

Optionen und Maßnahmen



UniNETZ –
Universitäten und Nachhaltige
Entwicklungsziele

Österreichs Handlungsoptionen
zur Umsetzung
der UN-Agenda 2030
für eine lebenswerte Zukunft.

Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung

Autor_innen:

Lachner, Elisabeth (*Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Energieverbundtechnik*); Kienberger, Thomas (*Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Energieverbundtechnik*); Prieler, Manuela (*Energieinstitut an der Johannes-Kepler-Universität*); Steinmüller, Horst (*Energieinstitut an der Johannes-Kepler-Universität*); Moser, Simon (*Energieinstitut an der Johannes-Kepler-Universität*); Scherz, Marco (*Technische Universität Graz*); Spittler, Natalie (*Universität für Bodenkultur*); Schwarzl, Ingeborg (*Climate Change Centre Austria*); Kirchner, Mathias; Kalt, Gerald (*Universität für Bodenkultur*); Götzl, Gregor (*Geologische Bundesanstalt*); Trummer, Patrick (*Montanuniversität Leoben, Resources Innovation Center*); Hebenstreit, Veronika (*Universität für Bodenkultur*); Scherhauer, Patrick (*Universität für Bodenkultur*); Monthaler, Tobias (*Technische Universität Graz, Student*)

07_01

Target 7.2

Reviewer_innen:

Traupmann, Anna (*Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Energieverbundtechnik*); Kurz, Thomas (*Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Energieverbundtechnik*)

Inhalt

3	Tabellenverzeichnis
4	07_01.1 Ziele der Option
6	07_01.2 Hintergrund der Option
8	07_01.3 Optionenbeschreibung
8	07_01.3.1 Beschreibung der Option bzw. der zugehörigen Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen
10	07_01.3.2 Erwartete Wirkweise
13	07_01.3.3 Bisherige Erfahrungen mit dieser Option oder ähnlichen Optionen
13	07_01.3.4 Zeithorizont der Wirksamkeit
13	07_01.3.5 Vergleich mit anderen Optionen, mit denen das Ziel erreicht werden kann
14	07_01.3.6 Interaktionen mit anderen Optionen
15	07_01.3.7 Offene Fragestellungen
16	Anhang
17	Literatur

Tabellenverzeichnis

- 4 **Abb. O_7-01_01:** Anteile der globalen THG Emissionen. Quelle: International Energy Agency (IEA) (2017).
// Fig. O_7-01_01: Shares of global GHG emissions. Source: IEA (2017).
- Abb. O_7-01_02:** Bedarf und Erzeugung in Status Quo und Potential. Quelle:
- 5 : (Sejkora, Kühberger, Radner, Trattner & Kienberger, 2020)
// Fig. O_7-01_02: Demand and production in status quo and potential. Source: (Sejkora et al., 2020).
- 7 **Abb. O_7-01_03:** Entwicklung der Stromgestehungskosten in Deutschland 2013-2018. Quelle: Eigene Darstellung nach (Kost, Mayer, Thomsen, Hartmann & Senkpiel, 2013; Kost et al., 2018).
// Fig. O_7-01_03: Electricity generation costs in Germany 2013-2018. Source: own elaboration, based on (Kost et al., 2013; Kost et al., 2018).
- 12 **Abb. O_7-01_04:** Prognose für die Stromgestehungskosten. Quelle: Kost et al. (2018).
// Fig. O_7-01_04: Forecast of electricity production costs. Source: Kost et al. (2018).

07_01.1 Ziele der Option

Die derzeitige Bundesregierung (Kurz II) hat in ihrem Regierungsprogramm vereinbart, dass Österreich spätestens bis zum Jahr 2040 klimaneutral sein soll, womit Österreich laut den Regierungsplänen Vorreiter in Europa werden würde. Ein wichtiger Teil für die Umsetzung dieses Planes ist die Umstellung des Energiesystems auf erneuerbare Energieträger unter Nutzung der möglichen Einsparungspotentiale. Im Stromsektor sollte diese Umstellung (national bilanziell) bereits im Jahr 2030 abgeschlossen sein.

Aus **Abb. O_7-01_01** geht die Dringlichkeit der Umstellung der Energieversorgung hervor, denn über zwei Drittel des CO₂-Ausstoßes stammen aus der Bereitstellung und dem Gebrauch von Energieträgern. Die übrigen Anteile - wie landwirtschaftliche und industrielle Emissionen - sind prozessinhärent oder aus Prozessen, die keinem der bisher genannten zugeordnet werden können.

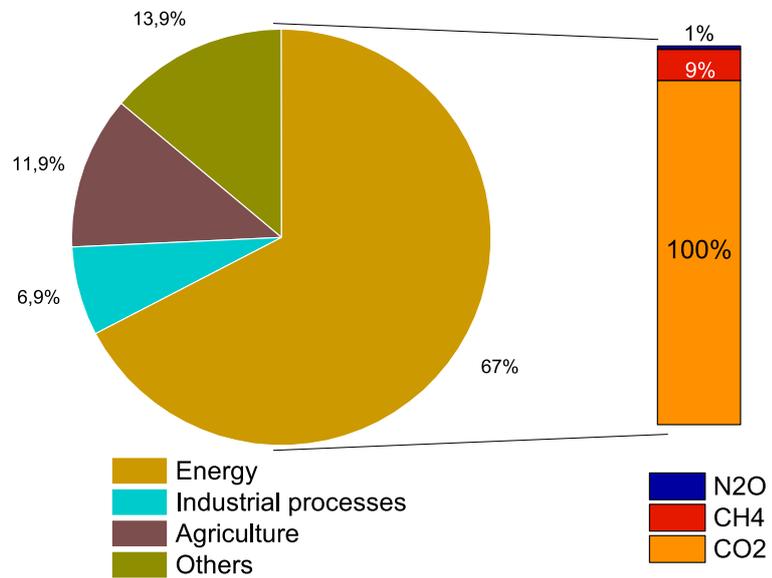


Abb. O_7-01_01: Anteile der globalen THG Emissionen. Quelle: International Energy Agency (IEA) (2017).

// Fig. O_7-01_01: Shares of global GHG emissions. Source: IEA (2017).

Um diese Ziele erreichen zu können, muss der Ausbaugrad der erneuerbaren Energien (RES: renewable energy sources) in Österreich deutlich erhöht werden. Man unterscheidet zwischen ökonomischem und technischem Potential. Das technische Potential geht z.B. für Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) von einer Nutzung der derzeit führenden Technologie auf allen verfügbaren Dach- und Brachflächen aus, belässt aber die landwirtschaftlichen Nutzflächen in ihrer aktuellen Bewirtschaftung. Das ökonomische Potential berücksichtigt, dass der Ertrag einiger Flächen zu gering oder die Errichtung zu aufwändig für eine Amortisation in einem definierten Zeitraum ist und diese daher nicht genutzt werden. Das ökonomische ist grundsätzlich geringer als das technische Potential. Auch ökologische und soziale Faktoren verringern das tatsächlich ausgebaute Potential im Vergleich zum technischen. Das technische Potential wird hier im Sinne einer oberen Grenze verwendet.

