

StartClim2018.D

***Business4Climate* – Unternehmensstrategien im Einklang mit Klimaschutz und Klimawandelanpassung**

Umweltbundesamt GmbH

umweltbundesamt^U

PERSPEKTIVEN FÜR UMWELT & GESELLSCHAFT

ProjektmitarbeiterInnen und AutorInnen des Berichts

Johanna Vogel, DPhil (Projektleiterin)

Konstantin Geiger, BSc, MSc

Umweltbundesamt GmbH

Für hilfreiche Kommentare und interessante Diskussionen danken wir Silvia Benda-Kahri, Elisabeth Heninger, Klaus Radunsky, Elisabeth Rigler und Ilse Schindler vom Umweltbundesamt.

Diese Publikation sollte folgendermaßen zitiert werden:

Vogel, J. & Geiger, K. (2019): *Business4Climate – Unternehmensstrategien im Einklang mit Klimaschutz und Klimawandelanpassung*. Endbericht von StartClim2018.D in StartClim2018: Weitere Beiträge zur Umsetzung der österreichischen Anpassungsstrategie, Auftraggeber: BMLFUW, BMWF, ÖBf, Land Oberösterreich

Wien, im Juni 2019

StartClim2018.D

Teilprojekt von StartClim2018

Projektleitung von StartClim2018:

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt

Institut für Meteorologie, Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien

URL: www.startclim.at

StartClim2018 wurde aus Mitteln des BMNT, des BMBWF, und des Landes Oberösterreich gefördert.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
Abstract	5
D-1 Einleitung	6
D-1.1 Klimaschutz und Wirtschaft: (K)ein Widerspruch?	6
D-1.2 Diese Studie	7
D-2 Der Klimawandel und die Wirtschaft in Österreich	8
D-2.1 Klimawandel und Klimaschutz in Österreich	8
D-2.2 Österreichs Emissionen nach Sektoren	10
D-2.3 Innovation und Klimaschutz	12
D-3 Methode und Datenbasis	14
D-4 Ergebnisse	17
D-4.1 Best-Practice-Beispiele für Synergien zwischen Wirtschaft und Klimaschutz	17
<i>D-4.1.1 Neue Grund-, Werk-, Treib- und Brennstoffe</i>	<i>17</i>
<i>D-4.1.2 Elektrifizierung des Energiebedarfs</i>	<i>22</i>
<i>D-4.1.3 Energieeffizienz / kaskadische Energienutzung</i>	<i>24</i>
<i>D-4.1.4 Energiespeichertechnologien und Sektorkopplung</i>	<i>26</i>
<i>D-4.1.5 Recycling und Kreislaufwirtschaft</i>	<i>30</i>
D-4.2 Rahmenbedingungen für die erfolgreiche Umsetzung in Österreich	32
<i>D-4.2.1 Rechtliche Rahmenbedingungen</i>	<i>32</i>
<i>D-4.2.2 Infrastrukturausbau</i>	<i>32</i>
<i>D-4.2.3 Informations- und Vernetzungsmaßnahmen</i>	<i>32</i>
<i>D-4.2.4 Forschung</i>	<i>33</i>
<i>D-4.2.5 Ökonomische Anreize</i>	<i>33</i>
D-5 Schlussbetrachtung	34
Literaturverzeichnis	35
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	38
Anhang: Beispielhafter Interviewleitfaden	39

Kurzfassung

In dieser Studie werden nationale und internationale Ansätze zur Vereinbarkeit von Wirtschaftlichkeit, Klimawandelanpassung und Klimaschutz im Hinblick auf Österreichs Klimaziele 2030 und 2050 erhoben und analysiert. Der Fokus liegt dabei auf jenen Branchen, deren Dekarbonisierung noch als Herausforderung gilt, wie die energieintensive Industrie, der Gebäude- und der Verkehrsbereich. Anhand einer umfassenden Literaturrecherche sowie leitfadengestützter Interviews mit 13 ExpertInnen aus Wirtschaft und Wissenschaft werden die wichtigsten innovativen Strategien herausgearbeitet und auf ihre Umsetzbarkeit in Österreich hin analysiert.

Beispiele inkludieren neue Technologien wie Power-to-Gas und die Stahlerzeugung mit Wasserstoff; Produkte wie Wärmepumpen oder CO₂-arme Zemente; und neue Geschäftsmodelle wie im Recycling oder in Energiedienstleistungen. Einige der erhobenen Ansätze sind laut InterviewpartnerInnen bereits jetzt wirtschaftlich interessant für Industrie und Verbraucher, so zum Beispiel die industrielle Abwärmenutzung oder die Bioraffinerie. Andere sind technologisch noch nicht ausgereift und erfordern weitere Forschung und Entwicklung, ökonomische Anreize, einen (für manche Ansätze europaweit koordinierten) Ausbau von Energieerzeugung und Infrastruktur oder eine Anpassung rechtlicher Rahmenbedingungen.

In Summe ist durch die momentan bekannten Ansätze zur Dekarbonisierung in Industrie, Verkehr und Gebäuden ein deutlicher Anstieg des Bedarfs an erneuerbarem Strom zu erwarten. Dem kann einerseits mit einer Steigerung der Energieeffizienz begegnet werden, wozu die Integration aller Sektoren über die Sektorkopplung beitragen kann, sowie mit einer europaweit vernetzten und koordinierten Strom- und Wasserstoffversorgung. Andererseits sind Änderungen im Verbraucherverhalten, beispielsweise in der Mobilität und hinsichtlich der Klimaverträglichkeit von Produkten notwendig, um den Energieverbrauch gering zu halten und die Klimaziele zu erreichen.

Abstract

In view of Austria's climate targets for 2030 and 2050, this study surveys and analyses national as well as international approaches that provide opportunities for business and are also compatible with climate change mitigation and adaptation. The focus is on those sectors where decarbonisation is still considered a challenge, such as energy-intensive industries, the buildings and the transport sectors. By means of a comprehensive literature review as well as guideline-based interviews with 13 experts from the business and research communities, the most important innovative business strategies are identified and analysed regarding their practical applicability in Austria.

Examples include new technologies such as Power to Gas and hydrogen-based steelmaking; products like heat pumps or low-carbon cement; and new business models in recycling or in energy services. According to the interview partners, some of the investigated approaches are already interesting from an economic point of view for industry and consumers, for instance industrial waste heat utilisation or bio-refinery. Others are not yet technologically mature and require further research and development, economic incentives, new infrastructure development (for some approaches coordinated at the European level) or adjustments to the legal framework.

Overall, the currently known decarbonisation strategies in industry, transport and buildings imply a significant rise in renewable electricity demand. On the one hand, this can be countered by increasing energy efficiency, for example via sector coupling, and by linking and coordinating electricity and hydrogen supply on a European level. On the other hand, changes in consumer behaviour regarding mobility or the climate compatibility of products are necessary to keep energy consumption low and reach the climate targets.

D-1 Einleitung

D-1.1 Klimaschutz und Wirtschaft: (K)ein Widerspruch?

Der Klimawandel ist eine der großen Herausforderungen dieses Jahrhunderts. Um seine extremsten Auswirkungen zu vermeiden, hat sich die internationale Staatengemeinschaft 2015 im Pariser Klimaübereinkommen das Ziel gesetzt, die Erderwärmung gegenüber dem vorindustriellen Niveau auf deutlich unter 2°C und möglichst auf 1,5°C zu begrenzen. Laut dem Intergovernmental Panel on Climate Change müssen für letzteres die globalen CO₂-Emissionen bis 2050 netto auf null reduziert werden, d.h., es dürfen nicht mehr Treibhausgase ausgestoßen werden als anderweitig wieder kompensiert werden können (IPCC 2018). Die EU-Kommission stellt in ihrer Langfriststrategie bis 2050 verschiedene Szenarien vor, wie eine solche Klimaneutralität erreicht werden kann, mit Emissionsreduktionen von -80 bis -100% gegenüber 1990 (EK 2018a,b).

Für die Industrieländer bedeutet das Pariser Klimaübereinkommen daher eine weitgehende Dekarbonisierung von Wirtschaft und Gesellschaft, also einen Ausstieg aus fossilen Energieträgern und Grundstoffen. Auch die österreichische Bundesregierung bekennt sich in ihrer Klima- und Energiestrategie, der #mission2030, zu einer solchen langfristigen Dekarbonisierung, bei gleichzeitiger Stärkung des heimischen Wirtschaftsstandorts und der Sicherstellung sozialer Ausgewogenheit.

Aus volkswirtschaftlicher Perspektive kann die Dekarbonisierung, ähnlich dem Aufstieg der Informations- und Kommunikationstechnologien im 20. Jahrhundert, als eine der „großen Wellen“ des technologischen Wandels gesehen werden (Stern 2015). Diese gehen üblicherweise mit großer Innovations- und Investitionsdynamik einher und führen zu tiefgreifenden strukturellen Veränderungen in Wirtschaft und Gesellschaft. Auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht kann frühzeitiges Reagieren auf den Klimawandel zum langfristigen Erhalt der internationalen Wettbewerbsfähigkeit beitragen, da sie Innovationen anstoßen, die einerseits Kosten senken und andererseits einen „First-Mover Advantage“ in neuen Exportmärkten sichern können (Porter und van der Linde, 1995). In diesem Sinn stellt eine gut ausgestaltete Dekarbonisierung, in die alle Stakeholder miteinbezogen werden, eine bedeutende wirtschaftliche Chance dar.

Österreich ist auf dem Gebiet der Umweltwirtschaft bereits gut aufgestellt: Der Anteil umweltorientierter Produktion und Dienstleistungen an BIP und Beschäftigung ist hierzulande rund doppelt so hoch als im Durchschnitt der EU-28 (Statistik Austria 2019a). Auch sind österreichische Unternehmen in den Umwelttechnikbranchen – häufig klein- und mittelgroße Betriebe – national und international besonders wettbewerbsfähig: Im nationalen Vergleich wachsen sie schnell, investieren viel in Forschung und Entwicklung und sind sehr exportorientiert (IWI et al. 2017). Im Export weisen sie sogar einen für Österreich überdurchschnittlich hohen Weltmarktanteil auf, und einige Unternehmen sind Weltmarktführer in ihrer Marktnische (sog. Hidden Champions; Jungwirth 2015, Umweltbundesamt 2017a).

In manchen Wirtschaftsbereichen bietet die Dekarbonisierung mittlerweile relativ klare neue Geschäftsfelder für Unternehmen, wie zum Beispiel in der Stromversorgung aus erneuerbaren Energieträgern, die an den Gestehungskosten gemessen in den meisten Weltregionen bereits günstiger ist als jene aus fossilen Energieträgern (Bloomberg 2018). In anderen Branchen sind die Umstellungsmöglichkeiten weniger offensichtlich. Dies gilt insbesondere für Industriezweige, in denen Emissionen aufgrund der Energieintensität der Herstellungsprozesse oder der verwendeten Grundstoffe anfallen. Doch auch hier laufen intensive internationale Forschungsanstrengungen (McKinsey 2018, Axelson et al. 2018, EK 2018b), und einige Vorreiterbeispiele kommen aus Österreich. Beide sollen in dieser Studie aufgezeigt werden.

D-1.2 Diese Studie

Ziel dieser Studie ist es, folgende Forschungsfragen zu beantworten:

1. Mit welchen Strategien können die Synergien zwischen den Klimazielen 2030 bzw. 2050 und der Wirtschaftlichkeit von Unternehmen bestmöglich erreicht werden? Welche nationalen und internationalen innovativen Beispiele gibt es dafür?

Unter „Strategien“ werden hier Maßnahmen und Ansätze verstanden, die Unternehmen selbst setzen können, um einerseits ihren Energiebedarf und/oder ihre Emissionen zu reduzieren und damit zu Klimaschutz oder Klimawandelanpassung beizutragen, und die andererseits aus betriebswirtschaftlicher Sicht vorteilhaft sind. Solche Best-Practice-Beispiele können sowohl neue Technologien als auch neue Produkte, Dienstleistungen oder Geschäftsmodelle umfassen.

2. Welche Chancen, Risiken und Hindernisse gehen mit der Umsetzung dieser Strategien in die Praxis einher? Wie können sie trotzdem umgesetzt werden?

Hier werden insbesondere Hemmnisse für die Umsetzung der identifizierten Ansätze aus dem In- und Ausland in Österreich beleuchtet und Rahmenbedingungen für ihre erfolgreiche Implementierung ausgearbeitet.

Der Fokus der Studie liegt auf jenen Branchen, deren Dekarbonisierung als Herausforderung gilt – sei es, weil sie aufgrund der Energieintensität ihrer Produktionsprozesse oder des Kohlenstoffgehalts der verwendeten Grundstoffe besonders emissionsintensiv sind, oder sei es aufgrund der absoluten Höhe ihrer Emissionen. Diese Branchen werden manchmal als „the next frontier“ in der Dekarbonisierung bezeichnet, da sich viele der dafür nötigen Technologien momentan im „Breakthrough“-Stadium befinden (McKinsey 2018, Axelson et al. 2018).

Die Beantwortung oben genannter Forschungsfragen erfolgt auf Basis einer umfassenden Literaturrecherche sowie qualitativer Interviews mit 13 ExpertInnen aus Wirtschaft und Wissenschaft, unter Einbeziehung von zehn SektorexpertInnen vom Umweltbundesamt.

Im Ergebnis liegen Erkenntnisse zu den wichtigsten Strategien zur Dekarbonisierung sowie Handlungsoptionen für deren Umsetzung vor, die in den ExpertInneninterviews genannt wurden. Dazu zählen diverse Anpassungen der rechtlichen Rahmenbedingungen, der Ausbau von Infrastruktur und die Intensivierung von Forschung und Entwicklung, aber auch Informations- und Vernetzungsinitiativen sowie das Setzen ökonomischer Anreize. Besonders für die Dekarbonisierung mit Strom aus erneuerbaren Energieträgern und Wasserstoff wurde die Notwendigkeit betont, ausreichend grünen Strom zu wettbewerbsfähigen Preisen im Vergleich zu fossilen Brennstoffen zur Verfügung zu haben. Außerdem werden Informations- und Vernetzungsinitiativen innerhalb der Wirtschaft als wichtig angesehen, sowohl innerhalb als auch zwischen den Branchen. Ersteres erleichtert es, von klimafreundlichen Vorreitern in der eigenen Wirtschaftsbranche zu lernen, und Letzteres ist zur Abstimmung zwischen den Branchen bei der Sektorkopplung von Bedeutung. Bei einer Dekarbonisierung unter Anwendung der aktuell bekannten CO₂-freien Technologien ist mit einer Vervielfachung des heimischen Strombedarfs zu rechnen. Vor diesem Hintergrund sind auch Verhaltensänderungen der Verbraucher in allen Sektoren besonders wichtig.

Der nächste Abschnitt beschreibt kurz den Stand der Wissenschaft zum Klimawandel in Österreich, die Emissionsintensität der Wirtschaftsbranchen im Land und die Rolle verschiedener Typen von Innovationen bei der Dekarbonisierung in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur. In Abschnitt 3 werden Methode und Datenbasis der Studie erläutert. Abschnitt 4 präsentiert die Ergebnisse hinsichtlich Unternehmensstrategien und Rahmenbedingungen für deren Umsetzung. Abschnitt 5 enthält abschließende Bemerkungen.

D-2 Der Klimawandel und die Wirtschaft in Österreich

Der Klimawandel ist in Österreich mittlerweile deutlich spürbar. So war 2018 das wärmste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen 1786, und von den 20 wärmsten Jahren der Messgeschichte lagen bisher 14 in den 2000er-Jahren (ZAMG 2019a). Extreme Wetterereignisse wie langanhaltende Trockenheit, Hitzeperioden und Starkniederschläge haben zugenommen.

Dadurch hat die Klimaerwärmung bereits beträchtliche Auswirkungen auf die österreichische Volkswirtschaft, insbesondere auf Landwirtschaft, Tourismus und Energieversorgung, aber auch durch die Kosten gesundheitlicher Folgen und des Katastrophenmanagements. Im Projekt COIN wurde geschätzt, dass die wetter- und klimabedingten Schadenskosten in Österreich bereits jetzt durchschnittlich 1 Mrd. Euro im Jahr betragen. Unter Einhaltung des 2°C-Ziels wird bis Mitte des Jahrhunderts mit durchschnittlich 4,2 bis 5,2 Mrd. Euro im Jahr gerechnet, wobei bei einem höheren Temperaturanstieg mit bis zu 8,8 Mrd. Euro im Jahr gerechnet wird (Steininger et al. 2015).

