewiesenen CO_2-Emissionen von rund 9100 t im Jahr 2022 (Foto: Tim Becker)

Anlagen befinden, die weit von der Benchmark entfernt sind oder ein geringes Carbon-Leakage-Risiko aufweisen, und in denen die Anlagen nicht über die Kapazitäten verfügen, ihre Emissionen zu reduzieren.

Regionale Erfassung der Industrieanlagen

Für den empirischen Teil dieses Beitrags verwenden wir geocodierte Daten von Anlagen, die dem europäischen Emissionshandel unterliegen. Das European Union Transaction Log (EUTL) ist das zentrale Berichtsinstrument des EU ETS und veröffentlicht Daten auf Anlagenebene (European Commission 2022). Wir nutzen diese Daten in Form einer relationalen Datenbank, die von Abrell (2021) zur Verfügung gestellt wird (EUETS.info). Die Datenbank enthält für jede regulierte Anlage Informationen wie Adresse, Koordinaten, CO_2-Emissionen, frei zugeteilte Zertifikate (FAAs) und Industrieklassifikation (NACE). Luftfahrtunternehmen schließen wir aufgrund der geringeren Relevanz für die lokale Einbettung aus. Der erstellte Datensatz enthält 16.205 Anlagen, die in den ersten drei Phasen jemals an das EUTL gemeldet wurden (von denen nach Angaben der European Environment Agency (2022) im Jahr 2021 noch ca. 10.000 in der EU und 1735 in Deutschland in Betrieb sind).

Abb. 3a zeigt die Standorte der regulierten Anlagen in Deutschland. Um das EU ETS auf regionaler Ebene zu untersuchen, ordnen wir jede regulierte Anlage anhand von Koordinaten und Postleitzahlen der entsprechenden NUTS-3-Region zu. In Deutschland entsprechen NUTS-3-Regionen in der Regel Landkreisen oder kreisfreien Städten. Auf diese Weise können wir 2630 Anlagen, die jemals in Deutschland reguliert wurden, einer NUTS-3-Region zuordnen. Durch Aggregation der Anlagendaten auf NUTS-3-Ebene erhalten wir die Summe der verifizierten CO_2-Emissionen aller Anlagen in der Region und die Summe aller FAAs für diese Region. Insgesamt enthält der Datensatz Informationen für 378 Regionen.

Ergebnisse und Diskussion: Regionaler Transformationsdruck

Zur Quantifizierung des regionalen Transformationsdrucks, welcher einen durch Regulierung induzierten technologischen sowie strukturellen Wandel initiieren kann (Koschatzky und Hansmeier 2023), schlagen wir die Einführung zweier Indikatoren vor. Der erste Indikator dient der Messung der regionalen CO_2-Intensität und definiert sich über das Verhältnis der regional durch das EU ETS regulierten CO_2-Emissionen zum regionalen Bruttoinlandsprodukt (BIP) in Millionen Euro auf NUTS-3-Ebene. Er reflektiert die CO_2-Intensität einer Region und zeigt auf, in welchem Ausmaß die regionale Ökonomie durch emissionsintensive Produktionsmethoden geprägt ist. Mithilfe dieses Indikators lassen sich sowohl gegenwärtige als auch zukünftige Herausforderungen abschätzen. Ab dem Jahr 2039 wird die Vergabe neuer Zertifikate eingestellt, sodass regulierte Anlagen nur noch mit den im Markt verbleibenden Zertifikaten handeln können. Für emissionsintensive Regionen resultiert daraus ein erheblicher Kostendruck, was Anlagenbetreiber dazu veranlassen dürfte, die Emissionen im Vorfeld signifikant zu reduzieren. Eine hohe CO_2-Intensität deutet daher auf einen starken Transformationsdruck hin. Darüber hinaus ermöglicht der Indikator eine Analyse von Transformationsprozessen und gibt Hinweise auf strukturelle Veränderungen in der Vergangenheit. Er approximiert jedoch vor allem den regionalen technologischen Wandel

