



MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Die Auswirkungen von Umweltregulierungen auf
Innovationen und Beschäftigung in Deutschland“

verfasst von / submitted by

Jan Ulrich Brilke, B. Sc.

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien, 2023 / Vienna 2023

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 066 914

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium Internationale Betriebswirtschaft

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dipl.-Vw. Monika Gehrig-Merz, PhD

Inhaltsverzeichnis

Abstract	3
1. Einleitung:	4
2. Theorie	6
a. Umweltregulierungen	6
i. Umweltregulierungen in Deutschland – Eine Übersicht.....	6
ii. Umweltpolitische Regulierungen – Eine Übersicht der Theorien.....	8
iii. Übersicht der Implikationen von Umweltregulierungen auf Innovation und Beschäftigung	11
b. Umweltinnovationen	14
i. Prozess- und Produktinnovation.....	16
c. Beschäftigungseffekte durch Umweltregulierungen	17
d. Beitrag dieser Arbeit	19
3. Empirische Analyse	20
a. Daten	20
b. Datenaufbereitung	24
c. Deskriptive Statistiken	25
d. Methodik	27
4. Schätzergebnisse.....	29
a. Tabellen und Ergebnisse	29
b. Diskussion	32
c. Kritische Würdigung	34
5. Schlussfolgerung.....	36
6. Literatur	38
7. Datenquellen.....	41
8. Appendix	41
a. Tabellen	41
b. Grafiken:.....	42

Abstract

Diese Arbeit untersucht die Auswirkungen von Umweltregulierungen auf Innovation und Beschäftigung in Deutschland für den Zeitraum zwischen 2000 bis 2015. Im Rahmen dieser empirischen Untersuchung werden die Zusammenhänge zwischen untersucht, um weitere Politikempfehlungen zu ermöglichen. Als Grundlage dienen Daten der OECD und der Mannheimer Innovationspanel des ZEWs. Die Ergebnisse der Untersuchung der Beziehung zwischen Umweltregulierung und Eco-Innovation deuten auf einen positiven Zusammenhang hin. Somit entspricht dies den Erwartungen aus vorangegangenen Studien, die in dieser Arbeit ausführlich diskutiert werden. Die Ergebnisse zu einem potenziellen, durch Umweltregulierung ausgelösten Beschäftigungseffekt ermöglichen dennoch keine allgemeingültige Aussage über dessen Effekt und bieten daher Forschungsansätze für weiterführende Untersuchungen.

1. Einleitung:

Der voranschreitende Klimawandel stellt eine der größten Herausforderung des 21. Jahrhunderts dar. Global thematisieren Gesellschaften und Politik seit Jahren die Notwendigkeit der Bekämpfung des Klimawandels, doch bislang sind die vereinbarten Ziele noch weit entfernt. Im Jahr 2015 haben sich die G-20 Nationen, welche für 80 % der weltweiten CO₂ Emissionen verantwortlich sind, dazu bekannt, die Klimaerwärmung auf 1,5 Grad Celsius zu beschränken. In der Tat hat Deutschland als eine der größten Wirtschaftsnationen ihre CO₂-Emission seit 2015 reduzieren können ([Grafik 1](#)). Tatsächlich reichen die aktuellen CO₂ Einsparungen aber nicht aus, um angestrebte Klimaziele wie dem 1,5 Grad-Ziel gerecht zu werden.

Neben dem Pariser Klimaabkommen und den durch den Klimawandel drohenden Naturkatastrophen zwingt nun auch der russische Angriffskrieg die deutsche Politik zum Umdenken im Hinblick auf die industriell bedingte Ressourcennutzung. Die Krise hat die Gefahren durch die Abhängigkeitsstrukturen Europas und die Deutschlands von russischem Öl und Gas verdeutlicht. Beide Ressourcen sind zu diesem Zeitpunkt unabdingbar für den Industriestandort Deutschland hinsichtlich der Energieversorgung und der Produktion. Im März 2022 stammen in Deutschland 50 % des Gases und 40 % des Öls aus Russland. Die in Folge des Konflikts rasant steigenden Energiepreise stellt die lokale Industrie vor enormen Herausforderungen und beschleunigt den Anstieg bestehender Inflation in Europa. Die äußerst vulnerable Situation Deutschlands ist sowohl auf umweltpolitische Versäumnisse als auch auf mangelnde Initiativen für mehr Nachhaltigkeit zurückzuführen. Die hohen Energie- und Ressourcenpreise stellen nun insbesondere kleine und mittelständische Betriebe, welche in Summe als größter Arbeitgeber Deutschlands gelten, vor existenzielle Herausforderungen.

Angesichts des sich zuspitzenden Klimawandels und der wirtschaftlichen Herausforderungen stellen sich immer mehr Länder die Frage, wie dem Klimawandel effizient entgegengewirkt werden kann, ohne der lokalen Wirtschaft zu schaden. In der Umweltökonomik wird indes diskutiert, wie die Politik durch Umweltregulierungen handeln kann, ohne dabei die internationale Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Firmen zu gefährden. Während einige Länder, wie beispielsweise die USA, auf Innovation durch einen nahezu unregulierten Markt setzen, greifen anderen Staaten (z.B. Norwegen) aktiv mit strengeren umweltpolitischen Maßnahmen in das Marktgeschehen ein. Dabei werden Regulierungen als Instrument verwendet, um wirtschaftsbedingten Umweltschäden entgegenzuwirken und einen Anreiz für

einen ökologischen Wandel zu setzen. Primär werden dabei mit gezielten Umweltsteuern in die Kostenstruktur der Unternehmen eingegriffen, um einen Lenkungseffekt zu erzeugen. Ein Optimum der Strenge an Umweltregulierungen zu wählen ist nicht evident und stellt einen schmalen Grat zwischen zu strengen und zu laxen Eingriff in den Markt dar. Zu strenge Eingriffe können zu Abwanderungen der Industrien sowie zu finanziellen Ruinen von Unternehmen führen aufgrund der zu stark gestiegenen Produktionskosten. Sind die Maßnahmen zu lax haben diese keinerlei Lenkungseffekt und sind somit wirkungslos. In beiden Szenarien werden Klimaziele sowie die Aufrechterhaltung der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit nicht eingehalten.

Im Rahmen dieser Masterarbeit wird in Anlehnung an die Porter-Hypothese untersucht, ob und in welche Richtung Umweltregulierungen umweltbezogene Innovationen beeinflussen. Umweltbezogene Innovationen tragen zu einer Reduktion des Emissionsverbrauchs bei (Porter und van der Linde, 1995) und gelten aus diesem Grund als Schlüsseltechnologien gegen den voranschreitenden Klimawandel. Diese Schlüsseltechnologien umfassen insbesondere die Erweiterung, Entwicklung und Optimierung von Umwelttechniken. Sie beziehen sich unter anderem auf die Techniken der Energierückgewinnung, Energiespeicherung, nachhaltiger Mobilität, Produktionsprozesse oder des Recyclings. Dabei steigern Umwelttechnologien die Produktivität der Ressourcennutzung (Porter und van der Linde, 1995). Gleichzeitig senken sie auch die negativen Externalitäten¹ der Industrie auf die Umwelt. Deutlich wird, dass die Förderung bestehender Umwelttechniken und Innovationen unabdingbar sein wird, um die Ressourcenproduktivität zu steigern und die vereinbarten Klimazielen einzuhalten. Eine Steigerung der Ressourcenproduktivität wird dabei entscheidend sein, um Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit mit Umweltschutz zu vereinbaren.

Umweltpolitische Interventionen beeinflussen durch die damit verbundenen Kostensteigerungen und dessen Implikationen auf die Wirtschaft, auch den Arbeitsmarkt. Dabei führen durch Regulierung induzierte umweltbezogene Innovationen auch zu Beschäftigungseffekten. Die genauen Effekte sind derweil aufgrund der Heterogenität von umweltbezogenen Innovationen noch mehrheitlich unklar (Horbach und Rennings, 2013). Durch die mit umweltbezogenen Innovationen einhergehende höhere Produktivität der Ressourcen, sind insbesondere die Arbeitsplätze in den Sektoren am vulnerabelsten, in denen Arbeit und Energie komplementäre Produktionsfaktoren sind (Pestel, 2019). Daher könnte die

¹ U.a. Verschmutzung von Wasser, Luft oder Böden

durch Umweltinnovation induzierter Anstieg der Ressourcenproduktivität zu einer höheren Kapitaleffizienz² führen, was zu einer stärkeren Substituierung von Arbeit führen könnte und somit auch mit Lohnsenkungen (Horbach und Rennings, 2013). Den Zusammenhang zwischen der Strenge der Umweltregulierungen, umweltbezogenen Innovationen und potenziellen Beschäftigungseffekten tiefgreifender zu verstehen ist daher von großer Bedeutung, um zukünftige umweltpolitische Entscheidung optimieren und Effekt besser antizipieren zu können. In der wissenschaftlichen Literatur findet die Thematik bereits großen Anklang (Horbach, 2020; Rennings, Ziegler und Zwick, 2004; Pfeiffer und Rennings, 1999), jedoch bedarf es weiterer Forschung zu den Auswirkungen von Umweltregulierungen auf Umweltinnovationen und Beschäftigungen in Deutschland zwischen dem Zeitraum 2003-2015.

Im ersten Teil dieser Arbeit werden daher die wissenschaftlichen Grundlagen erarbeitet und in Kontext zur Thesis gebracht. Dabei wird auch im Einzelnen auf Umweltregulierungen und deren Effekte, auf umweltbezogenen Innovationen sowie auf die Beschäftigung eingegangen. In einem zweiten Teil der Arbeit findet die empirische Analyse statt. Dazu werden zunächst die zugrunde liegenden Daten vorgestellt. Dann wird die ökonometrische Analysemethodik sowie die tatsächliche Analyse präsentiert. Abschließend werden die Ergebnisse vorgestellt und diskutiert. Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick.

2. Theorie

a. Umweltregulierungen

i. Umweltregulierungen in Deutschland – Eine Übersicht

Umweltregulierungen haben in Deutschland eine lange Historie. Einer der Wendepunkte in der Entwicklung der staatlich eingeführten Umweltmaßnahmen in Deutschland stellt dabei die Verabschiedung des Wasserreinigungsgesetzes im Jahr 1965 dar und schuf den rechtlichen Rahmen zur Bekämpfung von Wasserverschmutzung in Deutschland. Mit voranschreitender Industrialisierung und anhaltender Luftverschmutzung folgte 1968 das Luftreinhaltsgesetz, das den Schutz der Gesundheit als Hauptziel setzte. Ausgelöst wurde der Anstieg negativer Externalitäten auf die Umwelt dabei primär durch den weltweiten wirtschaftlichen Aufschwung, ansteigender Produktion, der Globalisierung und eines gestiegenen Aufkommens an Abfällen. Anhaltende Luftverschmutzung, mangelnde

²Bspw. Energie

Regulierung toxischer Industrieabfälle, saurer Regen und das Waldsterben dominierten in den 80-er Jahren die öffentliche Debattenlandschaft in Deutschland und trugen zu mehr Umweltbewusstsein der Bevölkerung bei ([Umweltbundesamt.de](https://www.umweltbundesamt.de), Stand: 29.09.2022). In diesem Zusammenhang folgten umfassendere und strengere Umweltregulierungen. Der dabei verfolgte neoklassische Methodenansatz basiert stark auf der Setzung von Kostenanreizen zur Regulierung von Umweltschutz (Rennings, 1998). Die Maßnahmen sind zielgerichtet auf den Schutz der Umwelt vor Marktversagen, welche negativen Externalitäten auf die Umwelt haben (Rennings, 1998). Besonderer Aufmerksamkeit wird in Umweltpolitik der allgemeinen Reduktion von klimaschädlichen Emissionen gewidmet.

In Hinblick auf die Verbesserung der Luft wurden unter Helmut Kohl, 1984, der Katalysator für das Automobil gesetzlich festgelegt (Hübner, C.,2019). Der Einbau von Katalysatoren wurde per Gesetz ab diesem Zeitpunkt für alle Neuzulassungen verpflichtend. Unter Protest der Autolobby wurde die neue Gesetzgebung durchgesetzt, welche einen regulierungsbedingten kompetitiven Nachteil beklagten. Retrospektiv sei kein Wettbewerbsnachteil entstanden, da die Sinnhaftigkeit der Maßnahme auf breite Zustimmung in der Bevölkerung stieß und der Katalysator Anfang der 90er in der ganzen EU per Gesetz zum neuen Standard wurde (Hübner, C.,2019). Die Einführung zur Verpflichtung von Katalysatoren in Deutschland ist sinnbildlich für den hohen Nutzen von umweltpolitischen Maßnahmen unter Ablehnung der Industrie.

Grundsätzlich hat der Staat die Möglichkeit, auf unterschiedlicher Ebene in den Markt einzugreifen. Traditionelle Instrumente zur Bewirkung eines Lenkungseffekts bei der Nutzung von Ressourcen sind dabei Steuern oder Mengenbeschränkungen. Eine einheitliche Vorgabe zur Strenge an Umweltregulierung gibt es nicht, daher sind die Länder eigens verantwortlich für den Umweltschutz. Allerdings gibts es für die EU homogene Umweltregulierungen für die Produktion, wie die 96/61/EG Richtlinie zur integrierten Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzung (auch IVU-Richtlinie), die 1996 vom Europäischen Rat ratifiziert wurde und einheitlich für die EU gilt (Rave & Triebswetter, 2006). Die Richtlinie gibt, vereinfacht gesagt, die Rahmenbedingungen der Genehmigung für die Anlagen der Industrie vor, damit nur die „beste verfügbare Technik“ genehmigt wird. So soll vermieden werden, dass Unternehmen ältere umweltschädlichere Anlage aus Kostengründen in ihren Produktionsprozess integrieren (Rave & Triebswetter, 2006). Im Zuge der Evaluierung von Anlagen werden die Gesamtauswirkung auf die Umwelt betrachtet, um eine Verlagerung der Umweltbelastung zu verhindern und die emissionsärmste Variante zu fördern.

Nach der IVU-Richtlinie von 1996 folgt 1999 in Deutschland eine eigene Initiative mit der Einführung von Umweltsteuern. Der Staat nutzt dabei die Steuerlast als Instrument zur Schaffung finanzieller Anreize, damit Industrien ihre Ressourcenproduktivität steigern und kostengünstiger wirtschaften. Ziel dieser Intervention ist ein positiver Lenkungseffekt auf die Umwelt. Die staatlichen Einnahmen durch die Umweltsteuern beliefen sich im Jahr 2020 auf €57,1 Milliarden ([Umweltbundesamt.de](https://www.umweltbundesamt.de), Stand: 29.09.2022). Diese Steuergelder werden für staatlich organisierten Umweltschutz verwendet. Dabei setzen sich die eingenommenen Steuern sowohl aus Preissteuern als auch Mengensteuern zusammen. Die Umweltsteuern werden untergliedert in: Energiesteuern (ehemalig, Mineralölsteuer), Kraftfahrsteuern, Stromsteuern und Luftverkehrssteuern.