Um diese Schadenskosten, aber auch die Kosten für Klimaschutz und Klimawandelanpassung möglichst gering zu halten, ist frühzeitiges Handeln im Sinn einer Transformation zu einer dekarbonisierten Wirtschaftsweise entscheidend. Die Kosten einer solchen Transformation, auch „costs of action“ genannt, sind mittlerweile deutlich geringer als die „costs of inaction“ (Stern 2015). Modellanalysen der OECD (2017) zeigen zum Beispiel, dass das Ergreifen sofortiger Maßnahmen zum Herbeiführen einer Transformation die Wirtschaftsleistung der G20-Länder um durchschnittlich 4,7% steigern kann (bis 2050 vermiedene Schadenskosten miteingerechnet). Ein verzögertes Einleiten der Transformation erst ab 2025 würde jedoch zu einem Rückgang der Wirtschaftsleistung um durchschnittlich 2% bis 2035 führen.

Im Folgenden werden neben Klimawandel und Klimaschutz in Österreich auch Ansatzpunkte aus der Wirtschaft und den Wirtschaftswissenschaften für einen effektiven Klimaschutz diskutiert, die den in dieser Studie durchgeführten Interviews als Ausgangspunkte dienen.

D-2.1 Klimawandel und Klimaschutz in Österreich

Global gesehen ist die Durchschnittstemperatur dem International Panel on Climate Change zufolge bereits um ca. 1°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau (1850-1900) angestiegen (IPCC 2018). In Österreich – wie im Alpenraum generell – war der mittlere Temperaturanstieg im selben Zeitraum mit rund 2°C bereits doppelt so hoch (ZAMG 2019b). Die aktuelle Erwärmungsphase begann in den 1980er-Jahren, wie aus Abb. D-1 ersichtlich ist. Diese stellt die Entwicklung der mittleren Jahrestemperatur in Österreich (rot) und weltweit (lila) im Vergleich zum Durchschnitt der Jahre 1961 bis 1990 dar (dünne Linien für die jährliche Abweichung, dicke Linien für geglättete Trends). Sollte diese Entwicklung anhalten, so könnte das globale 2°C-Ziel des Pariser Klimaübereinkommens bis Mitte des Jahrhunderts für Österreich eine Erwärmung um beinahe 4°C bedeuten (APCC 2014). Vor diesem Hintergrund wird die Notwendigkeit eines effektiven Klimaschutzes in Österreich besonders deutlich.

Österreich hat sich als Mitgliedsstaat der Europäischen Union und als Vertragspartei des Klimaübereinkommens von Paris zu einer sehr deutlichen Reduktion seiner Treibhausgasemissionen verpflichtet, die ab 2021 wesentlich ambitionierter verlaufen muss als bisher. Während das EU-weite Ziel bis 2020 eine Emissionsreduktion um 20% gegenüber 1990 vorsieht, steigt dieses Ziel bis 2030 auf minus 40%. Für Österreich gelten im Rahmen der Effort-Sharing-Verordnungen der EU für Sektoren außerhalb des Emissionshandels – primär Verkehr, Gebäude und Landwirtschaft – die Minderungsziele von minus 16% bis 2020 und minus 36% bis 2030 (beides gegenüber 2005).

Zur Einhaltung des „deutlich unter 2°C“-Ziels aus dem Pariser Klimaübereinkommen wird bis 2050 ein Rückgang um mindestens 80% gegenüber 1990 als unerlässlich erachtet, mit bis zu 100% (netto null Treibhausgasemissionen) für das 1,5°C-Ziel. Als Zwischenziel hat sich die EU minus 60% im Jahr 2040 gesteckt (gegenüber 1990).

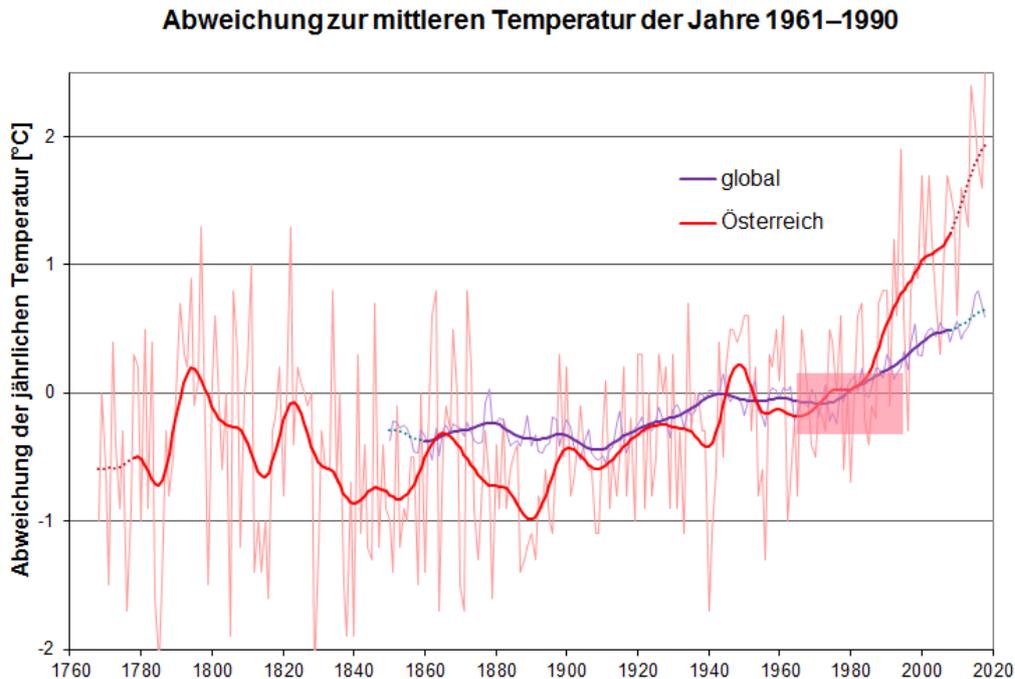


Abb. D-1: Temperaturanstieg in Österreich (rot) und global (lila) seit Beginn der Aufzeichnungen, im Vergleich zum Mittel der Jahre 1961 bis 1990

Quelle: ZAMG (2019b)

Die Bundesregierung hat sich in der österreichische Klima- und Energiestrategie (#mission2030) zu diesen europäischen und internationalen Verpflichtungen bekannt. Derzeit wird der österreichische Nationale Energie- und Klimaplan ausgearbeitet, der im Rahmen der Governance-Verordnung für die Energieunion (EK 2018d) bis Jahresende 2019 final einzureichen ist. Dieser soll Strategien und Maßnahmen enthalten, um die Emissionsreduktionsziele bis 2030 und längerfristig zu erreichen und muss alle zehn Jahre aktualisiert werden. Darüber hinaus haben alle EU-Mitgliedsstaaten bis Jahresbeginn 2020 eine Langfriststrategie zur Emissionsreduktion bis 2050 vorzulegen.

Die letzten Zahlen der Treibhausgas-Emissionsinventur Österreichs (Umweltbundesamt 2019a) zeigen allerdings, dass die Treibhausgasemissionen im Land seit 2015 wieder ansteigen, nachdem sie zuvor seit 2005 gesunken waren. Die aktuellsten Berechnungen zu den Treibhausgas-Emissionsszenarien bis 2050 (Umweltbundesamt 2019b) machen deutlich, dass Österreich seine Klimaziele ab 2021 nur durch das Ergreifen zusätzlicher Klimaschutzmaßnahmen einhalten können wird. So erreicht das Land im Szenario „mit bestehenden Maßnahmen“ nur eine Emissionsreduktion von rd. 15% im Jahr 2050 gegenüber 1990 bzw. 2015; für das Jahr 2030 liegen die Emissionen um 11,6 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent über dem vorgegebenen Zielwert. Nur im Szenario „Transition“, dem eine weitreichende Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft mit weitgehendem Verzicht auf fossile Energieträger zugrunde liegt, können beide Ziele eingehalten werden: Minus 81% insgesamt im Jahr 2050 gegenüber 1990 und minus 41% im Jahr 2030 gegenüber 2005 in den Sektoren außerhalb des Emissionshandels (Umweltbundesamt 2019c).

D-2.2 Österreichs Emissionen nach Sektoren

Gemäß der aktuellsten österreichischen Treibhausgas-Emissionsinventur (Umweltbundesamt 2019a) wurden im Jahr im Jahr 2017 82,3 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent emittiert. Dafür hauptverantwortlich sind folgende Sektoren:

Tab. D-1: Treibhausgas-Emissionen in Österreich nach Hauptverursachern (2017)

Emissionssektoren definiert nach dem Common Reporting Format des UNFCCC.

Emissionssektoren	Emissionen absolut (Mio. t CO ₂ - Äquivalent)	Anteil an Gesamtemissionen (%)
Industrie & Bauwirtschaft	28,3	34,3
Verkehr	24,3	29,5
Energieaufbringung	11,2	13,6
Gebäude	8,4	10,2
Land- und Forstwirtschaft	7,3	9

Quelle: Umweltbundesamt (2019a)

Zusammengenommen bilden diese Emissionssektoren den größten Teil der österreichischen Volkswirtschaft ab. Industrie¹ und Bauwirtschaft produzierten über die Jahre 2013 bis 2017 im Schnitt 25% der Wertschöpfung und beschäftigten 21,3% der Erwerbstätigen (Statistik Austria 2019b, Eurostat 2019). Für die Energieaufbringung (öffentliche Strom- und Wärme-herstellung, Erdöl- und Erdgasförderung sowie -verarbeitung) betragen die entsprechenden Werte rund 2,4% (Wertschöpfung) und 1% (Beschäftigte). Die Emissionen aus dem österreichischen Dienstleistungssektor, der 2013 bis 2017 70,3% der Wertschöpfung und 73,3% der Beschäftigten stellte, scheinen in den Emissionen aus Verkehr, Gebäuden und Energie (inkl. Importe, hier nicht einberechnet) auf. Die Land- und Forstwirtschaft, die ca. 1,3% der Wertschöpfung erzeugte und 4,3% der Erwerbstätigen beschäftigte, wird in diesem Projekt nicht berücksichtigt.

Um die Dimension der für die Klimaziele 2030 und 2050 nötigen Emissionsreduktionen in den Sektoren aus Tab. D-1 zu verdeutlichen, zeigt Abb. D-2 den zeitlichen Verlauf der Emissionsprojektionen aus dem **Szenario Transition** (Umweltbundesamt 2017b, 2017c). Dabei enden die berechneten Inventurdaten im Jahr 2015. Der Verlauf von 2015 bis 2050 ergibt sich aus den Modellrechnungen der für die jeweiligen Sektoren am Szenario beteiligten Konsortialpartner, wie bspw. der TU Wien im Gebäudebereich, der TU Graz und der TU Wien im Verkehrsbereich, der Austrian Energy Agency für die Strom- und Fernwärmeproduktion und des Umweltbundesamts in der Industrie. Dabei beruhen die bis 2050 berechneten Treibhausgas-Emissionsreduktionen je Sektor auf (aus heutiger Sicht realistischen) Annahmen wie dem Umstieg auf Wasserstofftechnologie in der Stahlerzeugung ab 2035 und der forcierten Neuzulassung CO₂-freier Antriebe im Verkehr ab 2020. Insgesamt werden in diesem Szenario die Treibhausgasemissionen bis 2050 um 81% reduziert.

Abb. D-2 zeigt die größten Hebel und damit die wichtigsten Handlungsfelder für die Dekarbonisierung bis 2050 auf. Neben rein technologischen Lösungen unterliegen der Entwicklung aller Sektoren im Szenario Transition aber auch Annahmen zu wesentlichen **Verhaltensänderungen**. Zum Beispiel wird im Verkehr eine deutliche Verlagerung auf öffentlichen Verkehr, Fuß- und Radverkehr hinterlegt; im Konsumverhalten eine Verlagerung hin zu langlebigen Produkten und generell ressourcenschonenderen Lebensstilen (z.B. teilen statt besitzen); und in der Ernährung eine Reduktion des Rindfleischkonsums.

¹ Damit werden in diesem Bericht die Branchen der Sachgütererzeugung (auch Herstellung von Waren bzw. engl. „Manufacturing“ genannt) in der ÖNACE-Klassifikation der Wirtschaftstätigkeiten bezeichnet.

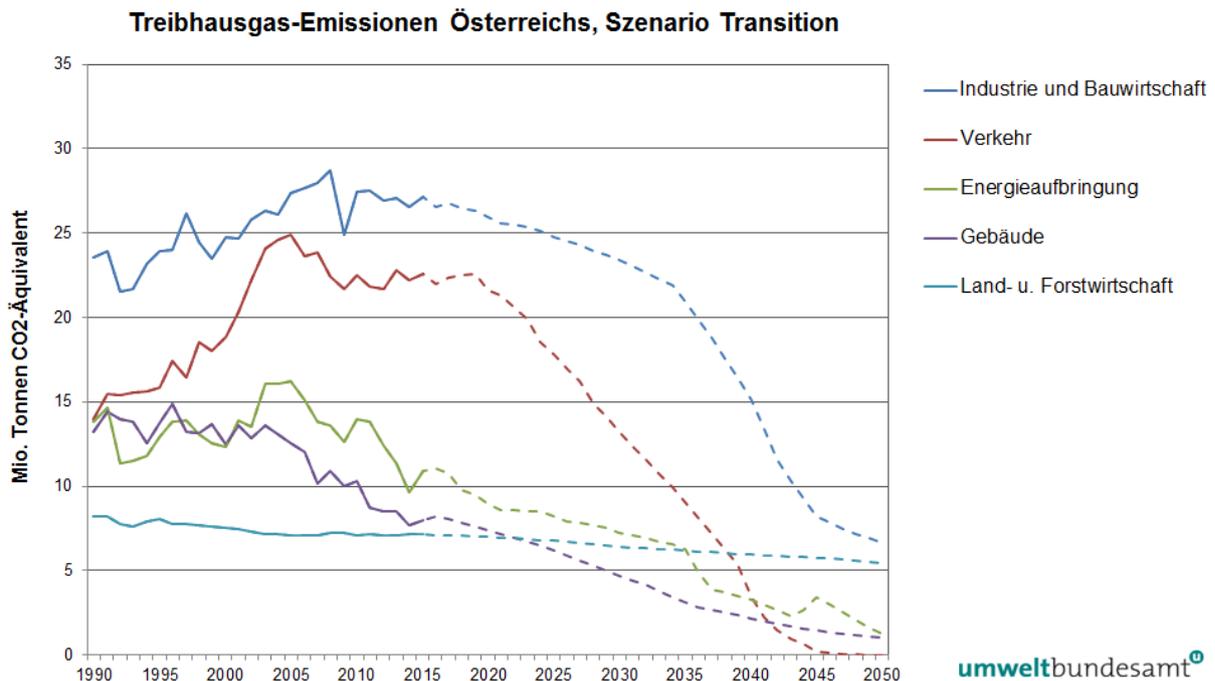


Abb. D-2: Handlungsfelder für die Klimaziele 2050

Quelle: Umweltbundesamt (2017b, 2017c). Die Daten von 1990 bis 2015 (durchgehende Linien) stammen aus der Treibhausgas-Emissionsinventur des Umweltbundesamts. Die Projektionen von 2016 bis 2050 (strichlierte Linien) stammen aus den Energie- und Treibhausgasszenarien 2017, die das Umweltbundesamt als Teil eines österreichischen Konsortiums zur Erfüllung einer EU-Berichtspflicht im Auftrag des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus erstellte.

Betrachtet man die einzelnen Industriebranchen und die Untergruppen der Energieaufbringung, so treten die Hauptemittenten innerhalb der österreichischen Volkswirtschaft deutlich zutage (Tab. D-2). Neben dem Verkehr (primär der heimische Straßenverkehr), dem Gebäudereich und der öffentlichen Strom- und Wärmeproduktion sind dies die Eisen- und Stahlerzeugung sowie die mineralverarbeitende, die erdölverarbeitende (Raffinerie und Petrochemie), die chemische und die papier- und zellstofferzeugende Industrie.