In Abhängigkeit von den realisierten Einsparungen durch Effizienzerhöhung kann der Ausbau bis zu 100 % des ökonomischen Potentials notwendig werden. Forschungsarbeiten gehen beispielsweise von einem technischen Potential von 266 TWh/a aus, wie in **Abb. O_7-01_02** dargestellt ist. Um unterscheiden zu können, welcher Anteil der Primärenergie für die Endanwendung erforderlich und welcher Anteil Verlust ist, hat sich die Betrachtung der Exergie als hilfreich erwiesen: Energie lässt sich aufteilen in Exergie, den Anteil der hochwertigen und nutzbaren Energie, der noch in andere Energieformen umgewandelt werden kann, und Anergie, den Anteil, der sich nicht weiter umwandeln lässt und daher einen Energieverlust darstellt. Die **Abb. O_7-01_02** zeigt die Exergie. Eine Wärmemenge bei 100°C hat z. B. eine niedrigere Exergie als bei 200 °C. Elektrizität hat eine sehr hohe Exergie. Mit 1 kWh Strom können mehr unterschiedliche Nutzungen realisiert werden als mit 1 kWh Warmwasser. Diese Überlegung macht deutlich, dass elektrische Potentiale auch in elektrischer Form anzuwenden sind, sofern die Möglichkeit dazu besteht.

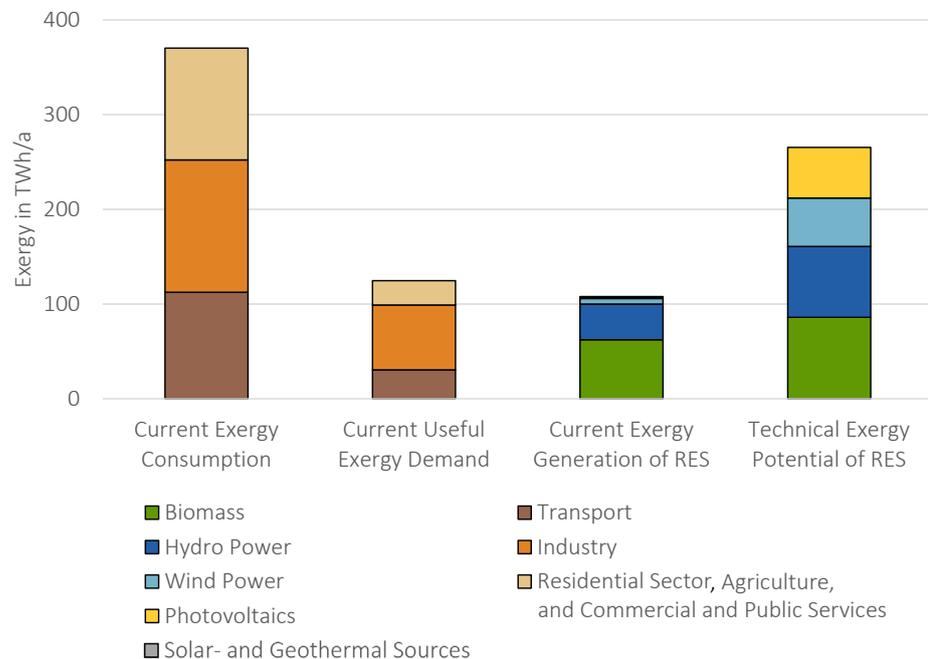


Abb. O_7-01_02: Bedarf und Erzeugung in Status Quo und Potential. Quelle: (Sejkora, Kühberger, Radner, Trattner & Kienberger, 2020).

// Fig. O_7-01_02: Demand and production in status quo and potential. Source: (Sejkora et al., 2020).

Dieses Potential ist aktuell nur zu etwa einem Drittel ausgeschöpft, wie der Vergleich der beiden rechten Säulen zeigt. Andere Forschungsarbeiten basieren auf Energiepotentialen (also ohne Unterscheidung von Exergie und Anergie) und weisen technische Potentiale von 219 bis 359 TWh aus. Teilweise werden diese Potentiale als thermische und elektrische Potentiale, aber ohne Temperaturniveaus angegeben (Geyer, Knöttner, Diendorfer & Drexler-Schmid, 2019). Diese Darstellung macht es schwierig, die Potentiale den passenden Anwendungen wie Produktionswärme oder Raumwärme zuzuordnen. Die Entscheidung zwischen PV und Solarthermie hängt von den regionalen Bedingungen in der Strom- und Wärmeversorgung ab. Daher sollte auch die explizite Förderung technologieoffen sein.

Für die elektrischen Potentiale gilt: Vor allem bei Windkraft und Photovoltaik ist noch viel Potential vorhanden, während Wasserkraft und Biomasse bereits zu einem großen Teil ausgeschöpft sind. Dies gilt v.a. hinsichtlich der sozialen und wirtschaftlichen Einschränkungen, die das technische Potential unter Umständen deutlich verringern. Diese Einschränkungen sind je nach Energieträger und Standort sehr unterschiedlich. In den weiteren Schritten der Energiewende muss darauf geachtet werden, die Versorgungssicherheit trotz des veränderten Energiemix und der damit einhergehenden hohen Volatilität der Erzeugung auf hohem Niveau zu halten und gleichzeitig den Endenergiebedarf durch effizientere Technologien (siehe die zwei linken Säulen des Diagramms) zu senken.

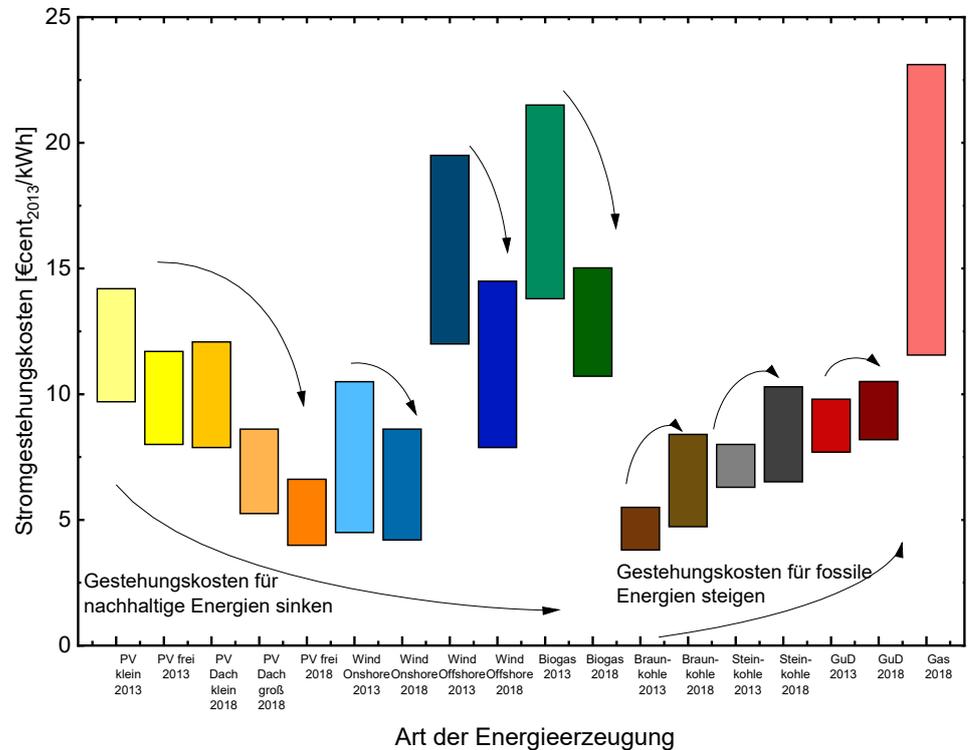
Auch ein Vollausbau der erneuerbaren Energien wird selbst in Verbindung mit deutlich erhöhter Effizienz Österreichs Energiebedarf nicht gänzlich decken, aus diesem Grund werden Importe notwendig sein. Bei diesen Importen muss gewährleistet sein, dass sie nachhaltig erzeugt werden. Dies kann auch als Hebel genutzt werden, um die globale Entwicklung durch die entsprechende Nachfrage zu nachhaltigen Energien zu führen.