Zusätzlich werden Emissionsberechtigungen an bestimmte Marktteilnehmer verteilt, die darauf abzielen, die Menge an Emissionen zu kontrollieren und im gegebenen Fall zu sanktionieren. Die Entwicklung der Einnahmen durch Umweltsteuern ist zwischen 2005 und 2020 im Trend steigend (+3,6 %), während der prozentuale Gesamtanteil an der Steuerlast von 12,2 % auf 7,7 % gesunken ist ([Umweltbundesamt.de](https://www.umweltbundesamt.de), Stand: 28.09.2022). Die Energiesteuer dominiert den Anteil der Umweltsteuern mit ca. 66 %, gefolgt von der Kraftfahrzeugsteuer mit ca. 17 % ([Umweltbundesamt.de](https://www.umweltbundesamt.de), Stand: 28.09.2022). Die Steuerlast durch staatlichen Umweltregulierung ist erheblich und trägt dazu bei, dass die Emissionen und negative Externalitäten auf die Umwelt zu einem gewissen Maß vorgebeugt werden. Ob diese Bemühungen ausreichend sind, ist zu einem späteren Zeitpunkt zu bewerten. Die aktuelle Entwicklung der Emission in Deutschland, veranschaulicht in der [Grafik 1](#), zeigt die mangelhafte Einhaltung der Pariser Klimaziele von 2015 auf. Sollte die Politik zukünftige Emissionen stärker senken wollen, ist davon auszugehen, dass sie dies nur durch strengere umweltpolitische Maßnahmen bewirken kann, sollte derweil kein technologischer Durchbruch gelingen und implementiert werden können.

ii. Umweltpolitische Regulierungen – Eine Übersicht der Theorien

In der Umweltökonomie sind die Auswirkungen und Effekte von Umweltregulierungen auf wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit, Wachstum, Innovationen sowie Beschäftigung Gegenstand intensiver wissenschaftlicher Diskussionen. Die Komplexität des Themas und die wirtschaftlichen Zusammenhänge ermöglicht, wie so oft in der Ökonomik, einen breiteren Interpretationsspielraum hinsichtlich der theoretischen Schlussfolgerungen. Bestehende empirische Untersuchungen liefern Hinweise auf mögliche Zusammenhänge, sind aber

aufgrund der Komplexität nicht allgemeingültig. Aus der kontroversen Debatte heraus haben sich in den 90er-Jahren im wesentlichen zwei alternative wissenschaftliche Theorien gebildet. Zum einen die neoklassische Betrachtungsweise und zum anderen die Porter-Hypothese von Porter und van der Linde (1995). Beide Strömungen der Ökonomik vereint das Ideal einer Vereinbarkeit von Wirtschaftlichkeit und Umweltschutz.

Die neoklassische Betrachtungsweise in Bezug auf Umweltregulierungen basiert auf den Annahmen, dass der Markt der effizienteste Mechanismus für die Zuweisung von Ressourcen darstellt. Demnach führen exogene Eingriffe wie umweltpolitische Maßnahmen zu ineffizienter Ressourcenallokation am Markt. In Bezug auf mögliche Beschäftigungseffekte durch Umweltregulierungen argumentiert die Neoklassik, dass diese davon abhängen, wie stark die Kosten durch neue Regulierungen auf die Unternehmen und Arbeitnehmer verteilt werden. Hervorgehoben wird hierbei auch der Substitutionseffekt zwischen den Produktionsfaktoren sowie durch die Erhöhung der Faktorpreise folgende Skaleneffekte (Franz, 2013). Diese nehmen in der neoklassischen Betrachtungsweise eine wesentliche Rolle ein, in der Einschätzung über mögliche Beschäftigungseffekte durch Umweltregulierungen. Ein negativer Beschäftigungseffekt durch die Substitution von Arbeit durch Energie ist allerdings aufgrund der niedrigen Elastizität zwischen beiden Produktionsfaktoren zu vernachlässigen (Franz, 2013).

Eine übermäßige Kostenbelastung der Betriebe durch Umweltmaßnahmen können der Neoklassik zu Folge zu einem Rückgang der Produktion und somit auch der Arbeitsnachfrage führen. Ebenfalls können heterogene politische Maßnahmen zu einer Abwanderung der Industrien führen und hat somit das Potenzial, eine Wirtschaft langfristig zu schwächen (Franz, 2013). Dies könnte insbesondere in energieintensive Branchen, welche stärker von den Maßnahmen betroffen sind, zu einem Rückgang der Beschäftigung führen. Ein negativer Beschäftigungseffekte könnte der Neoklassik nach jedoch abgedämpft werden, wenn der Staat die Kosten der Arbeit senkt (Franz, 2013). Diese würde zu einer Verteilung der Kosten zwischen Industrie und Arbeitnehmer führen und kann beispielsweise durch eine Senkung der Lohnnebenkosten erreicht werden. Implementiert der Staat gleichzeitig Umweltregulierung (Bspw. Ökosteuer) und Senkungen der Lohnkosten für Unternehmen, wird dabei in der Neoklassik von der „doppelten Dividende“ gesprochen (Franz, 2013). Die „doppelte Dividende“ bezieht sich dabei auf das Ideal der Vereinbarkeit zwischen Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit, der sich unter anderem auf einen positiven Beschäftigungseffekt bezieht.

Die Porter-Hypothese von Porter und van der Linde (1995) stellt eine alternative Perspektive zur Untersuchung der Auswirkungen von Umweltregulierungen auf die Wirtschaft dar. Die Kernaussage der These beruht darauf, dass die strengere Umsetzung von Umweltregulierungen zu einer stärkeren Wettbewerbsfähigkeit von betroffenen Unternehmen führen können. Grund für den Wettbewerbsvorteil ist der Porter-Hypothese nach dem Anstieg der Innovationsaktivität von Unternehmen, der zu einer höheren Ressourcenproduktivität und somit zu einem Kostenvorteil führt. Auslöser für den Wettbewerbsvorteil sind auch die „first-mover“ Vorteil, die durch die Patentierung von Innovationen gewährleistet wird (Porter und van der Linde, 1995). Auslöser für den Anstieg der Innovationsaktivität sind demnach die strengeren Umweltregulierungen, die dazu führen, dass Unternehmen aufgrund der höheren Kosten unter Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen nach alternativen Produktionsmöglichkeiten forschen. Die Annahme der Porter-Hypothese zeigt sich auch in wissenschaftlichen Untersuchungen, in denen staatliche Regulierungen die Zahl der Patentanmeldungen und somit die Innovationskraft positiv beeinflusst haben (Johnstone et al., 2010). Die Komponente der Innovationskraft, die in der Porter-Hypothese aufgegriffen wird, stellt einen ganzen wesentlichen Unterschied zur Neoklassischen Betrachtungsweisen dar und findet in der Ökonomik großen Anklang.

“Innovation offsets will be common because reducing pollution is often coincident with improving the productivity with which resources are used.”

(Porter und Linde, 1995, p. 98)

Während die Neoklassik aufgrund möglicher Abwanderungen der für homogene Umweltregulierungen plädiert, sind einheitliche Maßnahmen nach der Porter-Hypothese durch Umweltregulation induzierter Wettbewerbsvorteil für betroffene Standorte nicht notwendig. Darüber hinaus hebt die Porter-Hypothese auch einen positiven Beschäftigungseffekt hervor, der durch den Anstieg der Forschungsaktivität entsteht. Insbesondere die aus der Forschung resultierende umweltbezogene Technologien können demnach neue Arbeitsplätze entstehen lassen. Darüber hinaus könne die Entstehung neuer Industrien durch die Steigerung der Innovationskraft der Porter-Hypothese nach zu neuen Möglichkeiten am Arbeitsmarkt führen. Die strengeren Umweltmaßnahmen sind somit Katalysator für kostenmotivierte Innovation, die sich durch das dadurch herbeigeführte Wirtschaftswachstum auch positiv auf die Beschäftigung auswirkt.

Insgesamt gesehen legt die neoklassische Perspektive einen verstärkten Fokus auf die Verteilung Umweltmaßnahmen induzierter Kosten zwischen Unternehmen und Arbeitnehmern und stellt den Beschäftigungseffekt in dessen Abhängigkeit. Im Kontext wissenschaftlicher Untersuchungen bietet die Porter-Hypothese hingegen unter Berücksichtigung dynamischer Marktmechanismen einen nuancierten Ansatz, um die Auswirkungen von Umweltregulierungen darzustellen und nachzuvollziehen. Im Zuge der weiteren Untersuchung wird auf die Porter-Hypothese eingegangen, Hypothesen aus der Schlussfolgerung herausgearbeitet und im Zuge der empirischen Analyse untersucht. Zu beachten gilt, dass es sich bei beiden Ansätzen um Theorien handelt, deren Schlussfolgerung in der Ökonomik nicht allgemeingültig sind.

iii. Übersicht der Implikationen von Umweltregulierungen auf Innovation und Beschäftigung

Marktversagen, dass durch wirtschaftliches Handeln erzeugt wird und der Umwelt schadet, erfordern Maßnahmen auf unterschiedlichen Handlungsebenen. Um Marktversagen abzufedern und vorzubeugen, gibt es keine „one-fits-all“-Maßnahme, mit der alle negativen Effekte vermieden werden können. Der Staat muss jede Intervention dem Einzelfall anpassen und eine möglichst effiziente Lösung finden, um dem Problem entgegenzuwirken. Dabei variiert die Strenge der Regulierung, die einen gewissen Lenkungseffekt bezwecken soll. Unter anderem sind für den Lenkungseffekt auf die Einsparung von Energie und Ressourcen durch Unternehmen weniger strenge Maßnahmen nötig als für die direkte Verseuchung von Grund und Boden durch gefährliche Industrieabfälle (Horbach et al., 2012, p. 33). Für unwiderrufliche Schäden sind die Kosten für die Umwelt äußerst hoch und nur mit strengen Maßnahmen effektiv vorzubeugen. Hingegen sind für ineffiziente Ressourcennutzung, die leichter zu verhindern sind, weniger strengere umweltpolitische Maßnahmen notwendig, da bereits geringere Steigerungen der Umweltsteuern und somit der Ressourcenpreise als Anreiz genügen, um einen Lenkungseffekt in der Ressourcennutzung zu bewirken (Horbach et al., 2012). Von dieser Form der staatlichen Intervention sind insbesondere Unternehmen betroffen, bei welchen die Ressourcenkosten einen mehrheitlichen Anteil der Produktionskosten darstellt (Pestel, 2019). Dies sind meist Unternehmen der energieintensiven Branchen ([Tabelle 2](#)), wie die der Metall- oder Chemieindustrie, welche in Relation zu der Beschäftigungsanzahl den größten Energieverbrauch vermerken (Pestel, 2019).

Für die von Umweltregulierung betroffenen Unternehmen stellt dies einen erheblicher Anreiz für Unternehmen dar, alternative Produktionsmöglichkeiten zu entwickeln, welche die Ressourcennutzung optimiert. Wie bereits erwähnt, sind dabei energieintensive Branchen durch den hohen Energieverbrauch am stärksten betroffen. In Folge der Suche nach Alternativen steigt die Forschungsaktivität im Rahmen der wissenschaftlichen Möglichkeiten mit dem Ziel, im internationalen Wettbewerb weiter bestehen zu können. Der Anstieg der Innovationsaktivität ist somit stark durch die Reduktion der durch den Staat erhöhten Kosten getrieben (Horbach et al., 2012). Optimiert werden dabei bestehende Produktionsprozesse (e.g. effizientere Kalibrierung der Produktionsanlagen). Aus der Forschung resultierenden Innovationen, die neben der höheren Kosteneffizienz obendrein umweltschonender sind, werden in der Umweltökonomik auch Umweltinnovationen oder Eco-Innovation genannt (Rennings, 2000).

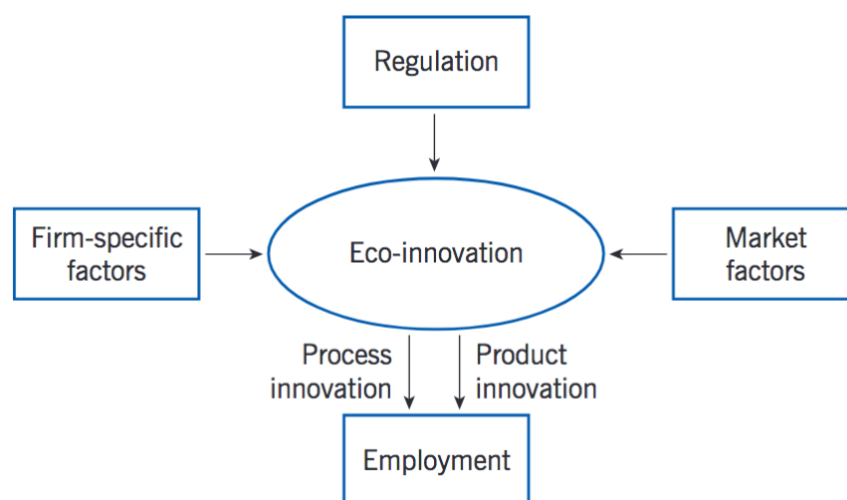
Nach der Porter-Hypothese ist eine weitere Implikation von Umweltregulierungen ein komparativer Wettbewerbsvorteil für betroffene Unternehmen, der auf der Eco-Innovation induzierten höheren Ressourcenproduktivität basiert und somit für langfristige Kostenvorteile sorgt. Erhöhungen von Ressourcenkosten aufgrund strengerer Umweltregulierungen führen zu einer vermehrten Anzahl an Patentanmeldungen in diversen Bereichen der Technologien (Lanjouw & Mody, 1996). Porter und Van der Linde (1995) betonen dabei einen Ausgleich der Anpassungskosten durch innovationsinduzierte Kostenvorteile. Die Erkenntnisse von Lanjouw und Mody (1996), zeigen sehr deutlich, wie dynamisch und kreativ Unternehmen Lösungen entwickeln können und nach der Porter-Hypothese für ihre Anpassungsfähigkeit durch Wettbewerbsvorteile als „*first-mover*“ belohnt werden. *Win-Win* Szenarien wie diese finden in der Umweltökonomik großen Anklang. Die [Grafik 3](#) und [Grafik 4](#) stellen eine Entwicklung dar, die eine stimulierende Wirkung der von Umweltregulierungen auf den technologischen Fortschritt vermuten lässt. Wobei zu berücksichtigen ist, dass die Entwicklung von Lösungen Zeit in Anspruch nimmt und es daher, wenn es zu einer Anmeldung eines umweltbezogenen Patents kommt, die zeitverzögert geschehen. Darüber hinaus ist es auch möglich, dass Unternehmen, die für eine Innovation verantwortlich sind, diese nicht patentieren.