Die letzten fünf Branchen werden häufig auch als energieintensive Industrie bezeichnet. Ein Gutteil ihrer Emissionen ist auf ihren großen Energiebedarf und die dafür nötige Verbrennung bzw. rohstoffliche Nutzung fossiler Energieträger zurückzuführen. Diese Emissionen können durch eine Reduktion des Energieverbrauchs und einen Umstieg auf erneuerbare Energieträger vermieden werden. Allerdings spielen neben den **energiebedingten** auch die sogenannten **prozessbedingten** Emissionen in einigen Industrien eine bedeutende Rolle. So entstanden im Jahr 2017 in der österreichischen Eisen- und Stahlerzeugung ca. 88%, in der mineralverarbeitenden Industrie rund 63% und in der chemischen Industrie 30% der sektoralen Gesamtemissionen in den Verarbeitungsprozessen der jeweiligen Grundstoffe, z.B. aufgrund chemischer Reaktionen.² Um diese Emissionen zu vermeiden, sind Prozessumstellungen nötig.

² Beispielsweise wird in der Stahlerzeugung im Hochofenprozess aus sauerstoffhaltigem Eisenerz (chemisch Fe₃CO₄, Fe₂CO₃ oder FeCO₃) Roheisen hergestellt, indem dem Eisenerz der Sauerstoff durch eine chemische Reaktion mit Kohlenstoff entzogen wird. Dabei wird CO₂ frei. In der Zementherstellung entweicht beim Brennen des Grundstoffs Kalkstein bzw. Kalziumkarbonat (CaCO₃) das darin gebundene CO₂.

In weiterer Folge werden die chemische Industrie, die Raffinerie (Erdölverarbeitung) und die Erdöl- und Erdgasförderung zusammengefasst,³ da die Tätigkeiten der für die Studie befragten Unternehmen in diesen Bereichen eng zusammenhängen. Zusammengerechnet betragen die Emissionen dieser Sektoren im Jahr 2017 5,5 Mio. t CO₂-Äquivalent, was 6,7% der Gesamtemissionen Österreichs ausmacht.

Tab. D-2: Treibhausgas-Emissionen in Österreich nach Hauptverursachern (2017): Industrie und Energie im Detail

Emissionssektoren definiert nach dem Common Reporting Format des UNFCCC.

Emissionssektoren	Emissionen absolut (Mio. t CO ₂ -Äquivalent)	Anteil an Gesamtemissionen (%)
Verkehr	24,3	29,5
Eisen- und Stahlerzeugung	12,7	15,5
Gebäude	8,4	10,2
Öffentliche Strom- und Wärmeproduktion	8,2	9,9
Land- und Forstwirtschaft	7,3	9
Mineralverarbeitende Industrie	4,5	5,4
Raffinerie plus Förderung von Erdöl und Erdgas	3	3,7
Chemische Industrie	2,5	3
Papier- und Zellstoffindustrie	1,8	2,2

Quelle: Umweltbundesamt (2019a)

Beispiele für innovative klimafreundliche Ansätze, die österreichischen Unternehmen neue Geschäftsmöglichkeiten bieten, bestehen in allen in Tab. D-2 angeführten Sektoren. Im Straßenverkehr liegen die Chancen für Österreich einerseits in der Entwicklung und Herstellung von Komponenten und Systemen für CO₂-freie Antriebsformen in der Automobilzulieferindustrie, und andererseits in der Nutzung der Digitalisierung im Bereich Mobility as a Service; im Gebäudebereich kann das Land auf Know-How in der Niedrigstenergie- und Passivhausbauweise sowie bei Technologien zur Integration Erneuerbarer in Gebäuden zurückgreifen; und in der Strom- und Wärmeproduktion ist Österreich EU-weit unter den Vorreitern bei der Nutzung erneuerbarer Quellen. Aber auch in der energieintensiven Industrie gibt es einige aktuelle technologische Neuerungen, die zu einer radikalen Emissionsminderung beitragen und gleichzeitig den heimischen Wirtschaftsstandort sichern können. Darunter fallen bspw. die verstärkte Nutzung von Wasserstoff und erneuerbar erzeugtem Strom sowie Carbon Capture and Use.

D-2.3 Innovation und Klimaschutz

Die wirtschaftswissenschaftliche Literatur unterscheidet verschiedene Typen von Innovationen. Für dieses Projekt relevant sind die Unterscheidung zwischen inkrementellen und radikalen Innovationen einerseits und zwischen Produkt- und Prozessinnovationen, organisatorischen und sozialen Innovationen andererseits. Eine Innovation kann dabei als die erfolgreiche Umsetzung einer neuen Idee in die Praxis definiert werden (Fagerberg 2013). Je nach Typ ist damit die erfolgreiche Kommerzialisierung eines neuen Produkts oder einer neuen Dienstleistung verbunden, bzw. die verbreitete Anwendung eines neuen Produktionsprozesses, eines neuen Geschäftsmodells oder einer neuen sozialen Praktik.

³ Die Emissionen der Raffinerie allein betragen im Jahr 2017 2,8 Mio. t CO₂-Äquivalent (3,34% der Gesamtemissionen) und die der Erdöl- und Erdgasförderung (die in Österreich Hauptbestandteil der CRF-Kategorie Herstellung fester Brennstoffe und anderer Energieprodukte ist) 0,3 Mio. t CO₂-Äquivalent (0,34%).

Klimaschutzmaßnahmen, die zu Effizienzsteigerungen der eingesetzten Energie oder Materialien beitragen, können als **inkrementelle Innovationen** betrachtet werden. Diese bringen kontinuierliche, aber letztlich marginale Verbesserungen innerhalb des bestehenden Systems und können für sich genommen die Dekarbonisierung bis 2050 nicht herbeiführen. Dazu sind – insbesondere in Industriebranchen, in denen prozessbedingte Emissionen eine Rolle spielen und die aufgrund ihrer Position im internationalen Wettbewerb ihre Effizienzpotenziale bereits größtenteils ausgeschöpft haben – tiefergehende Prozessumstellungen vonnöten. Effizienzsteigernde Maßnahmen sind jedoch als Begleitmaßnahmen für die Dekarbonisierung unerlässlich und haben durch die Reduktion des Energieverbrauchs, den sie bewirken, auch einen positiven Effekt auf die Klimawandelanpassung (größere Resilienz von Netzen und Betrieben gegenüber Extremereignissen).

Radikale Innovationen bedeuten im Vergleich zu inkrementellen Innovationen eine Systemumstellung im Sinn von komplett neuen Prozessen, Produkten etc. Treten diese geballt auf, mit Auswirkungen quer durch die Wirtschaftsbranchen, so spricht man von einer „technologischen Revolution“. Die Verbreitung der Informations- und Kommunikationstechnologien im späten 20. Jahrhundert sowie Digitalisierung und Automatisierung heutzutage, aber auch der Aufstieg von Automobilität, erdölbasierter Wirtschaft und Massenproduktion im frühen 20. Jahrhundert gelten als Beispiele dafür. Manche Beobachter sehen auch in der Dekarbonisierung eine Chance für solche weitreichenden technologischen und gesellschaftlichen Veränderungen (Stern 2015).

Beispiele für solche Innovationen im Klima- und Umweltschutzkontext sind die Elektrifizierung der Mobilität; Verhaltensänderungen wie ressourcenschonende Lebensstile (reparieren, teilen statt besitzen); und die manchmal als „Breakthrough-Technologien“ bezeichneten neuen Prozesse in der Industrie, die auf erneuerbar erzeugtem Strom (Elektrifizierung) und der verstärkten Nutzung von Wasserstoff als Grundstoff und Stromspeichermedium (Power-to-Gas) beruhen. Auch die Forcierung von Kreislaufwirtschaft und Bioökonomie können dazu gezählt werden. Alle diese Ansätze liegen – in unterschiedlicher Ausprägung – den Szenarien der Langfriststrategie der EU-Kommission zur Erreichung der Ziele des Pariser Klimaschutzübereinkommens für 2050 zugrunde (EK 2018a, b).

D-3 Methode und Datenbasis

Ausgangspunkt der Studie sind die wichtigsten Emissionssektoren in Österreich. Diese wurden anhand der Reihung der Sektoren nach der österreichischen Treibhausgas-Emissionsinventur (siehe Abschnitt D-2.2) ausgewählt und umfassen die energieintensive Industrie, den heimischen Straßenverkehr, den Gebäudebereich sowie die Energieversorgung mit Fokus auf Energieeffizienz und Energiespeicher. In allen diesen Bereichen gibt es Synergien mit der Klimawandelanpassung (BLFUW 2017).

Als nächstes wurde eine umfassende Literaturrecherche zu den wichtigsten bekannten Ansätzen zur Emissionsreduktion je Sektor durchgeführt. Insbesondere wurden folgende nationale und internationale Studien zum Entwicklungsstand verschiedener CO₂-freier Technologien herangezogen:

- Europäische Kommission (EK 2018c): Final Report of the High-Level Panel of the European Decarbonisation Pathways Initiative
- McKinsey (2018): Decarbonization of industrial sectors: the next frontier
- Institute for European Studies, Vrije Universiteit Brussel (Axelson, M. et al. 2018): Breaking Through: Industrial Low-CO₂ Technologies on the Horizon
- Klima- und Energiefonds (2014): F&E-Fahrplan - Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie
- BMVIT (Tichler et al. 2014): FTI-Roadmap Power-to-Gas für Österreich
- Klima- und Energiefonds (2018): Technologie-Roadmap Energiespeichersysteme in und aus Österreich.

Im dritten Schritt wurden leitfadengestützte Interviews mit 12 ExpertInnen aus Wirtschaft und Wissenschaft durchgeführt. Dazu wurde ein Interviewleitfaden erstellt, der je Sektor die wichtigsten innovativen Ansätze für eine klimafreundliche Wirtschaft 2050 enthält (siehe Anhang). Diese können grob folgenden Themenfeldern zugeordnet werden:

- Neue Grund-, Werk- und Treibstoffe
- Elektrifizierung des Energiebedarfs und Speichertechnologien
- Kreislaufwirtschaft
- Bioökonomie
- Neue Geschäftsmodelle.

Für den Gebäudebereich wurden folgende Themenfelder ergänzt:

- Materialien & Recycling
- Gebäude der Zukunft (Passivhaus, Plus-Energiehaus u.a.)
- Netzinfrastruktur.

In allen Interviews wurden zu den jeweiligen Themenfeldern folgende Punkte abgefragt:

1. Die Einschätzung der ExpertInnen zur Bedeutung der identifizierten Technologien, Produkte/Dienstleistungen und Geschäftsmodelle für die Erreichung der Klimaziele 2030 und 2050.
2. Die Faktoren, die dazu beitragen, dass diese wirtschaftliche rentabel und damit umsetzbar sind.
3. Die Widerstände, Hemmnisse und Risiken, die bei ihrer breiteren Anwendung auftreten könnten.
4. Die nötigen Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Umsetzung in die Praxis.

Soweit möglich wurde für jeden Sektor je eine/n FirmenpartnerIn und eine/n ExpertIn aus der Wissenschaft interviewt. Zur Qualitätssicherung der Interviewfragen wurden darüber hinaus Vorgespräche mit den jeweiligen SektorexpertInnen des Umweltbundesamts durchgeführt.

Die Liste der insgesamt befragten 23 Personen (10 Umweltbundesamt-intern, 13 extern; siehe auch Abb. D-3) ist wie folgt:

Für die Industrie:

- *Insgesamt:*
 - Prof. DI Dr. Horst Steinmüller, Geschäftsführer, Energieinstitut an der Johannes-Kepler-Universität Linz
 - Dr. Thomas Krutzler, Umweltbundesamt
- *Eisen- und Stahlerzeugung:*
 - Ing. Johann Prammer, Leitung Strategisches Umweltmanagement, voestalpine AG
 - Dr. Herbert Wiesenberger, Umweltbundesamt
- *Mineralverarbeitende Industrie:*
 - DI Sebastian Spaun, Geschäftsführer, Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie
 - Johannes Rath, Chief Technical Officer, Wienerberger Building Solutions
 - Gerhard Koch, Head of Public Affairs, Wienerberger Building Solutions
 - Dr. Katharina Fallmann, Umweltbundesamt
- *Chemische Industrie, Raffinerie sowie Erdöl- und Erdgasförderung:*
 - Prof. DI Dr. mont. Reinhold W. Lang, Head of Institute of Polymeric Materials and Testing an der Johannes-Kepler-Universität Linz
 - Dr. Markus Schopf, Open Innovation Manager, Borealis Polyolefine GmbH
 - Wolfgang Ernst, Senior Expert Corporate Strategy / Energy Market Economics, OMV AG
 - Dr. Helmut Frischenschlager, Umweltbundesamt
- *Papier- und Zellstoff- bzw. Viskosefaserindustrie:*
 - Dr. Gerhard Seyfriedsberger, Senior Manager Carbon Strategy, Lenzing AG
 - Dr. Kurt Christian Schuster, Senior Sustainability Expert, Lenzing AG
 - Dr. Helmut Frischenschlager, Umweltbundesamt

Für den Verkehrsbereich:

- Mag. Ewald Perwög, Abteilungsleiter Energie und Umwelt, MPREIS Warenvertriebs GmbH
- DI Günther Lichtblau, Umweltbundesamt
- DI Nikolaus Ibesich, Umweltbundesamt

Für den Gebäudebereich:

- Dr. Lukas Kranzl, Senior Researcher, Energy Economics Group an der TU Wien
- Ing. Günter Lang, Geschäftsführer, LANG Consulting
- DI Alexander Storch, Umweltbundesamt
- Mag. Wolfgang Schieder, Umweltbundesamt

Für die Energieversorgung:

- Mag. Erwin Mayer, Umweltbundesamt
- DI Dr. Thomas Gallauner, Umweltbundesamt



Abb. D-3: Institutionen der InterviewpartnerInnen

Quelle: Eigene Darstellung

Für die Interviews wurde nach den Leitlinien in Bogner et al. (2014) sowie Miegl & Näf (2005) vorgegangen. Sie fanden im Frühjahr 2019 statt und dauerten zwischen ein und zwei Stunden. Großteils wurden sie persönlich in Wien und in wenigen Fällen per Skype durchgeführt. Die Interviews wurden mit Einverständnis der InterviewpartnerInnen aufgezeichnet und dann transkribiert. Diese Aufzeichnungen wurden nach Projektabschluss wieder gelöscht.

Im Anschluss wurden die Antworten der InterviewpartnerInnen je Themenfeld ausgewertet und ihre Hauptaussagen zusammengefasst. Darauf aufbauend wurde das Potenzial verschiedener innovativer Strategien für Klimaschutz und Wirtschaft in Österreich analysiert und die wichtigsten Rahmenbedingungen für ihre erfolgreiche Umsetzung identifiziert. Diese werden abschließend nach fünf Maßnahmengruppen gegliedert präsentiert. Abb. D-4 veranschaulicht die Vorgehensweise im Projekt.

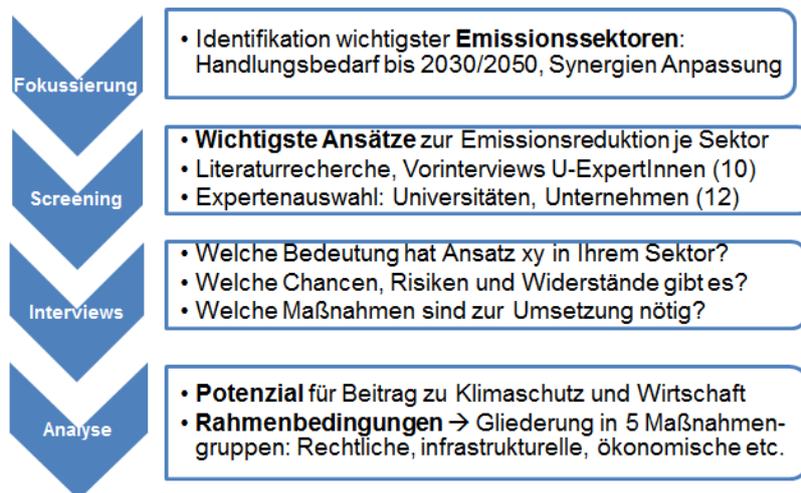


Abb. D-4: Vorgehensweise im Projekt

Quelle: Eigene Darstellung

D-4 Ergebnisse

Die Studienresultate werden in Abschnitt D-4.1 nach den großen Themenfeldern, die sich durch alle Branchen und Sektoren ziehen, und nach aussichtsreichen Strategien für die langfristige Vereinbarkeit von Klimaschutz und Wirtschaftlichkeit von Unternehmen präsentiert. In Abschnitt D-4.2 werden dann die Rahmenbedingungen für ihre erfolgreiche Umsetzung in Österreich zusammengefasst.