Da viele Prozesse im industriellen Sektor auf dem nichtenergetischen Materialeinsatz von Kohlenwasserstoffen basieren, z.B. zur Reduktion in der Stahlindustrie, wird auch ein Ersatz dieser fossilen Einsatzstoffe durch Energieträger mit entsprechenden Eigenschaften notwendig. Synthetisch erzeugte Gase sind in diesen Anwendungen eine geeignete technische Lösung.

07_01.2 Hintergrund der Option

Durch die Entwicklung der Stromgestehungskosten in den vergangenen Jahren sind erneuerbare Erzeugungstechnologien (v.a. Photovoltaik und Windkraft) in vielen Fällen die kostengünstigsten: In **Abb. O_7-01_03** wird für PV die solare Einstrahlung (GHI) in kWh/(m²a) angegeben, bei den anderen Technologien die Volllaststundenanzahl der Anlage pro Jahr. Spezifische Anlagenkosten sind mit einem minimalen und einem maximalen Wert je Technologie berücksichtigt. Kosten sind inflationsbereinigt zum Basisjahr 2013 mit Daten von <http://www.inflationrate.com/kerninflation/> <http://www.inflationrate.com/kerninflation/>. Der Vergleich der Balken zeigt, dass innerhalb von fünf Jahren die Kosten für PV und Windkraft gegenüber fossilen Quellen erheblich gesunken sind (Gimon, O'Boyle, Clack & McKee, 2019; Kavlak, McNerney & Trancik, 2018; Kost, Schlegl & Fraunhofer ISE, 2018). Der Lerneffekt bei Photovoltaik hat zwischen den Jahren 2006 und 2011 zu einer Preisverringerung von ca. 20 % je Verdoppelung der installierten Leistung weltweit geführt (Spertino, Di Leo & Cocina, 2013). Während im Jahr 2013 Braunkohle noch der günstigste Energieträger war, bieten Onsho-

re-Windanlagen und große PV-Anlagen mit Stand 2018 auch ohne Subventionen bessere Bedingungen (siehe **Abb. O_7-01_03**). Da diese beiden Technologien in Österreich auch ein hohes Potential aufweisen, ist der Ausbau unumgänglich, sofern der Endenergieverbrauch nicht erheblich zurückgeht.



- PV klein 1000-1200 GHI in kWh/(m²a) - 2013
- PV frei 1000-1200 GHI in kWh/(m²a) - 2013
- PV Dach klein 950-1300 GHI in kWh/(m²a) - 2018
- PV Dach groß 951-1300 GHI in kWh/(m²a) - 2018
- PV frei 950-1300 GHI in kWh/(m²a) - 2018
- Wind Onshore 1300-2700 VLS in h/a - 2013
- Wind Onshore 1800-3200 VLS in h/a - 2018
- Wind Offshore 2800-4000 VLS in h/a - 2013
- Wind Offshore 3200-4500 VLS in h/a - 2018
- Biogas 6000-8000 VLS in h/a - 2013
- Biogas 5000-7000 VLS in h/a - 2018
- Braunkohle 6600-7600 VLS in h/a - 2013
- Braunkohle 6450-7450 VLS in h/a - 2018
- Steinkohle 5500-6500 VLS in h/a - 2013
- Steinkohle 5350-6350 VLS in h/a - 2018
- GuD 3000-4000 VLS in h/a - 2013
- GuD 3000-4000 VLS in h/a - 2018
- Gas 500-2000 VLS in h/a - 2018

Abb. O_7-01_03: Entwicklung der Stromgestehungskosten in Deutschland 2013-2018. Quelle: Eigene Darstellung nach Kost, Mayer, Thomsen, Hartmann & Senkpiel, 2013; Kost et al., 2018 .

// Fig. O_7-01_03: Electricity generation costs in Germany 2013-2018. Source: own elaboration, based on (Kost et al., 2013; Kost et al., 2018).

Strom wird in Zukunft auf Grund seiner hohen Exergie und als Ersatz für fossile Energieträger eine deutlich größere Rolle im Energiemix spielen. Trotzdem müssen auch andere erneuerbare Energieträger im Energiemix eingesetzt werden. Besonders in den Bereichen *Mobilität* und *Wärme/Kälte-Bereitstellung* sind Biomasse, Geothermie und Abwärme wichtige Alternativen: Wärmeanwendungen stellen im Energieverbrauch der Haushalte ca. ein Drittel des Energiebedarfs dar. Diesen Anteil durch entsprechende Niedertemperaturquellen wie z.B. Geothermie, Fernwärme und industrielle Abwärme zu decken, wäre ein wichtiger Schritt und wird in Option 3 (Infrastruktur) näher ausgeführt.

Hinsichtlich der Mobilität geht man von gleichbleibendem Bedarf aus, dabei bietet v.a. eine Umstellung der Antriebe auf Elektromotoren und biomassebasierte Energieträger die Möglichkeit, auch an dieser Stelle eine hohe Effizienz und den Ausstieg aus fossilen Energieträgern zu forcieren. Die Limitierung von Biomassenutzung für Energie ist aber auch hier zu beachten, insbesondere der Carbon Payback¹ ist nicht bei allen Quellen von Biomasse gegeben (Elshout, van der Velde, van Zelm, Steinmann & Huijbregts, 2019; European Academies' Science Advisory Council, 2019; Reid, Ali & Field, 2020).

07_01.3 Optionenbeschreibung

07_01.3.1 Beschreibung der Option bzw. der zugehörigen Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen Maßnahmen:

- Technologieoffene Investitionsförderung
- CO₂-Bepreisung im Rahmen einer ökosozialen Steuerreform
- SDG-konformer Import von erneuerbaren Energieträgern
- Nachhaltiges Gas als Übergangslösung einsetzen

Technologieoffene Investitionsförderung

Der Ersatz aktuell im Betrieb stehender fossiler Energiebereitstellung in den Bereichen *Mobilität*, *Stromerzeugung*, *Wärme* und *Kälte* soll zur Verringerung des CO₂-Ausstoßes beschleunigt werden. Die Kosten spielen dabei eine wesentliche Rolle und hemmen den Ersatz fossiler durch erneuerbare Energien. Obwohl die Total Costs of Ownership² bei Photovoltaik und Wind sehr günstig sind, bedarf es auf Grund der hohen Investitionskosten entsprechender Unterstützung. Gleichzeitig sollen neue Technologien nicht ausgeschlossen werden, daher sind Formulierungen z.B. in Ausschreibungen zu Förderungen möglichst allgemeingültig zu halten.

Erzeugter Strom soll so weit wie möglich in elektrischer Form eingesetzt werden, z.B. in Elektromobilität, um einen hohen Wirkungsgrad zu erzielen und Umwandlungsverluste zu vermeiden.