Erhalten Unternehmen durch Umweltregulierung induzierte Innovationen einen Wettbewerbsvorteil, wird der Porter-Hypothese nach von einem Ausgleich der Anpassungskosten gesprochen. Demnach werden Unternehmen, welche ihre Investitionen in Forschung intensivieren, nach erfolgreicher Innovation durch die damit einhergehenden möglichen Kostenvorteile kompensiert. Die Schlussfolgerung, dass es zu einem

gesamtwirtschaftlichen Ausgleich der Anpassungskosten kommt, wird in Ökonomik nicht allgemein akzeptiert und werden kontrovers diskutiert. Kritikpunkt an der Theorie von Porter und van der Linde (1995) ist die mangelnde Repräsentativität der Untersuchung aufgrund der geringen Anzahl an Fällen, bei denen Unternehmen in der Lage waren, ihre Umweltbelastung und Produktionskosten simultan zu senken (Lanoie et al., 2011). Darüber hinaus wird kritisiert, dass Unternehmen in einem kompetitiven Marktumfeld ihre Möglichkeiten zur Optimierung der Ressourcennutzung und Maximierung der Produktivität bereits ausgeschöpft haben und es keinen Bedarf für das Eingreifen des Staats gibt (Palmer, Oates und Portney, 1995). Dieser Kritikpunkt ist jedoch in seiner Validität sehr fraglich in Bezug auf die [Grafik 3](#), welche die steigende Menge an umweltbezogenen Patentanmeldungen veranschaulicht.

Mit den Implikationen auf die Innovationsaktivität sind auch Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt in Form von Beschäftigungseffekten zu erwarten. Für die politischen Entscheidungsträger sind diese Beziehungen von hohem Interesse und wichtig einzuordnen, um negative Implikationen für den Arbeitsmarkt so gering wie möglich zu halten. Die Porter-Hypothese greift die Thematik der Beschäftigung oberflächlich auf und verweist auf einen positiven Effekt auf die Beschäftigungen aufgrund der durch Innovation erlangten Wettbewerbsvorteile. Das Zusammenwirken zwischen Eco-Innovationen und Beschäftigung ist allerdings weitaus komplexer, nicht zuletzt aufgrund heterogener Impulse durch verschiedene Arten von Eco-Innovation (Horbach und Rennings, 2013). Auch haben markt- und firmenspezifische Faktoren einen Einfluss auf den Beschäftigungseffekt (Horbach, 2020), wie die folgende Grafik von Horbach (2020) veranschaulicht.

Grafik 2 – Eco-Innovationen und Beschäftigungen



Quelle: Horbach (2020:3)

b. Umweltinnovationen

Wirkungsvoller Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit als Symbiose spiegelt ein umweltökonomisches *Win-Win* dar, da die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit gefördert und andererseits Klimaschutzziele eingehalten werden. Umweltbezogene Innovationen, auch Eco-Innovationen genannt (Rennings, 2000), finden in allen Bereichen unabhängig von der Unternehmensgröße statt. In Deutschland sind Ende der 90-er Jahre 80 % der durch Unternehmen errungenen Innovationen auch Eco-Innovationen (Pfeiffer und Rennings, 1999)³. Darüber hinaus stammen 2019 in Europa 50 % der Patentanmeldungen im Bereich des Klimaschutzes aus Deutschland (Blazejczak *et al.*, 2019). Dabei sind diese insbesondere für die Substitution von schädlichen Substanzen, Einsparungen von Energie und Ressourcen sowie die Optimierung von Produkten verantwortlich (Rennings, 2000).

Darüber hinaus sind Eco-Innovationen direkt mit höherem Umsatz assoziiert, da sie bei einer großen Mehrheit der Unternehmen langfristig zu niedrigeren Kosten (Horbach *et al.*, 2012) durch gesteigerte Ressourcenproduktivität führen. Genauer gesagt, führen 80,4 % der Eco-Innovation zu langfristig niedrigeren Produktionskosten, während 32 % derer sogar mit Umsatzsteigerungen assoziiert werden können (Horbach *et al.*, 2012). Insofern bestätigen diverse wissenschaftliche Erkenntnisse zu großen Teilen die Porter-Hypothese. In Hinblick auf durch negative Externalitäten hervorgerufene Kosten für die Umwelt kann ebenfalls geschlussfolgert werden, dass die höhere Ressourcenproduktivität durch Eco-Innovationen dazu führen, dass weniger Abfälle entstehen. Dadurch wird die Umwelt stark entlastet.

Die von Umweltregulierungen ausgehenden Innovationsimpulse finden in der Umweltökonomie großen Anklang. Die Porter-Hypothese wird dabei von diversen wissenschaftlichen Studien bestärkt und liefert eine starke Antithese zur traditionellen neoklassischen Betrachtungsweise. Besonders Deutschland als Industrienation und „Land der Ingenieure“ weist eine dynamische Reaktionsfähigkeit und Aktivität im Bereich der umweltbezogenen Innovation auf, wie die Anmeldungen von umweltbezogenen Patenten aufzeigen ([Grafik 3](#)). Umweltpolitische Maßnahmen als Treiber für grüne Innovationen sind daher ein wichtiger Faktor. Doch längst nicht alle regulatorischen Vorgaben bringen dabei Eco-Innovationen und wirtschaftlichen Erfolg hervor. Die Verpflichtung von Katalysatoren bei Automobilen in Deutschland zum Beispiel hat aus wirtschaftlicher Perspektive nur zu

³ Für eine ausführlichere Übersicht auf aus Eco-Innovation stammende Umwelttechnologien, wird auf die Webseite des österreichischen [Green Tech Valleys](#) verwiesen.

zusätzlichen Produktionskosten geführt. Die Anpassungskosten durch die Implementierung der neuen Verordnungen wurden dabei nicht durch Innovation kompensiert. Eine Entlohnung oder Ausgleich der Umweltregulierungen bezogenen Anpassungskosten finden demnach nicht per se statt und steht in Abhängigkeit des Typus der Regulation.

Vielmehr sind Umweltregulierungen Treiber von Eco-Innovationen (Johnstone et al., 2010). Wert zu betonen ist dabei die von umweltpolitischen Maßnahmen ausgehende Signalwirkung auf Unternehmen sowie die unternehmerische Erwartungshaltung bezüglich zukünftiger strengerer Umweltregulierungen, die bereits Ex ante zu einer Erhöhung der Innovationsaktivität führen (Horbach, Rammer und Rennings, 2012). Horbach, Oltra und Belin (2013) untersuchen in ihrer Arbeit die treibenden Faktoren für Eco-Innovationen in Frankreich und Deutschland. Als Datengrundlage dient der Community Innovation Survey (CIS). Trotz unterschiedlicher Innovationskraft und Wirtschaftsschwerpunkte stellen die Autoren spannende Gemeinsamkeiten zwischen den Ländern fest. Unter anderem werden durch die umweltpolitischen Maßnahmen steigenden Ressourcenkosten bei beiden Ländern als Hauptmotivator für Eco-Innovationen identifiziert (Horbach, Oltra und Belin, 2013). Im Vergleich zu herkömmlichen Innovationen zeigt sich ebenfalls bei Eco-Innovationen die kurzfristige Kostenerhöhung als treibender Faktor (Horbach, Oltra und Belin, 2013). In Gegenzug sind Eco-Innovationen forschungsintensiver und bedürfen daher einen größeren Anteil an externen Wissensressourcen (Horbach, Oltra und Belin, 2013). Unter anderem ist dies der Komplexität und dem hohen Bedarf an Basisforschungen der neuen Forschungsgebiete geschuldet (Horbach, Oltra und Belin, 2013). In diesem Kontext stellen die Autoren ebenfalls fest, dass in Frankreich die Kooperation zwischen Unternehmen und Universitäten eine wichtigere Rolle einnimmt als in Deutschland (Horbach, Oltra und Belin, 2013).

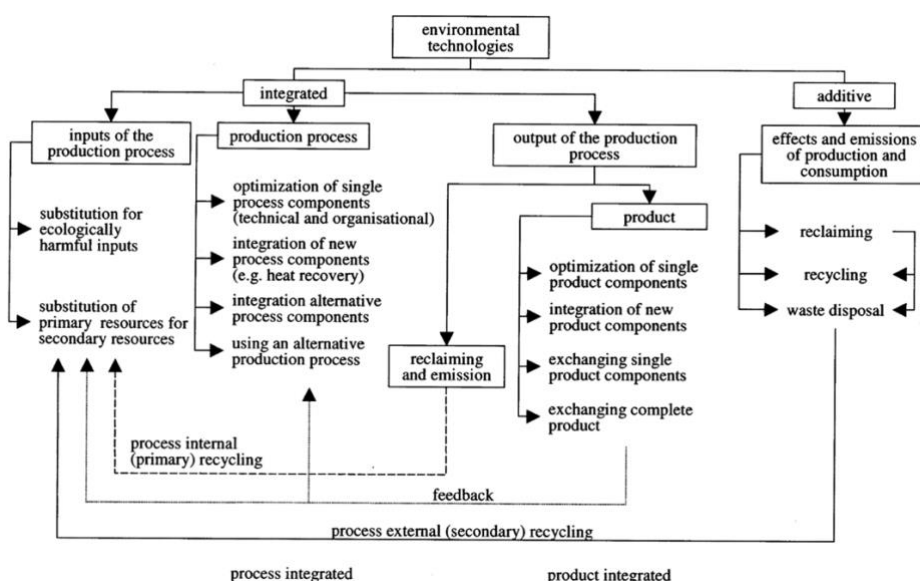
Unumstritten sind umweltpolitische Maßnahmen als ein treibender Faktor für umweltbezogene Innovation. Die Rahmenbedingungen wie die Zugänglichkeit zu externen Wissensressourcen sind ebenfalls ein beeinflussender Faktor. Bei der Implementierung von Umweltregulierungen sollte dies berücksichtigt werden. Die Nichtbeachtung von Innovationseffekten durch Umweltregulierungen können ansonsten zu hohen ökonomischen Kosten führen (Rennings, 1998) hinsichtlich geringerer Wettbewerbsfähigkeit für Unternehmen und höherer Anpassungskosten.

i. Prozess- und Produktinnovation

Grundsätzlich können Innovationen, die im Sinne der Porter-Hypothese grünes Wachstum vorantreiben, verschiedene Effekte haben. So können Eco-Innovationen Prozesse oder Produkte optimieren und werden dabei zwischen Produkt- und Prozessinnovationen unterschieden (Dutz und Pilat, 2014). Prozessinnovation definiert sich durch eine Optimierung oder Veränderung von für die Produktion notwendigen Prozessen. Damit einhergehend ist auch eine höhere Ressourcenproduktivität durch eine höhere Effizienz in der Nutzung von Materialien sowie Energie (Horbach et al., 2012). Im Kontext des Umweltschutzes besteht in diesen neuen Forschungsgebieten noch viel Potenzial für weitere Entwicklungen sowie Innovation, wie der Anstieg der umweltbezogenen Patentanmeldungen mutmaßen lässt ([Grafik 3](#)). Wichtig hierbei zu betonen ist, dass Eco-Innovationen im Vergleich eine höhere Grundlagenforschung benötigen und dass diese in Deutschland hierzu mehrheitlich aus staatlichen Geldern gefördert wird (Horbach et al., 2012). Daraus kann geschlossen werden, dass die staatlich gegebenen Rahmenbedingungen ein begünstigender Faktor für erfolgreiche Eco-Innovationen sind.

Produktinnovation hingegen bezieht sich auf die Optimierung, Integration, Substitution einzelner Produktkomponenten oder des gesamten Produkts (Hohmeyer/Koschel, 1995). Darüber hinaus beschreibt Rennings (2000) eine organisatorische Innovation, welche auf Unternehmensebene stattfindet und zur Verbesserung der Effizienz interner Rahmenbedingung für Eco-Innovationen führt.

Grafik 4 – Integrierter und additiver Umwelttechnik



Quelle: Hohmeyer/Koschel (1995:6)

Die oben vorliegende Grafik der integrierten und additiven Umwelttechnik von Hohmeyer und Koschel (1995;6) verdeutlicht die Zusammenhänge und Effekte, die von Eco-Innovationen auf die Umwelt ausgehen. Durch Eco-Innovation stammenden Umwelttechniken unterscheiden sich hinsichtlich des additiven oder integrierten Umweltschutzes (Pfeiffer und Rennings, 1999). Additiv Eco-Innovation sind sekundäre Effekte, die unter anderem durch das Innovieren von Recyclingprozessen entstehen, während integrierte Eco-Innovation primäre Effekte darstellen, die durch Innovationen im Prozess entstehen (Pfeiffer und Rennings, 1999). Die Abgrenzung zwischen integriertem und additivem Umweltschutz ist hinsichtlich der divergierenden Beschäftigungswirkungen auch relevant und werden im nächsten Teil weiter ausgeführt.

c. Beschäftigungseffekte durch Umweltregulierungen

Umweltregulierungen und die damit verbundenen Beschäftigungseffekte werden auf der wissenschaftlichen und politischen Bühne kontrovers debattiert. Dabei wird den Maßnahmen oft ein negativer Effekt auf den Arbeitsmarkt zugesprochen, basierend auf den dadurch induzierten höheren Produktionskosten und einer möglichen Senkung der Produktion. Die Effekte auf die Beschäftigung durch Eco-Innovationen werden in der Debatte meistens keiner größeren Aufmerksamkeit geschenkt. Dabei sind durch Umweltregulierungen induzierte Eco-Innovationen neue Beschäftigung durch direkte Faktoren festzustellen, wie der Neuinstallation und Instandhaltung optimierter Produktionsanlagen (O’Sullivan, M., Edler, D. und Lehr, U., 2015). Durch Eco-Innovationen nach der Porter-Hypothese erarbeiteten Marktführerschaften durch komparative Kostenvorteile, sind ebenfalls ein wichtiger Faktor für indirekte Beschäftigungen (Lachenmaier und Rottmann, 2011). Das Bundesamt für Umweltschutz in Deutschland sieht ebenfalls positive Effekte auf den Arbeitsmarkt im Zusammenhang mit Eco-Innovationen (Umweltbundesamt.de, Stand: 28.09.2022). Die Industrie und ihre Verbände hingegen beklagen höhere Energie- und Ressourcenpreise, da diese zulasten der Unternehmen gehen, sich negativ auf deren Wettbewerbsfähigkeit und schließlich auch negativ auf die Beschäftigung auswirken (Pestel, 2019).