D-4.1 Best-Practice-Beispiele für Synergien zwischen Wirtschaft und Klimaschutz

Die Ansätze zur Dekarbonisierung in den verschiedenen Sektoren sind zwar heterogen, doch kristallisierten sich aus der Literaturrecherche und den Interviews einige „rote Fäden“ heraus. Diese lassen sich gliedern in neue Grund-, Werk- und Treibstoffe; Ansätze zur Elektrifizierung des Energiebedarfs in Industrie, Verkehr und Gebäudebereich; Energieeffizienzmaßnahmen in Industrie und Gebäuden; Energiespeichertechnologien und Sektorkopplung; sowie Recyclingansätze für die Kreislaufwirtschaft.

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten innovativen Ansätze und Strategien, ihre Chancen für Klimaschutz und Wirtschaftlichkeit sowie die Risiken und Hemmnisse in Bezug auf ihre Umsetzbarkeit erläutert, die in den Interviews zur Sprache kamen.

D-4.1.1 Neue Grund-, Werk-, Treib- und Brennstoffe

D-4.1.1.1 Wasserstoff in der Eisen- und Stahlerzeugung

Die Eisen- und Stahlerzeugung emittierte im Jahr 2017 der aktuellsten österreichischen Treibhausgas-Emissionsinventur zufolge (Umweltbundesamt 2019a) mit 45% knapp die Hälfte aller in der österreichischen Industrie ausgestoßenen Treibhausgase. Das CO₂ entsteht im traditionellen zweistufigen Herstellungsprozess (Hochofen-Konverter-Route) primär aufgrund des Sauerstoffs, der im Ausgangsstoff Eisenerz enthalten ist und mittels einer chemischen Reaktion mit Kohlenstoff aus den eingesetzten Reduktionsmitteln (derzeit vorwiegend Koks) herausgelöst wird. Das so „reduzierte“ Erz wird dann als Roheisen im Konverter (z.B. über das Linz-Donawitz-Verfahren) weiter zu Stahl verarbeitet.

Die alternative Elektrostahlroute ist etwas weniger emissionsintensiv. Für die Erzeugung von hochqualitativem Stahl kommen dabei neben Schrott auch Roheisen oder DRI (Direct-Reduced Iron) bzw. HBI (Hot-Briquetted Iron) zum Einsatz, wobei das Eisenerz zuerst in einer Direktreduktionsanlage mittels Methan reduziert und dann im Elektrolichtbogen weiter zu Stahl verarbeitet wird. Derzeit gibt es Forschungsaktivitäten mit dem Ziel, das Methan in der Direktreduktion langfristig durch Wasserstoff zu ersetzen (**DRI-H₂/EAF**), was eine deutliche Reduktion der CO₂-Emissionen brächte – wenn dieser Wasserstoff mit Strom aus erneuerbaren Energieträgern erzeugt wird („grüner“ Wasserstoff).

Außerdem wird in der österreichischen Stahlindustrie ein Verfahren erforscht, mit dem der Stahl mittels Wasserstoffplasma in einem Schritt aus Eisenerz erzeugt werden kann (**Sustainable Steelmaking** oder **SuSteel**). So wie bei der wasserstoffbasierten Direktreduktion könnte dadurch bis 2050 eine **CO₂-Einsparung von über 80%** möglich sein (Umweltbundesamt 2017b). Der dafür benötigte Wasserstoff soll mittels Wasserelektrolyse gewonnen werden, wofür ebenfalls erneuerbarer Strom eingesetzt wird. Momentan besteht in Linz eine solche Elektrolyseanlage (**H₂FUTURE**), in der mit EU-Fördermitteln die Proton Exchange Membrane (PEM)-Elektrolysetechnologie im großtechnischen Maßstab getestet wird. Europaweit laufen derzeit zwei ähnliche Forschungsprojekte zur Wasserelektrolyse mit erneuerbarem Strom (**GrInHy** in Salzburg und **HYBRIT** in Schweden), wobei der erzeugte Wasserstoff in der Direktreduktion zum Einsatz kommen soll, nicht in der Plasmatechnologie.

Für die erfolgreiche Umsetzung dieser Technologien besteht jedenfalls noch weiterer **Forschungsbedarf**. **SuSteel** wird momentan ein Technologiereifegrad (Technology Readiness

Level, TRL)⁴ von 1 bis 3 attestiert (Axelson et al. 2018) und *H2FUTURE* von 5 bis 6. Für den Stahlherstellungsprozess ist weitere Forschung für die Prozessführung und die Kombination von Eisenerz und Wasserstoff im richtigen Aggregat erforderlich, auch die Metallurgie muss weiterentwickelt werden. In der Wasserelektrolyse wird aktuell ein Wirkungsgrad von ca. 70% erreicht, der noch gesteigert werden soll (siehe Abschnitt D-4.1.3.1). Auch für das Upscaling der Wasserelektrolyse sind weitere Forschungsprojekte notwendig.

Neben der Forschungs Herausforderung ist für die tatsächliche Technologieumstellung der große Bedarf an erneuerbarem Strom von entscheidender Bedeutung, der für die Elektrifizierung der Stahlherstellung inklusive Herstellung des Wasserstoffs durch Elektrolyse prognostiziert wird. Ca. 33 TWh, also in etwa die Hälfte der momentanen österreichischen Stromerzeugung, sind laut aktuellen Berechnungen dafür zusätzlich nötig. Dafür muss zuerst die **Erzeugungs- und Speicherinfrastruktur** gebaut werden, d.h. Elektrolyseanlagen entweder dezentral dort, wo der erneuerbare Strom entsteht, oder direkt bei der Stahlerzeugung. Allerdings ist aus heutiger Sicht eine vollständige Versorgung einer auf grünem Wasserstoff basierenden Industrie mit in Österreich erzeugtem erneuerbarem Strom kaum möglich. Daher wird eine europaweit koordinierte Wasserstoff- und Stromvernetzung als zentral angesehen.

Für die **Wirtschaftlichkeit** des Verfahrens ist angesichts des hohen Strombedarfs der Preis von erneuerbar erzeugtem Strom ein wichtiger Faktor. So würde bspw. bei derzeitigen Stromkosten eine Umstellung von Kohle bzw. Koks auf wasserstoffbasierte Technologien zu einer Erhöhung der Produktionskosten pro Tonne Stahl um etwa 20-30% führen. Da die österreichische Eisen- und Stahlerzeugung im internationalen Wettbewerb steht, soll laut Interviewpartner der Zugang zu günstigem erneuerbarem Strom, bspw. aus Solar- und Windkraft in Süd- bzw. Nordeuropa⁵, im Rahmen von europaweiten Strategien sichergestellt werden. Ebenfalls wünschenswert wären die Umsetzung einer Strompreiskompensation sowie eine zweckgewidmete Rückerstattung der Ausgaben für Emissionshandelszertifikate für Dekarbonisierungsmaßnahmen in Unternehmen.

D-4.1.1.2 Wasserstoff im Verkehr

Im Verkehr wird der Wasserstoff-Brennstoffzellen-Antrieb von den interviewten ExpertInnen insbesondere im Langstrecken-(Güter)Verkehr als Technologie mit guten Zukunftsaussichten gesehen. Die Brennstoffzelle ist aus heutiger Sicht besser dafür geeignet als der batterieelektrische Antrieb, da die konstante Fahrweise über weite Strecken ohne viel Stop-and-Go der längeren Anlaufzeit und dem benötigten konstanten Temperaturniveau für den Wasserstoff-Brennstoffzellen-Antrieb entgegenkommt. Momentan noch bestehende Sicherheitsprobleme werden als lösbar angesehen. Im Vergleich dazu haben die heute bekannten Batterietechnologien – primär Lithium-Ionen-Akkus – nicht die nötige Energiedichte und damit nicht die Reichweite für den Langstrecken-(Schwer)Verkehr. Somit kann der Wasserstoff einen Beitrag zur **Dekarbonisierung des Transportwesens** leisten.

In Österreich besteht in Industrie und Forschung bereits Kompetenz zur Wasserstoffnutzung in Brennstoffzellen, beispielsweise rund um das Hydrogen Center Austria (HycentA), zu dessen Gründungsgesellschaftern neben der Technischen Universität Graz auch heimische Unternehmen aus der erdölverarbeitenden und der Autozulieferindustrie gehören. In der praktischen Umsetzung gibt es in Österreich ebenfalls schon Beispiele für Unternehmen im Logistikbereich, die wasserstoffbetriebene Busse und LKW in ihrer Flotte testen. In Bezug auf die **Wirtschaftlichkeit** sind die Kapitalkosten für solche Fahrzeuge zwar noch beträchtlich (Bsp.: 26-Tonnen Fuel Cell Truck von Hyundai à 540.000 Euro). Laut einem Interviewpartner, der eine eigene Elektrolyseanlage für die Umstellung der Logistikflotte von Diesel auf Wasserstoff betreibt, die dabei generierte Wärme auskoppelt und im eigenen Produk-

⁴ 9-stufige Skala von 1 = Beobachtung und Beschreibung des Funktionsprinzips (Stadium der Grundlagenforschung) bis 9 = qualifiziertes System mit Nachweis des erfolgreichen Einsatzes (Stadium der Marktüberleitung). Dazwischen liegen die Stadien der industriellen Forschung und der experimentellen Entwicklung.

⁵ So sind die sogenannten Stromgestehungskosten für Solarenergie in einigen Regionen Südeuropas und für Windenergie in Nord- bzw. Nordwesteuropa niedrig.

tionsbetrieb weinternutzt, ist dieses Modell auf Basis der variablen Kosten bereits konkurrenzfähig.⁶ Um die Investitionskosten zu decken, gibt es Förderungen der öffentlichen Hand (KPC, EU Horizon 2020). Auch im Schiffsverkehr und für Nischen-Bahnstrecken, die noch nicht elektrifiziert sind, wird der Wasserstoffantrieb als Lösung angesehen, die teilweise bereits implementiert wird (Bsp. einer Regionalbahn im Westen Österreichs).

Bei der Herstellung und Verteilung des Wasserstoffs für den Antrieb von Brennstoffzellen-Fahrzeugen besteht noch **Forschungs- und Infrastrukturbedarf**. Der Technologiereifegrad von Brennstoffzellentechnologien liegt derzeit zwischen 3 und 8 (Klima- und Energiefonds 2018). Neben der Produktion der nötigen Wasserstoffmengen mittels Elektrolyse (vgl. Abschnitt D-4.1.4.1) ist die fehlende Tankinfrastruktur momentan noch ein Hemmnis. Hier engagiert sich die erdölverarbeitende Industrie, die in Österreich bereits Wasserstofftankstellen betreibt. Da Wasserstoff aufgrund seiner geringeren Energiedichte im Vergleich zu Benzin und Diesel nur in kleineren Mengen per LKW transportiert werden kann, ist eine zentralisiertere Versorgung anzudenken.

Neben der Brennstoffzelle ist eine weitere Anwendung von Wasserstoff im Verkehr die Erzeugung von synthetischen Otto- und Dieselkraftstoffen sowie synthetischem Kerosin, sogenannten „**E-Fuels**“. Diese werden aus grünem Wasserstoff und (aus der Luft oder aus Industrieemissionen abgeschiedenem) CO₂ hergestellt. Sie sind weitgehend innerhalb der bestehenden Tankinfrastruktur und mit bestehenden Antriebstechnologien nutzbar, sind in der Produktion aber noch sehr teuer und – insbesondere im Vergleich zum elektrischen Antrieb mit Batterie oder Brennstoffzelle – mit hohem Energieaufwand verbunden. Aus heutiger Sicht können sie jedenfalls im Flugverkehr zur Anwendung kommen, wo alternative Antriebe noch nicht absehbar sind.

D-4.1.1.3 Alternative Bindemittel und Wasserstoff in der Baustoffindustrie

In der mineralverarbeitenden Industrie, die Baustoffe wie Zement und Beton, Ziegel, Gips oder Glas herstellt, entsteht der Großteil der Emissionen in der Produktion von Zement aus Kalkstein. Der Kalkstein (Kalziumkarbonat) wird bei sehr hohen Temperaturen zusammen mit Ton und Sand gebrannt, wobei das darin gebundene CO₂ entweicht und der sogenannte Portlandzementklinker entsteht. Dieser wird gemeinsam mit Zuschlagstoffen wie Gips oder Hochofenschlacke zu Zement gemahlen und dann mit Wasser und Schotter zu Beton gemischt. Dabei dient der Zement als Bindemittel und das Wasser leitet die Erhärtung ein. In der Ziegelherstellung fallen deutlich weniger Emissionen an als in der Zementproduktion. Sie sind hauptsächlich energiebedingt und entstehen durch die Verbrennung von Erdgas, das beim Trocknen und Brennen der Ziegel zum Einsatz kommt.

Ein Ansatz zur Emissionsreduktion, der in der Zementherstellung schon länger verfolgt wird, ist die **Reduktion des Klinkeranteils**, z.B. durch die vermehrte Zugabe von Hochofenschlacke aus der Stahlerzeugung oder auch von Ziegelmehl. Ein österreichischer Baustoffhersteller entwickelte bereits vor 20 Jahren einen Spezialbeton für massive Bauteile wie Fundamente, der zum überwiegenden Teil aus Hochofenschlacke besteht, mit einem nur minimalen Klinkeranteil.⁷

Alternativen zum Bindemittel Zement sind momentan in der Entwicklungsphase. Dabei werden unterschiedliche Strategien verfolgt: So kommen bei *Aether* und *Celitement* etwas andere Grundstoffe mit weniger Kalziumkarbonat zum Einsatz sowie Produktionsprozesse, die aufgrund niedrigerer Brenntemperaturen weniger Energie brauchen. Für *Solidia* wird ebenfalls ein anderer Grundstoff verwendet (Kalziumsilikat), und in der Verarbeitung zu Beton wird die Erhärtung statt mit Wasser mit CO₂ eingeleitet. *Solidia* reduziert CO₂-Emissionen also auf zweifache Art.

⁶ Hier handelt es sich um das aus EU-Mitteln geförderte Projekt *Demo4Grid*.

⁷ Dieses Produkt ist allerdings heute am Markt nicht mehr verfügbar.

Den Herstellern zufolge wären mit diesen alternativen Bindemitteln **Emissionsreduktionen von 30% (Aether) bis 70% (Solidia)** gegenüber herkömmlichem Zement erzielbar. Laut Axelson et al. (2018) kosten sie in der Herstellung ca. gleich viel wie herkömmlicher Zement (Aether) oder sind um bis zu 50% **günstiger (Solidia)**. Celitement erfordert hohe Anfangsinvestitionen, die Betriebskosten in der Herstellung sind laut Axelson et al. (2018) geringer.

Noch ist keiner dieser Baustoffe marktreif; der TRL wird momentan auf 4 bis 8 geschätzt (Axelson et al. 2018). Hier besteht also noch **Forschungsbedarf**. Den InterviewpartnerInnen zufolge sind bei manchen dieser Materialien die verwendeten Rohstoffe auch nur in begrenztem Ausmaß verfügbar und/oder ihre Anwendbarkeit für Stahlbeton ist aufgrund bestimmter Materialeigenschaften beschränkt.

In der Ziegelherstellung ist der Einsatz von **Wasserstoff als Brennstoff** im Gemisch mit dem Erdgas, das derzeit für den Betrieb von Trocknern und Ziegelöfen verbrannt wird, ein technisch einfach umzusetzender Ansatz, um den Erdgasanteil und die daraus resultierenden Emissionen zu reduzieren. Da die Einspeisung von Wasserstoff ins Erdgasnetz zu einem bestimmten (derzeit allerdings geringen) Prozentsatz bereits erlaubt ist, wäre diese Maßnahme mit nur minimalen Änderungen an den Anlagen und daher mit einem vergleichsweise niedrigen Investitionsbedarf verbunden und somit bereits jetzt **wirtschaftlich**.