CO₂-Bepreisung im Rahmen einer ökosozialen Steuerreform

Neben der direkten Investitionsförderung durch die Bundesregierung kann die Besteuerung des CO₂-Ausstoßes die Umstellung be-

1 Carbon Payback Time ist der Zeitpunkt, an dem der bei der Errichtung der Anlage aufgebrauchte CO₂-Ausstoß mit dem im Vergleich zu fossilen Energieträgern eingesparten Energie gleichzieht bzw. der Zeitpunkt, an dem der CO₂-Ausstoß bei der Verbrennung der Biomasse mit der Menge an aufgenommenem CO₂ gleichzieht.

2 In den Total Costs of Ownership werden sowohl die Anschaffungskosten über einen Abschreibungszeitraum als auch die anfallenden Nutzungs- und Erhaltungskosten berücksichtigt.

schleunigen (Baranzini et al., 2017; Kirchner, Sommer, Kratena, Kletzan-Slamnig & Kettner-Marx, 2019; Zhu, Victoria, Brown, Andresen & Greiner, 2019). Eine entsprechende Änderung der Bedingungen kann im Rahmen einer ökosozialen Steuerreform durchgeführt werden (Goers & Schneider, 2019). Bei der Umsetzung ist darauf zu achten, dass die eingehenden Finanzmittel zweckgebunden z. B. als Klimabonus für Haushalte oder als Investitionen in Klimaschutzmaßnahmen eingesetzt werden, um eine Kombination aus Push- und Pull-Effekten zu generieren und damit den Ausbau der RES zu fördern.

Zur konkreten Umsetzung der Steuer gibt es in der Literatur auch Vorschläge für Österreich (Kirchner, Sommer & Kettner-Marx Claudia, 2018; Kirchner et al., 2019). In SDG 13 wird in der Option 13.6 zum Winterpaket geklärt, welche Technologien mit welchen Fördermaßnahmen zu stärken sind und wie diese in Bauordnungen eingebracht werden können.³ Wir verweisen zudem auf den Policy Brief des Österreichischen Instituts für Wirtschaftsforschung (WIFO) von 2019 (Köppl, Schleicher, Schratzenstaller & WIFO, 2019).

SDG-konformer Import von erneuerbaren Energieträgern

Zur Deckung des gesamten österreichischen Energiebedarfs wird es neben der inländischen Erzeugung notwendig sein, Energie zu importieren. Neben Ökostrom aus Nachbarländern besteht auch ein Bedarf an gasförmigen Energieträgern. Dieser dient zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit und zur Erreichung der angestrebten hohen Effizienz des gesamten österreichischen Energiesystems. Beim nachhaltigen Energieimport bietet sich zudem die Chance, neue Partnerschaften aufzubauen, indem SDG-konform erzeugtes Gas wie Methan oder Wasserstoff aus Regionen mit großem Potential importiert wird (Moser et al., 2018). Kernelement der Umsetzung ist aber auch hier, dass nachhaltig erzeugter Strom vorrangig in dieser Form eingesetzt wird, um Effizienzverluste durch Umwandlung zu vermeiden.

Zusätzliche Maßnahmen zur Beschleunigung des Ausbaus wie öffentliche Investitionen sind notwendig, werden hier aber nicht im Detail ausgeführt.

Nachhaltiges Gas als Übergangslösung einsetzen

Während des Phase-out aus den fossilen Energieträgern, aus systemischer Notwendigkeit zur Erreichung der erforderlichen Effizienz und als Backup zu Zeiten geringer erneuerbarer Stromproduktion, sind die vorhandenen Gaskraftwerke zu erhalten und langfristig ausschließlich mit erneuerbarem Gas zu betreiben.

Als Einschätzung für die Gesamtoption sind folgende Diskussionspunkte anzuführen:

a. Potentielle Konflikte und Systemwiderstände

Einer raschen Verdrängung von fossilen Energieträgern durch den Ausbau erneuerbarer Energien steht entgegen, dass die geplanten Laufzeiten von konventionellen Umwandlungsanlagen aus ökonomischen Überlegungen der Betreiber_innen nicht verkürzt werden sollen. Vorzeitige Abschaltung führt zu Wertvernichtung (Blazejczak, Edler, Gornig & Kemfert, 2018)⁴ und neu entstehender Bedarf an Infrastruktur z.B. für Fernwärme muss neben der Umstellung

3 Option 13_06: Korrekte und engagierte Umsetzung der neuen energie- und klimarelevanten Rechtsakte der EU.

4 Durchschnittliche Laufzeit fossil gefeuerter Kraftwerke: ca. 50-55 Jahre (Markewitz, 2016).

des Energieträgers berücksichtigt werden. Der Import von erneuerbaren Gasen kann diese Konflikte abmildern. Bei privaten Haushalten ist der Umbau eines bestehenden Hauses auf erneuerbare Energie meist mit hohen Kosten für die Privatperson verbunden. Hier braucht es Lösungen bzw. Anreize für Privatpersonen, um auf erneuerbare Energiequellen umzusteigen.

b. Transformationspotential

Durch die günstigen Voraussetzungen bietet diese Option ein hohes Transformationspotential zur Umstellung des Energiesystems auf erneuerbare Quellen, da ein begonnener Trend (wie die niedrigen Stromgestehungskosten nachhaltiger Energien und der Trend weg von fossilen Energieträgern) weiter begünstigt wird.

c. Umsetzungsanforderung: innerhalb existierender Systeme - geringe/grundlegende Systemveränderungen

Die Anforderung an das Energiesystem steigt mit dem Durchsatz von RES und deren jeweiliger Größe (Bachner, Steininger, Williges & Tuerk, 2019): Der Speicherbedarf und die Netzanforderungen steigen auf Grund der volatilen Energieerzeugung an. Das bestehende Strom- und Gasnetz ist als Basis zu nutzen und kann an Engstellen erweitert werden. Dies ist Inhalt des Targets 7.1 und wird in Option 02 eingehender betrachtet. Die Erweiterung ist je nach gewählter Speicher- und Netzstrategie zwar teuer und aufwändig, aber nicht disruptiv. Im Vergleich zu anderen Lösungsansätzen und Flexibilisierungsoptionen stellt es derzeit dennoch die günstigste Variante dar.

Die Anforderungen ans Steuersystem werden im SDG 13 geklärt, in der Option 13.01 „ökosoziale Steuerreform“.

07_01.3.2 Erwartete Wirkweise

Die Pönalisierung des CO₂-Ausstoßes z.B. durch das europäische Emissionshandelssystem oder eine CO₂-Bepreisung wirken sich aus einem ökonomietheoretischen Blickwinkel in zwei Richtungen aus: Erstens erfolgt eine Reduktion durch Effizienzmaßnahmen (effizientere Prozesse, Abwärmenutzung) sowie durch eine Umstellung auf Substitute. Letzteres wirkt sich primär auf die Erzeugung von Strom aus (Hájek, Zimmermannová, Helman & Roženský, 2019; Kirchner et al., 2018) und führt langfristig zu einer Substitution fossil betriebener Prozesse durch elektrische. Indirekt motiviert die CO₂-Bepreisung eine erhöhte Effizienz z.B. von Produktionsschritten (Wang, Saunders, Moreno-Cruz & Caldeira, 2019). Bei nichtenergetischem Einsatz von Energieträgern müssen fossile Energieträger durch erneuerbare ersetzt und die Technologien dafür umgestellt werden. Modellstudien (Bayer & Aklín, 2020; Wilson & Staffell, 2018) zur CO₂-Steuer besagen, dass auch ein niedriger Steuersatz mit der Aussicht auf Erhöhung zu einer Reduktion des CO₂-Ausstoßes motiviert.