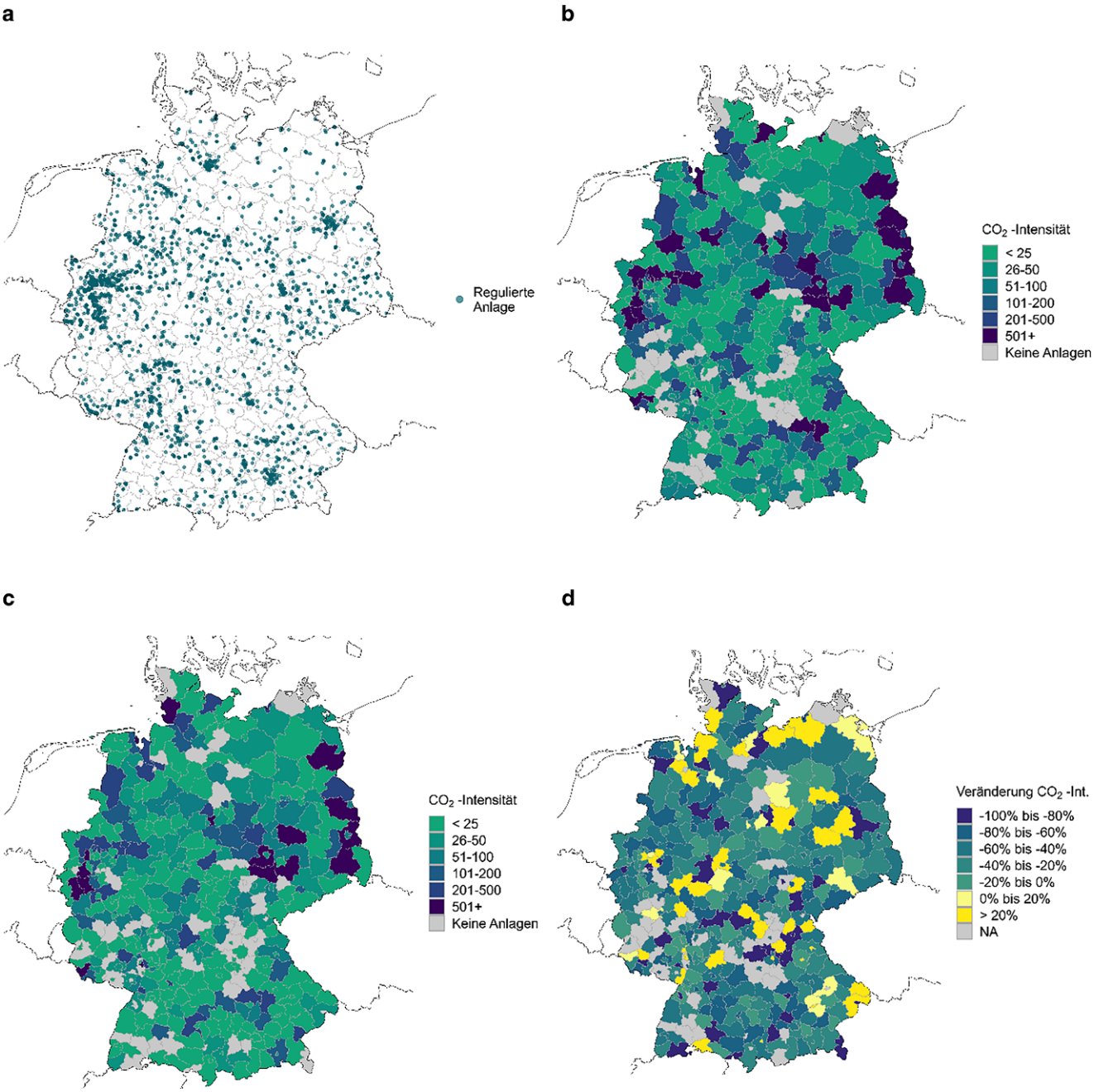

Abb. 3 EU ETS regulierte Anlagen und regionale CO_2-Intensität in Deutschland. **a** Standorte aller 2630 Anlagen, die in Deutschland bisher unter dem EU ETS reguliert wurden. **b** CO_2-Intensität in deutschen NUTS-3-Regionen im Jahr 2006. **c** CO_2-Intensität in deutschen NUTS-3-Regionen im Jahr 2019. **d** Prozentuale Veränderung der regionalen CO_2-Intensität zwischen 2006 und 2019