D-4.1.1.4 Wasserstoff in der chemischen und der erdölverarbeitenden Industrie

Auch in der chemischen Industrie gibt es Ansätze, aus erneuerbarem Strom erzeugten Wasserstoff zur Dekarbonisierung der Produktionsprozesse von Kunststoffen und Düngemitteln einzusetzen. Bei der Kunststoffherstellung fallen primär energiebedingte Emissionen an, die durch Umstellung der Energieversorgung von fossilen Brennstoffen auf erneuerbaren Strom eliminiert werden können (siehe Abschnitt D-4.1.2.1). Bei der Herstellung von Ammoniak, dem wichtigsten Grundstoff für Düngemittel, fallen primär prozessbedingte Emissionen an.

Um Kunststoff ohne seinen jetzigen fossilen Ausgangsstoff – Kohlenwasserstoffe aus der Erdölraffinerie – herzustellen, können verschiedene **Low-carbon chemicals-Verfahren** angewendet werden. Eines davon basiert auf dem Prinzip des *Carbon Capture and Use*: CO₂, das zuvor aus der Luft oder aus den Emissionen der Stahl- oder der Zementindustrie abgetrennt wurde, wird zusammen mit grünem Wasserstoff in einer Umkehrung der Verbrennungsreaktion zu Kohlenwasserstoffen aufgebaut. Diese können dann als Basischemikalien für die Kunststoffherstellung weiterverwendet werden – auch als *Power-to-Chemicals* bekannt – oder zur Herstellung von synthetischen Treibstoffen (*Power-to-Liquid* oder *E-Fuels*).

Auch die Herstellung von Ammoniak kann durch erneuerbar erzeugten Wasserstoff dekarbonisiert werden (**Low-carbon ammonia**). Zur Ammoniaksynthese nach dem Haber-Bosch-Verfahren wird neben Stickstoff auch Wasserstoff benötigt, der bisher mittels Dampfreformierung aus Erdgas und Wasser erzeugt wird. Kommt stattdessen durch Elektrolyse gewonnener Wasserstoff zum Einsatz, können die Emissionen aus der Dampfreformierung komplett vermieden werden (auch bekannt als *Power-to-Ammonia*).

Grundsätzlich ist mit diesen und weiteren Verfahren eine **Dekarbonisierung** der chemischen Industrie möglich. Ihr technischer Entwicklungsstand ist unterschiedlich; der TRL wird momentan auf 5 bis 9 geschätzt (Axelson et al. 2018). Es besteht also noch weiterer **Forschungsbedarf**. Was die **Wirtschaftlichkeit** betrifft, so werden für die Kunststoffherstellung nach dem Carbon Capture and Use-Prinzip von manchen Interviewpartnern in Österreich gute Voraussetzungen gesehen aufgrund der bestehenden Wirtschaftsstruktur mit Stahl-, Zement- und Kunststoffindustrie sowie Energieversorgern mit Schwerpunkt auf erneuerbarem Strom. Damit sich die Erzeugung von Wasserstoff aus erneuerbarem Strom im Vergleich zur erdgasbasierten Dampfreformierung rechnet, ist den betroffenen Interviewpartnern zufolge ein günstiger Preis für erneuerbaren Strom relativ zu fossilen Brennstoffen wichtig.⁸

⁸ Momentan ist aufgrund des niedrigen Erdgaspreises die Wasserstofferzeugung aus Erdgas und Wasser (Dampfreformierung) günstiger als jene aus erneuerbarem Strom und Wasser mittels Wasserelektrolyse.

Ein weiteres Hemmnis könnte der möglicherweise sehr hohe Strombedarf sein. Windsperger et al. (2018) rechnen bei einer weitgehenden Dekarbonisierung der chemischen Industrie mit 60 TWh Strombedarf zusätzlich, was nahezu dem gesamten österreichischen Stromeinsatz im Jahr 2016 entspricht.⁹ Der Ausbau der **Erzeugungs- und Speicherinfrastruktur** sowie die Anbindung an zumindest europaweite Netze wird also auch hier eine Rolle spielen.

Für die **Produktion des Wasserstoffs**, der für die beschriebenen Dekarbonisierungsstrategien in der Eisen- und Stahlerzeugung, der Mobilität, der Baustoff- und der chemischen Industrie gebraucht wird, besteht in Österreich Kompetenz sowohl in der chemischen (Industriegase) als auch in der erdöl- und erdgasfördernden und -verarbeitenden Industrie, wo Wasserstoff zur Entschwefelung von Mineralölprodukten eingesetzt wird. Unternehmen aus beiden Branchen sind seit einigen Jahren in innovative Forschungsprojekte zur Wasserelektrolyse mittels Wind- und Solarstrom involviert (z.B. *wind2hydrogen*, *UpHy I & II*), und ein Ausbau der Produktion von grünem Wasserstoff wird in neuen Kooperationsprojekten mit erneuerbaren Energieversorgern evaluiert.

D-4.1.1.5 Biobasierte Rohstoffe

Der Biomassenutzung wird von den InterviewpartnerInnen eine gewisse Bedeutung für die Erreichung der Klimaziele beigemessen, insbesondere wenn sie kaskadisch, also über mehrere Stufen nach abnehmender Wertschöpfung, erfolgt. Als Beispiel wurde von einem Interviewpartner die Mehrfachnutzung von Holz genannt, zuerst stofflich als Ausgangsmaterial für hochwertige Möbel oder als Baustoff, dann ebenfalls stofflich aber etwas weniger hochwertig als Spanplatte oder als Rohstoff für die biobasierte Industrie, und schließlich energetisch durch Verbrennung. Dadurch kann der im Holz absorbierte Kohlenstoff möglichst lang dort gespeichert bleiben. Das Konzept der **Bioökonomie** baut auf einer verstärkten stofflichen Nutzung von biobasierten Rohstoffen als Ersatz für fossile Grund- und Werkstoffe in der Herstellung von Produkten wie Autoreifen, Bekleidung, Verpackungen und Trinkflaschen auf. Sind biobasierte Produkte auch biologisch abbaubar, können sie neben der Vermeidung von fossilen Rohstoffen bei bestimmten Anwendungen auch negative Auswirkungen auf die Umwelt mindern.

In Österreich wird das Prinzip der kaskadischen Nutzung biobasierter Rohstoffe in der Papier- und Zellstoffindustrie und in der Herstellung von Viskosefasern angewendet. Dort wird der Rohstoff Holz nach dem Konzept der **Bioraffinerie** vollständig verwertet: Erstens werden daraus bspw. Faserzellstoff und biologisch abbaubare Fasern für die Textilindustrie erzeugt; zweitens Biochemikalien wie Ligninprodukte, Essigsäure und Soda sowie Zucker für die Lebensmittelindustrie; und drittens wird er zur Gewinnung von Strom und Wärme, die entweder selbst genutzt oder ins Strom- oder Fernwärmenetz eingespeist wird, verbrannt. Dieses Geschäftsmodell ist für die Industrie **wirtschaftlich**. In der österreichischen Nahrungsmittelherstellung (Stärke) und der erdölverarbeitenden Industrie bestehen Kompetenzen zur Erzeugung und Beimischung von Biotreibstoffen. In Landwirtschaft und Energieversorgung werden aus Biomasse erneuerbares Gas, Strom und Wärme produziert.

Im Hinblick auf die Klimaziele wird die Rolle der biobasierten Rohstoffe von den meisten Interviewpartnern als begrenzt und komplementär zu anderen Ansätzen gesehen. Der Grund dafür ist ihre limitierte Verfügbarkeit angesichts der Nutzungskonflikte um landwirtschaftliche Flächen. Die verstärkte (kaskadische) Nutzung biogener Sekundärrohstoffe wie beispielsweise Nebenprodukte, Reststoffe oder Abfälle aus der Landwirtschaft oder Lebensmittelindustrie wäre hierzu ein Lösungsansatz. Fortgeschrittene Biotreibstoffe können beispielsweise unter diesen Umständen einen Beitrag zur Emissionsreduktion im Verkehrsbereich leisten. Viele dieser Ansätze befinden sich allerdings noch im Entwicklungsstadium und sind

⁹ Dies liegt zum Beispiel bei der Herstellung von Basischemikalien für die Kunststoffindustrie aus abgeschiedenem CO₂ und Wasserstoff auch im höheren Energieniveau begründet, das Kohlenwasserstoffe im Vergleich zu den Ausgangsstoffen CO₂ und Wasser aufweisen.

noch nicht wirtschaftlich, sodass weitere **Forschungsanstrengungen und Förderungen** notwendig sind.

D-4.1.2 Elektrifizierung des Energiebedarfs

D-4.1.2.1 Elektrifizierung in der Industrie

In der energieintensiven Industrie können die energiebedingten Emissionen einerseits durch Steigerung der Energieeffizienz reduziert werden (vgl. Abschnitt D-4.1.3.1) und andererseits durch Elektrifizierung des Energieverbrauchs mittels Umstieg von der Verbrennung fossiler Energieträger auf erneuerbaren Strom zur Erzeugung von Prozesshitze, Wasserdampf oder Wasserstoff.

So wird zum Beispiel in der österreichischen Papier- und Zellstoff- bzw. Viskosefaserindustrie, deren Emissionen zu 100% energiebedingt sind, auf erneuerbare Energieträger wie Wind, Sonne und Wasser gesetzt, ebenso in der mineralverarbeitenden Industrie (37% energiebedingte Emissionen im Jahr 2017) und in der Kunststoffherstellung (70% energiebedingte Emissionen). Dort laufen derzeit **Forschungsanstrengungen**, das energieintensive „Steamcracking“,¹⁰ das ein Temperaturniveau von 800-900 Grad und damit die Verbrennung fossiler Energieträger wie Erdgas erfordert, in einen neuen Prozess zu überführen, der elektrisch – und damit auch mittels erneuerbar hergestelltem Strom – betrieben werden kann. Dies wird als **großer Sprung für die Emissionsreduktion** angesehen, wenn es technisch realisierbar ist. Wasserdampfbetriebene Kompressoren und Turbinen, die weniger hohe Temperaturen brauchen, können ebenfalls auf elektrischen Strom umgestellt werden. Auch elektrisch betriebene Wärmepumpen kommen verstärkt zum Einsatz, um bspw. niederkalorische Abwasserströme auf ein höheres Temperaturniveau zu bringen, das dann energetisch wiederverwertet werden kann (vgl. Abschnitt D-4.1.3.1). Bei Wärmepumpen hat Österreich die technologische Kompetenz, um neue Produkte zu entwickeln, wie das Beispiel Rotationswärmepumpe K7 für industrielle Anwendungen zeigt: Diese kann über eine große Temperaturspanne (-20° bis +150°C) kühlen und heizen, ist um 70% energieeffizienter als konventionelle Wärmepumpen und damit **wirtschaftlich** interessant, und sie verwendet ein klimaschonendes Arbeitsmittel ohne erhöhtem Treibhausgaspotenzial.

Neben der preislichen Wettbewerbsfähigkeit von erneuerbarem Strom im Vergleich zu fossilen Brennstoffen, die momentan für einige Bereiche nicht gegeben ist, wird eine **Forcierung des Ausbaus erneuerbarer Energieträger**, also eine Beschleunigung des aktuellen Ausbautempos, als notwendig angesehen. Aus Effizienzgründen wäre dabei eine europaweite Abstimmung anzudenken. Auch die **Vernetzung** innerhalb der Industrie wird als wichtig betrachtet, um bei der Umsetzung klimaschonender Ansätze voneinander zu lernen. Initiativen wie New Energy for Industry (NEFI) werden von den InterviewpartnerInnen begrüßt.

D-4.1.2.2 Batterieelektrischer Antrieb im Verkehr

Im Personenverkehr (PKW) rechnen die befragten ExpertInnen damit, dass sich der batterieelektrische Antrieb aufgrund seines großen Vorsprungs bei der Energieeffizienz durchsetzen wird: Im Vergleich zur Brennstoffzelle, dem Verbrennungsmotor und den E-Fuels hat das Batteriesystem den höchsten Wirkungsgrad. Damit könnte der Privatverkehr **vollständig dekarbonisiert** werden. Um den daraus folgenden Anstieg des Strombedarfs einzudämmen, sollte gleichzeitig eine Verlagerung auf öffentlichen Verkehr, Radfahren und Zufußgehen stattfinden.

Auch die **Wirtschaftlichkeit** der Technologie sollte bald gegeben sein: Noch sind Elektroautos zwar teurer als Verbrenner, betrachtet man aber die sogenannten Total Costs of Ownership, in die auch die Betriebskosten einberechnet werden, sind sie bereits günstiger. Mit-

¹⁰ Darunter versteht man das Aufspalten langkettiger Kohlenwasserstoffe, z.B. aus der Erdölraffinerie, in kurz-kettige Kohlenwasserstoffe für die Weiterverarbeitung zu verschiedenen Kunststoffen.

telfristig wird damit gerechnet, dass auch die Herstellungs- und damit die Anschaffungskosten sinken werden, da das System Batterie weniger komplex ist als der Verbrennungsmotor („200 statt 2000 Teile“). In Österreich besteht, wie in Europa insgesamt, wenig Kompetenz in der Zellproduktion selbst, dafür aber im Zusammenbau der Zellen in Batteriepacks, bei der Integration des Elektroantriebs in das Fahrzeugsystem und bei Batterieladetechnologien. Weitere Chancen werden für Österreich in der Nutzung der Digitalisierung im Bereich „Mobility as a Service“ gesehen.

Bestehende Lithium-Ionen-Batterietechnologien sind bereits relativ ausgereift (TRL 8-9, Klima- und Energiefonds 2018). Ihre Grenzen hinsichtlich Reichweite, Lebensdauer und Schnellladefähigkeit führen zur Einschätzung, dass sich im Langstreckenverkehr, insbesondere im Güterverkehr, eher die Brennstoffzelle durchsetzen wird (vgl. Abschnitt 4.1.1.2).¹¹ Im Nahverkehr hingegen wird der elektrische Antrieb durch das gut ausgebaute Stromnetz begünstigt.

Zur Verbreitung der Elektromobilität im Personenverkehr beitragen können, neben einem attraktiveren Angebot hinsichtlich Preis und Auswahl für die Konsumenten vonseiten der Hersteller, der weitere **Ausbau der Ladeinfrastruktur** ebenso wie eine **Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen** im Wohnrecht zur Erleichterung des Einbaus privater Ladestationen in Mehrfamilienhäusern.

D-4.1.2.3 Elektrifizierung und erneuerbare Wärme im Gebäudebereich

Im Gebäudebereich sind unsanierte Gebäude mit hohem Heizwärmebedarf in Kombination mit Heizungen mit fossilen Brennstoffen besonders emissionsintensiv. Daher ist der erste und wichtigste Schritt zur Dekarbonisierung nach Einschätzung der interviewten ExpertInnen die **Reduktion des Energieverbrauchs** durch Sanierung des Gebäudebestands sowie Forcierung einer möglichst energieeffizienten Bauweise im Neubau (z.B. Niedrigstenergie- oder Passivhäuser, s. Abschnitt D-4.1.3.2). Die dann noch benötigte Energie sollte künftig durch **erneuerbare Energiequellen** gedeckt werden, primär durch Photovoltaik, Solarthermie oder auch Windkraft. So können Gebäude energieautark oder sogar zu Plus-Energiehäusern werden, die über das Jahr gerechnet bilanziell mehr Energie erzeugen als sie verbrauchen.

Die Eigenstromversorgung mit **Photovoltaik** ist einigen InterviewpartnerInnen zufolge bereits **wirtschaftlich**, zumindest bis zu einem gewissen Prozentsatz des Strombedarfs. So deckt zum Beispiel ein Lebensmitteleinzelhändler aus Westösterreich einen substantziellen Teil des Strombedarfs seiner dafür geeigneten Filialen über PV, nachdem diese auf Passivhausstandard umgestellt und weitere Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz gesetzt wurden. Den Anfangsinvestitionen wurde ein längerer Amortisationszeitraum zugestanden als sonst üblich, aber nach dessen Ablauf betragen die Stromerzeugungs(grenz)kosten null und die Wartungskosten sind gering.

