

Policy Brief

Mai 2020

Policy Brief Nr. 17/2020

# Gelenkter technologischer Wandel: FTI-Politik im Kontext des Klimawandels

Was ist ein geeigneter Policy-Mix für eine  
nachhaltige Transformation?

Benjamin Bittschi  
Richard Sellner



INSTITUT FÜR HÖHERE STUDIEN  
INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES  
Vienna

---

### Autoren

Benjamin Bittschi, Richard Sellner

### Titel

Gelenkter technologischer Wandel: FTI-Politik im Kontext des Klimawandels. Was ist ein geeigneter Policy-Mix für eine nachhaltige Transformation?

### Kontakt

T +43 1 59991-261

E [sellner@ihs.ac.at](mailto:sellner@ihs.ac.at)

### Institut für Höhere Studien – Institute for Advanced Studies (IHS)

Josefstädter Straße 39, A-1080 Vienna

T +43 1 59991-0

F +43 1 59991-555

[www.ihs.ac.at](http://www.ihs.ac.at)

ZVR: 066207973

### Lizenz



Gelenkter technologischer Wandel: FTI-Politik im Kontext des Klimawandels.

Was ist ein geeigneter Policy-Mix für eine nachhaltige Transformation?

von Benjamin Bittschi, Richard Sellner

ist lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

*Der Policy Brief wurde mit Unterstützung der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG) ermöglicht.*

*Alle Inhalte sind ohne Gewähr. Jegliche Haftung der Mitwirkenden oder des IHS aus dem Inhalt dieses Werks ist ausgeschlossen.*



Alle IHS Policy Briefs sind online verfügbar: [http://irihs.ihs.ac.at/view/ihs\\_series/ser=5Fpol.html](http://irihs.ihs.ac.at/view/ihs_series/ser=5Fpol.html)

Dieser Policy Brief kann kostenlos heruntergeladen werden: <http://irihs.ihs.ac.at/5321/>

## Zusammenfassung

Der voranschreitende Klimawandel ist eine der größten gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit. Wirtschaftspolitisch rechtfertigen die mit dem Klimawandel verbundenen hohen externen Effekte ein staatliches Eingreifen über eine Preis- bzw. Mengenregulierung. Abgaben und Emissionszertifikate sind nachfrageseitige Instrumente, da sie darauf abzielen, den Preis von CO<sub>2</sub>-intensiven Produkten zu erhöhen und dadurch die Nachfrage nach klimafreundlichen Technologien stärken („Demand-Pull“). In der wissenschaftlichen Literatur zeigt sich, dass es wohlfahrtsoptimierend ist, eine solche „Demand-Pull-Strategie“ mit einer „Technology-Push-Strategie“ zu ergänzen. Im Rahmen dieser Strategie wird der Übergang zu sauberen Technologien über FTI-Förderungen angebotsseitig unterstützt. Zur Umsetzung dieser politischen Maßnahmen empfiehlt sich

- 1.) bei bestehenden FTI-Förderungen eine stärkere Fokussierung in Richtung CO<sub>2</sub>-neutraler und neuer Technologien, die zur Marktreife noch weitere Entwicklungsschritte benötigen, damit Österreich im Bereich der umweltbezogenen Technologien international wieder zu den innovationsführenden Ländern aufschließen kann,
- 2.) bei Subventionen und F&E-Förderungen in klimaschädliche Technologien die Ausarbeitung eines konkreten Ausstiegsplans, wobei Bereiche, in denen es kaum CO<sub>2</sub>-neutrale Ausweichmöglichkeiten gibt, berücksichtigt werden müssen und
- 3.) eine ergänzende Unterstützung der Akzeptanz, Nachfrage und Diffusion klimafreundlicher Technologien über entsprechende Subventionen und das öffentliche Beschaffungswesen, um eine systemische Transformation voranzutreiben.

**Schlagwörter:** Gelenkter technologischer Wandel, FTI-Politik, Klimawandel

# 1 Motivation

Der voranschreitende Klimawandel ist eine der größten gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit. Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) der Vereinten Nationen schätzt, dass menschliche Aktivitäten derzeit bereits eine globale Erwärmung der Durchschnittstemperatur von etwa 1,0°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau verursacht haben. Bei einem weiteren Temperaturanstieg mit der gegenwärtigen Geschwindigkeit wird die globale Erwärmung im Zeitraum 2030 bis 2052 wahrscheinlich 1,5°C erreichen. Dadurch werden auch klimabedingte Risiken für Gesundheit, Lebensgrundlagen, Ernährungssicherheit, Wasserversorgung, menschliche Sicherheit und das Wirtschaftswachstum zunehmen (IPCC 2018).