hin zu saubereren Produktionsmethoden und kann zudem Verschiebungen in Produktionsaktivitäten, Veränderungen in der regionalen Spezialisierung und Industriekonzentration aufzeigen.

Abb. 3 zeigt die regionale CO_2-Intensität für Deutschland in den Jahren 2006 (Abb. 3b) und 2019 (Abb. 3c) sowie die prozentuale Veränderung (Abb. 3d). Bei der Betrachtung werden die erheblichen regionalen Unterschiede ersichtlich, insbesondere die Standorte der Montanindustrie in West- und Ostdeutschland, aber auch andere von dieser Industrie geprägte Regionen, wie z. B. Salzgitter, werden durch die dunklere Färbung deutlich (Abb. 3b und c). Es wird ersichtlich, dass manche Regionen bei der Dekarbonisierung auf erhebliche Schwierigkeiten stoßen. Die prozentuale Veränderung der CO_2-Intensität dient dabei als Indikator dafür, inwiefern eine regionale Dekarbonisierung bereits erfolgt ist. An dieser Stelle ist anzumerken, dass Südekum und Rademacher (2024) mit einer alternativen Methodik und Da-

tenbasis für einige Regionen zu vergleichbaren Ergebnissen kommen, wobei die Autoren für deutlich weniger Regionen eine Emissionsreduktion finden. Wesentliche Unterschiede ergeben sich aus der Einbeziehung ausschließlich regulierter Anlagen, bei denen Emissionsminderungen tendenziell eher zu erwarten sind.

Zusätzlich zur regionalen CO_2-Intensität erstellen wir einen Indikator, der die regionsspezifische Regulierungsstringenz misst. Diese Stringenz basiert auf dem Verhältnis der regionalen CO_2-Emissionen zu den regionalen frei zugeteilten Emissionszertifikaten (FAAs) und approximiert den direkten Kostendruck in einer Region. Der daraus resultierende Index vermittelt, dass eine Region mit höheren Emissionen und geringeren FAAs durch zusätzlichen Erwerb von EUAs eine stringentere Regulierung durch das EU ETS erfährt. Ein höherer Wert des Indikators weist somit auf einen höheren Kostendruck in dieser Region und damit auf einen höheren gegenwärtigen Transformationsdruck hin. Die Perspektive des regionalen Kostendrucks ist entscheidend, um potenzielle Auswirkungen auf die regionale Wettbewerbsfähigkeit und Unternehmenslandschaft zu verstehen. Hohe CO_2-Intensitäten sind nicht zwangsläufig mit einem hohen Kostendruck gleichzusetzen, da Anlagen auch eine bedeutende Anzahl an Emissionszertifikaten kostenfrei erhalten können, wodurch der Anpassungsdruck möglicherweise nicht unmittelbar spürbar wird. Obwohl das Design des EU ETS langfristig eine regionale Transformation bei hohen Emissionen erfordert, muss dafür nicht notwendigerweise ein signifikantes Preissignal bestehen.