Doch wie konkret wirken sich Eco-Innovation induzierte Umwelttechniken positiv oder negativ auf den Arbeitsmarkt aus? Relevante Studien der Umweltökonomie haben gezeigt, dass die Beschäftigungseffekte durch Umweltregulierungen induzierten Eco-Innovationen in der Tendenz positiv sind (Pfeiffer und Renning, 2001). Die genauen Effekte der Eco-Innovation auf die Beschäftigung sind dennoch schwer zu definieren aufgrund der Heterogenität von Eco-Innovationen (Horbach und Rennings, 2013). Die Effekte divergieren auch hinsichtlich

additiver und integrierter Eco-Innovationen, ([Grafik 4](#)). Dabei stehen Beschäftigungseffekte primär in Abhängigkeit des Typus der Innovation insbesondere, ob es sich um einer Produkt- oder Prozessinnovationen handelt (Pfeiffer und Rennings, 2001). Produktinnovationen, nach Pfeiffer und Rennings, 2001, haben einen positiven Beschäftigungseffekt, wenn neue Produkte keine bestehenden Produkte ersetzen. Sollte eine monopolistische Marktstellung durch eine umweltbezogene Produktinnovation entstehen, sind die Effekte für die Beschäftigung negativ (Horbach, 2020). In einer länderübergreifenden Untersuchung zwischen Frankreich, Deutschland, Spanien und England finden Lachenmaier und Rottmann (2011) durchweg positive Beschäftigungseffekt durch umweltbezogene Produktinnovationen.

In der Tendenz waren in der jüngeren Vergangenheit positive Beschäftigungseffekte durch umweltbezogene Prozessinnovation höher als die der Produktinnovationen (Lachenmaier und Rottmann, 2011). Prozessinnovationen, die zu integrierten Umwelttechniken führen, beeinflussen das Beschäftigungswachstum positiv durch die Steigerung der Ressourcenproduktivität (Horbach und Rennings, 2013). Die damit einhergehenden Kostenvorteile durch u.a. Optimierung der Energie und Materialien Nutzung führen zu vermehrter Nachfrage und somit auch zu mehr Beschäftigung (Horbach und Rennings, 2013). Additive Umwelttechnologien hingegen, wie der Katalysator für Automobile, führen zu höheren Kosten und können negative Implikationen für die Beschäftigung haben (Horbach und Rennings, 2013). Gesamtheitlich gesehen ist der Beschäftigungseffekt durch Eco-Innovation allerdings aufgrund der höheren Ressourcenproduktivität positiv (Horbach, 2020).

Eco-Innovationen haben, wie bereits im vorherigen Kapitel erwähnt, einen höheren Bedarf an externen Wissensquellen zur Forschung und Entwicklung (Horbach, Oltra und Belin, 2013). Aus diesem Grund haben diese im Unterschied zu herkömmlichen Innovationen auch einen höheren Bedarf an Humankapital in Form von externer Beratung (Horbach, Oltra und Belin, 2013). Insbesondere die rapide und dynamische Entwicklung von Technologien verstärkt die flexibel nutzbare Arbeitsnachfrage nach Beratern, um den Wandel von Eco-Innovationen zu gestalten (Pfeiffer und Rennings, 2001). Aufgrund der hohen Wissensintensität von Eco-Innovationen steigt auch die Nachfrage nach höher qualifizierten Arbeitskräften (Pfeiffer und Rennings, 1999). Der *routinization hypothesis* nach betrifft der technologische Fortschritt Arbeitsplätze der mittleren Lohnverteilung am stärksten (Goos, Manning und Salomons, 2014). Die Ergebnisse von Goos, et. al. (2014) beziehen sich dabei nicht explizit auf Eco-Innovation hervorgerufenen technologischen Fortschritt, dennoch ist von einem ähnlichen Effekt durch Umwelttechnologien auszugehen.

Der Beschäftigungseffekt durch Umweltregulierungen und somit eine staatliche induzierte Steigerung der Kosten von Ressourcen hängt stark von der Substituierbarkeit der Arbeit ab (Pfeiffer und Rennings, 1999). Wie in der Einleitung bereits angeschnitten, ist der Grad der Komplementarität zwischen Kapital, des Arbeitstypus und der Art des technologischen Fortschritts dabei entscheidend, wie sehr Arbeit durch andere Produktionsfaktoren u.a. Energie substituiert werden kann. Dabei entscheidend ist auch der Grad der Qualifizierung der Arbeit (Pfeiffer und Rennings, 2001). Aufgrund der nur schweren Substituierbarkeit von hoch qualifizierter Arbeit sind es besonders die weniger qualifizierten Arbeitsplätze, die affektiert sind durch Zugewinne in der Ressourcenproduktivität. Resultierend aus der gestiegenen Substituierbarkeit von Arbeit steigt auch die Verhandlungsmacht der Unternehmen und somit die Wahrscheinlichkeit, dass Löhne gesenkt werden. Eine Senkung der Löhne hingegen hat das Potenzial, einen negativen Beschäftigungseffekt abfedern zu können, da somit die Opportunitätskosten für Unternehmen ihre Produktionsfaktoren zu substituieren sinken würden.

Neben Substitutions- und Kompensationseffekten hängt der Beschäftigungseffekt auch von den jeweiligen Arbeitsmarktregulierungen ab. So hat die Strenge der Arbeitsmarktregulierung auch einen Einfluss auf die Ausprägung des Effekts von Eco-Innovation auf die Beschäftigungen (Pfeiffer und Rennings, 1999). Nach Pfeiffer und Rennings (1999) können strengere Arbeitnehmerrechte dazu führen, dass Impulse durch Innovation zu stärkeren negativen beziehungsweise positiven Beschäftigungseffekten führen als vergleichbar flexiblere Regulierungen. Letztere könnten schnellere Anpassungen der Arbeitsnachfrage ermöglichen und somit Schwankungen in der Beschäftigungsanzahl abfedern (Pfeiffer und Rennings, 1999). In Bezug auf Deutschland und dem im Vergleich flexibleren Arbeitsmarktregulierungen kann daher ein positiverer Beschäftigungseffekt nur gemutmaßt werden.

d. Beitrag dieser Arbeit

Diese Arbeit zielt darauf ab, weitere Einsichten in die Auswirkungen von Umweltregulierungen auf die Innovationsfähigkeit von Unternehmen und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Beschäftigung zu liefern. Mit der Dringlichkeit, dem Klimawandel entgegenzuwirken, wächst der Bedarf an strengeren staatlichen Umweltregulierungen, sofern Klimaziele eingehalten werden sollen. Diese Regulierungen sind jedoch oft mit höheren Kosten für Unternehmen verbunden. Für die Politik wird es demnach

relevanter im Kontext einer angestrebten ökologischen Transformation, die verschiedenen Effekte nachzuvollziehen zu können und diese in den Entscheidungsprozess zu integrieren. Bestehende Studie liefern Anhaltspunkte, wie, dass die Auswirkungen von Umweltregulierungen auf die Innovationskraft und Beschäftigung sich unter bestimmten Rahmenbedingungen in einem durchaus positiven Verhältnis stehen können. Die Arbeit wird mit einer empirischen Analyse untersuchen, ob in Deutschland während des gewählten Zeitraums Umweltregulierung ein positiver Effekt auf Innovation und Beschäftigung hatten. Diesen möglichen Zusammenhang gilt es nun im zweiten Teil der Arbeit zu untersuchen. Daher werden die beiden unten aufgeführten Arbeitshypothesen aufgestellt und auf ihre statistische Relevanz geprüft.

Hypothese 1: Umweltregulierungen hatten einen positiven Effekt auf umweltbezogene Innovationen in Deutschland während des Zeitraums 2000 bis 2015.

Hypothese 2: Umweltregulierungen hatten einen positiven Effekt auf die Beschäftigungen in energieintensiven Branchen in Deutschland für den Zeitraum 2003-2015.

3. Empirische Analyse

In der empirischen Analyse werden in einem ersten Teil die für die empirische Untersuchung ausgewählte Daten vorgestellt und deren Wahl begründet. Nach einer Veranschaulichung der Zusammensetzung der Daten wird anschließend auf die statistische Datenaufbereitung eingegangen. Zur Nachvollziehbarkeit werden die zugrunde liegenden Daten in einer Tabelle der deskriptiven Statistiken aufgelistet. Das Kapitel endet mit einer Vertiefung in die zur Untersuchung der Daten gewählte Methodik.

a. Daten

Für die empirische Studie wird ein Datensatz und zwei Zeitreihen herangezogen: der Mannheimer Innovationspanel (Quelle: ZEW), umweltbezogene Patentanmeldungen (Quelle: OECD) und der *Environmental Policy Stringency Index* (Quelle: OECD). Die Kombination der Daten dient als empirische Basis für die Untersuchung der unterschiedlichen Effekte von Umweltregulierungen auf Innovation und Beschäftigungen.

Der Zeitraum des Interesses liegt zwischen 2003 und 2015, weil dieser von starkem technologischem Wachstum geprägt ist, begleitet von ersten umweltpolitischen Veränderungen in Deutschland und einem Anstieg der umweltbezogenen Patentanmeldungen ([Grafik 3](#)). Dieser Zeithorizont des technologischen Fortschritts ist außerdem geprägt von einem einzigen Wechsel an der Spitze des Kanzleramts und daher von einer relativ einheitlichen politischen Führung. Es sind aber primär die diversen und bedeutenden umweltpolitischen Maßnahmen, die während dieser Periode umgesetzt wurden, welche den Zeitraum aus wissenschaftlicher Perspektive von besonderem Interesse machen ([Tabelle 1](#)). Nennenswerte Veränderungen für die Wirtschaft sind dabei die Ökosteuer (2002), die Energiesteuer (2006), die Erneuerbaren-Energien-Umlage (EEG) (erstmalig 2000) oder der Ausstieg aus der Atomenergie. Durch die Ausarbeitung neuer Anreizkonzepte für Innovation im Bereich der Umwelttechnik nimmt Deutschland auch im internationalen Kontext eine Vorbildfunktion ein. Unter anderem wurde das Förderungskonzept des EEG nach Einführung von mehreren Ländern repliziert (Blazejczak *et al.*, 2019).

Die grafische Darstellung der OECD-Patentanmeldungen ([Grafik 3](#)) zeigt den wachsenden Anteil der Eco-Innovationen an der Innovationskraft und somit auch dessen relative Bedeutung gemessen an der gesamten Innovationskraft Deutschlands. Seit 2003 ist die Anzahl umweltbezogener Patentanmeldungen, [Grafik 3](#), enorm gestiegen und erreichte 2011 einen neuen Höhepunkt. Zwischen 1995 und 2013 stammen in Europa sogar über die Hälfte der umweltbezogenen Patente aus Deutschland (Blazejczak *et al.*, 2019). Dies hat erhebliche positive Implikationen für die deutsche Industrie, welche zwischen 1995 und 2013 mit über 10 Mrd. € durch die gesteigerte Ressourcenproduktivität entlastet wurde (Blazejczak *et al.*, 2019). Der gewählte Zeitraum ist daher angemessen für die weitere empirische Untersuchung.

i. EPS-Index

Der Datensatz des *Environmental Policy Stringency Index* (EPS) wird von der OECD zur Verfügung gestellt und inkludiert 28 OECD-Länder. Der von Botta und Kozluk (2014) entwickelte Index bringt die quantitative und qualitative Natur von Umweltregulierungen in eine quantitative messbare Vergleichsgröße zwischen 0 (niedrig) und 6 (hoch). Der EPS-Index ist jahresbasiert und beinhaltet für jede Berechnung die identischen Parameter. Durch seine Vergleichsgrößen ist der Index als Indikator in der Forschung sehr beliebt und ermöglicht einen länderübergreifenden Vergleich zwischen den Ausprägungen an umweltpolitischen Regulierungen.

Insgesamt berücksichtigt und inkludiert die Methodik des Index vierzehn verschiedene Arten von Umweltregulierungen in die Kalkulation. Dabei werden sowohl indirekte als auch direkte Preise von umweltschädlichen Produktionen in der Berechnung des Index berücksichtigt. Die Energiesteuer und die Energiepreise werden ebenfalls inkludiert. Der Index⁴ besteht dabei zu gleichen Teilen aus ordnungsrechtlichen Instrumenten (u.a. Umweltstandards) und aus Marktinstrumenten. Der EPS-Index der OECD ist daher ein verlässlicher und renommierter Index zur Quantifizierung der Strenge umweltpolitischer Maßnahmen.

ii. Umweltbezogene Patentanmeldungen

Daten zu den angemeldeten Patenten ermöglichen allgemeine Rückschlüsse auf die Innovationskraft eines Landes. Dies ist auch dem Umstand geschuldet, dass nur ein geringer Anteil an Eco-Innovationen nicht patentiert werden (OECD, 2017). Mit einer Patentanmeldung wird dem Erfinder der Innovation eine zeitlich begrenzte Sicherung der Eigentumsrechte zugesichert. Patentanmeldungen und Patente haben für Forschungszwecke den großen Vorteil, dass sie zum einen komplett nachvollziehbar sind und zum anderen öffentlich zugänglich sind. Somit ist ersichtlich, ob es sich um eine Eco-Innovation handelt oder eine Innovation ohne Umweltbezug. Die bei Patentämtern registrierten Umwelttechniken beziehen sich auf ein breites Spektrum an Technologien, die relevant für den Klimaschutz sind (OECD, 2017). Anhand eines Algorithmus (OCR – Optical Character Recognition), von von Hašćic und Migotto (2015) entwickelt wurde, werden umweltbezogene Patentanmeldungen im Datensatz der EPO identifiziert und festgehalten. So wurde bei der Datenerhebung des Datensatzes *patents on environment technologies* (OECD, 2022) die Eco-Innovationen identifiziert und gezählt. Grundlage für die Datenerhebung der OECD ist dabei das PATSTAT (Worldwide Patent Statistical Database) der Europäischen Patentstelle (EPO). Die Daten werden jährlich erhoben und umfassen 28 OECD-Länder. Erhoben wird die Anzahl umweltbezogenen Patentanmeldungen. Von der OECD aufbereitet und zur Verfügung gestellt werden die Daten als Quotient – „Umweltpatente“:

$$\text{Umweltpatente: } \frac{\text{Anzahl umweltbezogener Patentanmeldungen}}{\text{Gesamtanzahl der Patentanmeldungen}} \quad (1)$$

⁴ Für eine Übersicht zur ausführlicheren Methodik wird auf Botta und Kozluk (2014) verwiesen.