Auch die Wärmeversorgung über **Solarthermie** bietet durch deutlich reduzierte Heizkosten einen **wirtschaftlichen Vorteil**. Dabei wird Sonnenenergie durch Kollektoren am Dach gesammelt, in Wärme umgewandelt, in einem Wassertank gespeichert und bei Bedarf zur Beheizung genutzt. Das sogenannte Sonnenhaus, das auch in Österreich angeboten wird, beruht auf diesem Prinzip. Im Zusammenspiel mit guter Wärmedämmung, bspw. durch massive Ziegelbauweise, und Bauteilaktivierung (s. Abschnitt D-4.1.4.2) können Primärenergiebedarf und **CO₂-Emissionen minimiert** werden. Auch in der Solarthermie-Technik selbst kann Österreich international erfolgreiche Unternehmen vorweisen (BMNT 2018).

Wärmepumpen zur Umwandlung von Erd- oder Umgebungswärme in Raumwärme und zur Kühlung sind im Neubau bereits eine **kostengünstige Option**. Im Gebäudebestand ist vor Einsatz einer Wärmepumpe allerdings eine umfassende thermische Sanierung sinnvoll, um den Energieverbrauch zu reduzieren. Die Technologie spielt auch eine wichtige Rolle bei der

¹¹ Aktuell noch im Entwicklungsstadium (TRL 1-4) befindet sich der Feststoffakku, der sich durch eine deutlich höhere Energiedichte und Lebensdauer sowie durch Schnellladefähigkeit auszeichnet.

Flexibilisierung der Wärme- und Stromversorgung und damit bei der Umsetzung der Sektor-kopplung (Abschnitt D-4.1.4.2): Da sie mit Strom betrieben wird, kann überschüssiger erneuerbarer Strom aus dem Netz als Wärme in Gebäuden gespeichert werden. In Österreich gibt es einige international tätige Anbieter von Wärmepumpen für Wohngebäude und Industrie.

Um die Elektrifizierung des Energiebedarfs von Gebäuden voranzutreiben, wäre eine **Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen** hilfreich, wie z.B. ein stärkerer Anreiz zur Eigenstromerzeugung und -nutzung für Private durch eine staatliche Regelung für die Abgeltung von Überschussstrom. Momentan sind die angebotenen Einspeisetarife sehr gering. Wärmepumpenbetreiber würden von einer zeitlichen Differenzierung zwischen Netz- und Einspeisetarifen profitieren, da sie dann zu bestimmten Zeiten günstigen Strom nützen könnten, um Überschussstrom in Wärme umzuwandeln und zu speichern. Darüber hinaus wäre eine stärkere Ausrichtung der Wohnbauförderung auf Primärenergiebedarf und Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes (anstatt auf den Heizwärmebedarf) förderlich für die Forcierung von Baukonzepten zur Versorgung mit erneuerbarem Strom bzw. Wärme.

D-4.1.3 Energieeffizienz / kaskadische Energienutzung

D-4.1.3.1 In der Industrie

Die Umsetzung der oben beschriebenen „Breakthrough“-Technologien zur Dekarbonisierung in Industrie und Verkehr würde zu einem **stark steigenden Bedarf an erneuerbarem Strom** führen; laut einem Interviewpartner ist von einer Verdoppelung bis Verdreifachung auszugehen. Deshalb ist eine möglichst effiziente und wenn möglich kaskadische Nutzung von Energie wesentlich. Möglichkeiten dazu werden in der Industrie bereits jetzt angewendet, müssen künftig – wo möglich – ausgebaut werden, um den Gesamtenergiebedarf mit dem verfügbaren inländischen Potenzial an erneuerbar erzeugbarer Energie in Einklang zu bringen.¹²

In allen interviewten Industrieunternehmen werden bereits Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz ergriffen. Dazu zählen die **Wiedernutzung von Abwärme** aus den eigenen Produktionsprozessen, z.B. zur Trocknung in der Zement- und Ziegelherstellung, zur Kühlung oder als Substitut für Erdgas zur Heizung von Warmwasser; die **Rückverstromung** von Abgasen in der Eisen- und Stahlerzeugung und die Eigennutzung der bei der Stromerzeugung anfallenden Abwärme über **Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen**; und die Nutzung von Überschussenergie aus der Zellstoffproduktion in der nachfolgenden Faserproduktion in der Zellstoff- und Viskosefaserindustrie oder der nachfolgenden Papierproduktion in der Papierindustrie. Auch **Wärmerückgewinnung** wird bereits eingesetzt, z.B. in der Ziegelherstellung und in der Viskosefaserproduktion, und verstärkt erforscht: So sollen in der Kunststoffherstellung bald niederkalorische Abwasserströme mittels einer chemischen Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gebracht und somit weitergenutzt werden können. In der Ziegelindustrie setzt man zusätzlich auch auf Absorptionswärmepumpentechnik.

Werden solche Maßnahmen in großem Maßstab gesetzt, so können sie signifikante Beiträge sowohl zur **Wirtschaftlichkeit** von Unternehmen leisten – da diese ihre Energiekosten senken können – als auch zu **Klimaschutz und Klimawandelanpassung**: Bei einem (nicht interviewten) Unternehmen der Wiener Abwasserentsorgung wird beispielsweise ab 2020 der komplette Energiebedarf für die Kläranlage (knapp 1% des Wiener Gesamtverbrauchs) aus dem Klärschlamm bzw. Klärgas gewonnen, womit der Betrieb nicht nur seine Emissionen aus dem Energieverbrauch eliminiert, sondern auch energieautark und damit resilienter wird gegenüber hitzebedingten Blackouts im Stromnetz. Auch die Nutzung der Abwärme von Kraftwerken, Abfallbehandlungs- und Industrieanlagen zur Erzeugung von Kälte, wie bspw. zur Fernkälteversorgung in Wien, ist eine energie- und kosteneffiziente Maßnahme zur Anpassung an den Klimawandel.

¹² Moser et al. (2017) errechnen notwendige Einsparungen im Primärenergiebedarf von 40%, wenn 2050 im Vergleich zu 2015 – bei gleichbleibendem Output – der Energiebedarf vollständig durch inländische Erneuerbare gedeckt werden soll.

Ebenfalls wirtschaftlich interessant für Unternehmen ist die **Einspeisung von industrieller Abwärme ins Fernwärmenetz** und damit die sektorübergreifende Nutzung von Abwärme zur Wärmeversorgung von Haushalten (Sektorkopplung). Das wird in der Eisen- und Stahlerzeugung, in der Zementherstellung und in der Papier- und Zellstoff- bzw. Viskosefaserindustrie bereits praktiziert, und das Potenzial für einen Ausbau in größerem Ausmaß wäre gegeben. Einem Interviewpartner aus der Forschung zufolge stünde allein aus der Industrie im Großraum Linz genügend Abwärme zur Verfügung, um die ganze Stadt mit Wärme zu versorgen. Es findet auch bereits ein Energietausch zwischen manchen interviewten Unternehmen statt, allerdings im Rahmen von kleineren Pilotprojekten.

Insgesamt sollte nach Einschätzung der betroffenen Interviewpartner die effiziente Nutzung aller Abwärmeströme je nach erforderlichem Temperatur- bzw. Energieniveau (kaskadische Nutzung) intensiviert werden. Dazu müssten die **Einspeise-, Wärmeleitungs- und Wärmespeicherinfrastruktur ausgebaut** werden, und zwar für unterschiedliche Temperaturniveaus (Anergie-, Niedertemperatur- und Fernwärmenetze). Außerdem müssen die **rechtlichen Rahmenbedingungen** (z.B. Marktdesign) geschaffen werden, damit entsprechende Geschäftsmodelle und Finanzierungsmöglichkeiten konzipiert werden können (Steinmüller 2016). Schließlich wäre auch hier wieder eine stärkere **Vernetzung** zwischen Unternehmen verschiedener Branchen wichtig, um eine Wissensgrundlage dafür zu schaffen, wo welche Energieströme als „Abfall“ anfallen und wer sie brauchen könnte. Die Erstellung eines öffentlichen Katasters mit solchen Informationen wurde in einem Interview angeregt.

D-4.1.3.2 Im Gebäudebereich

Im Gebäudebereich ist die Reduktion des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung durch Steigerung der Energieeffizienz der größte Hebel für die Dekarbonisierung. Laut Interviewpartnern sollte sie eine Voraussetzung für die eigene Energieerzeugung aus Erneuerbaren sein, da der Energiebedarf der Gebäude insgesamt sinken muss, um die Klimaziele zu erreichen (s. auch Clementschitsch et al. 2017). Bei der *thermischen Sanierung des Gebäudebestands* gibt es noch viel Potenzial, die Energieeffizienz durch Dämmung von Fassaden, Fenstern, Dächern und Kellern zu steigern. Dämmende Elemente für Gebäudehülle und Dach, wie z.B. **Ziegel mit integrierter Wärmedämmung oder ökologische Dämmmaterialien** wie Schafwolle und Stroh bieten Chancen für die heimische Baustoffindustrie, die auch bereits genützt werden. Ökologische Dämmstoffe werden von den interviewten ExpertInnen aufgrund der vergleichsweise geringen Dämmleistung eher als Nischenprodukt gesehen.

Der *Neubau* ist nach Einschätzung einiger Interviewpartner in Österreich noch nicht 2050-fit. Hier sind der **Niedrigstenergie- und der Passivhaus-Baustandard** von Bedeutung, die den Energiebedarf eines Hauses nahe Null reduzieren und ihn zu einem großen Teil aus erneuerbaren Quellen decken. Dies wird durch gute Wärmedämmung und Luftdichtheit sowie teilweise durch kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft über einen Wärmetauscher erreicht. Österreich kann Marktführer für Technologien und Komponenten für Niedrigstenergie- und Passivhäuser vorweisen, für die eine stärkere Forcierung Geschäftschancen bedeuten würde. Außerdem gibt es Anbieter von Fertighäusern im Niedrigstenergie- und Passivhausstandard sowie Vorreiter in der Wirtschaft, die ihre Filialen, Hotels oder Wohnanlagen danach bauen. Die Erfahrung zeigt, dass diese bereits jetzt großflächig und relativ kostengünstig umsetzbar sind.¹³

Die Reduktion des Energiebedarfs durch Bestandssanierung und Neubau nach **Niedrigstenergie- oder Passivhausstandard** senkt sowohl Heizkosten als auch Emissionen und bietet dadurch Vorteile für die **Wirtschaftlichkeit** und den **Klimaschutz**. Darüber hinaus tragen die bessere Dämmung bzw. der Wärmetauscher zur Kühlung bei und damit zur **Kli-**

¹³ Für Passivhäuser ist die Wirtschaftlichkeit - über den Lebenszyklus gerechnet - gegeben (Ploss et al. 2013). Für Niedrigstenergiehäuser müssen die EU-Mitgliedstaaten den Standard so festlegen, dass Kostenoptimalität gewährleistet ist (EU-Gebäuderichtlinie 2010/31/EU).

mawandelanpassung; der niedrigere Energiebedarf erhöht auch die Resilienz gegenüber extremwetterbedingten Stromausfällen.

Als ein Hemmnis wurde von den interviewten ExpertInnen der geringe Anteil der Energiekosten an den Gebäudekosten und damit ein zu schwacher Anreiz zur Steigerung der Energieeffizienz durch Bestandssanierung oder effizienteren Neubau identifiziert. Um klimafreundlichen Bauweisen zum Durchbruch zu verhelfen, wäre daher eine **Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen** förderlich. Der EU-Gebäuderichtlinie zufolge (RL 2010/31/EU und (EU) 2018/844) müssen alle Neubauten ab 2021 zumindest dem Niedrigstenergiestandard entsprechen, und jeder Mitgliedsstaat muss einen Plan vorlegen, der bei größeren Renovierungen bestehender Gebäude den Umbau zu Niedrigstenergiegebäuden erleichtert. Die nationale Umsetzung dieser Bestimmungen soll bis März 2020 erfolgen. Die entsprechende neue OIB-Richtlinie 6 (2019) wurde von den Bundesländern bisher aber noch nicht implementiert, was so schnell wie möglich geschehen sollte. Auch die Verschärfung der Mindestanforderungen an die Energieeffizienz im Neubau in Richtung Passivhausstandard wurde von einem Interviewpartner angeregt. In jedem Fall wird durch das Setzen von Baustandards ein Markt für alle damit zusammenhängenden Produkte und Technologien geschaffen, was ihre Wirtschaftlichkeit steigert. Für die Forcierung der Bestandssanierung wird außerdem eine Änderung im Mietrecht weg von der Einstimmigkeit vorgeschlagen, die momentan die Entscheidungsfindung zur Sanierung in Mehrparteienhäusern erschwert. Schlussendlich könnten **Informationsinstrumente** wie der „Building Renovation Passport“ ein nützliches Tool darstellen, um die Besitzer Schritt für Schritt durch den Sanierungsprozess zu begleiten.

D-4.1.4 Energiespeichertechnologien und Sektorkopplung

D-4.1.4.1 Power-to-Gas

Der Großteil der oben beschriebenen Ansätze zur Dekarbonisierung basiert auf erneuerbar erzeugtem Strom. Der Strombedarf wird also aller Voraussicht nach deutlich ansteigen, was bei nur mehr begrenzt verfügbarer zusätzlicher Wasserkraftkapazität bedeutet, dass Solar- und Windenergie stark ausgebaut werden müssen. Die Herausforderung bei der Nutzung dieses Stroms ist, dass er kurz- und längerfristig unregelmäßig zur Verfügung steht: Nämlich dann, wenn die Sonne scheint bzw. der Wind bläst, und bei Sonnenenergie auch eher im Sommer als im Winter. Darüber hinaus erfolgt die Erzeugung häufig dezentral, also bspw. in großen Windparks in ländlichen Gegenden.

Damit stellt sich die Frage nach der Verteilung und der langfristigen saisonalen Speicherung von Strom aus Erneuerbaren. Power-to-Gas ist dabei eine Möglichkeit, die momentan als **Speicherlösung zum Spitzenlastausgleich** und damit zur Sicherstellung einer stabilen Energieversorgung als vielversprechend angesehen wird. Sie besteht aus der Elektrolyse von Wasserstoff im ersten Schritt, gefolgt von einer Methanisierung des Wasserstoffs unter Zugabe von – zuvor aus der Luft oder aus Industrieemissionen abgeschiedenem – CO₂.¹⁴ Das gewonnene Methan kann problemlos in das bestehende österreichische Erdgasnetz eingespeist und damit zum Endverbraucher transportiert werden. Beim Wasserstoff ist dies bis zu einem Volumenanteil von 4% zulässig, bei einigen Anwendungen sind mittlerweile bis zu 10% technisch möglich.

Für Österreich bietet Power-to-Gas insofern Chancen, als das Land eines der vier Länder mit der größten Gasspeicherkapazität in Europa ist: In unterirdischen Gasspeichern können hierzulande ca. 90% des momentanen Jahresverbrauchs an Erdgas gespeichert werden. Durch die Nutzung der bestehenden Speicher- und Leitungsinfrastruktur kann darüber hinaus Widerstand aus der Bevölkerung gegen den Ausbau von Hochspannungsstromtrassen, wie er derzeit zum Beispiel in Deutschland zu beobachten ist, vermieden werden. Österreich könnte auch als Teil eines künftigen europäischen erneuerbaren Gasnetzes eine wichtige

¹⁴ Der Begriff Power-to-Gas wird oft auch für die Wasserstoffherzeugung durch Elektrolyse allein verwendet.

Rolle spielen (Tichler et al. 2014). Schlussendlich kann Power-to-Gas als Speichertechnologie die Sicherheit der Energieversorgung und damit die Resilienz gegenüber klimawandelbedingten Extremwetterereignissen erhöhen und leistet damit auch einen Beitrag zur **Klimawandelanpassung**.

In Österreich bestehen Kompetenzen in der Erzeugung von grünem Wasserstoff (vgl. Abschnitte D-4.1.1.1 bis D-4.1.1.4), bei der Methanisierung (z.B. das Projekt *Underground Sun Conversion* in Oberösterreich), und bei der Herstellung der Power-to-Gas-Anlagen ebenso wie bei der relevanten Materialforschung. Es existieren auch bereits Pilotanlagen sowie eine gesamte Modellregion, anhand derer die Sektorintegration mittels Wasserstoff erprobt wird (WIVA P&G, vgl. Abschnitt D-4.1.4.2).