Die Regulierungsstringenz messen wir jährlich für den Zeitraum 2006–2019 für NUTS-3-Regionen in Deutschland. Abb. 4 zeigt die regionale Stringenz in den Jahren 2006 (Abb. 4a), 2019 (Abb. 4b) sowie die prozentuale Veränderung in diesem Zeitraum (Abb. 4c). Während die Stringenz im Jahr 2006 aufgrund der weitreichenden, sektorübergreifenden kostenlosen Zuteilung in der Anfangsphase sehr gering und räumlich homogen war, hat diese bis 2019 deutlich zugenommen und ist regional sehr heterogen verteilt. Dies ist vor allem auf die Änderungen in Phase 3 zurückzuführen, ab der es keine kostenlose Zuteilung für Stromerzeuger mehr gab und Industrieanlagen nach Effizienzkriterien und Carbon-Leakage-Risiko kostenlose Zertifikate erhielten. Die regional ungleiche Verteilung der verschiedenen Anlagen führt folglich zu einer divergierenden regionalen Stringenz. Es wird anhand des Indikators ersichtlich, welche Regionen bereits heute einem hohen Kostendruck ausgesetzt sind. Interessant ist, dass bei der Gegenüberstellung von Stringenz und CO_2-Intensität deutliche Unterschiede zu erkennen sind. Nicht alle Regionen mit hoher CO_2-Intensität sind bereits heute streng reguliert. So weisen beispielsweise die Regionen Uckermark (DE40I) und Oder-Spree (DE40C) im Jahr 2019 alle eine sehr hohe CO_2-Intensität auf, dennoch sind diese Regionen nicht besonders streng reguliert. Zukünftige Verschärfungen des EU ETS stellen diese Regionen daher potenziell vor große Herausforderungen. Im Gegensatz dazu weist die Region Düren (DEA26) im Rheinischen Braunkohlerevier mit dem Kraftwerk Weisweiler – mit regulierten Emissionen von ca. 14 Mio. t CO_2 – und einer bedeutenden Papierindustrie in der Region bereits heute eine hohe regulatorische Stringenz bei gleichzeitig hoher CO_2-Intensität auf.

Um ein umfassendes Bild über den regionalen Transformationsdruck des EU ETS zu erhalten, schlagen wir eine Kombination der beiden vorgestellten Indikatoren vor, aus der sich vier Regionstypen ableiten lassen. Dabei unterscheiden wir zwischen geringer und hoher CO_2-Intensität (Grenzwert entspricht dem 4. Quintil, was einer CO_2-Intensität von ca. 95 t CO_2-Emissionen pro Mio. € BIP entspricht). Ebenso unterscheiden wir zwischen niedriger und hoher Regulierungsstringenz (Grenzwert 2, was bedeutet, dass die Region weniger als die Hälfte der Emissionszertifikate kostenlos zugeteilt bekommt). Tab. 1 zeigt die verschiedenen Regionstypen, ihre Charakteristika und die Anzahl der klassifizierten Regionen. Die räumliche Verteilung der Regionstypen für 2019 wird in Abb. 4d dargestellt.

Insgesamt zeigt sich, dass der Transformationsdruck räumlich sehr ungleich verteilt ist, wobei insbesondere die Standorte der Montanindustrie in Ost-, Mittel- und Westdeutschland betroffen sind. Dennoch unterliegen nicht alle dieser Regionen bereits einer strengen Regulierung. Be-

Tab. 1 EU ETS Regionstypisierung nach Transformationsdruck

		EU ETS Regulierungsstringenz	
		Hoch	**Gering**
CO_2 Intensität	**Hoch**	*Typ 1* Akuter Anpassungsdruck, strukturelle Veränderungen wahrscheinlich, Abwanderungsdruck (30 Regionen)	*Typ 2* Zukünftiger Anpassungsdruck zu erwarten, zukünftige strukturelle Veränderungen wahrscheinlich, Allokationsmechanismus schützt derzeit z. B. noch vor Abwanderung (45 Regionen)
	Gering	*Typ 3* Kostendruck, jedoch relativ geringe Auswirkungen auf Wirtschaftsstruktur in der Region (86 Regionen)	*Typ 4* Kaum betroffene Regionen (179 Regionen)