Wirtschaftspolitisch rechtfertigen diese Entwicklungen ein Eingreifen, um die mit dem Klimawandel verbundenen hohen externen Effekte zu minimieren. Die ökonomische Standardlösung zielt dabei auf eine Bepreisung der externen Effekte ab, da klimaschädliches Verhalten häufig darauf basiert, dass Individuen aufgrund verzerrter Preise nicht die gesellschaftlichen Kosten ihres Verhaltens berücksichtigen. Das gängigste Instrument zur Anpassung der Preise sind Verbrauchssteuern, wie sie derzeit z. B. mit der Mineralölsteuer (MöSt) bereits existieren, und welche man auch explizit an den CO<sub>2</sub>-Ausstoß koppeln könnte. Ein theoretisch äquivalentes Instrument sind CO<sub>2</sub>-Zertifikate. Dies bedeutet, dass sich der CO<sub>2</sub>-Emittent das Recht auf Verschmutzung kaufen muss. Ein solches System ist in der Europäischen Union für einen Großteil der Industrie bereits in Kraft. Beide Instrumente, Steuern und Zertifikate, zielen darauf ab, den Preis von CO<sub>2</sub>-intensiven Produkten zu erhöhen und dadurch die Nachfrage zu senken. Diese Maßnahmen können daher als nachfrageseitige bzw. „Demand-Pull-Strategie“ bezeichnet werden. In der wissenschaftlichen Literatur hat sich allerdings gezeigt, dass es sinnvoll ist, eine solche „Demand-Pull-Strategie“ durch eine „Technology-Push-Strategie“ zu ergänzen, um den Übergang zu sauberen Technologien zu unterstützen. Diese Strategie forciert angebotsseitige Entwicklungen, die CO<sub>2</sub>-Einsparungen ermöglichen. Diese Verstärkung der technologischen Komponente ist eine klare Aufgabe der Forschungsförderungspolitik und steht im Zentrum dieses Policy Briefs.

## 2 Ökonomischer Hintergrund

### 2.1 Doppeltes Marktversagen

Die Forschung und Entwicklung im Bereich umweltfreundlicher Technologien ist durch ein doppeltes Marktversagen gekennzeichnet, welches durch ein Zusammenspiel von positiven und negativen Externalitäten zu Stande kommt. Als Externalität bezeichnet

man in der Ökonomie die Auswirkungen von Handlungen beispielsweise eines Unternehmens auf andere Unternehmen oder die gesamte Gesellschaft. Diese Auswirkungen entstehen dabei als Nebenprodukt der Handlung des Unternehmens und sind somit nicht in seinen Kosten oder seinem Profit berücksichtigt. Der Einsatz günstigerer, aber umweltschädlicher Produktionsmethoden stellt eine negative Externalität dar, da die Umweltfolgekosten nicht vom Unternehmen, sondern von der Allgemeinheit getragen werden. In einem unregulierten Markt besteht daher für ein Unternehmen kein ökonomischer Anreiz, die Investitionskosten für neue umweltfreundliche Produktionsmethoden auf sich zu nehmen (bzw. diese nachzufragen). Investitionen in Forschung und Entwicklung führen hingegen zu positiven Externalitäten, da neues Wissen auch außerhalb des Unternehmens genutzt werden kann und weitere Forschung darauf aufbauen kann.

**„Pollution creates a negative externality, and so the invisible hand allows too much of it. Technology creates positive externalities, and so the invisible hand produces too little of it.“ (Jaffe, Newell & Stavins 2005, Seite 166)**

#### **Exkurs: Energieeffizienz – vom Marktversagen zum Verhaltensversagen**

Nun kann argumentiert werden, dass Forschung und Entwicklung in Richtung mehr Energieeffizienz keinem doppelten Marktversagen unterliegen, da nutzenmaximierende Akteure aufgrund der resultierten Kosteneinsparungen einen Anreiz haben, diese Technologien nachzufragen. Diesem Argument kann entgegengehalten werden, dass Energiekosten meist nicht sämtliche negative Externalitäten beinhalten und es daher einen Unterschied macht, wie die Energie erzeugt wurde und nicht wieviel verbraucht wird. Zudem besteht auch die Gefahr eines Rebound-Effekts, sodass eine höhere Effizienz zu einem höheren Verbrauch führt.

Abseits davon lässt sich für die KonsumentInnenseite auch Verhaltensversagen (Behavioral Failure) argumentieren, das zu Unterinvestitionen in Energieeffizienz und Überkonsum von Energie führen kann (siehe Gillingham, Newell & Palmer 2009):

So können Ankereffekte, Verlustaversion oder Status-quo-Bias (siehe Hartman et al. 1991) KonsumentInnen davon abhalten, in neue energieeffiziente Technologien zu investieren. Weitere Gründe für Verhaltensversagen sind das Vorkommen von begrenzter Rationalität (Bounded Rationality) bzw. Entscheidungsheuristiken (Heuristic Decision Making) in der Entscheidungsfindung von KonsumentInnen (siehe Friedman 2002, Kempton & Montgomery 1982 oder Kempton et al. 1992). Dabei verhalten sich die Individuen aufgrund der Komplexität des Problems oder gewohnter Routinen nicht gänzlich rational. Ein anderer aus der Verhaltensökonomie bekannter Effekt, Salienz, lässt die KonsumentInnen einen zu starken Fokus auf für sie bekannte und begreifbare Entschei-

dungsgrößen legen. Dabei können die unmittelbar fällig werdenden Kosten der Erstinvestitionen in Energieeffizienz relativ zu den erst zukünftig auftretenden Einsparungen überbewertet werden (siehe Wilson & Dowlatabadi 2007). Zusammenfassend führen alle diese Effekte zu Verhaltensversagen, wodurch tendenziell zu wenig in Energieeffizienz investiert wird.