Als Indikator wird aktuell der Anteil der RES am Energiemix erhoben, zusätzlich sind auch die Absolutzahlen der RES-Produktion notwendig, um den Fortschritt von 7.2 zu beobachten: Hier sollten die installierte Leistung und/oder die produzierte Menge aufgenommen werden.

Bei einem starken Ausbau der RES sind negative Rückkopplungen zu erwarten, nämlich ein höherer Bedarf an ausgleichenden Maßnahmen wie überregionalem Stromtransfer und Speicherung – lt. Bachner et al., 2019 ergibt sich unter Berücksichtigung der Integrationskosten großer Anlagen in Österreich aus makroökonomischer Betrachtungsweise hinsichtlich des gesellschaftlichen Wohles ein Nullsummenspiel. Die CO₂-Bepreisung in der ökosozialen Form würde die negativen Folgen für Privathaushalte, die von Energiearmut bedroht sind, abfedern bzw. ausgleichen.

Eine indirekte Auswirkung, die sich durch die CO₂-Bepreisung ergibt, lautet folgendermaßen: (Fossile) Energie wird teurer und Effizienz in den fossil betriebenen Branchen attraktiver. Beim Strompreis konkurrieren zwei Effekte in der Preisbildung: Die erwarteten Stromgestehungskosten werden sich laut einer Studie von Fraunhofer ISE (Kost et al., 2018) für PV und Wind weiter verringern (siehe **Abb. O_7-01_04**). Aufgrund des Merit-Order-Effekts sinken damit die Kosten für die Energieerzeugung. Wenn Gaskraftwerke beim Lückenschluss in der Stromversorgung wegen der volatileren Betriebsstunden einen höheren Aufschlag verlangen, kann der Strompreis dagegen steigen.

In der Mobilität würde die Wirkungsweise einer Steigerung der Mineralölsteuer entsprechen, wie sie kürzlich vom Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz (JKU) untersucht wurde. Die Forschungsarbeit kommt zu dem Schluss, dass durch eine Erhöhung einerseits der Tanktourismus über die Grenzen Österreichs verringert wird und andererseits öffentliche Verkehrsmittel konkurrenzfähiger oder attraktiver gemacht werden. Für Pendler_innen sollte die Erhöhung über die Pendlerpauschale, eventuell in einer reformierten Version (Verkehrsclub Österreich (VCÖ), 2020), ausgeglichen werden. In diesem Zusammenhang ergibt sich ein Lenkungseffekt in Richtung einer nachhaltigeren Mobilität (Müller, Prieler, Schneider & Steinmüller, 2019).

Mit der Nutzung von Abwärme lässt sich der Energieaufwand für Raumwärme und Warmwasserbereitung deutlich verringern, die Einbindung von Geothermie könnte zudem ca. 25 % der derzeit fossil aufgewandten Heizenergie ersetzen (Verein Erneuerbare Energie Österreich, 2019). Durch die Berücksichtigung beider Technologien kann sowohl zentral als auch dezentral Heizenergie bereitgestellt werden. Abwärme erreicht bisher selbst im urbanen Raum nur einen geringen Anteil an der Fernwärmeversorgung (Moser & Lassacher, 2020), dieser Anteil ließe sich vergrößern.

Auch die Nutzung von Biogas und Treibstoff, der mit Power-to-Gas erzeugt wird, weist hinsichtlich des CO₂-Aufkommens Potential auf: Bei der Rohbiogasaufbereitung wird CO₂ abgetrennt, das für eine Sektorkopplung zur Methanisierung von nachhaltig erzeugtem Wasserstoff verwendet werden kann. Somit kann der Anteil an erneuerbarem Gas im Gasnetz weiter erhöht werden.⁵

⁵ Naturgas: 453 PJ, Biogenes Gas: 171 GWh = 0,6 PJ: derzeit also unter 1 % (Kriechbaum, 2019; Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) (2019).

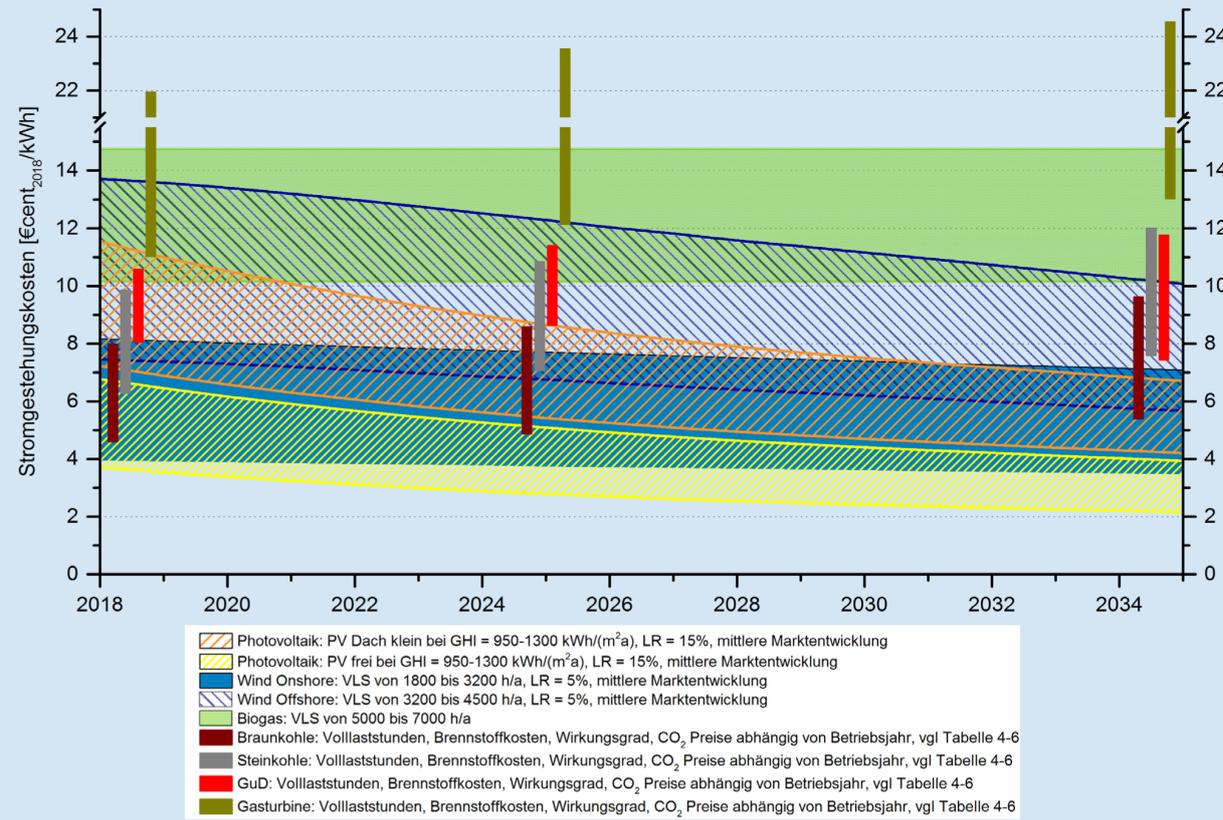


Abbildung 16: Prognose für die Entwicklung der Stromgestehungskosten für erneuerbare Energien sowie konventionelle Kraftwerke in Deutschland bis 2035

Abb. O_7-01_04: Prognose für die Stromgestehungskosten. Quelle: Kost et al. (2018).

