

Winkler, Ralph; Wlodarczak, Dominik

Working Paper

Eine effektive und effiziente (Schweizer) Klimapolitik: Warum wir sie unbedingt und schnell brauchen und die Angst vor den damit verbundenen Veränderungen unbegründet sind

Discussion Papers, No. 22-15

Provided in Cooperation with:

Department of Economics, University of Bern

Suggested Citation: Winkler, Ralph; Wlodarczak, Dominik (2022) : Eine effektive und effiziente (Schweizer) Klimapolitik: Warum wir sie unbedingt und schnell brauchen und die Angst vor den damit verbundenen Veränderungen unbegründet sind, Discussion Papers, No. 22-15, University of Bern, Department of Economics, Bern

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/278246>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



^b
**UNIVERSITÄT
BERN**

Faculty of Business, Economics
and Social Sciences

Department of Economics

**Eine effektive und effiziente (Schweizer)
Klimapolitik:**

Warum wir sie unbedingt und schnell brauchen und die Angst vor
den damit verbundenen Veränderungen unbegründet sind

Ralph Winkler, Dominik Włodarczak

22-15

November, 2022

DISCUSSION PAPERS

Schanzeneckstrasse 1
CH-3012 Bern, Switzerland
<http://www.vwi.unibe.ch>

Eine effektive und effiziente (Schweizer) Klimapolitik: Warum wir sie unbedingt und schnell brauchen und die Angst vor den damit verbundenen Veränderungen unbegründet ist

Ralph Winkler¹ und Dominik Wlodarczak²

¹Volkswirtschaftliches Institut und Oeschger-Zentrum für Klimaforschung, Universität Bern

²The Cement Transition Initiative (CTI)

30. November 2022

Executive Summary

Die wissenschaftliche Ausgangslage ist eindeutig: Der menschengemachte Klimawandel führt so lange zu einer Erhöhung der durchschnittlichen globalen Oberflächentemperatur bis globale Netto-Nullemissionen erreicht werden. Dies hat direkte klimapolitische Konsequenzen: (i) Die relevante Frage ist nicht ob, sondern bis wann die globale Wirtschaft klimaneutral wird. (ii) Klimaneutralität erfordert massiven technologischen Wandel in fast allen Sektoren der Weltwirtschaft, die derzeit noch in grossem Ausmass auf fossilen Produktionstechniken fusst. Um die globale Erwärmung, wie im Rahmen des Pariser Klimaabkommens anvisiert, auf 1.5 bis 2°C zu beschränken, verbleiben nur wenige Jahrzehnte, um die globale Wirtschaft zu dekarbonisieren.

Die dafür notwendige ambitionierte Klimapolitik trifft auch in der Schweizer Bevölkerung nach wie vor auf breiten Widerstand, wie die Ablehnung eines schärferen CO₂-Gesetzes in der Schweiz im Juni 2021 zeigte. Genährt wird die Skepsis durch Angst vor hohen wirtschaftlichen und sozialen Kosten, dem geringen Einfluss der Schweiz auf die globalen Treibhausgasemissionen sowie einer fehlenden Vorstellung, wie die Klimawende konkret zu schaffen sei. Zudem zeigen verhaltensökonomische Untersuchungen, dass tief verankerte Verhaltensmuster den Menschen dazu bewegen, kurzfristige Verluste höher zu gewichten als zukünftige Chancen. Dadurch wird die aktuelle Klimadebatte auf kurzfristige Kostenfolgen reduziert und blendet längerfristige Chancen komplett aus. Die aus dieser einseitigen und kurzfristigen Optik resultierende Politik schadet nicht nur dem Klima, sondern auch dem Wirtschaftsstandort Schweiz.

1) Technologischer Fortschritt wird systematisch unterschätzt

Zukunft entsteht nicht als lineare Fortschreibung der Vergangenheit, sondern in exponentiellen Diffusions- und Ablösungsverläufen. Diesem Muster folgt der technische Fortschritt seit der industriellen Revolution vor mehr als 250 Jahren. Getrieben wird er durch Innovation und günstige sozio-ökonomische Rahmenbedingungen. In Bereichen wie beispielsweise Elektromobilität oder Wärmepumpen befindet sich die Schweiz bereits auf einem exponentiellen Pfad. Durch den Wechsel auf einen exponentiellen Dekarbonisierungspfad wird Klimaneutralität bis 2050 machbar.

2) Klimaschutzmärkte schaffen Wohlstand

Entgegen der allgemeinen Wahrnehmung ist der stark wachsende Klimaschutzsektor nicht eine Kostenfalle, die Wohlstand und Arbeitsplätze gefährdet, sondern eine Investitionsoportunität in einen stark wachsenden Markt, der hohes Wirtschafts- und Beschäftigungspotenzial generiert. Obwohl auch der Schweizer Klimaschutzsektor stärker als die Volkswirtschaft insgesamt wächst,

bleibt die Schweiz hier im internationalen Vergleich zurück. Entgegen dem gängigen Narrativ ist es die Zurückhaltung beim Klimaschutz, welche den Wirtschaftsstandort und den Wohlstand in der Schweiz schwächt. Wenn die Schweiz keinen ambitionierten Klimaschutz verfolgt, überlässt sie diese Chancen dem Ausland.

3) Klimaschutz braucht wirksame Politikmassnahmen

Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen dem Wachstum der Klimaschutzmärkte und der Klimapolitik. Konkret haben zum Beispiel in der Schweiz das Gebäudeprogramm, strengere Mustervorschriften der Kantone für den Bau (MuKE) oder die CO₂-Abgabe das überdurchschnittliche Wachstum im Umweltsektor angetrieben. Trotz guter Startvoraussetzungen droht die Schweiz den Anschluss an die internationale Konkurrenz zu verlieren. Um die Chancen auf den entstehenden Klimaschutzmärkten zu nutzen und die Dekarbonisierung zu beschleunigen, braucht es weitere wirksame Politikmassnahmen, insbesondere bei der Förderung von Innovation und Verbreitung klimafreundlicher Technologien. Die Klimawende ist nicht nur eine technische Herausforderung, sondern vor allem eine Frage des gesellschaftspolitischen Willens.

1. Einführung

Ambitionierter Klimaschutz trifft in der Bevölkerung nach wie vor auf breiten Widerstand, wie die Ablehnung eines schärferen CO₂-Gesetzes in der Schweiz im Juni 2021 zeigte. Genährt wird die Skepsis durch Angst vor hohen wirtschaftlichen und sozialen Kosten, dem geringen Einfluss der Schweiz auf die globalen Treibhausgasemissionen sowie einer fehlenden Vorstellung wie die Klimawende konkret zu schaffen sei. Solche Bedenken sind jedoch unbegründet, denn die Weltwirtschaft befindet sich bereits inmitten der Transformation von einem fossilen zu einem klimafreundlichen Energie- und Produktionssystem. Dieser Strukturwandel generiert einen globalen Markt für Klimaschutztechnologie, der grosse Chancen für Wachstum, zusätzliche Beschäftigung und mehr Wohlstand bietet. Entgegen der weitverbreiteten Befürchtung schwächt ambitionierter Klimaschutz die Wirtschaft und Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz deshalb nicht, sondern hilft vielmehr, grosse Zukunftsmärkte zu erschliessen. Vorreiter haben diese Chancen erkannt und nutzen sie für sich. Trotz ihrer geringen Grösse kann die Schweiz mit ihrer Innovations- und Finanzkraft eine globale Rolle im Klimaschutz spielen: mit einer Vorreiterrolle in Klimaschutztechnologien beschleunigt die Schweiz nicht nur ihre eigene Dekarbonisierung, sondern durch Technologieexport auch die der restlichen Welt zum eigenen wirtschaftlichen Vorteil. Obwohl die inländischen Treibhausgasemissionen bisher nur leicht rückläufig sind, finden bereits umwälzende technische Entwicklungen statt, die mittelfristig zu einer beschleunigten Dekarbonisierung führen können und ambitionierte Klimaziele in Reichweite bringen.

Unsere Vorstellungen von Zukunft, auch was Klimaneutralität betrifft, basieren auf den heute bekannten Bedingungen. Dies führt regelmässig zur Unterschätzung zukünftiger Gestaltungsmöglichkeiten. Die Geschichte zeigt, dass die transformativen Kräfte des technischen Fortschritts, die wesentlich durch das ökonomische und politische Umfeld beeinflusst werden, völlig neue Voraussetzungen schaffen und Grenzen verschieben können. Nachfolgend zeigen wir auf, wie diese Kräfte bereits heute für den Klimaschutz wirken und wie sie durch eine ambitionierte und kluge Klimapolitik für eine wirtschaftlich und ökologisch erfolgreiche Klimawende auch in Zukunft genutzt werden können.

2. Ausgangslage

Menschliche Aktivitäten verursachen Treibhausgasemissionen, die wiederum den Strahlungsantrieb und damit den Klimawandel beschleunigen. Wie sich dieser erhöhte Strahlungsantrieb in steigende Oberflächentemperaturen übersetzt, hängt von vielen verschiedenen Wechselwirkungen ab, die auf unterschiedlichen Zeitskalen operieren. Aufgrund der Komplexität dieser Wechselwirkungen und ihrer zumindest teilweisen gegenseitigen Beeinflussung besteht nach wie vor eine gewisse physikalische Unsicherheit, wie sich Erhöhungen von Treibhausgaskonzentrationen in Veränderungen der durchschnittlichen globalen Oberflächentemperatur übersetzen.

Trotz dieser enormen Komplexität des Klimasystems der Erde ist der Anstieg der durchschnittlichen globalen Oberflächentemperatur in guter Näherung linear zur Menge der über die Zeit aggregierten Emissionen von CO₂ (dem mit Abstand wichtigsten Treibhausgas des menschengemachten Klimawandels). Dies kommt daher, dass die Temperaturerhöhung einer zu einem bestimmten Zeitpunkt ausgestossenen CO₂-Nettoemission näherungsweise durch eine Stufenfunktion beschrieben wird, das heisst die in die Atmosphäre entlassenen CO₂-Emissionen führen fast unmittelbar zu einer entsprechenden Temperaturerhöhung und diese bleibt auf einer Zeitskala von Jahrhunderten beinahe konstant (siehe Abbildung 1).