Dadurch werden die umweltbezogenen Patente im Verhältnis zur Gesamtanzahl der Patentanmeldungen abgebildet und ermöglichen auch die Identifizierung potenzieller Schwerpunktverlagerungen der Innovationsaktivität zwischen herkömmlichen Innovationen und Eco-Innovationen. Für die empirische Arbeit ist der Datensatz aufgrund der hohen wissenschaftlichen Qualität der Erhebung der Daten (OECD 2017; 153) höchst valide.

iii. Mannheimer Innovationspanel

Das Mannheimer Innovationspanel, kurz MIP, wird vom Leibniz-Zentrum für europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) jährlich durchgeführt, bei dem eine große Anzahl an Unternehmen befragt wird. Seit 1992 werden dabei die kontinuierlich und verlässlich anonymisierten Umfragedaten für Forschungszwecke zur Verfügung gestellt. Sämtliche Umfragen zur Erhebung der Daten werden dabei in Kollaboration mit dem Institut für Sozialwissenschaften (INFAS) durchgeführt. Seit 2005 ist ebenfalls das Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung in die Befragung der Unternehmen mit eingebunden. Die Daten werden dabei im Zuge einer breiten Unternehmensbefragung im produzierenden Gewerbe und wesentlichen Dienstleistungssektoren gesammelt. Die 22 Wirtschaftszweige und Größenklassen, werden nach dem WZ 93 bzw. NACE-Rev 1 kategorisiert ([Tabelle 2](#)). Gewährleistet wird dies laut INFAS „durch eine geschichtete Zufallsstichprobe mit disproportionalen Ziehungswahrscheinlichkeiten, einem ausreichenden Umfang der Nettostichprobe, die Durchführung einer umfangreichen Nichtteilnehmer-Befragung sowie eine vollständige Erfassung der größten Unternehmen“ ([Infas.de/Innovationserhebung](https://infas.de/Innovationserhebung), Stand: 29.09.2022). Beauftragt wird das Panel vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Es gilt als deutscher Beitrag zum Community Innovation Survey (CIS) der Europäischen Kommission, welcher alle zwei Jahre eingereicht wird. Das Mannheimer Innovationspanel ist sowohl in der Ökonomik als auch in der Wirtschaftswissenschaft häufiger Bestandteil wissenschaftlicher Untersuchungen. Durch die kontinuierliche Erhebung von unternehmensbezogenen und branchenüberschreitenden Daten liefert dieser einen wichtigen Beitrag zur Untersuchung der deutschen Wirtschaft hinsichtlich der Innovationskraft, Beschäftigungen, Forschung und Entwicklung (FuE) und weiterer wichtigen Faktoren. Die hohe Zuverlässigkeit der Daten und der Quelle machen den MIP zu einem geeigneten und beliebten Panel für Forschungsarbeiten.

b. Datenaufbereitung

In einem ersten Schritt werden zur Überprüfung der Hypothese 1 die Zeitreihen zu den umweltbezogenen Patentanmeldungen sowie des EPS-Index benutzt. Der Zeitraum der Untersuchung reicht von 2000 bis 2015. Alle Länder außer Deutschland werden exkludiert. Die Patente beinhalten den prozentualen Anteil der umweltbezogenen Innovationskraft an der Gesamtanzahl der angemeldeten Patente. Die Zeitreihe des EPS-Index stammt ebenfalls von der OECD und ist in seiner Struktur identisch gegliedert und kann identisch bearbeitet werden. Die Daten werden anschließend zu einem einzigen kompakten Datensatz zusammengeführt, der als weitere Grundlage für die lineare Regression dient. Diese wird durchgeführt, um einer möglichen Korrelation zwischen der Strenge der Umweltregulierungen und der gesteigerten Innovationskraft im Bereich der Umweltinnovationen nachzugehen. Ein kausaler Zusammenhang wird dabei nicht unterstellt.

Zur Untersuchung der Hypothese 2 wird das Mannheimer Innovationspanel herangezogen. Die Beschäftigungsdaten sind in einzelnen Unternehmensebenen untergliedert. Für einen Gesamteindruck sind diese auf der jeweiligen Branchen-Ebene zu gruppieren. Damit sind die Beschäftigungsdaten nach Branchen kategorisiert und nach dem entsprechenden Jahr gegliedert. Die einzelnen jahresbasierten Datensätze des MIPs werden anschließend kombiniert und in zwei Gruppen unterteilt: energieintensive und weniger energieintensive Branchen.

$$\text{Anteilige Beschäftigung } (X_t): \frac{\text{Beschäftigung in der Branche X im Jahr } t}{\text{Gesamtbeschäftigung im Jahr } t} \quad (2)$$

Somit sind die Beschäftigungsdaten nach Branchen und nach Energieintensität unterteilt. Für die spätere Durchführung des Forschungsexperiments wird die Anzahl der Beschäftigungszahlen logarithmisch transformiert. Dies ist zulässig, wenn eine Variable eine wichtige Rolle in der Analyse spielt und ihre Veränderungen über einen längeren Zeitraum untersucht werden sollen. Durch die Transformation können die Veränderungen der Variable über die Zeit hinweg besser verglichen werden und es wird unter anderem verhindert, dass Veränderungen an den Rändern der Verteilung die Analyse dominieren. Dabei ist wichtig zu betonen, dass Logarithmieren nur dann Sinn ergibt, wenn die Variable positive Werte annimmt, was hier der Fall ist.

Nach der Erstellung einer passenden Stichprobe aus dem MIP werden die Beschäftigungen nach Branche nach der Energieintensität klassifiziert. Es wird zwischen energieintensiv und

weniger energieintensiv unterschieden. Energieintensive Branchen erhalten die Kennzeichnung „1“ und weniger energieintensive Branchen „0“. Somit werden die Weichen für das spätere durchgeführte *difference-in-difference* Experiment aus der Ökonometrie gelegt⁵. Zur Differenzierung der Beschäftigungsdaten vor und nach dem regulatorischen Ereignis bedarf es ebenfalls einer Klassifizierung für nach und vor der Intervention. Eine Einteilung in eine eigene Spalte findet das Jahr 2011 statt. Die Jahre davor sind mit „0“ und die Jahre danach mit „1“ gekennzeichnet.

Zur Untersuchung der Hypothese 2, wird das Jahr 2011 für das difference-in-difference Experiment gewählt Grund dafür ist der Ausstieg aus der Atomkraft, der zu einer erheblichen Veränderung am Energiemarkt sowie dessen Energiepreise geführt hat. Zusätzlich nimmt der Environmental Policy Index der OECD im Jahr 2011 den höchsten Stand ein für den Zeitraum zwischen 2001-2015 ([Grafik 4](#)). Dies kann ebenfalls einen Einfluss auf die Beschäftigung in energieintensiven Branchen haben, da Unternehmen möglicherweise dazu gezwungen werden, ihre Produktionsmethoden anzupassen, um den geltenden Umweltvorschriften zu entsprechen. Darüber hinaus sind im Jahr 2011 auch die umweltbezogenen Patentanmeldungen auf einem Höchststand ([Grafik 3](#)), was stark auf eine kostenmotivierte erhöhte Nachfrage nach Technologien zur Verbesserung der Ressourcenproduktivität von Unternehmen hinweist.

c. Deskriptive Statistiken

Für die empirische Ausarbeitung der Arbeit werden die herangezogenen Zeitreihen der OECD für den Zeitraum zwischen 2001 und 2015 gewählt. Hingegen wird für die Untersuchung der Daten des MIPs der Zeitraum zwischen 2003 und 2015 gewählt. Die Wahl unterschiedlicher Zeiträume ist möglich, da die Zeitreihen der OECD in einem ersten und das MIP in einem zweiten separaten Abschnitt untersucht werden. Die Zeitreihen der OECD umfassen jeweils 15 Observationen für je einen Jahresstand zwischen 2000 und 2015. Während des Zeitraums waren im Durchschnitt 12.32 % der gesamten Patentanmeldungen umweltbezogene Patentanmeldungen, also per Definition Eco-Innovationen. Die Strenge an Umweltregulierungen in Deutschland nach dem EPS-Index lag durchschnittlich bei dem Index-Wert von 2,84 (0 – Niedrig, 6 – Hoch). Der Median des EPS-Index betrug 3,00 und deutet damit auf die steigende Tendenz der Strenge an Umweltregulierungen hin.

⁵ Eine Erläuterung folgt im nächsten Abschnitt.

Das Mannheimer Innovationspanel umfasst für den gewählten Zeithorizont insgesamt 65.610 unternehmensbezogene Beobachtungen, die jährlich betrachtet werden. Im Durchschnitt haben jährlich 5.038 Unternehmen an der Befragung teilgenommen. Dabei sind jeweils mindestens 3.547 Unternehmen (im Jahr 2004) und maximal 6.404 Unternehmen (im Jahr 2013) abgebildet. Die anteilige Beschäftigung bezieht sich auf den Anteil der Beschäftigten in energieintensiven und weniger energieintensiven Branchen in Relation zur Gesamtbeschäftigung. Eine ausführliche Übersicht befindet sich in den [Tabellen 3, 4, und 5](#).

Tabelle 3 – Deskriptive Statistiken – OECD

Variable	Obs.	Mean	Sd	Median	Min	Max
Umweltpatente	15	12.32	2.48	13.35	9.07	15.47
EPS-Index	15	2.84	0.31	3.00	2.06	3.14

Quelle: Environmental Policy Stringency Index (EPS-Index): OECD (2016), Patents on environment technologies: OECD (2022). Für den Zeitraum zwischen 2001-2015.

Tabelle 4 – Deskriptive Statistiken - MIP

		Gesamte Beschäftigung		Weniger Energieintensive Branchen		Energieintensive Branchen	
	Obs.	Durchschn.	Std. Abw.	Durchschn.	Std. Abw.	Durchschn.	Std. Abw.
Anzahl an Beschäftigten *	65610	44178,18	59537,01	46088,64	59609,61	38873,58	60717,26
Log (Anzahl an Beschäftigten) *	65610	5,98	0,25	5,88	0,26	5,28	0,23
%-Anteil an der Gesamtbeschäftigung *	65610	1,00	0,04	0,71	0,04	0,29	0,04
Ost	65610	1666,00	263,53	1994,36	789,45	300,31	62,11
West	65610	3380,92	672,66	2071,24	799,35	673,46	170,28
<50 Angestellte	65610	5012,62	916,54	955,31	207,26	4057,31	781,54
50-249 Angestellte	65610	1306,69	212,99	293,85	70,30	1012,85	170,95
>250 Angestellte	65610	1322,69	219,72	295,77	71,74	1026,92	178,38

Quelle: Mannheimer Innovationspanel für den Zeitraum 2003-2015; Die Anzahl der Observationen inkludiert alle Unternehmen, die zwischen dem Zeitraum an den jährlichen Umfragen teilgenommen haben. Unternehmensgrößen werden vom MIP in der Anzahl der Angestellte wiedergegeben: <50, 50-249 und >250. Zusätzlich wird der Standort der Unternehmen in Ost- und Westdeutschland aufgeteilt. *: Pro Wirtschaftszweig über den Zeitraum 2003-2015.

Tabelle 5 – Definition von Variablen

Variable	Beschreibung
Energieintensive Branchen*	(1 "Ja", 0 "Nein")
Nach dem Jahr 2011	(1 "Ja", 0 "Nein")

*: Branchen bei denen Produktionskosten mehrheitlich aus Energiekosten bestehen und den höchsten Energieverbrauch pro Mitarbeiter aufweisen. Übersicht dazu in Tabelle 2.

d. Methodik

Empirisch überprüft werden im Zuge dieser Arbeit zwei Arbeitshypothesen. Zur Prüfung der ersten Hypothese wird die Methodik der *basic regression analysis with time series data* nach Wooldridge, 2015, gewählt. Zur empirischen Untersuchung der zweiten Hypothese wird die ökonometrische Methodik des *difference-in-difference* gewählt.

Hypothese 1: *Umweltregulierungen hatten einen positiven Effekt auf umweltbezogene Innovationen in Deutschland während des Zeitraums 2000 bis 2015.*

Die Methodik einer einfachen linearen Regression findet in der Ökonomik Anwendung, um Zusammenhänge zwischen einer abhängigen Variable (Y) und einer unabhängigen Variable (X) zu untersuchen. In diesem Fall sind die umweltbezogenen Patentanmeldungen, die abhängige Variable (AV) und der EPS-Index die unabhängige Variable (UV). Im ersten Schritt wurden zur Falsifizierung der Hypothese der EPS-Index und die umweltbezogenen Patentanmeldungen durch einen *Scatterplot* auf Zusammenhänge und Verteilung untersucht und auf Linearität und lineare Unabhängigkeit geprüft.

Bevor eine OLS-Regression der Zeitreihen überhaupt zulässig ist, müssen die grundlegenden Annahmen nach Gauss-Markov erfüllt sein. Es besteht Homoskedastizität und eine Multikollinearität konnte ausgeschlossen werden. Der EPS-Index und die Patentanmeldungen wurden ebenfalls nach dem *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) Test auf Stationarität der Zeitreihen geprüft. Die ADF-Testung belegt die Stationarität und die Null-Hypothese⁶ kann verworfen werden. Aufgrund der Stationarität wird kein Zeittrend in dem Model berücksichtigt, da die Auswirkung der Zeit bereits in den Daten berücksichtigt werden und keine Korrektur nötig ist. Die Annahmen von Gauss-Markov sind also erfüllt. Für die weitere Regressionsanalyse wird daher die folgende Gleichung aufgestellt:

$$\text{Umweltpatente} = \alpha + \beta_1 (\text{EPS Index}) \quad (3)$$

Das aufgestellte Regressionsmodel soll Aufschlüsse über die Beziehung zwischen der Strenge an Umweltregulierungen und der Anzahl an umweltbezogenen Patentanmeldungen ermöglichen. In keinem Fall kann durch die gewählte OLS-Regression eine Kausalität festgestellt, sondern lediglich eine Korrelation nachvollzogen werden.

⁶ Null-Hypothese: Umweltregulieren hatten keinen positiven Effekt auf umweltbezogene Innovationen in Deutschland für den Zeitraum 2000 bis 2015.