## 2.2 Ausgestaltung eines optimalen Policy Mixes

Zusätzlich zu diesem doppelten Marktversagen findet über Gleichgewichtskräfte eine Lenkung des technologischen Wandels (siehe Acemoglu 2002) in Richtung bestimmter Produktionsinputs (beispielsweise klimafreundliche vs. klimaschädliche) statt. Dabei sind zwei unterschiedliche Effekte relevant: der Preiseffekt und der Marktgrößeneffekt. Der Preiseffekt lenkt die Innovation in Richtung der relativ knappen und daher höherpreisigen Inputs (im Regelfall die klimafreundliche Produktionsmethode), da dadurch höhere Kosteneinsparungen realisiert werden können. Der Marktgrößeneffekt hingegen führt dazu, dass Innovationen in Richtung des reichlich vorhandenen Inputs (im Regelfall die bestehende, klimaschädliche Produktionsmethode) gelenkt werden, da hierfür der Markt größer ist. Die Richtung des technologischen Wandels hängt davon ab, welcher der beiden Effekte empirisch überwiegt.

Unter der Annahme, dass klimafreundliche und klimaschädliche Produktionsmethoden gute Substitute darstellen und ein Produktivitätsvorteil (durch die längere Erfahrung in der Anwendung) bei den klimaschädlichen Produktionsmethoden besteht, lässt sich theoretisch (siehe Acemoglu, Aghion, Bursztyn & Hémous 2012) zeigen, dass Innovationen auf freien Märkten in Richtung klimaschädliche Innovationen verzerrt sind.

Der dargestellte theoretische Rahmen bezieht sich verstärkt auf Produktionsbetriebe und den Energieeinsatz. Wenn demnach der überwiegende Anteil der Betriebe klimaschädliche Energie nutzt, dominiert der Markteffekt und lenkt zukünftige Technologien verstärkt in diese Bereiche. Analog dazu können auch bei den Konsumgütern Marktgrößen- und Preiseffekte den technologischen Wandel prägen. So begünstigen hohe Herstellungskosten (Preiseffekt) von Batterien im Bereich der Elektromobilität die Forschung und Entwicklung in diesem Bereich, da hier hohe Gewinne realisierbar erscheinen. Andererseits ist der Anteil der Elektromobilität noch gering und die bestehenden Versorgungsnetze (Tankstellen) noch überwiegend auf den traditionellen motorisierten Individualverkehr ausgerichtet, was zu einem gegenläufigen Marktgrößeneffekt führt.

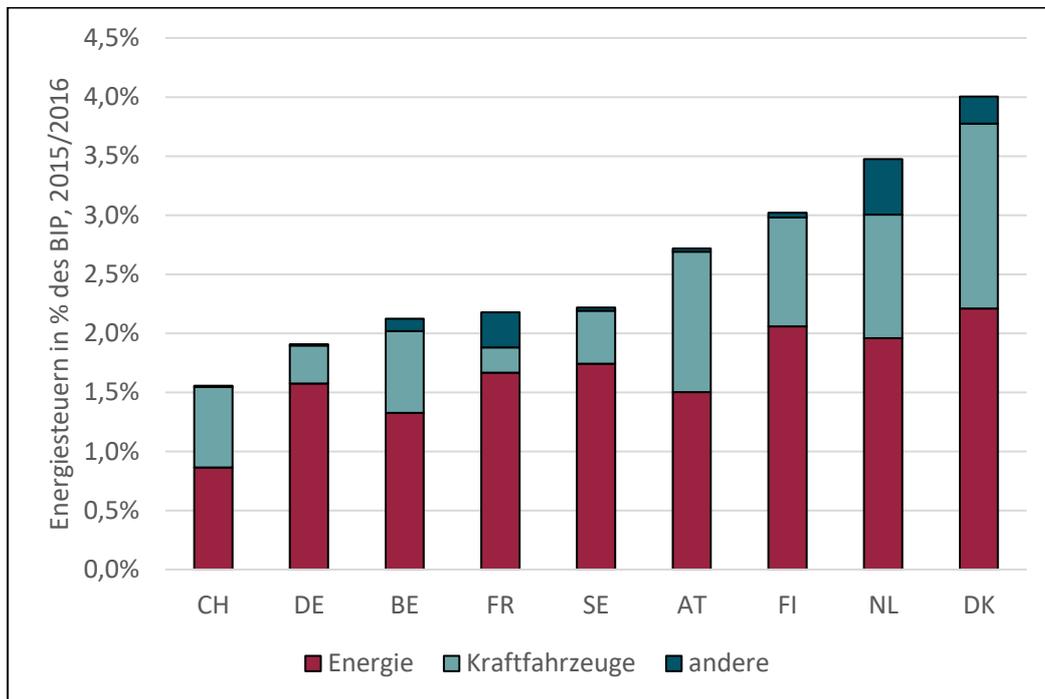
Da die bestehenden Marktanreize unter plausiblen Grundannahmen keine ökologisch-nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung gewährleisten, müssen wirtschaftspolitische Interventionen erfolgen. Empirische Analysen über den Energiesektor der USA zeigen,