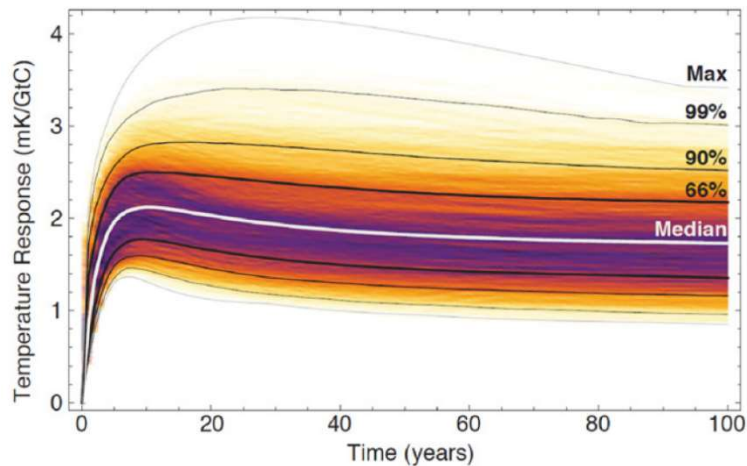


Abbildung 1: Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur durch eine Erhöhung der atmosphärischen CO₂-Konzentration von 1 GtC über die Zeit. Quelle: Ricke & Caldera (2014).

Im Mittel beträgt diese Temperaturerhöhung 2 tausendstel Grad pro GtC.¹ Allerdings zeigen die unterschiedlichen Bandbreiten in Abbildung 1 auch, dass es nach wie vor eine gewisse Unsicherheit über das Ausmass der entsprechenden Temperaturerhöhung gibt, was jedoch den grundsätzlichen Zusammenhang zwischen CO₂-Emissionen und globalem Durchschnittstemperaturanstieg nicht in Frage stellt (Ricke & Caldera, 2014).

Diese Erkenntnis ist die Grundlage des sogenannten Kohlenstoffbudgetansatzes (Meinshausen et al., 2009). Um die globale Erderwärmung auf einen bestimmten Wert zu beschränken, dürfen die seit 1870 in die Erdatmosphäre entlassenen globalen CO₂-Emissionen eine bestimmte Grenze nicht überschreiten. Zieht man von diesem Wert die bereits emittierten CO₂-Emissionen ab, erhält man das sogenannte CO₂-Budget: Also die Menge an CO₂, die man bis zur Erreichung von globalen Netto-Null Emissionen noch in die Atmosphäre entlassen darf. Von 1870 bis Ende 2019 wurden rund 2400 Milliarden Tonnen (Gt) CO₂ global emittiert, im gleichen Zeitraum hat sich die globale Durchschnittstemperatur um circa 1,1°C erhöht.

Das seit Anfang 2020 verbleibende weltweite Kohlenstoffbudget liegt für eine Eindämmung der Erwärmung unter 2°C bei circa 1350 GtCO₂ bzw. für das 1,5°C-Ziel bei ca. 500 GtCO₂ (IPCC, 2021). Tatsächlich können die entsprechenden Budgets mit Eintrittswahrscheinlichkeiten in Zusammenhang gebracht werden, welche die physikalischen Unsicherheiten des Klimasystems abbilden (siehe Tabelle 1).

	Eintrittswahrscheinlichkeit		
	33%	50%	67%
1,5°C-Ziel	650 GtCO ₂	500 GtCO ₂	400 GtCO ₂
1,7°C-Ziel	1050 GtCO ₂	850 GtCO ₂	700 GtCO ₂
2,0°C-Ziel	1700 GtCO ₂	1350 GtCO ₂	1150 GtCO ₂

Tabelle 1: Verbleibende Kohlenstoffbudgets in GtCO₂ für entsprechende Eintrittswahrscheinlichkeiten des 1,5°C und 2°C-Ziels ab Anfang 2020. Quelle: IPCC (2021)

Tabelle 1 ist wie folgt zu lesen: Ab Anfang 2020 verbleibt ein Kohlenstoffbudget von 850 GtCO₂, um mit 50%-iger Wahrscheinlichkeit die Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur auf maximal 1,7°C zu beschränken. Um das 1,7°C-Ziel sogar mit einer Wahrscheinlichkeit von 67% zu erreichen, verringert sich das Kohlenstoffbudget auf 700 GtCO₂. Derzeit werden pro Jahr weltweit ungefähr 40

¹ GtC steht für „gigaton of carbon“, also 1 Mrd. Tonnen Kohlenstoff. Das entspricht 3.67 Mrd. Tonnen CO₂.

GtCO₂ emittiert. Das heisst, von den Werten aus Tabelle 1 sind nochmals circa. 80 GtCO₂ abzuziehen, um das verbleibende Kohlenstoffbudget ab Anfang 2022 zu erhalten.

Der Kohlenstoffbudget-Ansatz zeigt sehr eindrücklich die Dringlichkeit einer Eindämmung des globalen Klimawandels. Bei derzeitigen Emissionsraten wird das Kohlenstoffbudget im Mittel bis ca. 2030 für das 1,5°C Ziel und für das 2°C Ziel bis ca. 2055 aufgebraucht sein. Darüber hinaus zeigt der Ansatz auch die mittelfristige Unausweichlichkeit der Reduktion der Nettoemissionen auf global Null. Die Oberflächentemperatur der Erde wird – unabhängig vom zu erreichenden Temperaturziel – weiter steigen, solange netto CO₂-Emissionen in die Atmosphäre entlassen werden. Die zu erwartende Temperaturerhöhung und damit auch die Auswirkungen des anthropogenen Klimawandels hängen in erster Linie davon ab, bis wann globale Netto-Nullemissionen erreicht worden sind und wie viel CO₂ bis dahin in die Atmosphäre emittiert worden ist. Der Kohlenstoffbudget-Ansatz verdeutlicht, dass eine rasche und vollständige Dekarbonisierung absolut zwingend ist, um den Klimawandel zu stoppen (Matthews & Caldera, 2008). Daher ist die einzige klimapolitisch relevante Frage, *nicht ob*, sondern *bis wann* weltweit Netto-Nullemissionen erreicht werden.

Die Notwendigkeit mittel- bis langfristiger globaler Netto-Nullemissionen bedeutet zwar nicht zwingend Netto-Nullemissionen jedes einzelnen Landes. Dies würde allerdings Länder voraussetzen, die derart grosse natürliche oder technologische CO₂-Senkenkapazitäten besitzen, dass sie diese nicht selbst ausschöpfen. Dies ist derzeit nicht zu beobachten. Zumindest bezüglich der natürlichen CO₂-Senken scheint dies auch langfristig unrealistisch, da deren Speicherkapazitäten begrenzt sind und wir derzeit eher den umgekehrten Trend beobachten: In terrestrischen Ökosystemen gebundenes CO₂ wird durch die Zerstörung dieser Systeme in die Atmosphäre entlassen (z.B. durch den Verlust tropischer Regenwälder).

Die Erderwärmung stellt ein globales Problem dar, welches die Weltgemeinschaft nur kollektiv bewältigen kann. Tatsächlich ist es der Weltgemeinschaft mit dem Pariser Abkommen von 2015 gelungen, einen globalen Konsens bezüglich des Temperaturziels zu finden: man hat sich verpflichtet, die globale Erwärmung deutlich unter 2°C zu halten und Anstrengungen zu unternehmen, die Temperaturerhöhung auf 1,5°C zu begrenzen. Allerdings sind die bisher versprochenen Emissionsreduktionen nicht ausreichend, um dieses Ziel zu erreichen. Mehr noch: viele Staaten bleiben regelmässig hinter den selbstgesteckten Reduktionszielen zurück (Climate Action Tracker, 2021).

Dieses globale Phänomen ist auch für die Schweiz zu beobachten: Zwar hat sich die Schweiz bereits 2019 das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2050 klimaneutral zu werden (d.h. Netto-Nullemissionen zu erreichen). Allerdings wurde das Zwischenziel für 2020, den Treibhausgasausstoss um 20% gegenüber den Emissionswerten von 1990 zu senken, mit lediglich 19% trotz der Coronapandemie und warmem Winter verfehlt (BAFU, 2022). Auch die Revision des CO₂-Gesetzes, welches die Voraussetzungen schaffen sollte, die Schweizer Klimaziele für 2030 zu erreichen, wurde vom Stimmvolk an der Urne beerdigt. Nachwahlbefragungen zeigen, dass sich ein grosser Teil der Bevölkerung um die auf sie zukommenden Kosten eines stärkeren Klimaschutzes sorgen (GFS, 2021). Diese Sorge hat zwei Dimensionen: Effektiver Klimaschutz, der mit den Zielen des Pariser Abkommens konform ist, (i) gefährdet Wohlstand und zukünftiges ökonomisches Wachstum, und (ii) ist sozial ungerecht, da er niedrige und mittlere Einkommensschichten deutlich härter trifft (Rothenberger & Wüstenhagen 2021). Verhaltensökonomische Untersuchungen zeigen zudem, dass tief verankerte psychologische Verhaltensmuster den Menschen dazu bewegen, die persönlichen Kosten stark zu überschätzen und zukünftige Gewinnchancen stark zu unterschätzen (Douenne & Fabre, 2022; Mildemberger et al., 2022). Genau diese Verlustaversion prägt die negativ besetzte Klimadebatte.

Klimaschutz bewegt sich somit im Spannungsfeld zwischen der Notwendigkeit die Treibhausgasemissionen auf Netto-Null zu senken und der Anforderung, dies auf sozialverträgliche Weise zu

erreichen. Eine weit verbreitete Meinung sieht darin unvereinbare Gegensätze und leitet daraus Zurückhaltung beim Klimaschutz ab. Wie wir nachfolgend aufzeigen werden, ist aber genau das Gegenteil der Fall: ambitionierter Klimaschutz eröffnet uns neue Wachstumsmöglichkeiten, schafft in der Summe neue Arbeitsplätze und mehr Wohlstand.