Hypothese 2: Umweltregulierungen hatten einen positiven Effekt auf die Beschäftigungen in energieintensiven Branchen in Deutschland für den Zeitraum 2003-2015.

Der *difference-in-difference* (DiD) Ansatz ist ein aus der Ökonometrie stammende Methodik und findet häufig Anwendung, wenn andere Modelle nicht ausreichen, um die Veränderungen im Trend einer bestimmten Variable nachzuvollziehen. In der Ökonomie gilt diese Methode als eines der beliebtesten Instrumente zur Messung von Effekten durch exogene Ereignisse oder Interventionen, wie zum Beispiel einer Regulierung durch den Staat (Abadie, 2005). Verglichen werden dabei zwei Gruppen, die in eine Kontrollgruppe und eine Behandlungsgruppe aufgeteilt werden. Der DiD fungiert dabei als Schätzwert zur Messung der Veränderung zwischen beiden Gruppen. Geschätzt wird der kausale Effekt der Intervention durch einen Vergleich der betroffenen und nicht betroffenen Gruppe. Untersucht werden hierbei mögliche Veränderungen im Trend der Beschäftigungszahlen zwischen energieintensiven Branchen („EI“) und weniger energieintensiven Branchen („wEI“), der auf die Intervention des Staates zurückzuführen ist.

Aus diesem Grund wird zur Untersuchung eines möglichen Effektes die DID-Methodik gewählt, anhand welcher überprüft werden soll, ob Umweltregulierungen durch den Kostenanreiz nach der Porter-Hypothese einen durch den Wettbewerbsvorteil errungenen positiven Effekt auf die Beschäftigungen in energieintensiven Branchen haben. Damit die DID-Methodik angewendet werden darf und die Daten nach systematischen Effekten untersucht werden können, bedarf es einer soliden Datenbasis Exante und Expost des Ereignisses. Dafür muss folgende Annahme zutreffen: *“the conventional DID estimator requires that, in the absence of the treatment, the average outcomes for the treated and control groups would have followed parallel paths over time.”* (Abadie., 2005;1). Die Grundvoraussetzung, dass beide Gruppen vor den Ereignissen denselben Trend aufweisen, für die Methodik des DIDs ist überprüft und gegeben. Visualisiert dargestellt wird dies in der [Grafik 5](#) im Appendix. Für die weitere Regressionsanalyse durch DID wird die folgende Gleichung aufgestellt:

$$y = \beta_0 + \delta_0 d2 + \beta_1 dT + \delta_1 d2 \times dT + \text{other factors} \quad (4)$$

$$y = \text{Beschäftigung (w)EI}$$

$$\text{Wobei: } \delta = (\overline{rBesch.}(t+1, EI) - \overline{rBesch.}(t+1, wEI)) - (\overline{rBesch.}(t, EI) - \overline{rBesch.}(t, wEI)),$$

$$\delta = \text{Schätzwert des DIDs}$$

$\overline{rBesch.}$ = Beschäftigung

$$rBesch. = \beta_0 + \delta_0 y_{t+1} + \beta_1 + \delta_1 y_{t+1} + u$$

Wörtlich ausgedrückt handelt sich bei dem Schätzwert δ , um die zeitübergreifende durchschnittliche Differenz der Beschäftigung in energieintensiven und weniger energieintensiven Branchen (Wooldridge, 2015). Bei der empirischen Untersuchung handelt es sich um ein natürliches Experiment. Diese Art des Experiments liegt vor, wenn ein exogenes Ereignis wie hier eine Regulation durch den Staat, einen Effekt auf die Umwelt, die Wirtschaft oder Individuen hat (Wooldridge, 2015). Kennzeichen eines natürlichen Experiments sind eine Kontrollgruppe, welche nicht (oder weniger) von den Regulationen betroffen ist, und einer Behandlungsgruppe, von der angenommen wird, dass sie von der eingeführten Regulierung betroffen ist (Abadie, 2005). In Zuge dieser Untersuchung wird als Behandlungsgruppe die Beschäftigung in den energieintensiven Branchen - *Beschäftigung* (El_t) - herangezogen, während als Kontrollgruppe die Beschäftigung in den weniger energieintensiven Branchen - *Beschäftigung* (wEl_t) - genutzt wird.

4. Schätzergebnisse

a. Tabellen und Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der empirischen Untersuchung präsentiert, diskutiert und in den Kontext der bestehenden Forschung gestellt. [Tabelle 6](#) enthält die Ergebnisse der einfachen linearen Regression zur Schätzung der Abhängigkeit von umweltbezogenen Patenten von staatlichen Umweltregulierungen. [Tabelle 7](#) zeigt die Ergebnisse, welche mithilfe der DiD Methodik geschätzt werden.

i. *Ergebnis H1*

Die Untersuchung der Hypothese 1 liefert statistisch signifikante Ergebnisse. Dabei weisen diese auf eine positive Korrelation zwischen dem EPS-Index und den umweltbezogenen Patentanmeldungen hin. Der R^2 -Wert von 0,43 weist einen gemäßigten linearen Zusammenhang auf, welcher auf eine breitere Streuung der Daten hinweist. Der AIC und BIC bestätigen die Validität des verwendeten Modells zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen EPS-Index und Umweltpatenten. Die Arbeitshypothese 1 kann daher beibehalten werden.

Das Ergebnis deutet darauf hin, dass staatliche Interventionen zu einem größeren Anreiz bei Unternehmen führen, umweltbezogener Innovationsaktivität vermehrt nachzugehen. Die Schätzung ergibt einen Koeffizienten EPS-Index und Umweltpatenten von 0,442 ([Tabelle 6](#)). Das Ergebnis deutet somit auf eine positive Korrelation beider gewählte Variablen hin. Das Ergebnis stützt ähnliche Erkenntnisse aus Studien wie Johnstone et al., 2010 oder Horbach, Rammer und Rennings, 2012, und steht somit nicht außerhalb der Erwartungshaltung. Die Untersuchung deutet darauf hin, dass möglicherweise auch in Deutschland für den gewählten Zeitraum Umweltregulierungen der Innovationsaktivität einen positiven Impuls verliehen haben könnten. Da es sich bei der Untersuchung um eine einfache lineare Regression handelt, ist es nicht möglich, absolute Schlüsse zu ziehen, auch unter Berücksichtigung der Streuung und der nur kleinen Datenlage. Trotzdem sollte dieser Zusammenhang bei der Bestimmung umweltpolitischer Maßnahmen unbedingt in den Entscheidungsprozess berücksichtigt werden. Weitere zukünftige Studien werden essenziell sein, um dieses Untersuchungsfeld auszubauen und der Politik eine noch bessere wissenschaftlich fundierte Entscheidungsbasis zu ermöglichen.

Tabelle 6 – Regressionstabelle Umweltpatente und EPS-Index

	Umweltpatente
(Intercept)	-2.630 (4.807)
EPS-Index	5.263* (1.682)
Num.Obs.	15
R ²	0.429
R ² Adj.	0.386
AIC	66.4
BIC	68.5
Log.Lik.	-30.198
RMSE	1.18

Signifikanz: 0****, 0,01***, 0,1**

Quelle: Environmental Policy Stringency Index (EPS-Index): OECD (2016), Patents on environment technologies: OECD (2022). Für den Zeitraum zwischen 2001-2015.

ii. Ergebnis H2

In diesem Teil der Ergebnisanalyse wird untersucht, ob Umweltregulierungen einen positiven Beschäftigungseffekt in energieintensiven Branchen haben. Unter Anwendung der difference-in-difference Methodik nach Wooldridge (2015) wurden die Daten des Mannheimer Innovationspanel auf Veränderungen des Trends der Beschäftigungen von Unternehmen in energieintensiven und weniger energieintensiven Industrien untersucht⁷. Die Ergebnisse werden in zwei Zeitperioden betrachtet: vor 2011 und nach 2011. Ein positiver Zusammenhang könnte die Entscheidungsfindung der Politik hinsichtlich strengeren Umweltschutzes stärken und somit die Einhaltung der Klimaziele begünstigen.

Tabelle 7 – Diff-in-Diff – Beschäftigung in Energieintensiven Branchen und weniger energieintensiven Branchen

	2011
(Intercept)	6.002*** (0.055)
Energieintensiv	-0.604*** (0.077)
Nach_2011	-0.396*** (0.099)
Energieintensiv × Nach_2011	-0.001 (0.139)
Num.Obs.	26
R2	0.846
R2 Adj.	0.825
AIC	-14.6
BIC	-8.3
Log.Lik.	40.275
RMSE	0.15

Signifikanz: 0****, 0,01***, 0,1**

Quelle: Mannheimer Innovationspanel, 2022. Untersuchung via DiD. Zeitraum 2003 bis 2015. Kontrollgruppe: Die Anzahl der Beschäftigten in weniger energieintensiven Branchen. Behandlungsgruppe: Die Anzahl der Beschäftigten in energieintensiven Branchen.

Angestrebt wird unter Verwendung des DID's Ansatzes, Veränderungen im Trend der Beschäftigungen bei energieintensiven Branchen nach der Intervention von 2011 zu identifizieren. Durch der in dieser Arbeit herangezogenen Daten konnten signifikante Ergebnisse zu den Beschäftigungseffekten in energieintensiven Branchen gewonnen werden

⁷ Siehe Aufteilung der Branchen in energieintensive und weniger energieintensive Branchen in [Tabelle 2](#).

(Tabelle 7). Die Ergebnisse aus dem DiD Experiment zeigen, dass die Umweltregulierung im Jahr 2011 einen negativen Einfluss auf die Beschäftigung in energieintensiven Branchen hatte. Der Koeffizient der Variable „Energieintensität“, beträgt $-0,604^{***}$, mit einem Standardfehler von 0,077, was darauf hin, dass die Beschäftigung in energieintensiven Branchen um etwa 0,6 Prozentpunkte geringer ist als in weniger energieintensiven Branchen. Der Koeffizient für die Variable "Nach_2011" von $-0,396^{***}$ deutet darauf hin, dass die Beschäftigung in energieintensiven als auch weniger energieintensiven Branchen ab 2011 im Trend abnehmend war. Dabei ist zu betonen, dass die Ergebnisse möglicherweise auch von Konjunktur bedingt Veränderungen in der Beschäftigung abhängen und somit nur weniger Auskunft über den Effekt von Umweltregulierung auf die Beschäftigung ermöglicht.

Der Koeffizient für die Interaktion zwischen den Variablen "Energieintensiv" und "Nach_2011" ermöglicht leider kein signifikantes Ergebnis darüber, ob sich der negative Einfluss der Umweltregulierung auf die Beschäftigung in energieintensiven Branchen im Vergleich zu weniger energieintensiven Branchen im Laufe der Zeit verändert hat. Diese Erkenntnis wäre im Kontext der Evaluierung der Sinnhaftigkeit des verwendeten Modells und der ausgewählten Regulierung im Jahr 2011 sehr hilfreich. Dennoch weisen zwei von drei Koeffizienten Signifikanz auf (***), was bedeutet, dass die Ergebnisse dieses Experiments statistisch signifikant sind und nicht auf Zufall beruhen. Zusätzlich nimmt das Experiment einen R-Wert von 0,846 an, was darauf hinweist, dass das gewählte Modell aus Sicht der Ökonomik gut passt und etwa 84,6% der Streuung durch die zugrunde liegenden Variable erklärt werden kann. Verweisend auf die Datenaufbereitung und die deskriptiven Tabellen der Statistiken, ist abermals darauf zu verweisen, dass die für die Untersuchung verwendeten Anzahl an Beschäftigten vorab nach Branche und Energieintensität gruppiert und aufsummiert wurden. Darüber hinaus wurden die Anzahl der Beschäftigten logarithmiert, um die Daten zwischen den beiden Gruppen „EI“ und „wEI“ in eine für empirische Auswertung bessere Vergleichsgröße zu bringen. Das Logarithmieren ist in der Ökonomie dann sinnvoll und zulässig, wenn damit auch kleinere Veränderungen über die Zeit in Variablen untersucht werden. Der AIC und BIC ergeben in der Untersuchung negative Werte, die darauf hinweisen, dass die Wahl des Modells zutreffend ist.

b. Diskussion

In der Debatte um adäquate umweltpolitische Maßnahmen findet der Effekt durch Eco-Innovationen vermehrt Aufmerksamkeit. Befürchtet werden in erste Linie höhere Kosten für

Unternehmen durch strengere Umweltmaßnahmen. Intuitiv wird daher der Effekt auf die Beschäftigung als negativ eingeschätzt. Die eigenen empirisch durchgeführten Untersuchungen in H1 zeigen, dass Umweltregulierungen die umweltbezogene Innovationskraft möglicherweise einen positiven Effekt bestärken können. In diesem Kontext spielt die Motivation der Unternehmen, nach staatlichen erzeugten Preiserhöhungen für Energie und Ressourcen ihre Kosten zu senken und ihre Wettbewerbsfähigkeit zu stärken, eine relevante Rolle für die Innovationsaktivität der Unternehmen. Die Daten der umweltbezogenen Patentanmeldungen der OECD deuten darauf hin ([Grafik 3](#)) und weisen eine in der Tendenz steigende umweltbezogene Innovationsaktivität auf. Patente von Eco-Innovationen werden insbesondere in den Bereichen der Energien, Abfallentsorgung und der Reduktion von Luftverschmutzung angemeldet (Horbach, Oltra und Belin, 2013).

Umweltsteuern sind Treiber von Eco-Innovation, wie Horbach, Rammer und Rennings (2012) gezeigt haben. Zu betonen ist, dass die Strenge an Umweltregulierungen nicht der alleinige potenzielle Treiber von Eco-Innovation ist, sondern auch durch weitere Faktoren beeinflusst wird. So haben markt- und firmenspezifische Faktoren ebenfalls einen Einfluss auf den Effekt der Regulation auf die Innovationsaktivität und sollten dringlichst in den Entscheidungsprozess der Politik berücksichtigt werden (Horbach, 2020). Diese Faktoren werden bei der Messung dieser Arbeit aus Gründen des Forschungshorizonts dieser Arbeit vernachlässigt.