dass ein Policy Mix aus angebots- und nachfrageseitigen Interventionen die höchsten Wohlfahrtswirkungen aufweist (siehe Acemoglu, Akcigit, Hanley & Kerr 2016). Dabei erhöhen Emissionsbeschränkungen oder -abgaben den Preis für klimaschädliche Produktionsmethoden und wirken als „Demand-Pull“ für saubere Technologien. Ergänzend dazu sollten Forschungs- und Entwicklungsförderungen eingesetzt werden, welche als „Technology-Push“ die Entwicklung und damit das Angebot dieser Technologien stimulieren.

### 3 Demand-Pull

Die nachfrageseitigen „Demand-Pull“-Interventionen für Österreich sind im Wesentlichen durch EU-Bestimmungen definiert. Dies betrifft sowohl die über das EU-Emissionshandelssystem (EU-ETS) erfassten Unternehmen als auch die Unternehmen außerhalb des EU-ETS. Die vom EU-ETS erfassten Sektoren müssen ihre Emissionen bis 2030 um 43 Prozent (im Vergleich zu 2005) reduzieren. Verglichen mit den ersten beiden Phasen des ETS erfordert die derzeitige Phase 3 (2013–2020) relativ stringente Implementierungen. Für die nicht innerhalb des ETS erfassten Sektoren (u. a. Verkehr und Landwirtschaft) hat sich Österreich über die Effort-Sharing-Verordnung auf eine Reduktion der Treibhausgasemissionen (THG) um 36 Prozent bis zum Jahr 2030 verpflichtet. Abseits dieser Verpflichtungen bestehen in Österreich für KonsumentInnen nur relativ geringe nachfrageseitige Anreize. Eine Ökologisierung im Steuersystem ist derzeit zwar in Planung, allerdings gibt es hierzu noch wenige Details. Auf der anderen Seite werden steuerliche Maßnahmen durch klimaschädliche Subventionen (WIFO: 2010–2013 rd. 3,8–4,7 Milliarden Euro) konterkariert. Durch die Mineralölsteuer sowie die Energieabgabe (Einnahmen 2018: MöSt: 4,3 Milliarden Euro, Energieabgabe 940 Millionen Euro) gibt es in Österreich im Prinzip implizite CO<sub>2</sub>-Preise/Steuern. Rechnet man diese Steuereinnahmen jedoch mit den bestehenden Subventionen auf, wird deutlich, dass es effektiv kaum eine wirkliche Bepreisung umweltschädlichen Verhaltens gibt. Dass es bei der Besteuerung umweltschädlichen Verhaltens noch Spielraum gäbe, zeigt der Vergleich mit innovationsführenden Ländern, da Österreich bei energiebezogenen Steuern zumeist Plätze im Mittelfeld belegt (siehe Abbildung 1).

**Abbildung 1: Demand-Pull – Energiesteuern im internationalen Vergleich**



Quelle: OECD, <https://data.oecd.org/envpolicy/environmental-tax.htm>.

Gegeben die theoretischen Überlegungen und den institutionellen Rahmen ist eine wesentliche Frage, wie sich die empirische Evidenz bezüglich der Wirksamkeit des „Demand-Pull“ in den Bereichen Steuern, Emissionshandel beziehungsweise Regulierung darstellt. Da der Umfang eines solchen Policy Briefs es nicht zulässt, auf die Masse der vorhandenen Literatur einzugehen, beschränken wir uns im Folgenden auf eine Auswahl von Studien, die aufgrund des Forschungsdesigns kausale Schlussfolgerungen zulassen.

Im Bereich der **Steuern** ist eine Arbeit von Aghion et al. (2016) aufschlussreich. Mithilfe von internationalen Unternehmenspatentdaten aus der Automobilindustrie wird gezeigt, dass höhere Steuern auf Kraftstoff zu vermehrten Innovationen in saubere (und weniger in schmutzige) Technologien führen. Zudem weisen die Autoren auf die Existenz von Pfadabhängigkeiten hin. Bei vorangegangenen Innovationen in saubere Technologien steigt die Wahrscheinlichkeit zur zukünftigen Entwicklung sauberer Innovationen. Diese Studie belegt zum einen die Wirksamkeit steuerlicher Maßnahmen und zeigt zum anderen, dass sich diese durch die Pfadabhängigkeiten verstärken.