3. Zukunftsmarkt Klimaschutz

Wie bereits anhand des Kohlenstoffbudgets dargelegt, sind Netto-Nullemissionen mittelfristig in allen Ländern unausweichlich, um die globale Erwärmung zu stoppen. Dies impliziert höchstwahrscheinlich einen weitreichenden Ausstieg aus fossilen Energie- und Produktionstechnologien.² Dies kann nur durch einen strukturellen und technologischen Wandel in praktisch allen Sektoren der Weltwirtschaft erreicht werden. Viele Menschen fürchten, dass diese gewaltige Aufgabe in den nächsten 20–30 Jahren nicht zu bewerkstelligen ist und wenn doch, dann nur unter erheblichen Wohlstandseinbußen. Diese Überzeugung wird auch vermeintlich durch die Erfahrung gestützt, dass sich in den letzten 30 Jahren bezüglich der Klimawende wenig getan hat. Zwar haben es einige reiche Industrienationen inzwischen geschafft, ihre Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 leicht zu senken, jedoch sind die globalen Treibhausgasemissionen in den letzten 30 Jahren, vor allem durch das wirtschaftliche Wachstum (ehemaliger) Schwellenländer – allen voran China –, um ca. 50% gestiegen (Ritchie et al., 2020).

Die technologische Zukunft ist jedoch keine lineare Fortschreibung der Vergangenheit. Vielmehr geschieht sie in diskontinuierlichen Innovationssprüngen (z.B. durch die Entdeckung bzw. Erfindung gänzlich neuer Technologien und Prozesse) und exponentiellen Diffusions- und Ablösungsverläufen. Getrieben werden sie zum einen durch Erfindergeist und Innovationskraft, die im Gegensatz zu materiellen Ressourcen unerschöpflich sind, und zum anderen durch das sozio-ökonomische Umfeld, welches die Entstehung und Diffusion bestimmter Technologien entweder befördert oder ausbremst. Tatsächlich ist der Technologiewandel bereits in vollem Gange: Erneuerbare Energien wie Wasser, Sonne und Wind ersetzen zunehmend fossile Brennstoffe in der Stromerzeugung. Öl- und Gasheizungen werden durch Wärmepumpen ersetzt. Auch die Elektromobilität ist auf dem Vormarsch. Trotzdem scheint es vielen Menschen unrealistisch, ohne massive Einbußen von Lebensqualität und Wohlstand, globale Netto-Nullemissionen bis 2050 zu erreichen. Solche Befürchtungen entstehen jedoch, indem wir uns eine nichtlineare Zukunft als lineare Fortsetzung der Gegenwart vorstellen.

3.1. Exponentielle Technologieablösung: Ein illustratives Beispiel

Wie die Coronapandemie eindrücklich zeigt, fällt es uns grundsätzlich schwer, exponentielle Zusammenhänge intuitiv zu erfassen. Wir möchten dies an folgendem Beispiel verdeutlichen: Stellen wir uns eine Stadt vor, in der es an Tag 1 ein Hausdach gibt, auf der eine Photovoltaikanalage (PVA) installiert ist. Pro Tag verdoppelt sich die Anzahl der Hausdächer mit PVAs: An Tag 2 gibt es zwei PVAs, an Tag 3 schon vier, an Tag 4 acht usw. Das heißt, die Ablösung der alten Energietechnologie durch Sonnenenergie folgt einem exponentiellen Verlauf. Wenn nun an Tag 29 die Hälfte der Dächer der Stadt mit PVAs bestückt ist, an welchem Tag haben alle Dächer der Stadt eine PVA? Diese Denksportaufgabe ist sehr bekannt und kursiert in vielen verschiedenen Varianten. Die Antwort ist selbstverständlich an Tag 30, da sich die PVAs jeden Tag verdoppeln. Viel aufschlussreicher sind jedoch die Antworten auf folgende Fragen: Wieviel Prozent der Hausdächer hat eine PVA an Tag 20 bzw. Tag 25? Bevor man die richtigen Ergebnisse errechnet, kann man versuchen diese zu schätzen. Dabei zeigt sich, dass die meisten von uns den Anteil an PVAs an Tag 20 und 25 massiv überschätzen. Die richtigen Antworten sind 0,1% an Tag 20 und 3,1% an Tag 25.

² Prinzipiell ist zwar eine technologische CO₂-Abscheidung und Speicherung möglich (Carbon Capture and Sequestration: CCS), diese ist derzeit jedoch noch wenig rentabel gegenüber alternativen Energieträgern.

Was heisst das nun für die globale Klimawende? Wenn der Anteil von Hausdächern mit PVAs den Marktanteil der erneuerbaren Produktions- und Energietechnologien darstellt, dann dauert die vollständige Technologieablösung in unserem Beispiel 30 Tage. Allerdings liegt der Marktanteil dieser Technologien an Tag 20 nur bei rund 0,1%. Das heisst zwei Drittel der gesamten Ablösungszeitspanne sind bereits vorüber und man sieht: Nichts! Auch an Tag 25 liegt der Marktanteil bei mageren 3,1%. Wenn man diese Entwicklung von Tag 1 bis Tag 25 beobachtet und man nach 25 Tagen bei ungefähr 3% Marktanteil steht, kann man sich in der Tat sehr schwer vorstellen, dass bereits an Tag 30 die alte Technologie vollkommen verdrängt worden sein wird.

3.2. Exponentielle Technologieablösung: Empirische Evidenz

Gibt es empirische Evidenzen, dass sich erneuerbare Energietechniken tatsächlich wie oben beschrieben gegen etablierte fossile Energietechniken durchsetzen? Wir wollen dies exemplarisch an zwei Beispielen aus dem Gebäude- und Verkehrssektor illustrieren.

Gemäss den Daten des Bundesamtes für Energie (BFE, 2020) betrug in der Schweiz die Fläche in privaten Haushalten, welche von Wärmepumpen bzw. Solarthermieanlagen beheizt wird, im Jahr 2000 3,51% bzw. 0,1%. Dieser Anteil stieg auf 9,05% bzw. 0,22% im Jahr 2010 und schliesslich auf 18,34% bzw. 0,51% im Jahr 2020. Über die Zeit sehen wir eine beinahe exakt exponentielle Zunahme der beheizten Flächen (siehe Abbildung 2, links).³ Auch die Elektromobilität erfreut sich starker Wachstumsraten. Im Jahr 2010 waren von allen neu immatrikulierten Personenwagen in der Schweiz nur 0,07% reine Elektroautos, zählt man Hybridantriebe mit, waren es 1,5%. Im Jahr 2015 waren es schon 1,2% bzw. 3,9% und im Jahr 2020 betrug ihr Anteil 8,2% bzw. 28,9% (BfS, 2021). Auch die Zahl der neuimmatrikulierten Personenwagen mit Elektro- bzw. Hybridantrieb in der Schweiz zwischen 2010 und 2020 folgt in sehr guter Näherung einem exponentiellen Verlauf (siehe Abbildung 2, rechts).⁴

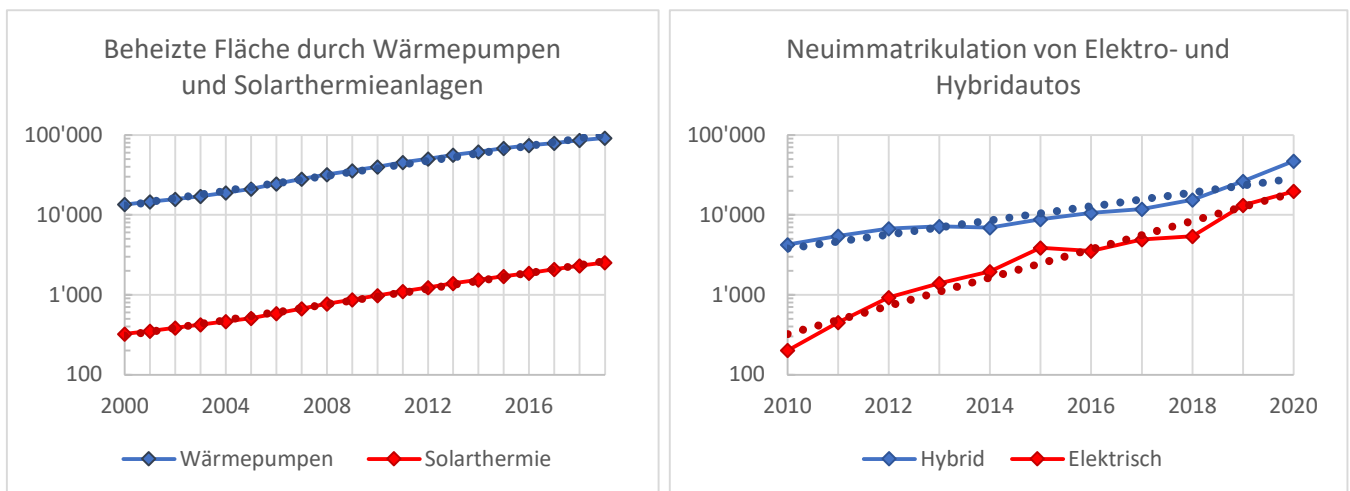


Abbildung 2: Neumatrikulationen von Elektro- und Hybridautos in der Schweiz (links) und durch Wärmepumpen und Solarthermieanlagen beheizte Fläche in privaten Haushalten in tausend m² in der Schweiz.

Die exponentielle Verbreitung neuer Technologien ist nicht die Ausnahme sondern die Norm, auch für Klimaschutztechnologien. Diesen Zusammenhang zeigen umfangreiche Untersuchungen über die Verbreitung neuer Technologien während der letzten 200 Jahre (Azhar, 2021).

³ Die Daten sind auf einer logarithmischen Skala aufgetragen. Ein in der Abbildung linearer Trend stellt daher einen exponentiellen Ablösungsverlauf dar.