// Fig. O_7-01_04: Forecast of electricity production costs. Source: Kost et al. (2018).

07_01.3.3 Bisherige Erfahrungen mit dieser Option oder ähnlichen Optionen

- In UK wurde ein *Floor Price* zusätzlich zum von der EU geregelten ETS-Preis eingeführt, dadurch wurde ein schneller Umstieg von Kohle auf Gas erreicht (zwischen 2013 und 2020), auch RES haben gewonnen (aber nicht so stark). Beim CO₂-Ausstoß erfolgte durch den Brennstoffwechsel ein starker Rückgang (Wilson & Staffell, 2018). Die für den Umstieg benötigte Infrastruktur war bereits vorhanden.
- Das ETS-Konzept der EU hat laut Modellstudien (Bayer & Aklin, 2020) Effekte auf den CO₂-Ausstoß. Effekte zur Energieerzeugung sind hier nicht explizit abgeleitet.
- Im Zuge der Erstellung des Kapitels B dieses Berichts kam im Schreibteam sowie im Lenkungsausschuss der Wunsch auf, der vorliegenden Option SDG 7_01 einen Anhang anzufügen: dieser Anhang beinhaltet eine Liste konkreter vielfältiger Submaßnahmen, die im Ref-NEKP aufgezählt sind (Kirchengast, G., Kromp-Kolb, H., Steininger, K., Stagl, S., Kirchner, M., Ambach, Ch., Grohs, J., Gutsohn, A., Peisker, J., Strunk, B., 2019). Eine wissenschaftliche Einschätzung zu Wirkungsweise, zum Zeithorizont und den Wechselwirkungen mit weiteren Maßnahmen wurde seitens des SDG 7-Teams nicht vorgenommen. Informationen zur angewandten Methodik bei der Erstellung von Teil B, zur Organisation und den Aufgaben von Schreibteam und Lenkungsausschuss können im Teil A nachgelesen werden.

07_01.3.4 Zeithorizont der Wirksamkeit

kurzfristig und langfristig

Nach einer Lebensdauer von durchschnittlich 55 Jahren werden fossile Kraftwerke stillgelegt, das Durchschnittsalter von gasgefeuerten KWK-Anlagen in Deutschland liegt z.B. bei ca. 30 Jahren (Markewitz, 2016). Eine Beschleunigung der Stilllegung mittels ökonomischen Drucks könnte durch eine Steuer wie z.B. in UK erreicht werden: In diesem Fall wurde im Zeitraum von ca. einem Jahr eine Umstellung von 15 % des Strombedarfs auf Gas erreicht, sechs Jahre wurden für eine RES-Steigerung um 15 Prozentpunkte benötigt (Wilson & Staffell, 2018).

In der langfristigen Vision werden alle Gas-KWK mit erneuerbarem Gas (synthetisches Naturgas oder Biogas) betrieben. Zur Stromnetzstützung in einem erneuerbaren Energiesystem sind diese Anlagen (schlussendlich betrieben mit erneuerbar erzeugtem Methan) betriebsfähig zu halten sowie Infrastrukturen mit Wasserstoff zu erstellen (Brown, Schlachtberger, Kies, Schramm & Greiner, 2018). Darauf wird in Option 7_03 eingegangen.

Sowohl im Energiebereich als auch im privaten, industriellen und Dienstleistungssektor sind kurz- und langfristige Investitionen zur Umstellung des Energiesystems zu tätigen (Kirchner et al., 2018).

07_01.3.5 Vergleich mit anderen Optionen, mit denen das Ziel erreicht werden kann

Option ökosoziale CO₂-Steuerreform [Target 13.2 – Option 13_01]

Laut verschiedener Literaturquellen ist die Erhebung einer CO₂-Bepreisung die effizienteste Maßnahme zur Verringerung des CO₂-Ausstoßes (Baranzini et al., 2017; Bayer & Aklin, 2020; Schmidt, Leduc, Dotzauer & Schmid, 2011; Wilson & Staffell, 2018).

Die Maßnahme der CO₂-Bepreisung wird auch in einem SDG-übergreifenden Team aufgegriffen und unter mehreren Gesichtspunkten betrachtet. Die Erhebung der Steuern ist der erste Schritt in dieser Überlegung, dieser dient vorrangig zur Steuerung des CO₂-Ausstoßes. In weiteren Schritten werden die Steuereinnahmen wieder nach ökonomischen, ökologischen und sozialen Gesichtspunkten ausgeschüttet. Damit kann der Ausbau der erneuerbar erzeugten Energien gesteuert werden. Hierbei ist die wissenschaftliche Zusammenarbeit aller SDG-Gruppen notwendig.

Mit anderen Maßnahmen, die konkreter auf einzelne Anwendungsfälle zugeschnitten sind, lassen sich nur einzelne Aspekte beheben. Der Verkehr kann z.B. in einem einzeln gestellten Themenblock behandelt werden und zwar durch die Erhebung einer höheren Mineralölsteuer. Diese Steuer ist aber durch einige Ausnahmen eingeschränkt, z.B. bei der Luftfahrt. Ihre Wirkung ist daher weniger weitreichend.

Ebenso wird eine Förderung von PV-Anlagen den Ausbau dieser einzelnen Technologie beschleunigen, für andere Technologien müssten eigene spezifische Programme entwickelt werden. Eine Regelung über den Markt nach Schaffung eines Level-Playing-Field würde effizienter greifen und auch die Neuentwicklung von Technologien automatisch mit einbinden.

Eine explizite Förderung der RES wird dennoch notwendig bleiben. Hinsichtlich der Potentiale sollte dies im Stromsektor vorrangig PV und Wind sein sowie im Niedrigexergie-Bereich die Geo- und Solarthermie.

07_01.3.6 Interaktionen mit anderen Optionen

Durch den im Überblickstext zum SDG 7 dargestellten Zusammenhang mit den weiteren Optionen zur Infrastruktur (7_03) und Effizienz (7_02) wird die Interaktion innerhalb des SDG-Themenblocks deutlich: Der Ausbau der erneuerbaren Energien dient als Grundlage für die weiteren Schritte zur Dekarbonisierung.

Option 1_04: Klimagerechte Energiearmutsbekämpfung

Option 8_02: Investitionsprogramm zur Bewältigung der Covid-19-Wirtschaftskrise

Option 8_03: „Faktor X“: Verbesserung der Ressourceneffizienz durch steuerliche und regulatorische Maßnahmen

Treibhausgasemissions-Bonus-Malus-System für öffentliche Gebäude [Target 11.6 – Option 10]

Das Ziel der Option ist, einen Beitrag zur Dekarbonisierung der Bauwirtschaft zu leisten, indem die bei öffentlichen Neubauten entstehenden Treibhausgasemissionen (THGE) über zusätzliche Kosten (projektbezogene Strafzahlungen) berücksichtigt werden und im Rahmen des Zuschlagverfahrens mit einem THGE-Bonus gefördert oder einem THGE-Malus belegt werden. Es wird erwartet, dass Auftraggeber_innen nach Umsetzung dieser Option danach streben, die zusätzlichen Kosten so gering wie möglich zu halten, indem die THGE reduziert werden. Der Einsatz von erneuerbaren Energieträgern hat diesbezüglich sowohl auf die Herstellungsphase (z.B. Energieeinsatz bei der Erzeugung von Bauprodukten) als auch auf die Nutzungsphase (z.B. durch die Deckung des Wärme- oder Strombedarfs durch erneuerbare Energien) einen maßgeblichen Einfluss. CO₂-Bepreisung internalisiert die Kosten der THG-Emissionen und kann damit Teil des Bonus-Malus-Systems sein.