Im Bereich des **Emissionshandelssystems** zeigen Calel und Dechezleprêtre (2016) die Wirkungen des EU-ETS auf Firmenpatente. Durch die Einführung des EU-ETS kam es zu mehr (10 Prozent) Innovationen in klimafreundlichen Bereichen bei regulierten Unter-

nehmen, ohne dass eine Verdrängung der Patentierung anderer Technologien stattgefunden hätte. Insgesamt zeigt sich durch die erste Phase des EU-ETS beziehungsweise des Beginns der zweiten Phase ein Anstieg von fast 1 Prozent der europäischen kohlenstoffarmen Patente im Vergleich zu einem kontrafaktischen Szenario. Das Erstaunliche an dieser Untersuchung ist, dass diese Resultate im Prinzip sehr stark auf Ankündigungseffekte einer Bepreisung beruhen, da in den ersten beiden Phasen des EU-ETS häufig eine Gratiszuteilung der Zertifikate stattfand bzw. sehr moderate CO<sub>2</sub>-Preise vorherrschten.

Auch für den Bereich verstärkter **Regulierung** liegt Evidenz vor. So nutzen Martínez-Zarzosa et al. (2019) für 14 OECD-Länder im Zeitraum von 1990 bis 2011 den „Environmental Policy Stringency Index“ (EPS), welcher die Multidimensionalität umweltökonomischer Regulierungen abbildet. Dabei zeigen die Autoren, dass kurzfristig eine strengere Umweltpolitik mit einem Anstieg der Zahl der Patentanmeldungen und der totalen Faktorproduktivität (TFP) verbunden ist. Darüber hinaus wirkt sich eine strengere Umweltpolitik auch positiv auf die Ausgaben für Forschung und Entwicklung aus. Langfristig wirkt der EPS-Index auf die F&E-Ausgaben, auf Patente und die TFP. Die Autoren schließen daraus, dass strengere Umweltvorschriften sauberere Produktionsprozesse fördern und somit zur Verbesserung der Energieeffizienz beitragen könnten.

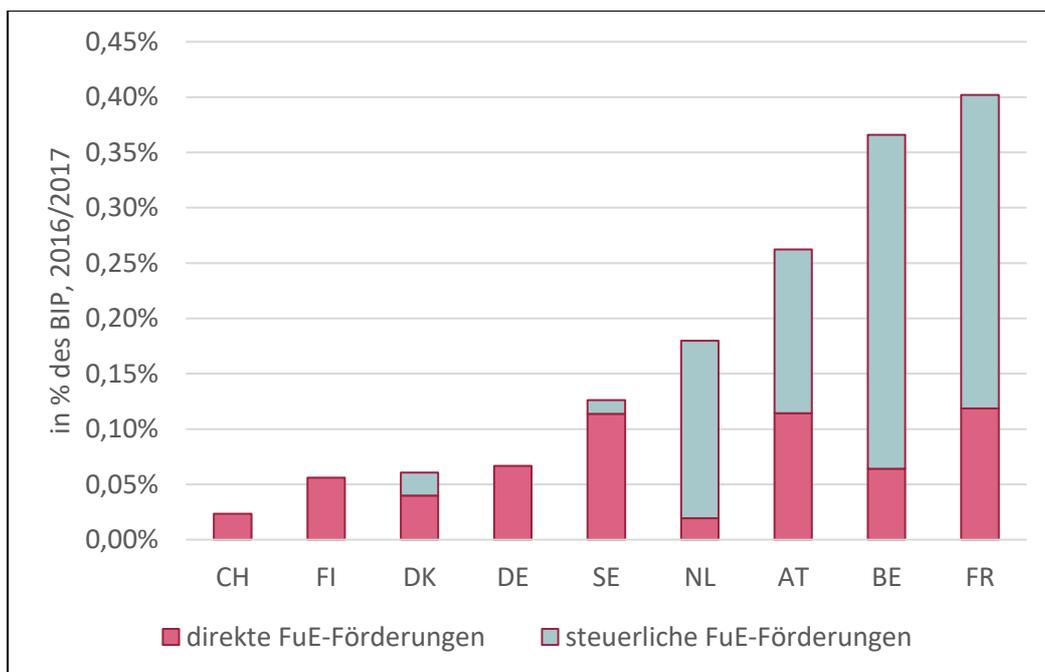
Eine berechtigte Sorge verstärkter Umweltpolitik, sei es durch Steuern, Zertifikate oder Regulierungen ist allerdings, dass es zu „**Carbon Leakage**“ kommt. Carbon Leakage betrifft die Frage, ob eine höhere Bepreisung bzw. strengere Regulierung von Verschmutzung zur Abwanderung der Produktion in Länder mit geringeren Umweltauflagen bzw. Emissionspreisen führt. Die bisherige Evidenz zu dieser Problematik kann als gemischt bezeichnet werden. So findet eine aktuelle Metastudie (Verde 2020) keine Evidenz von ökonometrischen Arbeiten zu „carbon leakage“ in Phase I und II des EU-ETS. Einschränkend muss hier allerdings, wie erwähnt, auf die relativ geringen Preiseffekte in diesen Phasen des ETS verwiesen werden. Demgegenüber zeigt eine Zusammenfassung makroökonomischer Gleichgewichtsmodelle (Zhang 2012) eine Verlagerungsrate bei einer einseitigen Kohlenstoffsteuer (oder des Emissionshandels) von 5–30 Prozent der Emissionen. Dies bedeutet, dass bei einer erfolgreichen Reduktion von 100 Einheiten CO<sub>2</sub> im regulierenden Land eine Erhöhung von 5–30 Einheiten CO<sub>2</sub> in nicht-regulierenden Ländern stattfindet.