⁴ Natürlich sind sowohl Wärmepumpen als auch Elektroautos nur dann klimaneutral, wenn die Energie zur Herstellung und Betreibung aus klimaneutralen Quellen stammt.

3.3. Gründe für nichtlineare Ablösungsverläufe und die Rolle der Politik

Die Ursache für das starke Wachstum des Umweltschutz- und insbesondere des Klimaschutzsektors liegen, wie bereits angesprochenen, in den oftmals exponentiellen Ablösungsverläufen von Technologien, die primär durch eine starke Kostendegression getrieben wird. So nehmen sowohl die Herstellungskosten von Solarzellen und Windkraftanlagen (IRENA, 2022) als auch von Batterien für Elektroautos exponentiell ab (Goldie-Scot, 2019). Zusätzlich erschweren sogenannte Diffusionshindernisse die Durchsetzung einer neuen Technologie in der Anfangsphase (siehe Abschnitt 4).

Die Kostenreduktionen selbst entstehen durch die Kombination mehrerer Effekte: Zum einen gibt es oftmals positive Skaleneffekte in der Produktion: je grösser der Marktanteil einer Technologie und daher die Stückzahlen, in denen sie produziert wird, desto geringer sind die Herstellungskosten. Zum anderen kann gezielte Investition in Forschung & Entwicklung zu Effizienzgewinnen und Kostenreduktion führen. Auch hier lohnen sich Investitionen umso mehr, je grösser der Marktanteil der Technologie ist.

Es ist wichtig zu verstehen, dass Effizienzsteigerungen und Kostenreduktionen neuer Technologien nicht vorgegebenen Pfaden folgen. Wie sich diese entwickeln, hängt massgeblich davon ab, wie attraktiv es ist, in diese zu investieren, d.h. die ökonomischen und politischen Rahmenbedingungen spielen eine grosse Rolle. Tatsächlich haben auch die oben aufgeführten Beispiele nicht-fossiler Energietechnologien von unterschiedlichen Politikinterventionen profitiert: Die Elektromobilität wurde (und wird) in der EU zum einen durch die CO₂-Grenzwerte für den Flottenverbrauch als auch in vielen EU-Ländern durch direkte staatliche Subventionen beim Kauf von Elektrofahrzeugen gefördert. Und die CO₂-Abgabe in der Schweiz verteuert die Brennstoffkosten fossiler Heizungssysteme, wie Öl- und Gasheizungen, und macht dadurch Wärmepumpen und Solarthermieanlagen attraktiver. Wie die genannten und zahlreiche weitere Beispiele zeigen, ist der Wechsel auf einen exponentiellen Dekarbonisierungspfad vielerorts bereits Realität und damit wird auch die Klimawende machbar. Griffige Politikmassnahmen bilden aber eine zentrale Voraussetzung, damit sich solch exponentielle Dynamiken neu einstellen und erhalten können. Im Abschnitt 4 werden wir darauf eingehen.

3.4. Wachstumsmarkt Klimaschutz

Da die Weltwirtschaft derzeit noch in grossem Masse auf fossilen Energie- und Produktionstechnologien fusst, entstehen durch Klimaschutz eine Vielzahl neuer und schnell wachsender Zukunftsmärkte, wie soeben am Beispiel der Elektromobilität und der Gebäudewärme illustriert. Weitere Beispiele betreffen CO₂-Abscheidung, Logistik und Speicherung, oder Negativemissionstechnologien für Prozesse zur Verarbeitung von CO₂ in Brennstoffen und Basischemikalien, Pyrolyse, synthetische Treibstoffe, Technologien mit geschlossenen Kohlenstoffkreisläufen und vieles mehr. Daneben treibt Klimaschutz auch die weitere Entwicklung bestehender Technologien wie Energie- und Materialeffizienz oder Kreislaufwirtschaft voran. Ferner entstehen Wachstumsimpulse durch die stärkere Verbreitung und Penetration bestehender Lösungen wie die bessere Isolation des Gebäudeparks, Wärmepumpen und andere.

Zahlreiche Untersuchungen beschreiben die grosse Dynamik des Klimaschutzmarktes sowie das riesige zukünftige Wachstums- und Beschäftigungspotential. Eine Studie von Capgemini (2020) erwartet beispielsweise, dass allein in der EU die Dekarbonisierung in den Schlüsselsektoren Energie, Gebäude, Mobilität, Ernährung/Landwirtschaft und Industrie bis 2030 ein Marktpotenzial von 12,7 Mio. neuer Arbeitsplätze und 790 Mrd. EUR Wertschöpfung besitzt. Auch in der Schweiz wächst der Umweltsektor stärker als die Volkswirtschaft insgesamt. Zwischen 2000 und 2019 ist die Wirtschaftsleistung (Wertschöpfung) des Umweltmarktes kumuliert um 95% gestiegen (oder 40% über dem Durchschnitt)

und die Beschäftigung um 87% (oder 60% über dem Durchschnitt). Im Jahr 2018 erreichte der Schweizer Umweltsektor eine ähnliche Grösse wie die Pharmaindustrie mit einer Wertschöpfung von 30.8 Mrd. CHF und 211 Tausend Arbeitsplätzen (Vollzeitäquivalente) was einem Anteil von 4,5% des Schweizer BIP bzw. 5,2% der Schweizer Beschäftigten entspricht (INFRAS, 2020). Dieses überdurchschnittliche Wachstum ist weiterer Ausdruck der vorher beschriebenen exponentiellen Dynamik im Umwelt- und Klimaschutz.

Tatsächlich steht die Schweiz im Umweltbereich Stand heute im internationalen Vergleich in einigen Sektoren sehr gut da, zum Beispiel durch eine weitgehend CO₂-neutrale Stromproduktion, ein leistungsfähiges Bahnsystem insbesondere beim Güterverkehr und eine hoch entwickelte Abfallwirtschaft. Diese Erfolge beruhen auf Investitionen, welche die Schweiz in der Vergangenheit geleistet hat. Auch wenn dadurch kurzfristige Mehrkosten für Wirtschaft und Konsumenten entstanden sind, verursachte das keine gesamtwirtschaftlichen Einbussen bei Wachstum, Wettbewerbsfähigkeit und Wohlstand. Im Gegenteil, diese Investitionen haben die Markt- und Wettbewerbsposition der Schweiz gestärkt und neue Wachstumschancen eröffnet. Beim Klimaschutz verhält es sich ähnlich: viele Massnahmen und die damit verbundenen Kosten haben Investitionscharakter die in Zukunft gesellschaftliche und wirtschaftliche Dividenden in der Form von zusätzlicher Beschäftigung und Wohlstand abwerfen werden.

Die Schweiz besitzt eine Reihe von Stärken, die gute Voraussetzungen für eine führende Rolle im wachsenden Klimaschutzmarkt böten, wie zum Beispiel eine gut ausgebildete Dienstleistungs- und Innovationssektor sowie eine starke Finanzindustrie. Bereits heute ist die Schweiz in zahlreichen Zukunftstechnologien weltweit führend. Einige Beispiele:

- Mit Hydrosponder hat die Schweiz im Bereich Wasserstoffmobilität im Last- und Langstreckenverkehr ein weltweit einzigartiges Wasserstoff-Ökosystem aufgebaut (H₂-Produktion, Tankstellennetz, Fahrzeuge).
- Climeworks ist weltweit führend im Bereich Direct Air Capture und negative Emissionstechnologien.
- Synhelion hat eine Spitzentechnologie entwickelt, die aus Wasser, CO₂ und Sonnenwärme einen sauberen Brennstoff herstellt.

Nicht nur im Bereich der Spitzentechnologie bietet der Klimaschutz wirtschaftliche Chancen für die Schweiz. Gemäss Hälgi et al. (2021) kann der beschleunigte Ausbau der erneuerbaren Energien sowie der Energieeffizienz im Zeitraum von 2021 bis 2035 eine zusätzliche Wertschöpfung von 77–144 Mrd. CHF generieren sowie 51'000–87'000 neue Arbeitsplätze schaffen, ein Grossteil in der energetischen Sanierung von Gebäuden. Durch Multiplikationseffekte entsteht weiteres Wachstum bei vor- und nachgelagerten Produkten und Dienstleistungen, welches in den genannten Zahlen nicht enthalten ist.

Trotz ihrer guten Startvoraussetzungen im Umweltschutzsektor droht die Schweiz derzeit den Anschluss an die internationale Konkurrenz zu verlieren. Gemäss INFRAS (2020) ist die Wertschöpfung des Umweltschutzsektors in der Schweiz zwischen 2008 und 2016 um 40% gewachsen, international legte der Sektor jedoch um 120% zu. Dies zeigt sich auch in anderen Kennzahlen: während die Schweiz in globalen Innovationsindizes zuverlässig eine Spitzenposition einnimmt, belegt sie mit ihrem Innovationspotenzial im Umweltschutzsektor «nur» eine Position im vorderen Mittelfeld. Auch in Bezug auf Patentanmeldungen hinkt die Schweiz im Umweltschutzsektor anderen Ländern hinterher. INFRAS (2020) resümiert: «Im Vergleich zu anderen Technologiefeldern (z.B. Biotechnologie oder Pharmaindustrie) leistet das Land [die Schweiz] entsprechend einen deutlich geringeren Beitrag zu globalen Cleantech-Innovationen.» Dies zeigen auch andere Studien (Lombard Odier, 2021; BAFU, 2021).