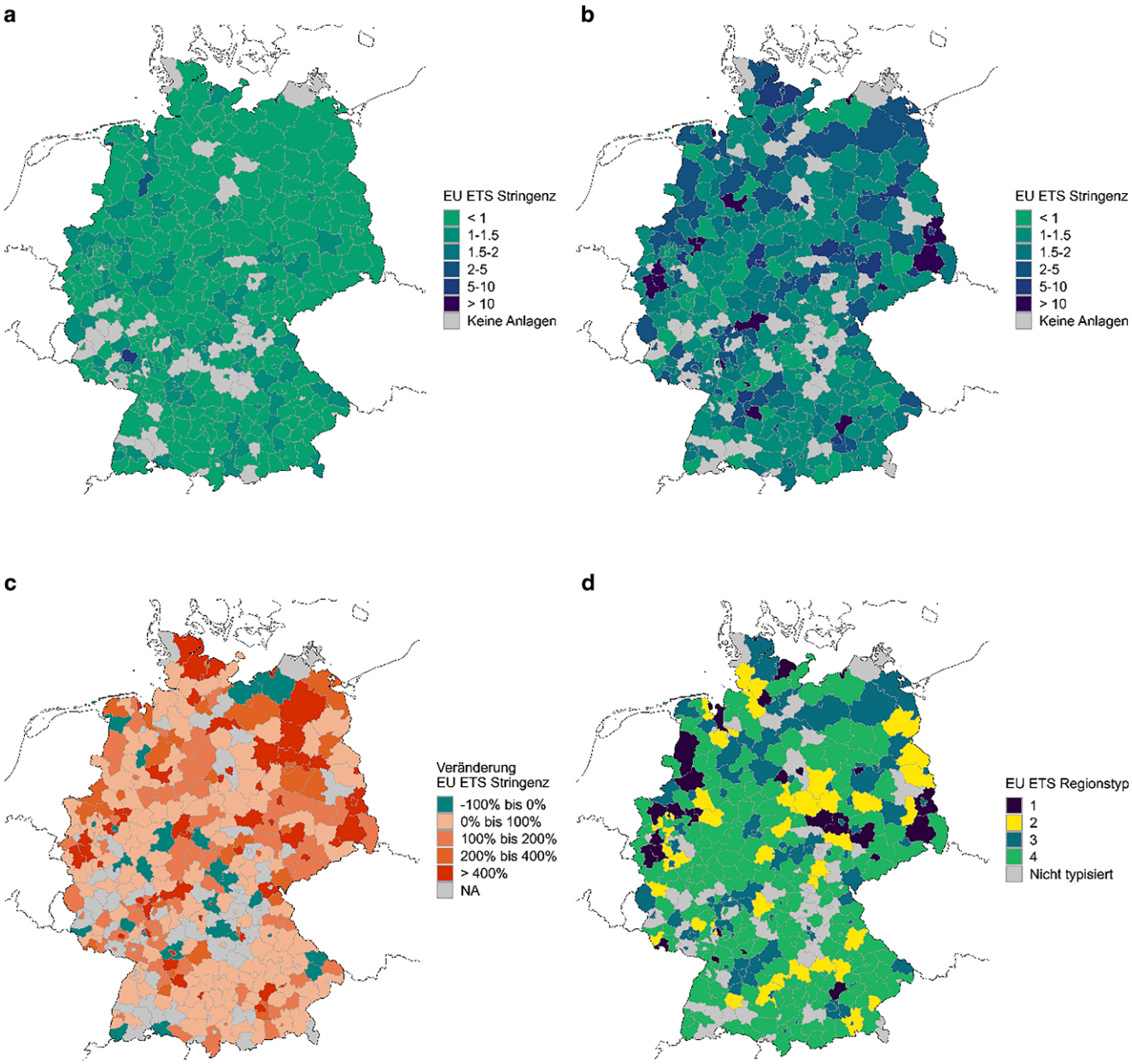

Abb. 4 EU ETS Stringenz in deutschen NUTS-3-Regionen. **a** Regionale EU ETS Stringenz im Jahr 2006. **b** Regionale EU ETS Stringenz im Jahr 2019. **c** Veränderung der regionalen EU ETS Stringenz im Zeitraum 2006–2019. **d** EU ETS Regionstypisierung für das Jahr 2019

sonders in Ostdeutschland gibt es einige Gebiete, in denen zukünftig ein steigender Anpassungsdruck zu erwarten ist.