Allerdings ist die **Wirtschaftlichkeit** von Power-to-Gas aktuell noch nicht gegeben, sodass der Betrieb der aktuell laufenden Pilotprojekte sich nur mithilfe von öffentlichen **Förderungen** (EU, Klima- und Energiefonds) rechnet. Das liegt einerseits an den hohen Investitionskosten von derzeit 1.000 bis 2.000 Euro pro kW für die Anlagen, und andererseits am geringen Wirkungsgrad der Technologie: Da bei jedem Prozessschritt von der Elektrolyse zur Methanisierung bis zur Rückumwandlung in elektrischen Strom Energie verloren geht, liegt die verfügbare Energie nach der Elektrolyse derzeit bei ca. 80% der eingesetzten Energie, nach der Methanisierung bei ca. 70% und nach der Rückumwandlung in Strom nur mehr bei um die 40%. Unter Nutzung der entstehenden Abwärme kann der Wirkungsgrad jedoch gesteigert werden, und es laufen dahingehend auch intensive **Forschungsanstrengungen** auf der Material-, Komponenten-, Prozess- und Systemintegrationsebene. Bei der effizienteren Hochtemperaturelektrolyse (SOEC) gibt es in Österreich auch Kompetenz in der Materialforschung. Die SOEC-Elektrolyse liegt momentan bei einem Technologiereifegrad von 3 bis 4, während die PEM-Technologie, die in *H2FUTURE* zum Einsatz kommt (Abschnitt D-4.1.1.1), einen TRL von 5 bis 6 aufweist (Klima- und Energiefonds 2018). Schlussendlich ist auch der Preis von erneuerbarem Strom im Vergleich zu Erdgas ein wichtiger Faktor für die Wirtschaftlichkeit von Power-to-Gas.

Weitere Hemmnisse, die derzeit für die Umsetzbarkeit von Power-to-Gas bestehen, sind **rechtliche Unsicherheiten** bezüglich der Definition der Technologie und folglich ihrer Anspruchsberechtigung für Ausnahmen von der Ökostrompauschale, der KWK-Pauschale, der Elektrizitäts- und Energieabgabe sowie der Gas-Netznutzungsentgelte für Entnahme und Wiedereinspeisung von Wasserstoff oder Erdgas (Tichler & de Bruyn 2016). Außerdem hilfreich wäre einem Interviewpartner zufolge die Verlängerung der Übergangsbestimmung in §111 Abs. 3 EIWOG 2010 über 2020 hinaus; diese sieht eine Befreiung von Anlagen zur Umwandlung von Strom in Wasserstoff oder synthetisches Erdgas von den Netznutzungsentgelten und Netzverlustentgelten für den Bezug von elektrischer Energie vor.

Die Frage von **Lokalisierung und Ausbau der Infrastruktur** (Power-to-Gas-Anlagen) – zentral oder dezentral bei den erneuerbaren Stromanlagen, ist die Erdgasinfrastruktur ausreichend oder braucht es Wasserstoffnetze – ist schließlich für jene Unternehmen wichtig, die selbst große Mengen an Wasserstoff benötigen werden. So gaben mehrere Interviewpartner an, aufgrund des schwierigeren Transports (s. Abschnitt D-4.1.1.2) den benötigten Wasserstoff in eigenen Elektrolyseanlagen selbst zu produzieren, um die nötigen Mengen direkt verfügbar zu haben. Angesichts der prognostizierten stark steigenden Nachfrage nach erneuerbarem Strom für die Wasserstoffproduktion waren auch die **Versorgungssicherheit** und die Verbindung mit europäischen Netzen in einigen Interviews Thema.

D-4.1.4.2 *Energiespeichertechnologien im Gebäudebereich*

Auch im Gebäudebereich sind Speicherlösungen erforderlich, um volatil verfügbare erneuerbare Energieträger zur Strom- und Wärmeversorgung nutzen zu können. Als Enabler der erneuerbaren Energieversorgung leisten Speicher einen Beitrag zum **Klimaschutz** und durch Kühlung sowie Stärkung der Resilienz zur **Klimawandelanpassung**.

Zur *kurzfristigen Speicherung* von erneuerbarem Strom gibt es in Österreich innovative Anbieter von **Batterielösungen**. Bei der Wärmespeicherung ist neben dem Wasserkessel die

thermische Bauteilaktivierung ein kurzfristiger Ansatz, der Gebäudedecken, Fundament oder Wände aus Beton oder Ziegeln zur Heizung, Kühlung oder Energiespeicherung nutzt. Dabei wird kaltes oder erhitztes Wasser durch die Bauteile geleitet, die sich an die Raumtemperatur anpassen und aufgrund der guten Energieleit- und Speicherfähigkeit von Beton und Ziegeln den Raum gleichmäßig temperieren. Zur Erhitzung des Wassers kann neben der Solarthermie auch über eine Wärmepumpe erneuerbarer Strom genutzt werden, wodurch sich die thermische Bauteilaktivierung auch gut zur Zwischenspeicherung von erneuerbarem Strom zu Zeiten eines Überangebots eignet (Sektorkopplung). Dieses System ist im Neubau bereits **wirtschaftlich** gut darstellbar und wird auch schon angeboten, nicht aber in der Bestandssanierung.

Die *saisonale Speicherung* von erneuerbarer Energie in Form von Wärme kann für größere Gebäudeverbände mittels **Erdsonden- oder Wasser-(Kies-)Speichern** erzielt werden. Bei ersteren dient das unterirdische Gestein bzw. Erdreich als Speicher, in das vertikal oder schräg eing bohrt wird und wasserdurchflossene Erdwärmesonden eingegossen werden. Bei Letzteren wird ein Becken mit einer Folie ausgekleidet, mit Wasser und z.T. zusätzlich mit Steinen gefüllt und thermisch abgedichtet. Für beide Techniken gibt es Anbieter und Anwendungen in Österreich, das bei thermischen Speichern im internationalen Vergleich gut aufgestellt ist, wie Patentanalysen zeigen (Klima- und Energiefonds 2018). In Graz wird beispielsweise ein 2.500 m³ großer Wasserspeicher in Verbindung mit einer Solarthermieanlage zur Steigerung der Fernwärmekapazität und zum Lastspitzenausgleich betrieben (*HELIOS*). In Zukunft soll in der Stadt 10% des Fernwärmebedarfs durch die weltgrößte Solarthermieanlage mit einem 900.000 m³ großen Wasserspeicherbecken gedeckt werden (*Big Solar*).¹⁵

Zur Umsetzung dieser Energieversorgungs-lösungen im Gebäudebereich, insbesondere zur Fortleitung großer Mengen an erneuerbarer Wärme und Kälte oder auch industrieller Abwärme, ist nach Einschätzung der befragten Experten ein **Ausbau der Wärmenetzinfrastruktur** erforderlich. Dazu sollte einerseits das bestehende Fernwärmenetz, in dem Wasser zwischen 130° und 150°C transportiert wird, verdichtet werden. Andererseits erlauben sogenannte Anergie- und Niedertemperaturnetze, in denen Wasser im Temperaturbereich zwischen 10° und 30°C bzw. 30° und 50°C geleitet wird, die Integration erneuerbarer Wärme aus Solarthermie, Geothermie oder Biomasse. Diese Netze rechnen sich für Gebäudeverbände wie z.B. Wohnblöcke oder Wohnviertel. Auch technisch wäre die Umsetzung in Neubausiedlungen bereits möglich, aktuell gibt es in Österreich aber erst Pilotanlagen, eine davon sogar im Altbau (*SMART Block Geblergasse*). Ohne einen niedrigen Heizwärmebedarf, im Bestand durch thermische Sanierung zu erreichen, sind diese Maßnahmen aber nicht sinnvoll. Beim Passivhausstandard sind sie allerdings größtenteils unwirtschaftlich, da die Leitungsverluste höher sind als der Energiebedarf.

D-4.1.4.3 Die Sektorkopplung

Unter der Sektorkopplung versteht man die zunehmende Vernetzung von Industrie, Energieaufbringung (Strom und Wärme), des Verkehrs- und des Gebäudebereichs auf Basis von erneuerbarem Strom, die infolge der oben beschriebenen Ansätze zur Dekarbonisierung entsteht. Auf der einen Seite steht die Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen wie Wind, Sonne, Erdwärme, Biomasse und Wasser; dieser Strom wird zum Teil (bspw. in *Power-to-Gas*-Anlagen) in Wasserstoff und Erdgas umgewandelt und gespeichert, in Industrie (z.B. *Power-to-Chemicals/Ammonia*) und Verkehr (*Brennstoffzelle, Power-to-Liquid/E-Fuels*) genutzt, oder im Gebäudesektor über bspw. Wärmepumpen in Wärme umgewandelt (*Power-to-Heat*) oder gespeichert. Auf der anderen Seite sollen auch die Verbrauchersektoren Strom erzeugen und ihren Überschuss ans Netz abgeben können (*Building-to-Grid, Vehicle-to-Grid*), und es können auch die Verbraucher- bzw. Erzeugersektoren untereinander gekoppelt sein (*Power-to-Mobility, Kraft-Wärme-Kopplung, Fernwärmeauskopplung*). Die drei miteinan-

¹⁵ Nach der Insolvenz des an Big Solar beteiligten Solaranlagenbauers Anfang Juni 2019 ist die Zukunft des Projekts momentan ungewiss.

der gekoppelten Verteilnetze für Strom, Gas und Wärme werden auch als Hybridnetz bezeichnet.

Mit der Sektorkopplung soll es möglich werden, den Energieverbrauch des Gesamtsystems zu optimieren und zu reduzieren, indem der Strom flexibel dort eingesetzt werden kann, wo er gerade benötigt wird. Dadurch soll die Effizienz deutlich gesteigert werden, was der Vervielfachung des Strombedarfs entgegenwirken kann, die in dieser Studie beschrieben, heute bekannten Ansätze zur Dekarbonisierung vieler Sektoren implizieren.

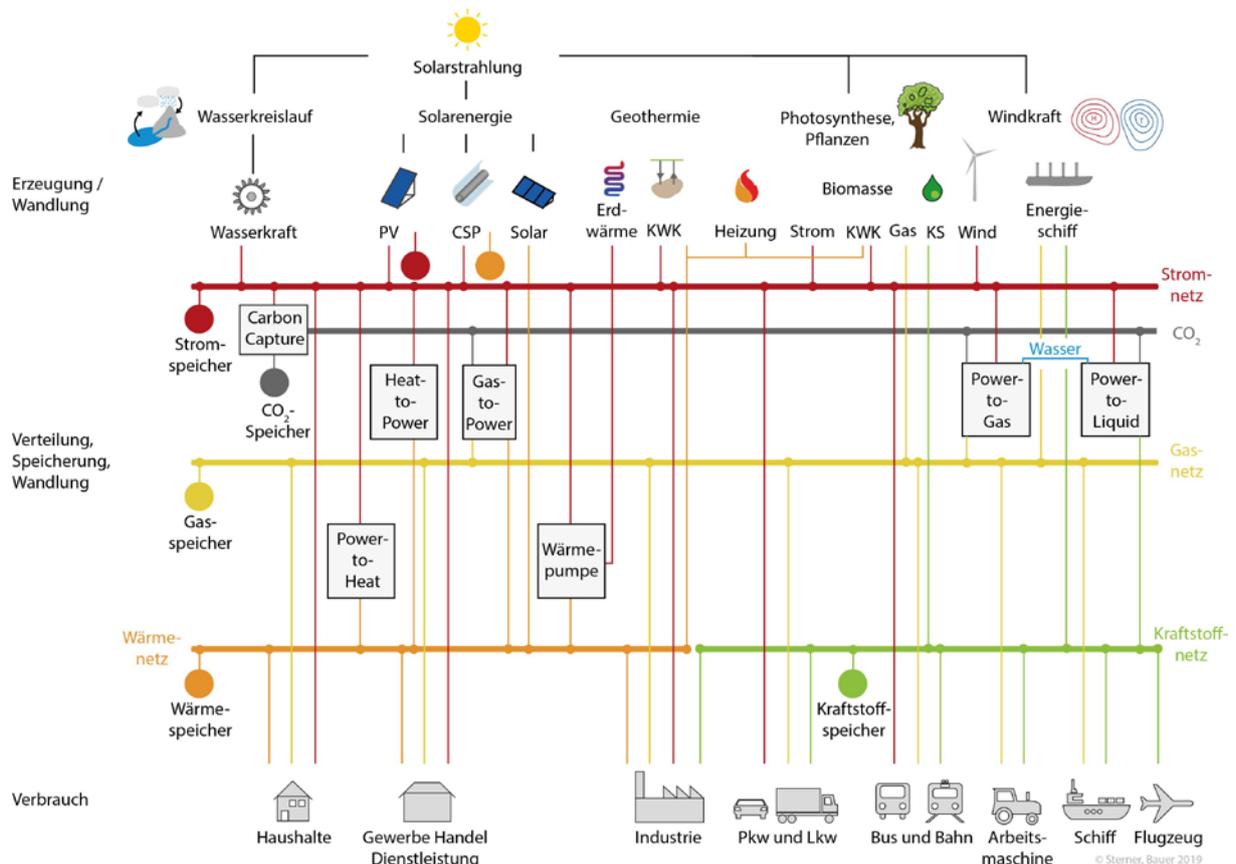


Abb. D-5: Die Sektorkopplung

Quelle: Basierend auf Sterner und Stadler (2014). Copyright Michael Sterner und Franz Bauer (2019), von diesen selbst adaptiert und für den Endbericht von StartClim2018.D zur Verfügung gestellt.

Eine wichtige Rolle bei der Sektorkopplung spielt die intelligente Laststeuerung – das sogenannte Demand-Side Management – und damit die **Digitalisierung**. Anhand von Smart Metern und variablen Tarifen zu günstigeren Konditionen kann die Stromversorgung flexibel dem Angebot angepasst werden, indem zum Beispiel bei Netzüberlastung nicht benutzte Systemkomponenten ab- und später wieder zugeschaltet, minimal zeitversetzt angefahren oder überhaupt auf Tageszeiten mit geringerer Netzauslastung verschoben werden.

Diese Umstellungen in der Energieversorgung bedeuten einen Wandel der klassischen Energieversorger zu Energiedienstleistern, die individuell maßgeschneiderte Lösungen zur Energienutzung verkaufen, kombiniert mit Tarifberatung und Instandhaltung der Geräte (Moser & Steinmüller 2016). Weitere **neue Geschäftsfelder** können sich durch die Integration einer größeren Anzahl dezentraler Energieerzeuger und -speicher ins Netz ergeben sowie im Handel mit Strom, seiner Übertragung und im Lastmanagement.

Zur Umsetzung der Sektorkopplung werden die **Vernetzung** zwischen Akteuren aller Sektoren, das Setzen entsprechender **Rahmenbedingungen im Marktdesign** und der Ausbau der **IT-Infrastruktur** als zentral angesehen. Manche großen Industriebetriebe sehen die

Demand Response, also die flexible Stromversorgung je nach Netzauslastung, für sich momentan als schwierig umzusetzen an. Hier wäre es laut Interviewpartnern hilfreich, die Vertreter betroffener Sektoren zusammenzubringen, die Vorteile aufzuzeigen und Risikoabsicherung anzubieten.

D-4.1.5 Recycling und Kreislaufwirtschaft

In einer Kreislaufwirtschaft sollen Stoffe kaskadisch mehrfach genutzt und dadurch so lange wie möglich im Kreislauf geführt werden. Eine solche effiziente Nutzung kann für Unternehmen **wirtschaftlich** sein, da sie Materialkosten spart und den produktspezifischen Energieeinsatz und damit die Energiekosten senkt. Für den **Klimaschutz** ist beispielsweise die Mehrfachnutzung von Kunststoffen wichtig. Sie erlaubt es, den im Kunststoff enthaltenen fossilen Kohlenstoff möglichst lang im Stoffkreislauf zu halten, bevor er kontrolliert (und idealerweise unter weitestgehender Nutzung der dabei freigesetzten Energie) verbrannt wird und als CO₂ entweicht.