Aus Angst vor hohen sozialen und wirtschaftlichen Kosten, steht die Schweiz im Vergleich zu anderen Industrienationen beim Klimaschutz auf der Bremse und verfehlt ihre Minderungsziele. Wie die beschriebenen Zusammenhänge verdeutlichen, ist es aber genau diese Zurückhaltung, welche der Schweizer Wirtschaft und Wettbewerbsposition schadet. Sie führt dazu, dass die Schweiz ihre Stärken und die genannten Chancen in den Klimaschutzmärkten verspielt und anderen Nationen das Feld überlässt. Das unterschiedlich starke Wachstum des Umweltschutzsektors in einzelnen Ländern ist auf entsprechende politische Rahmenbedingungen zurückzuführen. Andere Länder verfolgen eine gezielte Industriepolitik, mit der sie die Potentiale des Umwelt- und Klimaschutzsektors für sich erschliessen. Beispielsweise positioniert sich Norwegen mit «Northern Lights» als CO₂-Speicher Europas, indem es erschöpfte Ölfelder in der Nordsee zur geologischen Endlagerung von abgeschiedenem CO₂ bereitstellt (IEA, 2021). Als Land ohne Rohstoffe hat Holland die Kreislaufwirtschaft zu einem Schwerpunkt seiner nationalen Wirtschaftspolitik gemacht und versorgt sich, indem in ganz Europa Abfälle gesammelt und zu Sekundärrohstoffen aufbereitet werden (MIE, 2016). Japan und China arbeiten am Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft, Deutschland hat eine ähnliche Strategie beschlossen (Hedreen, 2022).

Vor diesem Hintergrund ist eine Kurskorrektur dringend angebracht, wonach Klimapolitik auch als Politik für mehr Beschäftigung und Wohlstand zu verstehen und zu verfolgen ist. Wie die Erfahrungen aus anderen Ländern zeigen, lassen sich die Chancen in den Klimaschutzmärkten nur über ambitionierten Klimaschutz erschliessen. Im nachfolgenden Abschnitt gehen wir darauf ein.

4. Eckpfeiler einer effektiven (Schweizer) Klimapolitik

Die Entwicklung und Anwendung klimafreundlicher Technologien war in der Vergangenheit kein gesellschaftspolitisches Ziel. Innovationen und Anreize für deren Praxisanwendung wurden nicht gezielt gefördert, weshalb Fortschritte beim Klimaschutz bescheiden blieben. Das Umfeld hat sich inzwischen aber grundlegend verändert. Das Interesse an und die Entwicklung von CO₂-armen Technologien nimmt weltweit explosionsartig zu. Ferner haben viele Staaten, wie zum Beispiel die EU, den Klimaschutz weit oben auf die politische Agenda gesetzt und schaffen dadurch die erforderlichen Rahmenbedingungen und Anreize, um die Dekarbonisierung voranzubringen (EC, 2021). Diese Entwicklungen eröffnen neue Möglichkeiten, den Klimawandel wirksam zu bekämpfen und die exponentielle Dynamik der Dekarbonisierung zu schaffen. Allerdings sind diese Bestrebungen noch jung und brauchen Zeit, ihre Wirkung zu entfalten. Um diesen ermutigenden Fortschritten zum Durchbruch zu verhelfen, braucht es eine entschlossene Klimapolitik. Sie kann Grenzen verschieben und ganz neue Voraussetzungen schaffen, wie die bereits etwas älteren Beispiele der Solar- und Windenergie zeigen.⁵ Die Klimawende ist daher nicht primär eine technische Herausforderung, sondern eine Frage des gesellschaftspolitischen Willens.

Aufbauend auf den bisherigen Erläuterungen muss sich eine wirksame Klimapolitik darauf konzentrieren, einerseits den exponentiellen technischen Fortschritt zu stärken und andererseits die Chancen auf den sich herausbildenden Klimaschutzmärkten zu erschliessen. Konkret ergeben sich daraus politische Schwerpunkte bei der Entwicklung klimafreundlicher Technologien (Innovationsförderung) und deren Anwendung in der Praxis (Diffusionsförderung).

4.1. Förderung von klimafreundlichen Technologien

Aus ökonomisch-theoretischer Sicht handelt es sich bei der Bekämpfung des anthropogenen Klimawandels um ein klassisches „öffentliches-Gut-Problem“: die Vermeidung jeder Tonne CO₂ kommt nicht nur denen zugute, die sie vermeiden, sondern der gesamten Welt, da die Erderwärmung – gemäss des Kohlenstoffbudgetansatzes – nur vom kumulierten globalen Gesamtausstoss von Treib-

⁵ Gemäss Kost et al. (2018) hatte in Deutschland im Jahr 2018 die Stromerzeugung aus Photovoltaik- und Onshore-Windanlagen die geringsten Stromgestehungskosten unter allen verwendeten stromerzeugenden Technologien.

hausgasen abhängt und nicht von dessen räumlicher und zeitlicher Verteilung. Da man für diesen positiven externen Effekt, den die eigene Vermeidung auf alle anderen ausübt, nicht entsprechend entlohnt wird, erscheint aus individueller Perspektive die Vermeidung von Treibhausgasen deutlich unattraktiver als aus globalgesellschaftlicher Sicht. Als Folge davon werden zu wenig Treibhausgase – im Vergleich zum globalen gesellschaftlichen Optimum – vermieden, bzw. zu viel Treibhausgase emittiert. Eine Möglichkeit, dieses Marktversagen zu internalisieren, ist die Emission von Treibhausgasen entsprechend zu verteuern, so dass die Grenzkosten der Nutzung auch die gesellschaftlichen Grenzkosten beinhalten. Die wichtigsten Politikinstrumente sind hierbei Lenkungsabgaben und Zertifikatmärkte.

Bei der Lenkungsabgabe wird pro Tonne CO₂ eine staatliche Abgabe, ähnlich einer Steuer, erhoben. Die von der Lenkungsabgabe betroffenen Marktakteure müssen für jede Tonne CO₂, die sie emittieren, einen bestimmten Betrag an den Staat zahlen. Dies verteuert die Produktion bzw. den Konsum von CO₂-intensiven Produkten und Dienstleistungen und führt dazu, dass Produzentinnen und Konsumenten weniger CO₂ emittieren: Entweder steigen sie auf weniger CO₂-intensive Produkte um oder passen ihre Produktionsprozesse an, um weniger CO₂-intensiv zu produzieren. In der Schweiz gibt es eine CO₂-Lenkungsabgabe auf Brennstoffe. Diese beträgt seit Januar 2022 120 Franken pro Tonne CO₂. Dadurch verteuert sich der Liter Heizöl um rund 30 Rappen (BAFU, 2020).

Beim Emissionshandel gibt der Staat eine bestimmte Menge an Zertifikaten aus, die zu einer entsprechenden Menge CO₂ Emissionen berechtigen. Die über den Zertifikatmarkt regulierten Marktakteure müssen für jede emittierte Tonne CO₂ ein entsprechendes Zertifikat abgeben. Die Zertifikate können unter den Marktakteuren auf einem sogenannten «Sekundärmarkt» frei gehandelt werden. Der Preis der Zertifikate auf diesem Markt entspricht den zusätzlichen Kosten, die ein Marktakteur durch die Regulierung hat. Ähnlich wie bei der Lenkungsabgabe führt dies dazu, dass entweder weniger CO₂-intensive Produkte konsumiert/produziert werden oder die Produktion entsprechend CO₂-effizienter wird. Die Schweiz betreibt einen Emissionshandel für grosse Emittenten. Seit Januar 2020 ist das Schweizer mit dem Europäischen Emissionshandelssystem gekoppelt. Das heisst, die Zertifikate aus beiden Handelssystemen werden äquivalent anerkannt.

Beide marktwirtschaftlichen Instrumente erhöhen die Kosten für die Emission von CO₂. Entsprechend gibt es Anreize, weniger Treibhausgase zu emittieren. Es lohnt sich also in ein CO₂-neutrales Heizungssystem (wie z.B. eine Wärmepumpe) zu investieren, um sich die CO₂-Abgabe auf Heizöl oder Erdgas zu sparen. Darüber hinaus werden die CO₂-Reduktionen dort realisiert, wo sie mit geringsten Kosten verbunden sind: Jeder Konsument und jede Produzentin steht bei jeder Einheit CO₂ vor der Frage, ob es besser ist, diese zu emittieren und den jeweiligen Preis in Höhe der Abgabe oder des Zertifikats zu bezahlen, oder die entsprechende Einheit zu vermeiden. Immer dann, wenn vermeiden kostengünstiger ist als emittieren, ist dies aus individueller Sicht ökonomisch sinnvoll. Daher gilt: Je höher der Preis der Emissionen, desto mehr Emissionen werden eingespart.

Bei der Lenkungsabgabe wird dieser Preis für die Mehrkosten direkt durch die Höhe der CO₂-Abgabe vorgegeben. Allerdings ist a priori nicht klar, wie gross der Rückgang der CO₂-Emissionen sein wird, da dies von den Verhaltensänderungen der Marktakteure abhängt. Beim Zertifikatmarkt ist es genau umgekehrt: Der Staat legt mit der Anzahl der ausgegebenen Zertifikate die Höhe der erlaubten CO₂-Emissionen fest. Der Preis der Zertifikate hängt dann von der Nachfrage der Marktakteure nach diesen Zertifikaten ab.

Die soeben erläuterte Bepreisung von Treibhausgasemissionen setzt auch Innovationsanreize für alternative Energietechnologien: je teurer fossile Energietechnologien werden, desto mehr Geld kann man mit günstigen Alternativen verdienen. Die positive Wirkung von CO₂-Bepreisung auf Innovation und die wirtschaftliche Entwicklung belegen auch Studien der Weltbank (World Bank, 2021). Allerdings

leiden auch Innovationen unter der schon oben erwähnten öffentlichen-Guts-Problematik: im Allgemeinen kann der Erfinder einer neuen Technologie nicht den gesamten Wohlfahrtsgewinn dieser Innovation abschöpfen, die gesellschaftliche Rendite liegt über der privaten Rendite (Romer 1990), daher sind die privatwirtschaftlichen Anreize für Innovationen zu gering. Auch hier ist – zumindest theoretisch – eine Internalisierung über den Preismechanismus möglich, indem, zum Beispiel, Innovationen durch Subventionen gefördert werden.

Wachstumstheoretische Modelle zur Ablösung von fossilen durch regenerative Energietechnologien im Rahmen der Bekämpfung des anthropogenen Klimawandels zeigen daher auch klar, dass selbst in einer Welt perfekt kompetitiver Märkte eine effiziente Politikintervention aus zwei Komponenten besteht: zum einen aus der Bepreisung von Treibhausgasemissionen und zum anderen aus der Förderung/Subvention erneuerbarer Energie- und Produktionstechnologien (z.B. Acemoglu et al., 2012, 2016). Dabei ist eine Bepreisung von Treibhausgasen nur solange nötig, bis die regenerativen die fossilen Technologien vollständig verdrängt haben.