Regionen, die als Typ 1 und Typ 2 klassifiziert werden, stehen vor einem akuten bzw. zunehmenden substanziellen Transformationsdruck, der eine Neuausrichtung der regionalen Wirtschaft erfordert. Politische Maßnahmen können dazu beitragen, diese Regionen bei der Bewältigung des Strukturwandels zu unterstützen und sind in unterschiedlicher Ausprägung bereits vorhanden. Der Rhein-Erft-Kreis (DEA27) ist mit einer CO_2-Intensität von 1408 t CO_2 pro Mio. € und einer Stringenz von rund 20 ein Beispiel für eine Region des Typs 1. Der Kreis bemüht sich aktiv um die Gestaltung des Strukturwandels und versucht über Themenfelder wie Künstliche Intelligenz, z. B. mit dem AI-Village in Hürth, einem Innovationscampus für Künstliche Intelligenz und Robotik, und der Ansiedlung von Rechenzentren der Firma Microsoft neue Wachstumsimpulse zu setzen (Rhein-Erft-Kreis 2024a, b). Die Region Oberspreewald-Lausitz (DE40B) wird dagegen mit einer geringeren Regulierungsstrenge (1,79) und einer CO_2-Intensität von 123 dem Typ 2 zugeordnet und steht damit unter einem Transformationsdruck, der sich vor allem in Zukunft noch verstärken wird. In dieser Region werden auch zunehmend politische Anstrengungen zur Gestaltung des Struk-

turwandels unternommen und z. B. mit der Verabschiedung des Lausitzprogramms 2038 im Jahr 2020 kann die Region auf Maßnahmen zur Bewältigung zukünftiger Herausforderungen zurückgreifen (Landesregierung Brandenburg 2020). Regionen des Typs 3 sind zwar einem aktuellen Kostendruck ausgesetzt, aufgrund der geringen CO_2-Intensität sind jedoch in der Breite nur geringe Veränderungen der regionalen Wirtschaftsstruktur zu erwarten. Einzelne Unternehmen können hingegen stärker betroffen sein und politische Maßnahmen könnten hier gezielt Anlagenbetreiber, beispielsweise bei der Einführung neuer grüner Technologien, unterstützen.

Fazit

Insgesamt trägt dieser Beitrag dazu bei, den vom EU-Emissionshandelssystem (EU ETS) ausgehenden regionalen Transformationsdruck abzubilden. Es wird verdeutlicht, dass dieses supranationale Instrument der europäischen Umweltpolitik in den NUTS-3-Regionen Deutschlands spezifische Herausforderungen mit sich bringt, die zu einem unterschiedlich ausgeprägten regionalen technologischen und strukturellen Wandel beitragen können. Diese Betrachtungsweise ermöglicht politischen Entscheidungsträgern sowie Wirtschaftsförderungseinrichtungen eine bessere Abschätzung der Auswirkungen in der eigenen Region. Dies ist relevant, da der regionale Nachhaltigkeitstransformationsprozess vermehrt eine aktive Rolle der Politik erfordert (Trippl et al. 2023). Auch die EU-Kommission hat den Transformationsdruck durch das EU ETS erkannt und unterstützt kohlenstoffabhängige Regionen in einkommensschwächeren Mitgliedstaaten mit dem „Modernisierungsfonds“ bei Investitionen in die Modernisierung des Stromsektors, des Energiesystems und der Energieeffizienz (European Commission 2023). Vor dem Hintergrund einer zukünftig strengeren Regulierung und der Ausweitung des Systems auf weitere Sektoren erscheint es sinnvoll, im Sinne einer präventiven Regionalentwicklung (Stahlecker et al. 2021) weitere regionale Förderprogramme in Betracht zu ziehen. Dabei hilft die Berücksichtigung von regionalen Diversifizierungspotenzialen, zukunftsgerichtete Transformationsstrategien zu entwickeln (Breul 2022). Die in diesem Beitrag vorgestellte Regionstypisierung bietet eine Orientierungshilfe, in welchen Regionen Strukturwandel, Abwanderung von Unternehmen oder Verlagerung emissionsintensiver Produktionsschritte bereits zu erwarten sind.