## 4 Technology-Push

Strategien und Pläne zur Rolle der Technologie bei der Erreichung der Klimaziele finden sich im Nationalen Energie- und Klimaplan (NEKP), der Forschung und Entwicklung eine bedeutende Rolle zur Erreichung der THG-Reduktionsziele beimisst. Bei der Finanzierung

technologischer Vorhaben kommt dem Klima- und Energiefonds und der FFG als Abwicklungsstelle dieses Fonds eine besondere Rolle zu. Hervorzuheben ist dabei auch die Energieforschungsinitiative (insbesondere Leuchtturm 9 und 10, Klima- und Energiestrategie), welche bis zum Jahr 2030 private Investitionen in Energie- und Mobilitätsinnovation in Österreich von 2 bis 2,5 Milliarden Euro hebeln sollen. Dabei konzentriert sich „Leuchtturm 9“ auf die Bereiche Smart Cities, integrierte regionale Energiesysteme sowie „Break-Through“-Technologien. Im Rahmen der Leuchtturm-10-Projekte sollen Entwicklungen innovativer Technologien aus Österreich für intelligente, sichere und leistbare Energie- und Verkehrssysteme der Zukunft vorangetrieben werden. Ebenfalls zu erwähnen gilt es die Energieforschungs- und Innovationsstrategie des BMK. Insgesamt zeigt sich (siehe Abbildung 2), dass Österreich bei der Bereitstellung von F&E-Förderungen im internationalen Vergleich eine führende Rolle einnimmt und sowohl großzügige direkte als auch indirekte steuerliche Förderungen zur Verfügung stellt.

**Abbildung 2: Technology-Push – F&E-Förderungen in % des BIP**

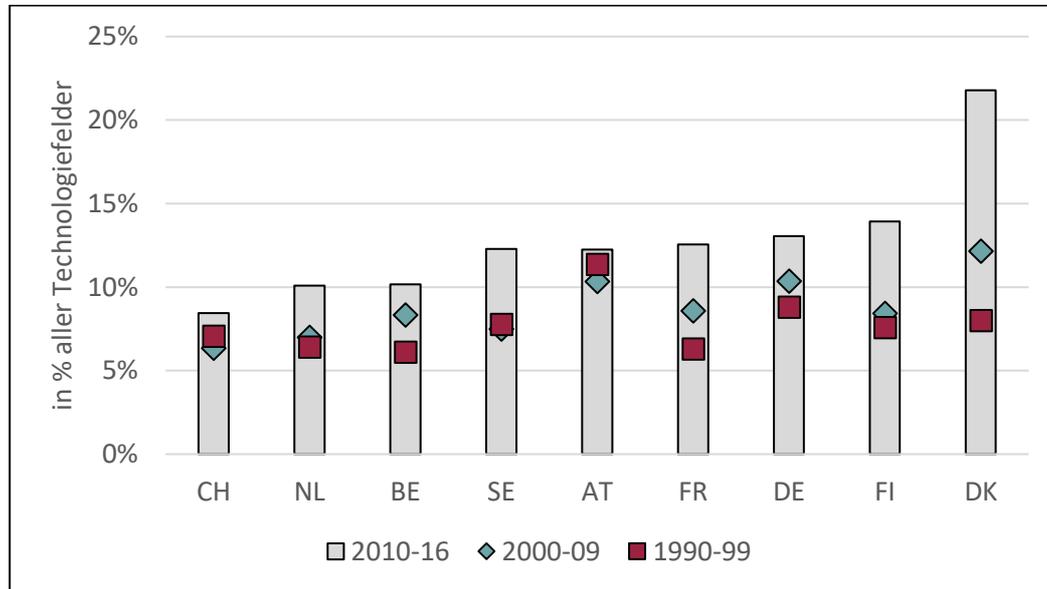


Quelle: OECD R&D Tax Incentive Database, <http://oe.cd/rdtax>, December 2019.