Allerdings ist in der Praxis das Bepreisen von Treibhausgasen deutlich einfacher zu bewerkstelligen als die Subvention von Innovationen. Dies liegt daran, dass die Emissionen von Treibhausgasen relativ einfach zu erheben und folglich auch zu bepreisen sind. Aufgrund gut verstandener chemischer Prozesse weiss man genau, wieviel CO₂-Emissionen zum Beispiel durch die Verbrennung eines Liters Heizöl entstehen. Folglich kann man eine CO₂-Abgabe direkt beim Kauf des Heizöls erheben. Bei der Förderung alternativer Energietechnologien sieht man sich unterschiedlichen Problemen gegenüber. Zum einen ist a priori unklar, welche der bereits verfügbaren alternativen Technologien das grösste Effizienzpotenzial hat. Durch eine gezielte Förderung einer Auswahl an Technologien wird der entsprechende Technologiewettbewerb verzerrt. Dies führt unter Umständen dazu, dass Technologien, die auf lange Sicht effizienter gewesen wären, nicht oder verzögert zur Marktreife gelangen, da deren direkte Konkurrenten anfangs vielversprechender aussahen und entsprechend gefördert wurden. Zum anderen kann gezielte Technologieförderung aber auch das Entstehen von neuen und noch effizienteren Technologien verhindern, da Forschung und Entwicklung verstärkt in geförderte Technologien fließen.

Um eine starke Wettbewerbsposition in Zukunftsmärkten wie dem Klimaschutz aufzubauen und langfristig zu verteidigen, ist eine gezielte Innovationsförderung – trotz praktischer Umsetzungsprobleme – wichtig und notwendig. Diese kann sehr unterschiedliche Formen annehmen. Gerade in der Anfangsphase sind neue Technologien oft nicht wettbewerbsfähig und ihre Weiterentwicklung derart kapitalintensiv, dass es sich für einzelne Firmen nicht lohnt, in diese zu investieren. Aktuelle Beispiele sind Carbon Capture and Sequestration (CCS), also die Abscheidung von CO₂ in der Produktion und die anschliessende langfristige Verwahrung oder die Herstellung synthetischer Brennstoffe für den Flugverkehr und die Hochseeschifffahrt. Eine mögliche Förderung ist die öffentliche Bereitstellung von finanziellen Mitteln für Pilot- und Demonstrationsprojekte. Beispielsweise plant die EU über den Innovation Fund bis 2030 rund 38 Mrd. EUR für klimafreundliche Pilot- und Demonstrationsprojekte bereitzustellen, woraus der europäischen Wirtschaft erhebliche Wettbewerbsvorteile entstehen dürften (EC, 2022). Entsprechend droht der Schweizer Privatsektor abgehängt zu werden, wenn er in diesem Bereich nicht auch auf Fördermittel zurückgreifen kann. Eine andere Möglichkeit, um neue Technologien über ihre unwirtschaftliche Anfangsphase hinwegzuhelfen, besteht darin, dass der Staat eine technologiespezifische Subvention zahlt, um die entsprechende Technologie in die Gewinnzone zu heben. Beispiele hierfür sind die Einspeisetarife für Photovoltaik- und Windenergie, wie sie das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) in Deutschland vorsieht (BMWK, 2022), oder die Carbon Contracts for Difference, wie sie die EU gerade einführt (EC, 2021). Finanzieren lässt sich dieses Instrument über die Einnahmen aus dem Emissionshandel oder der CO₂-Abgabe.

Auch die direkte Regulierung kann technische Neuerungen anschieben (Ambec et al., 2014; Wagner, 2003). Ein aktuelles Beispiel in der Schweiz ist die gesetzliche Vorgabe ab 2026 den kritischen aber nur begrenzt verfügbaren Stoff Phosphor aus dem Klärschlamm abzutrennen. Als diese gesetzliche Grundlage geschaffen wurde, gab es noch keine kommerzielle technische Lösung zur Phosphortrennung. Der gesetzliche Druck hat in der Folge aber eine rege Innovationstätigkeit ausgelöst und erste Technologien werden jetzt kommerziell verfügbar (EBP, 2020). Wären nicht einfach gesetzliche Fakten und damit eine Nachfrage geschaffen worden, so hätten wir heute vermutlich noch keine Lösung für die Trennung von Phosphor. Dieses Beispiel ist keine Ausnahme. Ähnliche Innovationsschübe haben in der Vergangenheit das Verbot der Bleizugabe in Benzin (Kerr & Newell, 2003) und die strikten Emissionsgrenzwerte für Schwefeldioxid ausgelöst (Schmalensee et al., 1998).

Nur weil sich ganz unterschiedliche Arten der Technologieförderung in der Vergangenheit als zielführend erwiesen haben, heisst das natürlich nicht, dass die Wahl des Politikinstrumentes egal wäre. Im Gegenteil, da Technologieförderung immer auch eine Wette auf eine unsichere Zukunft ist, gilt es sehr genau abzuwägen, welche Anreize unterschiedliche Politikinstrumente schaffen und gegeben der spezifischen Situation klug auszuwählen. Aufgrund des unsicheren Charakters von Forschung und Entwicklung ist es jedoch selbst bei umsichtiger Innovationsförderung unvermeidbar, dass nicht alle geförderten Pilotprojekte die in sie gesetzten Erwartungen erfüllen und sich manche Politikinstrumente im Nachhinein als suboptimal erweisen. Dieser Umstand stellt allerdings Innovationsförderung per se nicht in Frage.

4.2. Gezielte Überwindung von Diffusionshindernissen

In einer idealen Modellwelt, in der es keinerlei Informations- oder sonstige Marktfraktionen gibt, liesse sich mittels einer geeigneten Kombination von Treibhausgasbepreisung und Innovationsförderung das Klimawandelproblem effizient lösen. Die Realität ist jedoch ungleich komplexer. Oft leiden neue Technologien unter sogenannten Diffusionshindernissen. Darunter versteht man Umstände, die einer Verbreitung der neuen Technologie im Wege stehen. Ein möglicher Grund für derartige Diffusionshindernisse sind sog. Netzwerkeffekte, d.h. der Nutzen der neuen Technologie ist umso grösser, je mehr Nutzer sie hat. Ein eingängiges Beispiel für derartige Diffusionshemmnisse aufgrund von Netzwerkeffekten sieht man in der Elektromobilität. Ein Elektroauto ist für viele Konsumenten nur dann interessant, wenn es eine entsprechend gut ausgebaute Ladeinfrastruktur gibt. Allerdings ist auf Firmenseite ein flächendeckendes Ladenetzwerk nur profitabel zu betreiben, wenn es auch genügend viele Elektroautos gibt. Ein klassisches Henne-Ei-Problem, welches z.B. durch eine anfängliche Subvention der Ladeinfrastruktur behoben werden kann. Ein weiteres Beispiel für klimafreundliche Technologien, die für einen effizienten Betrieb eine entsprechende Infrastruktur voraussetzen, ist Carbon Capture & Sequestration (CSS). Eine entsprechende CO₂-Pipeline, die den Transport des abgeschiedenen CO₂ zur Endlagerstätte ermöglicht, unterliegt einem ganz ähnlichen Henne-Ei-Problem wie die Ladeinfrastruktur der Elektromobilität. Auch hier ist ein entsprechender Staatseingriff nötig, um die Bereitstellung der relevanten Infrastruktur zu gewährleisten.

Auch in vielen anderen Bereichen gibt es Marktfraktionen, die einer effizienten Diffusion neuer Technologien im Wege stehen. Ein Beispiel ist die Raumwärme. In der Schweiz wohnen ca. 60% der Bevölkerung zur Miete. Als Mieter hat man keinen direkten Einfluss auf die Wahl der Heizungsanlage, das obliegt dem Besitzer der Immobilie also dem Vermieter. In der Regel kann der Vermieter jedoch die Nebenkosten, inklusive der Heizkosten, komplett auf die Mieter abwälzen. Eine Bepreisung von CO₂-Emissionen, wie es die CO₂-Abgabe in der Schweiz tut, schafft also für Vermieter keine direkten Anreize in nicht-fossile Heizungssysteme zu investieren, da er die entsprechenden Mehrkosten nicht trägt. Natürlich spielen für Mieter die Heizkosten eine Rolle bei ihrer Wahl der Mietwohnung und Mieter bevorzugen grundsätzlich Wohnungen mit geringeren Heizkosten. Insbesondere in

Ballungsräumen ist der Wohnungsmarkt jedoch derart angespannt, dass Mieter oftmals nicht die Wahl haben zwischen zwei vergleichbaren Wohnungen, die sich nur in ihrer Heizungstechnologie unterscheiden. Um auf einem solchen Markt ausreichend Anreize für die Diffusion nicht-fossiler Heizungstechnologien zu geben, sind daher neben der Bepreisung von Treibhausgasen zusätzliche Politikmassnahmen nötig. Die abgelehnte Revision des CO₂-Gesetzes sah hier ein Verbot von fossilen Heizungssystemen für Neubauten und Emissionsobergrenzen für Bestandsbauten bei Sanierung des Heizungssystems vor (BBI, 2020).

Grundsätzlich wird es in allen Sektoren Besonderheiten geben, die zusätzliche Politikmassnahmen neben der Bepreisung von Treibhausgasen und der gezielten Innovationsförderung notwendig machen. Auch hier gilt natürlich, die Besonderheiten im Einzelnen gut zu verstehen, um dann entsprechend geeignete Politikmassnahmen zu treffen.