Zudem zeigt sie auf, in welchen Regionen in Zukunft verstärkter Transformationsdruck zu erwarten ist und daher regionsspezifische Unterstützungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden sollten. Dies kann dazu beitragen, regionalen Unterschieden in der Vulnerabilität und potenziell wachsender „grüner Unzufriedenheit“ zu begegnen (Rodríguez-Pose und Bartalucci 2023). Angesichts der positiven Auswirkungen von Umweltregulierungen auf die Innovationstätigkeit im Bereich grüner Technologien kann eine stringente Regulierung jedoch auch eine Chance für Regionen darstellen, wenngleich hierzu auf regionaler Ebene bisweilen wenig Evidenz vorliegt (Losacker et al. 2023). Auch wenn das EU ETS das zentrale umweltpolitische Instrument auf europäischer Ebene ist, existieren viele weitere (auch nichtmarktbasierte) Instrumente im Policy Mix, die den regionalen Strukturwandel beeinflussen. Diese Instrumente betreffen oft Sektoren, die ebenfalls durch das EU ETS reguliert werden. Der regionale Strukturwandel wird somit auch von anderen politischen und regionsspezifischen Maßnahmen (z. B. Regionalpolitik, Wirtschaftsförderung) beeinflusst, die entsprechend in die Betrachtung einzubeziehen sind.

Danksagung Wir danken Sandro Montresor für hilfreiche Kommentare zur Indikatorik.

Förderung Die Forschungsarbeit wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziell unterstützt (BMBF 031B1281).

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de.

Literatur

Abrell J (2021) Database for the European Union transaction log (Database)

Andersson JJ (2019) Carbon taxes and CO2 emissions: Sweden as a case study. Am Econ J Econ Policy 11:1–30. https://doi.org/10.1257/pol.20170144

Baumol WJ, Oates WE (1971) The use of standards and prices for protection of the environment. In: Bohm P, Kneese AV (Hrsg) The economics of environment. Palgrave Macmillan, London, S 53–65

Best R, Burke PJ, Jotzo F (2020) Carbon pricing efficacy: cross-country evidence. Environ Resour Econ 77:69–94. https://doi.org/10.1007/s10640-020-00436-x

Borghesi S, Montini M, Barreca A (2016) The European emission trading system and its followers. Springer, Cham

Breul M (2022) Strukturwandel im Rheinischen Revier: Eine Analyse der technologischen Diversifizierungspotenziale. Standort 46:84–90. https://doi.org/10.1007/s00548-022-00773-7

Buchholz W, Rübbelke D (2019) Foundations of environmental economics. Springer, Cham

Cameron A, Baudry M (2023) The case for carbon leakage and border adjustments: where do economists stand? Environ Econ Policy Stud 25(3):435–469. https://doi.org/10.1007/s10018-023-00366-0

Dechezleprêtre A, Nachtigall D, Venmans F (2023) The joint impact of the European Union emissions trading system on carbon emissions and economic performance. J Environ Econ Manage 118:102758. https://doi.org/10.1016/j.jeem.2022.102758

Ellerman AD, Marcantonini C, Zaklan A (2016) The European Union emissions trading system: ten years and counting. Rev Environ Econ Policy

European Commission (2022) Unionsregister. https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/union-registry_de. Zugegriffen: 10. Sept. 2022

European Commission (2023) Modernisation fund. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/funding-climate-action/modernisation-fund_en. Zugegriffen: 17. Jan. 2023

European Commission (2024) EU Emissions Trading System (EU ETS). https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en. Zugegriffen: 2. Mai 2024