Eco-Innovationen werden positive Impulse auf die lokale Wettbewerbsfähigkeit zugeschrieben, die auch mit positiven Implikationen für den Arbeitsmarkt einhergehen (Porter und van der Linde, 1995). Daher zählen diese zu den Schlüsseltechnologien einer Transformation der Nachhaltigkeit der Wirtschaft. Der damit einhergehende Effekt auf die Arbeitsnachfrage und somit auch auf die netto Beschäftigungszahlen wird jedoch kontrovers diskutiert. Unter Berücksichtigung der Preiselastizität bei Preiserhöhungen von Energie und Ressourcen sind insbesondere, wie bereits in der Einleitung erwähnt, die Branchen mit dem höchsten Energieverbrauch am stärksten von Preissteigerungen betroffen. Davon ausgehend kann angenommen werden, dass diese Arbeitsplätze sich mit besonders großen Wettbewerbsnachteilen konfrontiert sehen.

Aufgrund der geringen Substituierbarkeit von Energie durch Arbeit ist davon auszugehen, dass eine Reduktion der Beschäftigung mehrheitlich von Wettbewerbsnachteilen ausgeht (Pestel, 2019). Berücksichtigt man den positiven Effekt durch Umweltregulierungen induzierten Eco-Innovationen und die damit verbundenen Wettbewerbsvorteile, profitieren insbesondere

energieintensive Branchen von einem Anstieg der Ressourcenproduktivität. Die in dieser Arbeit durchgeführte Untersuchung weist auf keinen durch strengere Umweltregulierungen induzierten Wettbewerbsvorteil hin, der zu einem Aufschwung der Beschäftigung bei besonders betroffenen Unternehmen geführt hat. Die Erkenntnisse aus dem Experiment weisen im Gegenteil auf einen negativen Zusammenhang (-0,604) zwischen Umweltregulierung und Beschäftigung in energieintensiven Unternehmen hin.

Ausgehend von steigender Eco-Innovationskraft und damit wachsender Wirtschaftskraft könnte auch von einem steigenden Potenzial für die Beschäftigungen ausgegangen werden. Die Studie von Pfeiffer und Rennings (1999) stellt erstmals für Deutschland einen positiven netto Beschäftigungseffekt durch Umwelttechniken fest. Der positive Effekt ist nach Aussagen der Autoren aber nicht sehr ausgeprägt. Die Auswirkungen sind komplexer und führen zu weitaus mehr indirekten Effekten. So ist feststellbar, dass sich durch Eco-Innovationen die Arbeitsnachfrage des Qualifikationsniveaus verschiebt hin zu höher qualifizierten Arbeitnehmern (Pfeiffer und Rennings, 1999).

In Bezug auf Veränderung der Beschäftigung zeigt die ökonometrische Analyse von Horbach und Rennings (2013), dass Unternehmen die Prozessbezogene Eco-Innovationen geschaffen haben, einen im Vergleich stärkere positive Veränderung haben. Damit stützt die Studie die These des durch Eco-Innovationen induzierten Wettbewerbsvorteils nach der Porter-Hypothese. Noch spezifischer sind es die Kosteneinsparungen durch die höhere Ressourcenproduktivität, welche im positiven Zusammenhang mit der Beschäftigung steht (Horbach und Rennings, 2013).

c. Kritische Würdigung

Die Regressionsanalyse, die in dieser Studie zur Untersuchung der Hypothese 1 verwendet wurde, hat ein einfaches Forschungsdesign, das jedoch aus methodischer Sicht geeignet ist, um den Zusammenhang zu schätzen. Eine Herausforderung bestand darin, geeignete Proxy-Variablen zu identifizieren, um die Zusammenhänge zu untersuchen. Nachträglich betrachtet könnte das gewählte Forschungsdesign als zu breit angesehen werden. Um genauere Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Regulation und Innovation zu gewinnen, sollten zukünftige Studien den Fokus enger setzen.

Die DiD-Methode, die im zweiten Teil der Analyse des Einflusses von Umweltregulierungen auf die Beschäftigung verwendet wurde, liefert signifikante Ergebnisse. Es ist jedoch zu beachten, dass dies eine einzelne Studie von 2011 ist, in der das allgemeine Niveau der Umweltregulierung hoch war, aber keine spezifische umweltpolitische Maßnahme untersucht wurde. Um eine verlässliche Schlussfolgerung über den Einfluss von Umweltregulierungen auf die Beschäftigung ziehen zu können, sind weitere Untersuchungen erforderlich. Die verwendete DiD-Methode, bei der die Veränderungen in einer Behandlungsgruppe mit denen in einer Kontrollgruppe verglichen werden, lieferte in dieser Studie interessante Erkenntnisse über die Entwicklung der Beschäftigung zwischen energieintensiven und weniger energieintensiven Branchen im Jahr 2011. Wie in der methodischen Konzeption von Horbach und Rennings (2013) verwendet, wurden in dieser Untersuchung Selektionsgleichungen aufgestellt, wobei die energieintensiven Branchen als Behandlungsgruppe und die weniger energieintensiven Branchen als Kontrollgruppe dienten ([Tabelle 2](#) und [5](#)). Die Wachstumsrate der Beschäftigung wäre möglicherweise eine bessere Wahl der Variable als die Anzahl der Beschäftigten, wie in der Studie von Horbach und Rennings (2013) gezeigt. In zukünftigen Untersuchungen wäre es interessant, die Veränderungsrate von energieintensiven Branchen mithilfe des *endogenous switching regression models* zu untersuchen, um möglicherweise tiefere Einsichten in die Auswirkungen von Umweltregulierungen auf diese Branchen zu gewinnen.

Die Ergebnisse des vorliegenden Experiments stehen im Widerspruch zu den Erkenntnissen früherer Analysen über den Einfluss von Umweltregulierungen auf die Beschäftigung, wie beispielsweise die von Pfeiffer und Rennings (1999) oder Horbach und Rennings (2013), die einen positiven Effekt nachgewiesen haben. Eine mögliche Erklärung für diese Diskrepanz könnte darin liegen, dass in der Untersuchung des Jahres 2011 zwar ein allgemein hoher Grad an Umweltregulierung vorlag, es jedoch keine einzelne restriktive Umweltregulierung gab, die einen nachweislichen Beschäftigungseffekt hätte belegen können. Es ist auch denkbar, dass andere Faktoren, die im Forschungsdesign nicht berücksichtigt wurden, eine größere Rolle bei der Entwicklung des Arbeitsmarkts gespielt haben, insbesondere im Zusammenhang mit der Finanzkrise. Zudem könnte die einfache Betrachtung der Beschäftigungszahlen auch nur eine unzureichende Aussagekraft über mögliche Beschäftigungseffekte haben. Es ist zudem zu berücksichtigen, dass es möglicherweise eine Zeitverzögerung zwischen umweltpolitischen Maßnahmen und dem Eintritt von Lenkungseffekten gibt, die in diesem Forschungsdesign nicht berücksichtigt wurde.

Insgesamt ist in der kritischen Würdigung der empirischen Untersuchung festzustellen, dass keine spezifischen Erkenntnisse über den Einfluss von Umweltregulierungen auf die Beschäftigung in energieintensiven Branchen gewonnen werden konnten. Es wird daher im Hinblick auf die hohe Relevanz der Thematik empfohlen, weitere Forschungen durchzuführen, die sich auf verschiedene methodische Ansätze und Aspekte der Umweltregulierung konzentrieren, um ein umfassenderes Verständnis zu den Beschäftigungseffekten durch Umweltregulierungen zu erlangen. Eine Herausforderung bei der Messung des Beschäftigungseffekts in energieintensiven Branchen besteht darin, geeignete Variablen und Kennzahlen für die Behandlungs- und Kontrollgruppen zu identifizieren. Diese sollte bei zukünftiger Untersuchung unbedingt berücksichtigt werden. Ebenfalls wird empfohlen, die Effekte in einem weitaus engeren Spektrum zu untersuchen, um nachweislich einem Beschäftigungseffekt einer Regulierung zuzuordnen. Darüber hinaus sollten mögliche zeitverzögerte Effekte stärker berücksichtigt werden.

5. Schlussfolgerung

Die Strenge der Umweltregulierung in Deutschland nimmt laut dem EPS-Index der OECD zu ([Grafik 4](#)). Dies hat Auswirkungen auf die Produktionskosten von Unternehmen und stellt sie vor Herausforderungen im internationalen Wettbewerb und im Umgang mit unterschiedlichen Kostenstrukturen aufgrund heterogener Maßnahmen. Oftmals wird befürchtet, dass die Industrie abwandern und langfristige negative Folgen für den Arbeitsmarkt entstehen könnten, besonders für energieintensive Branchen, deren Produktion stark von Ressourcenverbrauch abhängt. Diese stehen daher unter besonderen Druck.

Die empirische Untersuchung von Umweltregulierung und umweltbezogener Innovationsaktivität nach dem Konzept der Porter-Hypothese ergab einen möglichen positiven Zusammenhang. Unabhängig von der Repräsentativität der Untersuchung ist darüber hinaus zu beobachten, dass die Strenge der Umweltregulierung als auch die Anzahl umweltbezogener Patentanmeldungen steigt. Auch wenn das Ergebnis nicht eindeutig war, lässt sich anhand des Trends eine zunehmende Nachfrage nach Technologien mit höherer Ressourcenproduktivität vermuten. Diese Entwicklung wird für eine erfolgreiche ökologische Transformation von großer Bedeutung sein und der Einfluss von Umweltregulierung sollte in politischen Entscheidungsprozessen berücksichtigt werden. Es wäre auch interessant zu prüfen, ob Unternehmen aus energieintensiven Branchen einen überproportionalen Beitrag zur

Innovationskraft leisten und ob diese Erkenntnisse Hinweise auf gezielte Umweltregulierungen liefern könnten, um einen optimalen Anreiz für Innovation zu setzen.

In der zweiten empirischen Untersuchung dieser Arbeit wurde mithilfe eines DiD-Experiments für das Jahr 2011 ein negativer Beschäftigungseffekt in energieintensiven Branchen festgestellt. Zu diesem Zeitpunkt lag der Environmental Policy Index als auch die Zahl der umweltbezogenen Patentanmeldungen auf einem Höchststand. Es ist anzunehmen, dass der Atomausstieg von 2011 kaum bis gar keinen Lenkungseffekt und somit keinen direkten Einfluss auf einen Beschäftigungseffekt hatte. Stattdessen wäre es möglich, dass die gesamtheitliche strengere Umweltregulierung in Deutschland zu dem gemessenen negativen Beschäftigungseffekt beigetragen zu haben. In Anbetracht weiterer potenzieller Einflussfaktoren, wie möglicher Konjunktur bedingter Arbeitsmarktveränderungen, ist die Relevanz der Messung nur gering. Grund dafür ist auch der Mangel an einer einzelnen restriktiven umweltpolitischen Maßnahme, auf die ein Effekt zurückzuführen wäre. Obwohl die Signalwirkung der Gesamtheit der Maßnahmen berücksichtigt werden sollte, kann kein Beschäftigungseffekt einer direkten Maßnahme oder der Gesamtheit der Umweltregulierungen zugeordnet werden. Daher kann nicht von einer Allgemeingültigkeit ausgegangen werden. Um einen umfassenderen Überblick über die möglichen Auswirkungen von Umweltregulierungen auf die Beschäftigung in energieintensiven Branchen zu erhalten, sind weitere spezifischere Untersuchungen erforderlich. Das Ergebnis zeigt nichtsdestotrotz, dass die verwendete Methodik zur Untersuchung des Zusammenhangs durchaus Potenzial hat.

Die Porter-Hypothese betont die Bedeutung dynamischer Innovationskomponenten in der Analyse der Zusammenhänge zwischen umweltpolitischen Maßnahmen und Implikationen für Innovation und Beschäftigung. In der Vergangenheit konnten Technologieführerschaften zu Standortwettbewerb und Wohlstand führen. Es ist daher nicht unwahrscheinlich, dass Eco-Innovationen langfristig sowohl wirtschaftliche Vorteile als auch umweltfreundliche Maßnahmen vereinen können. Daher ist es wichtig, dass die Wissenschaft diesen relevanten Zusammenhang weiter erforscht, um der Politik eine bessere Basis für zukünftige Umweltregulierungen zu bieten und diese in der Umsetzung von Regulierungen zu unterstützen. Angesichts des Fortschreitens des Klimawandels wird eine ökologische Transformation unumgänglich sein, um langfristig bestehen zu können. Daher könnte die Verbindung von strengem Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit durch Innovationskraft in Deutschland als Wirtschaftsnation zu einer wichtigen Signalwirkung im Kampf gegen den Klimawandel beitragen.

6. Literatur

- Abadie, A. (2005) ‘Semiparametric Difference-in-Differences Estimators’, *The Review of Economic Studies*, 72(1), pp. 1–19. Available at: .
- Babiker, M.H. and Eckaus, R.S. (2007) ‘Unemployment effects of climate policy’, *Environmental Science & Policy*, 10 (7–8), pp. 600–609. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2007.05.002>.
- Blazejczak, J., Edler, D., Kahlenborn, W., Linsenmeier, M., Oehlmann, M., Bacher, K., ... & Wolgam, G. (2019). Wirtschaftliche Chancen durch Klimaschutz: die wachsenden Weltmärkte für Klimaschutzgüter und-dienstleistungen. Umweltbundesamt.
- Blechinger, D. and Pfeiffer, F. (1999) ‘Qualifikation, Beschäftigung und technischer Fortschritt, Empirische Evidenz mit den Daten des Mannheimer Innovationspanels’, *Journal of Economics and Statistics (Jahrbuecher fuer Nationaloekonomie und Statistik)*, 218, pp. 128–146.
- Botta, E. and T. Koźluk (2014), "Measuring Environmental Policy Stringency in OECD Countries: A Composite Index Approach", OECD Economics Department Working Papers, No. 1177, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/5jxrjnc45gvg-en>
- Dutz, M.A. and Pilat, D. (2014) ‘Fostering innovation for green growth: Learning from policy experimentation’, in OECD and The World Bank, *Making Innovation Policy Work*. Edited by M. A. Dutz et al. OECD, pp. 193–228. Available at: .
- Fabrizi, A., Guarini, G. and Meliciani, V. (2018) ‘Green patents, regulatory policies and research network policies’, *Research Policy*, 47(6), pp. 1018–1031. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.03.005>.
- Franz, W. (2013) *Arbeitsmarktökonomik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch). Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36902-5>.
- Goos, M., Manning, A. and Salomons, A. (2014) ‘Explaining Job Polarization: Routine-Biased Technological Change and Offshoring’, *American Economic Review*, 104(8), pp. 2509–2526. Available at: <https://doi.org/10.1257/aer.104.8.2509>.
- Haščič, I. and Migotto, M. (2015) ‘Measuring environmental innovation using patent data’, *OECD Environment Working Papers* [Preprint]. Available at: <https://ideas.repec.org/p/oec/envaaa/89-en.html>
- Hohmeyer, O., & Koschel, H. (1995). Umweltpolitische Instrumente zur Förderung des Einsatzes integrierter Umwelttechnik. Final Report of a Study of ZEW commissioned by the Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), Mannheim.
- Horbach, J. (2008) ‘Determinants of environmental innovation—New evidence from German panel data sources’, *Research Policy*, 37(1), pp. 163–173. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.08.006>.
- Horbach, J. (2020) ‘Impacts of regulation on eco-innovation and job creation’, *IZA World of Labor* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.15185/izawol.265>.