Das Bild ändert sich, wenn man den relativen Anteil der umweltbezogenen Technologieentwicklungen betrachtet (Abbildung 3). Hier ist auffällig, dass Österreich noch vor zwei Jahrzehnten beziehungsweise einem Jahrzehnt im Vergleich mit den innovationsführenden Ländern einen der höchsten Anteile an Entwicklungen in diesem Segment hatte. Dies trifft auf den Durchschnitt der aktuellsten Daten (2010–2016) nicht mehr zu, da Österreich seit zwei Jahrzehnten auf dem gleichen Niveau verharrt und somit seinen

Spezialisierungsvorteil bei den umweltbezogenen Technologieentwicklungen verloren hat.

**Abbildung 3: Umweltbezogene Technologieentwicklungen**



Quelle: OECD, Green Growth Indicators („Development of environment-related technologies, % of all technologies“). Die Daten stammen aus der weltweiten Patentdatenbank PATSTAT des Europäischen Patentamts und werden mittels von der OECD entwickelter Algorithmen erstellt. Um Patente in umweltbezogenen Technologien zu finden, wurden detaillierte Suchstrategien entwickelt, die auf mehr als 200.000 Klassifikations-symbole zurückgreifen. Die Suchstrategien umfassen ein breites Spektrum von Technologien im Zusammenhang mit Umweltverschmutzung, Wasserknappheit und Bekämpfung des Klimawandels.

Da, wie in Abschnitt 2.1 beschrieben, im Bereich der Wissensgenerierung ein Marktversagen vorliegt, lassen sich staatliche Eingriffe gut begründen. An diese Feststellung schließt sich naturgemäß die Frage, welchen gesellschaftlichen Nutzen „grüne“ F&E-Subventionen liefern können. Dies ist letztendlich eine empirische Frage, weshalb wir auch hier auf eine Auswahl kausal gut abgesicherter Studien eingehen wollen.

Dechezleprêtre et al. (2017) beginnen mit der Überlegung, dass eine zwischen Technologiebereichen differenzierte staatliche F&E-Politik politisch erwünscht ist, wenn bestimmte Fokussierungen zusätzliche nicht-ökonomische Vorteile wie Sicherheit, Gesundheit oder Prestige versprechen. Aus ökonomischer Sicht ist eine solche Fokussierung aber nur vorteilhaft, wenn das Ausmaß der positiven externen Effekte in den stärker geförderten Bereichen höher ist als in anderen Technologiebereichen. Innerhalb der Forschung und Entwicklung finden solche positiven externen Effekte meist als sogenannte Wissensspillover statt, welche sich als Zitate von Patenten äußern können. Die

Autoren verglichen das Ausmaß an Patentzertifizierungen von schmutzigen (d. h. CO<sub>2</sub>-produzierenden) und sauberen (CO<sub>2</sub>-vermeidenden) Technologien und stellten fest, dass saubere Technologien um bis zu 40 Prozent höhere Wissensspillover als schmutzige generieren und dadurch auch den Börsenwert der von diesen Effekten profitierenden Unternehmen erhöhen. Die Autoren liefern somit eine überzeugende ökonomische Argumentation, warum FTI-Politik eine aktive Lenkung von F&E in diese Technologiebereiche begünstigen sollten.

Popp und Newell (2012) finden ebenfalls Evidenz für einen hohen sozialen Nutzen von technologischen Entwicklungen im Bereich alternativer Energieträger auf Basis von Patentzertifizierungen. Die Autoren zeigen auch auf, dass eine Fokussierung auf diese Bereiche nur zu einer Verdrängung („crowding-out“) von F&E aus schmutzigen Technologiebereichen führt, jedoch sonst keine negativen Effekte aufweist.

## 5 Handlungsempfehlungen

Der Policy Mix aus nachfrage- und angebotsseitigen Interventionen lässt sich gut in ein klimapolitisch effektives Innovationssystem integrieren. Innerhalb eines solchen Systems agiert der Staat nicht nur, um Marktversagen zu beheben, sondern gestaltet auch aktiv Märkte, die Nachfrage und die Richtung des technologischen Wandels mit.

**„... the state has a role in not only fixing markets but also in co-creating and shaping them, ... successful innovation policy combines the need to set directions from above with the ability to enable bottom up experimentation and learning.“ (Mazzucato 2017, Seite 3)**

Der Klimawandel ist eine globale Herausforderung. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, in welchem Ausmaß Österreich, das direkt wenig Einfluss auf den Klimawandel hat, einen Beitrag leisten kann. Österreich muss dabei seine Klimaverpflichtungen im Rahmen von EU-Vorgaben einhalten. Aus ökonomischer Sicht ist es besser, diese Vorgaben nicht nur über nachfrageseitige Interventionen, sondern auch über die Förderung klimafreundlicher Technologien umzusetzen. Dabei hat sich gezeigt, dass Österreich in den letzten beiden Jahrzehnten seine führende Rolle in diesem Bereich verloren hat.

Für Österreich lassen sich daher folgende Handlungsempfehlungen ableiten.

- Bei bestehenden FTI-Förderungen sollte eine stärkere Fokussierung in Richtung CO<sub>2</sub>-neutraler und neuer Technologien, die zur Marktreife noch weitere Entwicklungsschritte benötigen, vorgenommen werden, damit Österreich im Bereich der umweltbezogenen Technologien international wieder zu den innovationsführenden Ländern aufschließen kann.