5. Politische Umsetzung

Zusammenfassend können wir festhalten: Die physikalischen Implikationen des Klimawandels sind eindeutig. Gemäss des Kohlenstoff-Budgetansatzes wird die durchschnittliche globale Oberflächentemperatur so lange weiter ansteigen, bis wir weltweite Klimaneutralität, d.h. keinen Nettoausstoss von Treibhausgasen, erreicht haben. Daher gibt es langfristig keine Alternative zum Netto-Null-Ziel. Die derzeitigen Hauptquellen von Treibhausgasen sind die Verbrennung fossiler Energieträger sowie Landnutzungsänderungen, wie z.B. die Abholzung von Regenwäldern, die in Biomasse gespeichertes CO₂ in die Atmosphäre entlassen. Die klimapolitischen Implikationen sind offensichtlich. Es bedarf einer Dekarbonisierung aller Sektoren der Weltwirtschaft und eine Umkehr des aktuellen Trends in der Landnutzung. Was bedeutet dies konkret für die Schweiz? Um diese Frage zu beantworten, identifizieren wir zuerst den entsprechenden Handlungsbedarf, um anschliessend darauf einzugehen, wie sich dieser durch eine kluge Klimapolitik umsetzen lässt.

Zuerst möchten wir nochmals darauf hinweisen, dass es für die Schweiz langfristig keine Lösung ist, Klimaneutralität durch den Zukauf ausländischer Vermeidungszertifikate zu erreichen. Da die gesamte Welt klimaneutral werden muss, ist es (zumindest aus heutiger Sicht) sehr unplausibel anzunehmen, dass es einzelne Länder geben wird, die derart viel Senkenkapazität haben, damit sich die Schweiz zu vernünftigen Preisen mit entsprechenden ausländischen Zertifikaten eindecken könnte. Nun zu den konkreten Handlungsfeldern einer Schweizer Klimaneutralität.

1. Ein wichtiger Pfeiler der Dekarbonisierung der Wirtschaft besteht in der Elektrifizierung. Anstatt Häuser mit Erdöl oder Erdgas zu heizen, setzt man in Zukunft verstärkt auf Wärmepumpen, im Bereich der Mobilität sehen wir eine zunehmende Verdrängung des Verbrennungsmotors durch den Elektromotor. Auch in vielen Industriezweigen ist eine Dekarbonisierung durch Elektrifizierung möglich, z.B. die Nutzung elektrischer Hochöfen in der Stahlindustrie. Die zunehmende Elektrifizierung ist nur dann eine Dekarbonisierung, wenn der dazu genutzte Strom treibhausgasneutral hergestellt wird. Die Herausforderung besteht daher darin, eine wachsende zukünftige Stromnachfrage klimaneutral bereitzustellen, vor allem auch vor dem Hintergrund, dass, gemäss der Schweizer Energiestrategie 2050, keine neuen Atomkraftwerke in der Schweiz gebaut werden sollen (UVEK, 2017).
2. Nicht alle Wirtschaftszweige lassen sich durch Elektrifizierung dekarbonisieren. Zum Beispiel in der chemischen Industrie aber auch in der Zementindustrie entstehen CO₂-Emissionen durch nicht substituierbare Produktionsprozesse. Dekarbonisierung in diesen Bereichen bedeutet eine Abscheidung der entstehenden Treibhausgase an der Quelle, die anschliessend in irgendeiner Art und Weise zu Endlagerstätten transportiert werden müssen. Die Herausforderung besteht hier in

der Bereitstellung effizienter Abscheidetechnologie sowie einer effizienten Transport- und Lagerlogistik.

3. Einige Wirtschaftsprozesse lassen sich weder vollständig elektrifizieren noch können alle Treibhausgasemissionen an der Quelle abgeschieden werden. Viele landwirtschaftliche Prozesse fallen in diese Kategorie. Eine Dekarbonisierungsstrategie muss in diesen Sektoren Anreize liefern, diese Emissionen so weit als möglich zu vermeiden, darüber hinaus aber auch für ausreichend Senkenkapazitäten sorgen, um die nicht vermeidbaren Treibhausgasemissionen an anderer Stelle wieder aus der Atmosphäre zu holen.
4. Bei einigen Wirtschaftssektoren ist derzeit noch unklar, wie eine Dekarbonisierung am effizientesten aussehen könnte. Ein gutes Beispiel ist der Flugverkehr. Zumindest Langstreckenflüge lassen sich nach heutigem Technologiestand auf absehbare Zeit nicht elektrifizieren. Ähnliches gilt für die Hochseeschifffahrt. Potenzielle Alternativen wären synthetisches Kerosin oder Wasserstoff. Alternativ kommt auch hier eine Kompensation der Treibhausgasemissionen durch Treibhausgasenken in Frage.

Aus diesen Handlungsfeldern ergeben sich direkt die Anforderungen an die Schweizer Klimapolitik. Wie bereits erläutert, ist die Bepreisung von Treibhausgasen, unabhängig von Ihrer Quelle, ein wichtiger Pfeiler einer effizienten Klimapolitik. Dies führt dazu, dass fossile Heizungssysteme teurer als regenerative Alternativen werden oder Elektroautos attraktiver gegenüber Autos mit Verbrennungsmotor. Dies würde den schon bestehenden Technologiewandel in diesen Bereichen unterstützen und entsprechend beschleunigen. Ein CO₂-Preis führt auch dazu, dass es Anreize gibt, CO₂-Emissionen wo immer möglich entsprechend zu reduzieren, auch in Bereichen in denen eine Elektrifizierung oder vollständige Vermeidung (derzeit) noch nicht möglich ist.

Das zweite wichtige Politikinstrument ist eine gezielte Innovationsförderung. Diese muss auf einer Vision fussen, wie die Schweizer Wirtschaft als Ganzes klimaneutral werden kann. Dazu ist zuerst einmal zu evaluieren, in welchen Bereichen Dekarbonisierungstechnologien fehlen und wie diese mittelfristig gefördert und bereitgestellt werden können. Als Beispiel sei hier die CO₂-Abscheidung und Lagerung erwähnt. Die Schweiz benötigt bezüglich Transport und Lagerung ein nationales Konzept, das von staatlicher Seite unterstützt und koordiniert werden muss. Andere Beispiele sind Speicherung von Energie aufgrund der Intermittenz von vielen regenerativen Energiequellen wie Solar- und Windenergie. Ein weiterer wichtiger Punkt sind Senkenkapazitäten. Da sich nicht alle Treibhausgasemissionen vermeiden lassen werden, sind zumindest in gewissem Umfang Senkenkapazitäten nötig. Im Bereich natürlicher Senken (z.B. Aufforstung) muss evaluiert werden, in welchem Umfang dies möglich ist und auch umgesetzt werden kann. Da diese Möglichkeiten aber begrenzt sind, ist eine synthetische prozessunabhängige CO₂-Abscheidung direkt aus der Atmosphäre wahrscheinlich unumgänglich. Auch dies muss entsprechend geplant und gefördert werden.

Wir beobachten derzeit, dass die Schweiz mit der Energiestrategie 2050 und auch den aktuellen Revisionen des CO₂-Gesetzes das Potenzial der Dekarbonisierung durch Elektrifizierung erkannt hat und auch politisch vorantreibt. Wir sehen jedoch wenig in den anderen Bereichen. Aus unserer Sicht fehlt eine klare Vision einer klimaneutralen Schweiz insbesondere auch im Bereich landwirtschaftlicher und prozessimmanenter Treibhausgasemissionen. Hier könnte z.B. mit einem nationalen Forschungsprogramm, dass die grosse zivilisatorische Herausforderung der Dekarbonisierung in seiner Gesamtheit betrachtet, abgeholfen werden. Das Fehlen einer solchen Vision mag auch damit zusammenhängen, dass die bisherige Klimastrategie der Schweiz, zumindest mittelfristig, auch explizit auf den Zukauf ausländischer Vermeidungszertifikate setzt, um die nationalen Klimaziele zum Beispiel bis zum Jahr 2030 zu erreichen. Diese Strategie ist weder aus klimapolitischer noch wirtschaftspolitischer Sicht überzeugend. Aus klimapolitischer Perspektive ist diese Strategie zum

Scheitern verurteilt, weil es mit einer zunehmenden globalen Klimaneutralität immer weniger ausländische Senkenkapazität geben wird. Aus wirtschaftspolitischer Sicht vergibt sich die Schweiz, wie in Abschnitt 3 dargelegt, die Chance, eine Führungsposition im stark wachsenden Klimamarkt einzunehmen.

Es besteht ein eindeutiger positiver Zusammenhang zwischen dem Wachstum des Klimaschutzmarktes in einem Land und der Klimapolitik. Konkret haben in der Schweiz zum Beispiel das Gebäudeprogramm, strengere Mustervorschriften der Kantone für den Bau (MuKE) oder die CO₂-Abgabe das überdurchschnittliche Wachstum im Umweltsektor angetrieben. Auch die im Juni 2021 abgelehnte Revision des CO₂-Gesetzes hätte einen zusätzlichen Wachstumsschub für den Umweltsektor gebracht (BAFU, 2021). Eine ambitionierte Klimapolitik ist deshalb Voraussetzung, um die Chancen des Klimaschutzes zu nutzen. Gerade bei sehr kapitalintensiven Fördermassnahmen muss die Schweiz nicht unbedingt im Alleingang handeln. Vielmehr kann es Sinn machen, Kräfte grenzüberschreitend zu bündeln und sich an internationalen Kooperationen zu beteiligen. Gerade die EU bietet sich aufgrund ihrer wirtschaftlichen Nähe und der Vorreiterrolle im Klimabereich, die diese derzeit offensiv vorantreibt, für eine Zusammenarbeit im Klimabereich an.