Nachhaltiger Umgang mit mineralischen Rohstoffen von der Gewinnung bis inklusive Halbzeugherstellung [Target 12.2 – Option 01]

In dieser Option geht es um die Gewinnung mineralischer Rohstoffe bis zur Halbzeugherstellung aus Primärrohstoffen und recycelten Rohstoffen. Im Zuge der Phasen der Exploration, des Abbaus, der Aufbereitung sowie der weiteren Verarbeitung in Halbzeuge (z.B. durch metallurgische Industrie, Baurohstoffindustrie oder Industriemineral- und Düngemittelindustrie) ist ein hoher Energiebedarf notwendig. Durch den Ausbau der erneuerbaren Energieträger und ihre Einbindung in die Produktionsprozesse könnte dieser Energiebedarf nachhaltig gedeckt werden.

Ökosoziale CO₂-Steuerreform [Target 13.2 – Option 01]

Mit dieser Option wird die Reduktion von Treibhausgasemissionen angestrebt, wobei es um die Konkretisierung der Höhe und Entwicklung des CO₂-Preises sowie um den Einsatz der Steuergelder geht. Einen der Schwerpunkte dieser Option stellt die Besteuerung fossiler Rohstoffe dar. Der Einsatz erneuerbarer Energieträger reduziert den Bedarf an fossilen Rohstoffen und führt somit zu einer Verringerung der steuerlichen Belastung.

Korrekte und engagierte Umsetzung der neuen energie- und klimarelevanten Rechtsakte der EU [Target 13.2 – Option 06]

In dieser Option wird in den Abschnitten 1 und 2 auf die rechtliche Situation von Energieerzeugung und Energieeffizienz eingegangen. Zur Förderung der Erzeugung von erneuerbaren Energien sind die notwendigen Richtlinien und Rahmenbedingungen dargestellt, die die Erzeugung, die Verteilung und die effiziente Nutzung, wie z.B. auch die Nutzung von Abwärme, betreffen.

07_01.3.7 Offene Forschungsfragen

Durch die Umsetzung ergibt sich ein Bedarf an Anpassung der Infrastruktur und des Energiesystems, außerdem ist die gleichzeitige Erhöhung der Effizienz und eine Betrachtung der Suffizienz notwendig. Die Optionen 2 und 3 gehen näher darauf ein. Einzelne Technologien bedürfen noch ausführlicherer Entwicklungsarbeit.

Anhang

Konkrete Maßnahmen zum Ausbau der erneuerbaren Energien

Konkrete Maßnahmen, um den Ausbau der erneuerbaren Energien in Österreich möglichst rasch und umfassend voranzutreiben, betreffen neben dem Bereich Energie und Industrie (siehe Optionen 7_02) auch Maßnahmen in anderen Bereichen, wie beispielsweise Raumplanung und Bewusstseinsbildung. Eine Übersicht der konkretisierten möglichen Maßnahmen sind im Ref-NEKP auf Seite 71 (Tabelle 3) zu finden. Folgende Maßnahmen können in den einzelnen Bereichen erneuerbare Energien vorantreiben⁶:

Raumplanung & horizontal

- Systematische Optimierung bzgl. der Produktion, Distribution, Bereitstellung und Speicherung von erneuerbaren Energien

Sozial-ökologische Steuerreform (siehe auch Option 13_01)

- Befreiung erneuerbarer Energien von der Umsatzsteuer, bis Ausbauziele erreicht sind
- Streichung der Eigenstromsteuer

Forschung & Entwicklung

- Intensive Weiterentwicklung der Stromspeicher

Vermarktung

- Schaffung von Märkten für Energiedienstleistungen
- Eigenvermarktung von erneuerbarem Strom
- Erneuerbare-Energie-Gemeinschaften
- Einführung von Marktprämien
- Abbau der Wartelisten für Förderungen

Investitionsförderung

- Festlegen von Ausbauzielen und Anpassung der Investitionsförderungen
- Prüfung aller bestehender Fördermaßnahmen hinsichtlich einer Kopplung an die Nutzung erneuerbarer Energien / Eigenversorgungsgrad

Bewusstseinsbildung

- Verstärkte Öffentlichkeitsarbeit und Weiterbildung
- Herkunftsnachweise / Kennzeichnung von Produkten

Darüber hinaus gibt es technologiespezifische umgesetzte (*) geplante (**) und notwendige Maßnahmen, die im Ref-NEKP ab Seite 97 detailliert beschrieben und im Folgenden überblicksmäßig dargestellt sind:

PV

- 100.000-Dächer-PV und Kleinspeicher-Programm**
- Ausweitung Förderung größere PV-Anlagen**
- Aufhebung eventueller Deckelungen bis zu einem festgelegten Gesamtausbaumaß
- Reduktion des Verwaltungsaufwands für Förderungen und Netzanschluss
- Abbau von PV-Investitionshemmnissen
- Erhöhung der Förderung von Forschung und Entwicklung

PV/Solarthermie

- Reform von Baunormen und Denkmalschutz

PV/Windkraft

- Referenzertragsmodell

Windkraft

⁶ Ab Seite 86 im Ref-NEKP sind die Maßnahmen zum Ausbau erneuerbarer Energien genauer ausgeführt und auf Seite 90 (Tabelle 5) sind bestehende, geplante und ergänzende Maßnahmen nochmals zusammengefasst.

- Modernisierung von Windkraftanlagen**
- Ausschreibung von Marktprämien**
- Administrative Festsetzung und Vergabe von Marktprämien
- Förderung der Eigenversorgung
- Mikrowindkraft bis 1 kW im städtischen Raum
- Winterstromprämie

Wasserkraft

- Optionaler Umstieg auf Direktvermarktung / Marktprämie**

Biomasse/Biogas

- Quotensystem für Biogas und Biomethan**
- Nachfolgeregelung für Biomasseanlagen**
- Beimischung Agrartreibstoffe*
- Ausschreibung von Marktprämien feste Biomasse**

Solarthermie

- Umstellung der Investitionsförderung
- Förderung von hybriden PV- und Solarthermiemodulen
- Verkürzung der Abschreibedauer auf 2 Jahre
- Start eines Pilotanlagenprogramms (2020–2025)

Erdwärme

- Novellierung des MinroG hinsichtlich tiefer Geothermie
- Einführung eines Konzessions-Systems
- „Non recourse“-geförderte Kredite für Investitionen sowie Tilgungszuschüsse für Anlagen mit einer Bohrtiefe von über 1.000 m

Speicher/Netze

- Wasserstoffstrategie**
- Integrierter Netzinfrastrukturplan**
- Netzreserve & Demand-Side-Maßnahmen**
- Benutzerfreundliche Installation und Betrieb von Speichereinheiten und Ladeinfrastruktur**
- Herkunftsnachweise für erneuerbare Wärme und Kälte**
- Erleichterungen im Starkstromwegerecht**
- Umsetzung des geplanten Netzausbaus**
- Ausstieg aus fossiler Mindesterzeugung
- Förderung der gemeinsamen Nutzung von Speichern

Investitionsförderung für Energiemanagementsysteme

Literatur

Bachner, G., Steininger, K. W., Williges, K. & Tuerk, A. (2019). The economy-wide effects of large-scale renewable electricity expansion in Europe: The role of integration costs. *Renewable Energy*, 134, 1369–1380. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.052>

Baranzini, A., van den Bergh, J. C. J. M., Carattini, S., Howarth, R. B., Padilla, E. & Roca, J. (2017). Carbon pricing in climate policy: seven reasons, complementary instruments, and political economy considerations.

Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 8(4), 1-17. <https://doi.org/10.1002/wcc.462>

Bayer, P. & Aklin, M. (2020). The European Union Emissions Trading System reduced CO2 emissions despite low prices. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(16), 8804–8812. <https://doi.org/10.1073/pnas.1918128117>

Blazejczak, J., Edler, D., Gornig, M. & Kemfert, C. (2018). Energiewende für die Modernisierung des Industriestandorts Deutschland nutzen. *Wirtschafts-*

dienst, 98(8), 565–573. <https://doi.org/10.1007/s10273-018-2332-5>

BMNT. (2019). *Energie in Österreich 2019 – Zahlen, Daten, Fakten* (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Hrsg.). Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

Brown, T., Schlachtberger, D., Kies, A., Schramm, S. & Greiner, M. (2018). Synergies of sector coupling and transmission reinforcement in a cost-optimized, highly renewable European energy system. *Energy*, 160, 720–739. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.222>

Elshout, P. M. F., van der Velde, M., van Zelm, R., Steinmann, Z. J. N. & Huijbregts, M. A. J. (2019). Comparing greenhouse gas footprints and payback times of crop-based biofuel production worldwide. *Biofuels*, 1–7. <https://doi.org/10.1080/17597269.2019.1630056>

European Academies' Science Advisory Council. (2019). Forest bioenergy, carbon capture and storage, and carbon dioxide removal: An update. Zugriff am 27.04.2021. Verfügbar unter: https://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Negati-

ve_Carbon/EASAC_Commentary_Forest_Bioenergy_Feb_2019_FINAL.pdf

Geyer, R., Knöttner, S., Diendorfer, C. & Drexler-Schmid, G. (2019). *IndustRIES. Energieinfrastruktur für 100 % Erneuerbare Energie in der Industrie*. Wien.

Gimon, E., O'Boyle, M., Clack, C. T. & McKee, S. (2019). Coal-Cost-Crossover. Energy-Innovation_VCE_FINAL. Zugriff am 20.02.2020. Verfügbar unter: https://energyinnovation.org/wp-content/uploads/2019/03/Coal-Cost-Crossover_Energy-Innovation_VCE_FINAL.pdf

Hájek, M., Zimmermannová, J., Helman, K. & Rozenský, L. (2019). Analysis of carbon tax efficiency in energy industries of selected EU countries. *Energy Policy*, 134, 110955. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110955>

Kavlak, G., Mc Nerney, J. & Trancik, J. E. (2018). Evaluating the causes of cost reduction in photovoltaic modules. *Energy Policy*, 123, 700–710. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.015>

Kirchner, M., Sommer, M. & Kettner-Marx Claudia. (2018). *CO2 Tax Scenarios for Austria. Impacts on Household Income Groups, CO2 Emissions, and the Economy (ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG, Hrsg.)*. Verfügbar unter: https://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person_dokument/person_dokument.jart?publikationsid=60975&mimetype=application/pdf

Kirchner, M., Sommer, M., Kratena, K., Kletz-Slamanig, D. & Kettner-Marx, C. (2019). CO2 taxes, equity and the double dividend – Macroeconomic model simulations for Austria. *Energy Policy*, 126, 295–314. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.030>

Köppl, A., Schleicher, S., Schratzenstaller, M. & WIFO. (2019). *Policy Brief: Fragen und Fakten zur Bepreisung von Treibhausgasemissionen. ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG*.

Kost, C., Mayer, J., Thomsen, J., Hartmann, N. & Senkpiel, C. (2013). *Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien Studie Version November 2013*. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE. Verfügbar unter: <https://windfakten.at/mmedia/download/2015.08.25/1440495058293126.pdf>

Kost, C., Schlegl, T. & Fraunhofer ISE. (2018). *Stromgestehungskosten erneuerbare Energien*. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE. Verfügbar

unter: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2018_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf

Markewitz, P. (2016). Lebensdaueranalyse fossil gefeuerter Kraftwerke. *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, 40(3), 171–177. <https://doi.org/10.1007/s12398-016-0182-7>

Moser, S., Goers, S., Bruyn, K. de, Steinmüller, H., Hofmann, R., Panuschka, S. et al. (2018). Renewables4Industry 2018-02-05 v4. Endberichtsteil 2/3: Diskussionspapier.

Moser, S. & Lassacher, S. (2020). External use of industrial waste heat - An analysis of existing implementations in Austria. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121531. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121531>

Müller, C., Prieler, M., Schneider, F. & Steinmüller, H. (2019). *Die Anhebung der Mineralölsteuer (MöSt) für eine nachhaltige Entwicklung – ökologisch, ökonomisch und sozial!* Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz. Verfügbar unter: <https://energieinstitut-linz.at/das-energieinstitut-plaedierte-fuer-eine-anhebung-der-mineraloelsteuer-um-15-fuer-eine-nachhaltige-entwicklung/>

Reid, W. V., Ali, M. K. & Field, C. B. (2020). The future of bioenergy. *Global Change Biology*, 26(1), 274–286. <https://doi.org/10.1111/gcb.14883>

Schmidt, J., Leduc, S., Dotzauer, E. & Schmid, E. (2011). Cost-effective policy instruments for greenhouse gas emission reduction and fossil fuel substitution through bioenergy production in Austria. *Energy Policy*, 39(6), 3261–3280. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.03.018>

Sejkora, C., Kühberger, L., Radner, F., Trattner, A. & Kienberger, T. (2020). Exergy as Criteria for Efficient Energy Systems—A Spatially Resolved Comparison of the Current Exergy Consumption, the Current Useful Exergy Demand and Renewable Exergy Potential. *Energies*, 13(4), 843. <https://doi.org/10.3390/en13040843>

Spertino, F., Di Leo, P. & Cocina, V. (2013). Economic analysis of investment in the rooftop photovoltaic systems: A long-term research in the two main markets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 531–540. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.024>

VCO. (2020). *Ein Viertel der Pendlerpauschale von Personen mit mehr als 50.000 Euro Einkommen beantragt*. Presseaussendung. Wien.

Verfügbar unter: <https://www.vcoe.at/presse/presseaussendungen/detail/ein-viertel-der-pendlerpauschale-von-personen-mit-mehr-als-50-000-euro-einkommen-beantragt>

Verein Erneuerbare Energie Österreich. (2019). *Positionspapier Wärmewende. Ein Konzept des Dachverbandes Erneuerbare Energie Österreich*. Wien.

Wang, R., Saunders, H., Moreno-Cruz, J. & Caldeira, K. (2019). Induced Energy-Saving Efficiency Improvements Amplify Effectiveness of Climate Change Mitigation. *Joule*, 3(9), 2103–2119. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.07.024>

Wilson, I. A. G. & Staffell, I. (2018). Rapid fuel switching from coal to natural gas through effective carbon pricing. *Nature Energy*, 3(5), 365–372. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0109-0>

Zhu, K., Victoria, M., Brown, T., Andresen, G. B. & Greiner, M. (2019). Impact of CO2 prices on the design of a highly decarbonised coupled electricity and heating system in Europe. *Applied Energy*, 236, 622–634. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.016>