European Energy Exchange (2023) Emission Spot Primary Market Auction Report 2023. https://www.eex.com/en/market-data/environmental-markets/eua-primary-auction-spot-download. Zugegriffen: 11. Jan. 2023

European Environment Agency (2022) EU Emissions Trading System (ETS) data viewer. https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1.Gesehen. Zugegriffen: 12. Jan. 2022

Green JF (2021) Does carbon pricing reduce emissions? A review of ex-post analyses. Environ Res Lett 16:43004. https://doi.org/10.1088/1748-9326/abdae9

Koschatzky K, Hansmeier H (2023) Regionale Entwicklungsprozesse im Kontext von Strukturwandel und Transformation. In: Koschatzky K, Stahlecker T (Hrsg) Nachhaltige Transformation und resilienter Strukturwandel in Regionen. Fraunhofer Verlag,

Landesregierung Brandenburg (2020) Das Lausitzprogramm 2038; Prozesspapier zum Aufbau von Entscheidungs- und Begleitstrukturen im Transformationsprozess. https://lausitz-brandenburg.de/wp-content/uploads/2020/09/Lausitzprogramm-2038_20200914.pdf. Zugegriffen: 4. Juni 2024

Liefner I, Losacker S (2023) Nachhaltige Wirtschaftsgeographie. UTB

Losacker S, Hansmeier H, Horbach J, Liefner I (2023) The geography of environmental innovation: a critical review and agenda for future research. Rev Reg Res 43:291–316. https://doi.org/10.1007/s10037-023-00193-6

Martin R, Muûls M, Wagner UJ (2016) The impact of the European Union emissions trading scheme on regulated firms: what is the evidence after ten years? Rev Environ Econ Policy

Pörtner H-O, Roberts DC, Tignor M, Poloczanska ES, Mintenbeck M, Alegría A, Craig M, Langsdorf S, Löschke S, Möller V, Okem A, Rama B (2022) Climate change 2022: impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press

Rhein-Erft-Kreis (2024a) futuRE – Regionale Entwicklung im Rhein-Erft-Kreis. https://www.rhein-erft-kreis.de/infrastruktur/future.php. Zugegriffen: 4. Juni 2024

Rhein-Erft-Kreis (2024b) Microsofts Investitionen als Katalysator für den Strukturwandel. https://www.rhein-erft-kreis.de/aktuelles/meldungen/2024-Microsofts-Investitionen-als-Katalysator-fuer-den-Strukturwandek.php. Zugegriffen: 4. Juni 2024

Rodríguez-Pose A, Bartalucci F (2023) The green transition and its potential territorial discontents. Camb J Reg Econ Soc 17(2):339–358

Stahlecker T, Hansmeier H, Koschatzky K (2021) Neue Ansätze des präventiven regionalen Strukturwandels und Implikationen für das gesamtdeutsche Fördersystem. In: Lange J, Danielzyk R (Hrsg) Präventive Strukturpolitik revisited. Wie können sich Regionen auf den (durch Klimaschutz bedingten) Strukturwandel einstellen? Loccumer Protokolle, Bd. 57/2020. Evangelische Akademie Loccum, Rehburg-Loccum, S 183–205

Stavins RN (2003) Experience with market-based environmental policy instruments environmental degradation and institutional responses. Elsevier, S 355–435

Stavins RN (2022) The relative merits of carbon pricing instruments: taxes versus trading. Rev Environ Econ Policy 16:62–82. https://doi.org/10.1086/717773

Sturm B, Vogt C (2018) Umweltökonomik. Springer, Berlin, Heidelberg

Südekum J, Rademacher P (2024) Regionale Disparitäten in der Transformation; Empirische Evidenz für Deutschland und Implikationen für die Regionalpolitik. Bertelsmann Stiftung

Trippl M, Benner M, Baumgartinger-Seiringer S (2023) Regionale Innovations- und Wirtschaftspolitik in Zeiten transformativen Wandels: Der CORIS-Ansatz als Orientierungsrahmen. Standort. https://doi.org/10.1007/s00548-023-00890-x

Hinweis des Verlags Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.