Natürlich ist eine ambitionierte Klimapolitik in einer direkten Demokratie wie der Schweiz nur durch entsprechenden Rückhalt in der Bevölkerung umzusetzen. Dass es hier unter Umständen Probleme gibt, zeigt nicht zuletzt die im Juni 2021 an der Urne abgelehnte Revision des CO₂-Gesetzes. Tatsächlich wird die politische Umsetzung des Klimaschutzes nicht nur in der Schweiz durch eine in der Bevölkerung weitverbreitete Skepsis, dass effektiver Klimaschutz zu Wohlstandseinbussen führt und darüber hinaus sozial ungerecht ist, erschwert. Diese Ängste sind zwar unbegründet, dennoch sind sie vorhanden. Tatsächlich werden diese Ängste von politischen Gegnern eines strikteren Klimaschutzes im Wahlkampf bewusst ausgenutzt und geschürt (GOAL, 2022). Eine ambitionierte Klimapolitik kann nur dann politische Mehrheiten erlangen, wenn sie diese Ängste ernst nimmt und gezielt adressiert und ausräumt. Hierzu zwei Beobachtungen:

1. Das bisher überwiegende Narrativ «Klimaschutz verursacht zwar Kosten, aber die Kosten des Nichthandels sind um ein Vielfaches höher» ist zwar völlig korrekt, aber aufgrund der besonderen Hervorhebung der Kosten in Anbetracht der zuvor beschriebenen Ängste in der Bevölkerung kontraproduktiv. Verhaltensökonomische Untersuchungen zeigen, dass der Mensch die Angst vor kurzfristigen Verlusten höher gewichtet als die Chance auf künftige Gewinne (loss aversion) (Kahneman & Tversky, 1979). Es bedarf deshalb eines neuen Klimaschutznarrativs, das vor allem die effektiv vorhandenen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Chancen einer mittel- bis langfristigen Klimaneutralität propagiert. Zudem sollten wir aufhören von Kosten im Sinne von Verlusten zu sprechen. Ausgaben für Klimaschutz sind in Wirklichkeit Investitionen in die neuen Klimaschutzmärkte, die entsprechende wirtschaftliche und gesellschaftliche Erträge abwerfen werden.
2. Auch bisherige Klimapolitiken sind zum Teil nicht gut kommuniziert. Die Rückerstattung der Einnahmen der CO₂-Abgabe ist einer Mehrheit der Bevölkerung überhaupt nicht bekannt (Mildenberger et al., 2022). Die Kosten der Abgabe sind deutlich sichtbarer als die Rückvergütung. Zudem werden die Kosten der Abgabe nicht mit den Rückerstattungen in Verbindung gebracht, da sie zu unterschiedlichen Zeiten und unterschiedlichen Kategorien anfallen (Thaler, 1985, 1999). Um stabile politische Mehrheiten zu erreichen, muss die Schweizer Klimapolitik deutlich besser beworben und erklärt werden.

Die derzeitige stattfindende russische Angriffskrieg gegen die Ukraine liefert einen weiteren Grund zugunsten einer strikteren Klimapolitik: auch aus geopolitischen Überlegungen ist Klimaneutralität vorteilhaft, da sie unabhängig von fossilen Energieträgern macht, die in der Schweiz zu 100% importiert

werden müssen und oft aus Staaten mit zweifelhaftem Demokratie- und Menschenrechtsverständnis stammen. Diese Überlegung scheint derzeit auch grossen Rückhalt in breiten Bevölkerungsschichten zu geniessen. Daher erscheint die Zeit für eine ambitioniertere Schweizer Klimapolitik so günstig wie selten zuvor.

Literaturverzeichnis

D. Acemoglu, P. Aghion, L. Bursztyń & D. Hemous, 2012: The Environment and Directed Technical Change. *American Economic Review* 102: 131–166.

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

S. Ambec, M. A. Cohen, S. Elgie & P. Lanoie, 2013: The Porter hypothesis at 20: can environmental regulation enhance innovation and competitiveness? *Review of Environmental Economics and Policy*, 7 : 2–22.

A. Azhar, 2021: *The Exponential Age. How Accelerating Technology is Transforming Business, Politics and Society*. Diversion Books.

BAFU, 2020: Erhebung der CO₂-Abgabe auf Brennstoffe. Bundesamt für Umwelt. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/verminderungsmassnahmen/co2-abgabe/erhebung.html>

BAFU, 2021: Auswirkungen des CO₂-Gesetzes auf den Cleantech Bereich. BAK Economics im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU), Mai 2021.

BAFU, 2022: Treibhausgasinventar 2020: Die Schweiz verfehlt ihr Klimaziel knapp. Medienmitteilung des Bundesamts für Umwelt (BAFU) vom 11.04.2022.

BBl, 2020: Bundesgesetz über die Verminderung von Treibhausgasemissionen (CO₂-Gesetz). Fassung vom 25. September 2020. Bundesblatt Oktober 2020: BBl 2020 7847.

BFE, 2020: Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000–2019. Auswertung nach Verwendungszwecken. Prognos, Infrac und TFP im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE), Oktober 2020.

BFS, 2021: Neue Inverkehrsetzungen von Strassenfahrzeugen nach Kantonen und technischen Merkmalen, Sektion Mobilität, Bundesamt für Statistik (BFS), Januar 2021.

BMWK, 2022: Das Erneuerbare-Energien-Gesetz. Bundes-Ministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. <https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Dossier/eeg.html>

Capgemini, 2020: Fit for Net-Zero: 55 Tech Quests to accelerate Europe's recovery and pave the way to climate neutrality. Capgemini Invent, Oktober 2020.

Climate Action Tracker, 2021: Glasgow's 2030 credibility gap: net zero's lip service to climate action wave of net zero emission goals not matched by action on the ground. Warming Projections Global Update, Climate Action Tracker, November 2021.

T. Douenne & A. Fabre, 2022: Yellow vests, pessimistic beliefs, and carbon tax aversion. *American Economic Journal: Economic Policy* 14, 81–110.

EBP, 2021: Technologien zur Phosphor-Rückgewinnung. Studie von EBP Schweiz AG im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Dezember 2021.

EC, 2021: European Green Deal: Commission proposes transformation of EU economy and society to meet climate ambitions. Medienmitteilung der Europäischen Kommission vom 14. Juli 2021. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_3541

EC, 2022: What is the Innovation Fund? Webseite der Europäischen Kommission. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/funding-climate-action/innovation-fund/what-innovation-fund_en

GFS (Hrsg.), 2021: VOX-Analyse Juni 2021: Nachbefragung und Analyse zur eidgenössischen Volksabstimmung vom 13. Juni 2021. GFS, Bern, Juli 2021.

GOAL, 2022: Unser Portfolio, Webseite der GOAL AG für Werbung und Public Relations. <https://www.goal.ch/unser-portfolio/>

L. Goldie-Scot, 2019: A Behind the Scenes Take on Lithium-ion Battery Prices. Published online at BloombergNEF, March 2019. <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>

L. Hälg, G.B. Cavadini & J. Rohrer, 2021: Das Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzpotential des beschleunigten Ausbaus der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz in der Schweiz. Forschungsgruppe Erneuerbare Energien, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) im Auftrag der Schweizerischen Energie-Stiftung, September 2021.

S. Hedreen, 2022: US, Germany join Japan in agreement to ramp up clean hydrogen output. Published online at Standard & Poors Global Market Intelligence, September 2022. <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/us-germany-join-japan-in-agreement-to-ramp-up-clean-hydrogen-output-72256715>

IEA, 2021: CCUS around the world. Featured pilot, demonstration, and early stage projects. International Energy Agency, Paris. <https://www.iea.org/reports/ccus-around-the-world>

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK und New York, USA, 3–32.

IRENA, 2022: Renewable Power Generation Costs in 2021, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi.

INFRAS, 2020: Cleantech in der Schweiz – Eine Bestandesaufnahme. INFRAS Zürich, September 2020.

D. Kahneman & A. Tversky, 1979: Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica* 47: 263–291.

S. Kerr & R. G. Newell, 2003: Policy-induced technology adoption: Evidence from the US lead phasedown. *Journal of Industrial Economics* 51: 317–343.

Lombard Odier, 2021: Predictors of Success in a Greening World. Lombard Odier in Kooperation mit SSEE, University of Oxford, Dezember 2021.

H.D. Matthews & K. Caldeira, 2008: Stabilizing climate requires near-zero emissions. *Geophysical research letters* 35: L04705.

M. Meinshausen, N. Meinshausen, W. Hare, S.C.B. Raper, K. Frieler, R. Knutti, D.J. Frame & M.R. Allen, 2009: Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2 °C. *Nature* 458, 1158–1162.

M. Mildenerberger, E. Lachapelle, K. Harrison & I. Stadelmann-Steffen, 2022: Limited impacts of carbon tax rebate programmes on public support for carbon pricing. *Nature Climate Change* 12: 141–147.

- MIE, 2016: A circular economy in the Netherlands by 2050. Ministry of Infrastructure and the Environment of the Netherlands, September 2016.
- K.L. Ricke & K. Caldera, 2014: Maximum warming occurs about one decade after a carbon dioxide emission. *Environmental Research Letters* 9: 124002
- P.M. Romer, 1990: Endogenous technological change. *Journal of Political Economy* 98: S71–S102.
- M. Rothenberger & R. Wüstenhagen, 2021: Losing hearts and minds in Switzerland? Ergebnisse einer Nachwahlbefragung zu emotionalen Dynamiken im Abstimmungskampf zum revidierten CO₂-Gesetz. Universität St. Gallen, August 2021.
- H. Ritchie, M. Roser & P. Rosado, 2020: CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. Published online at OurWorldInData.org. <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>.
- R. Schmalensee, P. L. Joskow, A. D. Ellerman, J. P. Montero & E. M. Bailey, 1998: An interim evaluation of sulfur dioxide emissions trading. *Journal of Economic Perspectives* 12: 53–68.
- R. H. Thaler, 1985: Mental accounting and consumer choice. *Marketing Science* 4: 199–214.
- R. H. Thaler, 1999: Mental accounting matters. *Journal of Behavioral Decision Making* 12:183–206.
- UVEK, 2017: Energiestrategie 2050. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK. <https://www.uvek.admin.ch/uvek/de/home/energie/energiestrategie-2050.html>
- M. Wagner, 2003: The Porter hypothesis revisited: a literature review of theoretical models and empirical tests. Working Paper, Centrum für Nachhaltigkeitsmanagement, Universität Lüneburg, Dezember 2003.
- World Bank, 2021: State and Trends of Carbon Pricing 2021. The World Bank, Washington, DC.