- Bei den Subventionen und F&E-Förderungen in klimaschädliche Technologien sollte ein konkreter Ausstiegsplan definiert werden. Aufgrund möglicher Ausweicheffekte (Carbon-Leakage) vor allem in Bereichen, wo es kaum CO<sub>2</sub>-neutrale Ausweichmöglichkeiten gibt, sollte der Ausstiegsplan flexibel genug ausgestaltet werden. Eine Möglichkeit, den Ausstieg zu beschleunigen, sind erweiterte „Technology-Push“-Maßnahmen wie klima- und energiespezifische F&E-Förderungen.
- Der Klimawandel erfordert eine Transformation im Wirtschafts- und Sozialsystem. Durch die Ausgestaltung des öffentlichen Beschaffungswesens, Nudging und entsprechende Förderungen kann die Akzeptanz, Nachfrage nach und Diffusion von klimafreundlichen Technologien unterstützt werden.

## 6 Literaturverzeichnis

Acemoglu, D. (2002): Directed Technical Change, *The Review of Economic Studies* 69(4): 781–809.

Acemoglu, D., Akcigit, U., Hanley, D. & Kerr, W. (2016): Transition to Clean Technology, *Journal of Political Economy* 124(1): 52–104.

Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L. & Hémous, D. (2012): The Environment and Directed Technical Change, *American Economic Review*, 102(1): 131–166.

Aghion, P., Dechezlepretre, A., Hémous, D., Martin, R. & Van Reenen, J. (2016): Carbon Taxes, Path Dependency, and Directed Technical Change: Evidence from the Auto Industry. *Journal of Political Economy*, Vol. 124 (1): 1–51.

Calel, R. & Dechezleprêtre, A. (2016): Environmental Policy and Directed Technological Change: Evidence from the European Carbon Market. *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 98(1): 173–191.

Dechezleprêtre, A., Martin, R. & Mohnen, M. (2017): Knowledge Spillovers from Clean and Dirty Technologies. Center for Climate Change Economics and Policy Working Paper No. 151.

Fagerberg, J. (2018): Mobilizing innovation for sustainability transitions: A comment on transformative innovation policy. *Research Policy* 47: 1568–1576.

Fischer, C. (2008): Emissions Pricing, Spillovers, and Public Investment in Environmentally Friendly Technologies. *Energy Economics*, 30(2): 487–502.

Foray, D., Mowery, D. C. & Nelson, R. R. (2012): Public R&D and social challenges: What lessons from mission R&D programs? *Research Policy* 41(10): 1697–1702.

Gillingham, K., Newell, R. G. & Palmer, K. (2009): „Energy Efficiency Economics and Policy“, manuscript prepared for the Annual Review of Resource Economics.

IPCC (2018): Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.

Jaffe, A. B., Newell, R. G. & Stavins, R. N. (2005): A Tale of two Market Failures: Technology and Environmental Policy. *Ecological Economics* 54(2–3): 164–174.

Johnstone, N. & Hascic, I. (2010): „Environmental Policy Design and the Fragmentation of International Markets for Innovation“, in: Ghosal, V.: *Reforming Rules and Regulations: Laws, Institutions, and Implementation*, MIT Press.

Kennedy, P. W. & Laplante, B. (2000): ‚Environmental Policy and Time Consistency: Emissions Taxes and Emissions Trading‘, in: Petrakis, E., Sartzetakis, E. & Xepapadeas, A. (Hg.): *Environmental Regulation and Market Power: Competition Time Consistency and International Trade*, Northampton, MA, Edward Elgar.

Lanoie, P., Laurent-Lucchetti, J., Johnstone, N. & Ambec, S. (2011): „Environmental Policy, Innovation and Performance: New Insights on the Porter Hypothesis“. *Journal of Economics & Management Strategy* 20(3): 803–842.

Mowery, D. C., Nelson, R. R. & Martin, B. R. (2010): Technology policy and global warming: why new policy models are needed (or why putting new wine in old bottles won’t work). *Res. Policy* (39): 1011–1023.

Martínez-Zarzoso, I., Bengochea-Morancho, A. and Morales-Lage, R. (2019): „Does environmental policy stringency foster innovation and productivity in OECD countries?“. *Energy Policy*, Volume 134.

Popp, D. & Newell, R. (2012): Where does energy R&D come from? Examining crowding out from energy R&D. *Energy Economics*, 34(4): 980–991.

Unruh, G. C. (2000): Understanding carbon lock-in. *Energy Policy* 28: 817–830.

Verde, S. F. (2020): The Impact of the EU Emissions Trading System on Competitiveness and Carbon Leakage: The Econometric Evidence. *Journal of Economic Surveys*, 34: 320–343.

Zhang, Z. (2012): Competitiveness and leakage concerns and border carbon adjustments. *International Review of Environmental and Resource Economics* 6(3): 225–287.