Horbach, J., Oltra, V. and Belin, J. (2013) ‘Determinants and Specificities of Eco-Innovations Compared to Other Innovations—An Econometric Analysis for the French and German Industry Based on the Community Innovation Survey’, *Industry and Innovation*, 20(6), pp. 523–543. Available at: <https://doi.org/10.1080/13662716.2013.833375>.

Horbach, J., Rammer, C. and Rennings, K. (2012) ‘Determinants of eco-innovations by type of environmental impact — The role of regulatory push/pull, technology push and market pull’, *Ecological Economics*, 78, pp. 112–122. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.04.005>.

Horbach, J. and Rennings, K. (2013) ‘Environmental innovation and employment dynamics in different technology fields – an analysis based on the German Community Innovation Survey 2009’, *Journal of Cleaner Production*, 57, pp. 158–165. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.034>.

Hübner, C. (2019). History of Energy and Climate Energy Policy in Germany: Christian Democratic Union perspectives 1958-2014, Konrad Adenauer Stiftung (KAS).

INFAS Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH, <https://www.infas.de/panelstudien/deutsche-innovationserhebung-2022/>, Abgerufen am 29.09.2022.

Johnstone, N., Haščič, I. and Popp, D. (2010) ‘Renewable Energy Policies and Technological Innovation: Evidence Based on Patent Counts’, *Environmental and Resource Economics*, 45(1), pp. 133–155. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10640-009-9309-1>.

Lachenmaier, S. and Rottmann, H. (2011) ‘Effects of innovation on employment: A dynamic panel analysis’, *International Journal of Industrial Organization*, 29(2), pp. 210–220. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijindorg.2010.05.004>.

Lanjouw, J.O. and Mody, A. (1996) ‘Innovation and the international diffusion of environmentally responsive technology’, *Research Policy*, 25(4), pp. 549–571. Available at: [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(95\)00853-5](https://doi.org/10.1016/0048-7333(95)00853-5).

Lanoie, P. et al. (2011) ‘Environmental Policy, Innovation and Performance: New Insights on the Porter Hypothesis’, *Journal of Economics & Management Strategy*, 20(3), pp. 803–842. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1530-9134.2011.00301.x>.

Licht, G. and Peters, B. (2014) *Do Green Innovations Stimulate Employment? Firm-level Evidence From Germany*. WWFforEurope Working Paper No. 53, WIFO Studies. WIFO. Available at: <https://ideas.repec.org/b/wfo/wstudy/47155.html>

OECD (2017) *Green Growth Indicators 2017*. OECD (OECD Green Growth Studies). Available at: <https://doi.org/10.1787/9789264268586-en>.

O’Sullivan, M., Edler, D. and Lehr, U. (2015) ‘Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland und verringerte fossile Brennstoffimporte durch erneuerbare Energien und Energieeffizienz’.

Palmer, K., Oates, W.E. and Portney, P.R. (1995) ‘Tightening Environmental Standards: The Benefit-Cost or the No-Cost Paradigm?’, *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), pp. 119–132. Available at: <https://doi.org/10.1257/jep.9.4.119>.

Pestel, N. (2019) 'Employment effects of green energy policies', *IZA World of Labor*

Pfeiffer, F. and Rennings, K. (1999) 'Weder Jobkiller noch Jobwunder', *Ökologisches Wirtschaften - Fachzeitschrift*, 14(2). Available at: <https://doi.org/10.14512/oew.v14i2.1006>.

Pfeiffer, F. and Rennings, K. (2001) 'Employment impacts of cleaner production – evidence from a German study using case studies and surveys', *Business Strategy and the Environment*, 10(3), pp. 161–175. Available at: <https://doi.org/10.1002/bse.285>.

Porter, M.E. and van der Linde, C. (1995) 'Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship', *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), pp. 97–118. Available at: <https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97>.

Rave, T. and Triebswetter, U. (2006) 'Ökonomische Auswirkungen umweltpolitischer Regulierungen: eine Machbarkeitsstudie vor dem Hintergrund der Anforderungen der Richtlinie 96/61/EG über die integrierte Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzungen (IVU-Richtlinie)'. ifo Forschungsberichte (30).

Rennings, K. (1998). Towards a theory and policy of eco-innovation-Neoclassical and (Co-) Evolutionary Perspectives (No. 98-24). ZEW Discussion Papers.

Rennings, K. (2000) 'Redefining innovation — eco-innovation research and the contribution from ecological economics', *Ecological Economics*, 32(2), pp. 319–332. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00112-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00112-3).

Sterlacchini, A. (2020) 'Trends and determinants of energy innovations: patents, environmental policies and oil prices', *Journal of Economic Policy Reform*, 23(1), pp. 49–66. Available at: <https://doi.org/10.1080/17487870.2019.1565410>.

[Umweltbundesamt.de](https://www.umweltbundesamt.de), Abgerufen am: 29.09.2022

de Vries, F.P. and Withagen, C. (2005) 'Innovation and Environmental Stringency: The Case of Sulfur Dioxide Abatement'. Rochester, NY. Available at: <https://doi.org/10.2139/ssrn.670158>.

Wooldridge, J.M. (2015) *Introductory econometrics: A modern approach*. Cengage learning.

7. Datenquellen

- (1) Environmental Policy Stringency Index (EPS-Index): OECD (2016), "Environmental policy: Environmental Policy Stringency index", OECD Environment Statistics (database), <https://doi.org/10.1787/2bc0bb80-en>
- (2) Umweltbezogene Patentanmeldungen: OECD (2022), Patents on environment technologies (indicator). doi: 10.1787/fff120f8-en
- (3) Mannheimer Innovationspanel (MIP) – Befragung zwischen 1993 und 2020: ZEW (2022)

8. Appendix

a. Tabellen

Tabelle 1 - Umweltregulierungen in Deutschland zwischen 2000-2015

Jahr	Umweltmaßnahmen
2000	Erneuerbare-Energien-Gesetz
2002	Ökosteuer
2004	Erneuerbare-Energien-Gesetz
2006	Energiesteuergesetz (Ehmalig Mineralölsteuer)
2009	Erneuerbare-Energien-Gesetz
2011	Atomausstieg
2014	Erneuerbare-Energien-Gesetz

Tabelle 2 - Sektoren im Mannheimer Innovationspanels

Branche-Nr.	Branchen	Wirtschaftszweige nach WZ93 bzw. NACE-Rev 1	Energieintensiv
1	Bergbau	Bergbau u. Gewinnung von Steinen u. Erden	Nein
2	Ernährung, Tabak	Ernährungsgewerbe, Tabakverarbeitung	Nein
3	Textil	Textil-, Bekleidung- und Ledergewerbe	Nein
4	Holz, Papier	Holz-, Papiergewerbe, Druckgewerbe	Ja
5	Chemie	Mineralölverarbeitung, Kokerei, Chemische Industrie	Ja
6	Kunststoff	Herstellung von Gummi- u. Kunststoffwaren	Nein
7	Glas, Keramik	Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen u. Erden	Ja
8	Metall	Metallerzeugung und –Bearbeitung, Stahl, Leicht- metallbau, Herstellung von Metallerzeugnissen	Ja
9	Maschinenbau	Maschinenbau, Hst. von Waffen und Munition; Herstellung von Haushaltsgeräten a.n.g.	Nein
10	Elektrotechnik	Hst. von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten u. Einrichtungen, Hst. von Geräten der Elektrizitätserzeugung, Elektrizitätsverteilung u.ä., Rund- funk-, Fernseh- u. Nachrichtentechnik	Nein
11	MMSR	Herstellung von Medizin-, Mess-, Steuer- u. Regelungstechnik, Optik	Nein
12	Fahrzeugbau	Hst. von Kraftwagen u. deren Teilen, sonst. Fahrzeugbau, Luft- und Raumfahrzeugbau	Nein
13	Möbel	Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten, Spielwaren	Nein
14	Großhandel	Handelsvermittlung u. Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)	Nein
15	Einzelhandel KFZ	Kraftfahrzeughandel, Instandhaltung u. Reparatur von KFZ, Tankstellen; Einzelhandel, Reparatur von Gebrauchsgegenständen	Nein
16	Verkehr, Telekommunikation	Landverkehr, Transport von Rohrfernleitungen; Schifffahrt; Luftfahrt; Hilfs- u. Nebentätigkeiten für den Verkehr, Verkehrsvermittlung; Postdienste u. private Kurierdienste	Nein
17	Banken, Vers.	Kredit- und Versicherungsgewerbe	Nein
18	EDV, Telekommunikation	Datenverarbeitung u. Datenbanken, Telekommunikation	Nein
19	Technische DL	Forschung u. Entwicklung; Architektur- u. Ingenieurbüros; Technische, physikalische u. chemische Untersuchung	Nein
20	Unternehmens DL	Rechts-, Steuer- u. Unternehmensberatung, Markt- u. Meinungsforschung, Beteiligungsgesellschaften; Werbung	Nein
21	Sonstige DL	Gewerbsmäßige Vermittlung u. Überlassung von Arbeitskräften; Auskunft- u. Schutzdienste; Gebäudereinigung; Erbringung sonstiger Dienstleistungen für Unternehmen; Abwasser- u. Abfallbeseitigung u. sonstige Entsorgung;	Nein
22	Wohnungswesen, Vermietung	Grundstücks- u. Wohnungswesen; Vermietung beweglicher Sachen	Nein

Quelle: Mannheimer Innovationspanel (MIP) – Befragung zwischen 1993 und 2020: ZEW (2022)

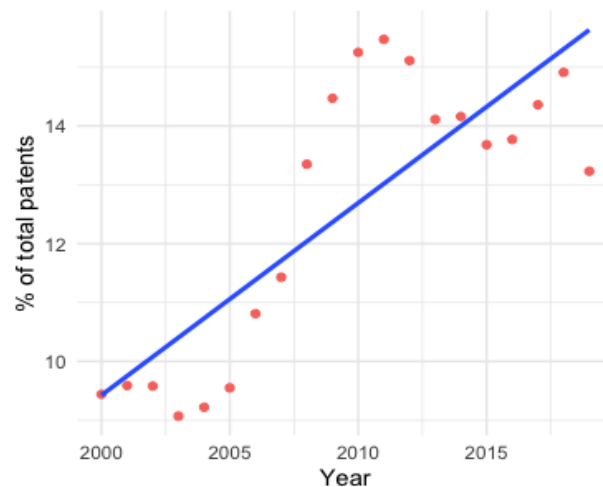
b. Grafiken:

Grafik 1 - Emissionen in Sektoren in Deutschland (1990-2021)



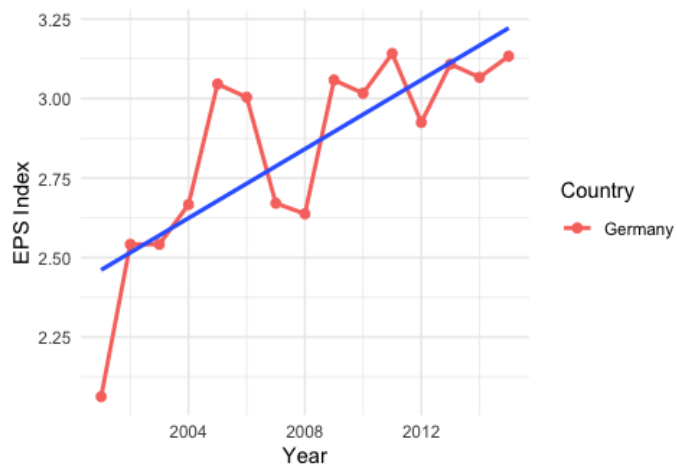
Quelle: Energiewende, A. (2022). Die Energiewende in Deutschland: Stand der Dinge 2021. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2022. *Agora Energiewende, Berlin.*

Grafik 3 - Umweltbezogene Patentanmeldungen in Deutschland zwischen 2000-2019



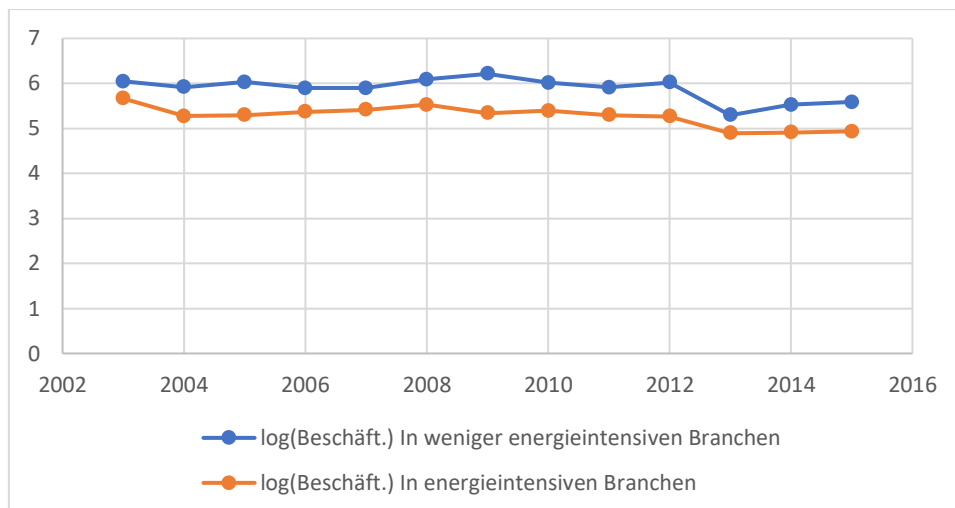
Quelle: OECD (2022), doi: 10.1787/fff120f8-en; Eigene Darstellung der Daten.

Grafik 4 - EPS-Index in Deutschland zwischen 2000-2015



Quelle: OECD (2022), doi:10.1787/2bc0bb80-en; Eigene Darstellung der Daten.

Grafik 5 – Beschäftigungsentwicklung (log) energieintensiver und weniger energieintensiver Branchen in Deutschland zwischen 2003-2015



Quelle: Mannheimer Innovationspanel (MIP) – Befragung zwischen 1993 und 2020; ZEW (2022); Eigene Darstellung der Daten.