D-4.1.5.1 Mechanisches Recycling

Beim mechanischen Recycling werden gebrauchte Materialien und Produkte aufbereitet und wiederverwertet. Dies wird in allen interviewten Unternehmen in unterschiedlichem Ausmaß bereits praktiziert; in manchen Fällen findet auch ein Austausch zwischen den Branchen statt. So lag in der österreichischen Rohstahlerzeugung die Recyclingrate für **Stahlschrott** (gemessen am Produktoutput) im Jahr 2018 bei über 25%; in der Ziegelherstellung wird Eigenbruch wiederverwertet und Abbruchmaterial als Tonquelle an die Zementindustrie geliefert; beim **Betonrecycling** wird zerkleinerter und geprüfter Abrissbeton zu neuem Beton verarbeitet; in der Kunststoffherzeugung wird vermehrt auf **Recycling von Plastikabfällen** gesetzt; und in der österreichischen Papierindustrie sind hohe **Recyclingraten von Papier** mittlerweile Stand der Technik.

Die Grenzen in der Anwendung dieser Recyclingmethoden sind die Qualität des Recyclatmaterials einerseits und die Qualität der daraus erzeugbaren Produkte andererseits. Zur Beschaffenheit des Recyclats selbst gibt es in der Kunststoffindustrie aktuell intensive **Forschungsanstrengungen**. Hier sind fehlende Informationen zu Zusammensetzung und Sortenreinheit von Abfällen noch ein Hemmnis. Technologien zur Identifizierung und Kennzeichnung verschiedener Abfallströme, damit diese unter Einsatz von Robotern leichter sortiert werden können, existieren bereits, müssen aber noch standardisiert umgesetzt werden. Weitere Forschungsprojekte zur Charakterisierung von Abfallströmen und Recyclaten sowie zur Aufbereitung dieser Materialien zu ihrer optimalen Wiederverwertung in hochwertige neue Produkte laufen (z.B. *PO-recycling BOR*). Dabei kommt unter anderem auch künstliche Intelligenz (Deep Learning) zum Einsatz.

Grundsätzlich bietet die Kreislaufwirtschaft viele **neue Geschäftsmöglichkeiten** für Unternehmen. Beispielsweise wurde in einem Interview eine Pilotregion für die Kunststoff-Kreislaufwirtschaft angeregt, für die Österreich gute Voraussetzungen böte aufgrund der Existenz eines Clusters von Unternehmen aus Kunststoffherstellung, Recyclingwirtschaft, Recyclingmaschinenherstellung, Verpackungsherstellung sowie relevanter Universitätsinstitute.

Ein Hemmnis für die Hochskalierung von Recycling-Geschäftsmodellen sind fehlende **EU-weit einheitliche Standards für die Abfallsammlung**, die momentan regional variieren (z.B. Plastikmüll in Wien – nur Flaschen und Tetrapaks; in Tirol – alle Kunststoffe). Die Recyclingwirtschaft ist darauf ausgerichtet und entsprechend kleinteilig strukturiert, was Schwellen für Investitionen und Innovation erzeugt. Für den Einstieg größerer Unternehmen sind größere Materialströme erstrebenswert. Dazu muss auch die Möglichkeit geschaffen werden, Abfall für das internationale Geschäft über Ländergrenzen hinweg transportieren zu können. Dies erfordert EU-weit einheitliche Regelungen für den Transport von Abfall und für die Kennzeichnung von Abfällen hinsichtlich ihrer Recycelbarkeit.

D-4.1.5.2 Chemisches Recycling

Im Unterschied zum mechanischen Recycling wird beim chemischen Recycling nicht das gebrauchte Material wiederverwendet, sondern der chemische Grundstoff. So kann Altkunststoff durch „thermisches Cracking“,¹⁶ also mit Hitze und Druck, wieder in synthetisches Rohöl umgewandelt werden, das dann wiederum zu Treib- oder Kunststoffen weiterverarbeitet wird. In der österreichischen erdölverarbeitenden Industrie wird dieses Verfahren (**ReOil**) bereits angewendet: Seit 2018 ist dazu eine Pilotanlage in Betrieb, in der pro Stunde bis zu 100 Liter synthetisches Rohöl hergestellt werden können. Mit diesem Verfahren können der Bedarf an fossilem Rohöl und die Treibhausgasemissionen reduziert werden. Für die weitere Hochskalierung sind **einheitliche Standards für Sammlung und Kennzeichnung des Altkunststoffs** nötig, um Ausgangsmaterial von homogener Qualität für das chemische Recycling zu erhalten. Im Frühjahr 2019 wurde eine erweiterte Partnerschaft mit Unternehmen aus Kunststoffherzeugung und -recycling eingegangen, um die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe mithilfe des ReOil-Verfahrens zu prüfen.

In der österreichischen Zellstoff- und Viskosefaserindustrie wird eine Textilfaser teilweise mit (Zellulose-) **Textilabfällen aus der Bekleidungsindustrie** hergestellt. Die Abfälle werden in einem der Zellstoffherstellung ähnlichen Prozess vorbereitet und danach im Lyocell- oder Viscoseverfahren mit holzbasiertem Zellstoff mittels der **REFIBRA™**-Technologie zu hochwertigen Textilfasern verarbeitet. Dies ist das erste kommerzielle Verfahren zum Recycling von cellulosischen Fasern ohne Qualitätsverlust. Neben **Forschungsbedarf** für die optimale Verwertung nicht sortenreiner Ausgangsmaterialien wurden für die Hochskalierung des Textilrecyclings **Vernetzungsinitiativen** zwischen Unternehmen angeregt, damit diese Partner für neue, branchenübergreifende Geschäftsfelder finden können, angesichts des aktuell kleinteilig organisierten Gewerbes. Auch wäre das öffentliche Aufbereiten von Informationen zur Frage, wo welche Stoffströme als Abfall anfallen, und wer sie brauchen könnte, hilfreich.

Das **Carbon Capture and Use** (vgl. Abschnitt 4.1.1.4), bei dem aus der Luft oder aus Industrieemissionen abgeschiedenes CO₂ zusammen mit durch Elektrolyse erzeugtem grünen Wasserstoff zu Grundstoffen für die Kunststoffherstellung verarbeitet wird, kann ebenfalls als eine Kreislaufführung von Kohlenstoff gesehen werden. Auch mit dieser Technologie besteht die Möglichkeit, fossile Grundstoffe zu substituieren, was einen nachhaltigen Beitrag zum Klimaschutz leistet, solange der abgeschiedene Kohlenstoff dauerhaft im neuen Produkt gebunden bleibt. Bei der CO₂-Abscheidung besteht Kompetenz in der österreichischen Stahl- und Zementherstellung sowie in der erdölverarbeitenden und der chemischen Industrie. Beispielsweise ist ein österreichischer Zementstandort in der engeren Auswahl für ein EU-Pilotprojekt zur Anwendung der **Oxyfuel**-Technologie zur Gewinnung von reinem CO₂ aus Abgasen. Allerdings legt der EU-Innovationsfonds dem Interviewpartner zufolge bei der Fördervergabe Wert auf CO₂-Verminderung, sodass sich das in Österreich geltende Verbot der CO₂-Sequestrierung, also der Einlagerung des abgeschiedenen CO₂ bspw. in unterirdischen Erdgasspeichern, als Nachteil herausstellt. Jedenfalls erfordert die Entwicklung dieser Breakthrough-Technologie im Zementherstellungsprozess noch einiges an **Forschungsaufwand** und somit an **Förderung**. Aktuell sind Kosten und Strombedarf dafür sehr hoch. Dazu kommt die Notwendigkeit einer **CO₂-Infrastruktur**, um das abgetrennte CO₂ aus Industrieclustern (z.B. Chemieparcs) andernorts zu Produkten verarbeiten zu können.

D-4.1.5.3 Thermische Verwertung

Eine thermische Verwertung durch Verbrennung sollte an letzter Stelle in der Kohlenstoff-Nutzungskaskade stehen. So werden in der österreichischen Zementherstellung und in der Zellstoff- und Viskosefaserproduktion zur Deckung des Energiebedarfs auch Abfälle wie nicht recycelbare oder stark verschmutzte Kunststoffe sowie nicht mehr recycelbare Holzabfälle, die stofflich nicht weiter verwertbar aber energetisch wertvoll sind, eingesetzt.

¹⁶ Ähnlich dem Steamcracking (s. Fußnote 7) werden auch hier die Kohlenwasserstoffketten im Kunststoff aufgespalten und neu zusammengesetzt.

D-4.2 Rahmenbedingungen für die erfolgreiche Umsetzung in Österreich

Zusammenfassend lassen sich die in den ExpertInneninterviews genannten Rahmenbedingungen für die Umsetzung der im vorigen Abschnitt behandelten Strategien in fünf Maßnahmengruppen einteilen. Diese sind die Anpassung rechtlicher Rahmenbedingungen, Infrastrukturausbau, Information und Vernetzung, Forschung sowie ökonomische Anreize.

Insgesamt begrüßen alle InterviewpartnerInnen langfristige, klare und verlässliche Vorgaben zum Klimaschutz, da diese Planungssicherheit für die langfristigen Investitionszyklen und Forschungsvorhaben von Unternehmen schaffen. Neue großtechnische Anlagen liegen bei Investitionskosten von mehreren hundert Millionen bis einigen Milliarden Euro und brauchen dementsprechend 30 bis 40 Jahre Laufzeit, um sich ökonomisch zu rechnen. Somit wird der Großteil der jetzt neu gebauten Anlagen auch im Jahr 2050 noch in Betrieb sein.

D-4.2.1 Rechtliche Rahmenbedingungen

Für die Umsetzung von **Power-to-Gas** zur Speicherung erneuerbarer Energie und zur Wasserstoffherzeugung durch **Elektrolyse** wäre eine Verankerung der Technologie in den einschlägigen Rechtsmaterien der Elektrizitäts- und Gaswirtschaft nützlich. Im **Gebäudebereich** wird die Anpassung österreichischer Baustandards zur Steigerung der Energieeffizienz in Neubau und Bestandssanierung als wichtig angesehen. Im **Verkehr** wären Erleichterungen im Mietrecht für den Einbau privater Ladestationen in Mehrfamilienhäusern hilfreich. Für den Ausbau der **Fernwärmeversorgung mittels industrieller Abwärme** und der **Sektorkopplung** müssen die Rahmenbedingungen für das Marktdesign (Geschäfts- und Tarifmodelle) erst geschaffen oder ausgebaut werden. Für die Etablierung neuer Geschäftsfelder im **Recycling** sind schlussendlich EU-weit einheitliche Standards für die Sammlung und Kennzeichnung von Abfall nach seiner Zusammensetzung und Recyklierbarkeit zuträglich.

D-4.2.2 Infrastrukturausbau

Für die großflächige **Versorgung** von Industrie, Gebäuden und Verkehr **mit erneuerbarem Strom und grünem Wasserstoff** wird ein bedarfsgerechter Ausbau von Erzeugungskapazität und Leitungsinfrastruktur als große Herausforderung betrachtet, die aufgrund der benötigten Mengen auf europäischer Ebene koordiniert werden sollte. Neben Solar- und Windkraftanlagen sowie Elektrolyse- und Power-to-Gas-Anlagen muss auch die Lade- und Tankinfrastruktur für Fahrzeuge mit batterieelektrischem bzw. Wasserstoffantrieb ausgebaut oder erst geschaffen werden. Die Einspeise-, Leitungs- und Speicherinfrastruktur für **Wärme** unterschiedlicher Temperaturniveaus – von Fernwärme über Niedertemperatur bis zu Anergie – sollte in Abstimmung mit lokal gegebenem Bedarf und lokalen Stakeholdern ausgebaut werden. Für die Umsetzung der **Sektorkopplung** wird die Implementierung der nötigen IT-Infrastruktur in Gebäuden und Stromnetzen als zentral angesehen.

D-4.2.3 Informations- und Vernetzungsmaßnahmen

Vernetzungsinitiativen zwischen Unternehmen einer oder verschiedener Branchen wurden in mehreren Interviews als wichtig für die Informationsvermittlung zur Umsetzung klimafreundlicher Technologien und Strategien hervorgehoben. Einerseits hilft die Vernetzung dabei, von Vorreitern in der eigenen Branche zu lernen. Andererseits können dadurch Partner für neue, branchenübergreifende Geschäftsmodelle gefunden werden, z.B. im **Recycling** und für die Umsetzung von **Sektorkopplung** und **kaskadischer Energienutzung**. Als positive Beispiele wurden die Energie-Vorzeigeregionen des Klima- und Energiefonds (**NEFI, WIVA P&G**) ebenso genannt wie eine Workshopreihe des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus zu Bioökonomie und Kreislaufwirtschaft. Das Anlegen eines öffentlichen Katasters mit Informationen dazu, wo welche Stoff- und Energieströme als „Abfall“ anfallen und wer sie brauchen könnte, wurde angeregt.

Zur Unterstützung von Wohnungs- und Gebäudeeigentümern bei der **Bestandssanierung** wurden Informationsinstrumente wie der „Building Renovation Passport“ vorgeschlagen.

D-4.2.4 Forschung

Forschungsbedarf ist in fast allen Bereichen noch gegeben, zum Teil im Grundlagenstadium zu neuen Materialien und Techniken, teilweise aber auch schon bei der Durchführung von Pilot- und Demonstrationsprojekten. In Österreich bestehen Kompetenzen bzw. laufen Forschungs- und Entwicklungsprojekte bei der **Wasserstoffherzeugung** durch Elektrolyse im großtechnischen Maßstab und der **Methanisierung** des Wasserstoffs; bei **Brennstoffzellenantrieb** und Wasserstofftankstellen; bei Batteriepacks, deren Einbau in Fahrzeuge und bei **Batterieladetechnologien**; in der Solarthermie, bei Wärmespeichern und Wärmepumpen für Gebäude und Industrie; in der Bioraffinerie; bei der industriellen Abwärmenutzung und Wärmerückgewinnung; und im **mechanischen** und **chemischen Recycling** bzw. der CO₂-Abscheidung. Mehrere InterviewpartnerInnen betonten die Bedeutung von Forschungs- und Investitionsförderungen der öffentlichen Hand für Breakthrough-Technologien und neue Anlagen, wo diese einen gesellschaftlichen Mehrwert bieten, aber von sich aus noch nicht wirtschaftlich sind (Energiespeicher wie Power-to-Gas; Wasserstoffelektrolyse); das bestehende Förderangebot in Österreich und der EU wird wo möglich genutzt.

D-4.2.5 Ökonomische Anreize

Einige der beschriebenen Ansätze für Klimaschutz und Klimawandelanpassung sind den InterviewpartnerInnen zufolge bereits jetzt wirtschaftlich interessant für Industrie und Verbraucher. Das gilt insbesondere für die industrielle **Abwärmenutzung**, die **Bioraffinerie** in der Papier- und Zellstoff- bzw. Viskosefaserindustrie und für die Eigenstromversorgung mit **Photovoltaik** bis zu einem bestimmten Prozentsatz des Verbrauchs im Gebäudebereich. Auch verschiedene Konzepte aus der **Niedrigstenergie- und Passivhausbauweise** können sich über den gesamten Lebenszyklus gesehen wirtschaftlich rechnen. Für andere Ansätze ist dies voraussichtlich innerhalb der nächsten Jahre (batterieelektrischer Antrieb im Verkehr) oder nur für bestimmte Anwendungen (CO₂-arme Zemente) der Fall.

Zusätzliche ökonomische Anreize wurden für den **Ausbau erneuerbarer Energieträger** angeregt, beispielsweise ein Abbau umweltkontraproduktiver Subventionen und eine verstärkte Förderung Erneuerbarer. Eine Möglichkeit zur weiteren Verbreitung der Eigenstromversorgung mit Erneuerbaren von Privathaushalten wäre eine staatliche Regelung für die Abgeltung von Überschussstrom. Für die Dekarbonisierung der Industrie mittels **erneuerbarem Strom und grünem Wasserstoff** ist ein im Vergleich zu fossilen Energieträgern günstiger Preis für erneuerbaren Strom wichtig, da andernfalls die Herstellung von grünem Wasserstoff und darauf aufbauende Technologien (bspw. in der Stahlerzeugung) im Vergleich zu kohlenstoffbasierten Alternativen nicht wettbewerbsfähig sind. Auch aufgrund regional unterschiedlicher Stromgestehungskosten sollte die erneuerbare Strom- und Wasserstoffversorgung strategisch zumindest auf europäischer Ebene abgestimmt werden, um die Wettbewerbsfähigkeit künftiger industrieller Wasserstoffanwendungen sicherzustellen.

Forschungs- und Investitionsförderungen (vgl. D-4.2.4) und die Ausnahme von bestimmten Energieabgaben wird für noch nicht marktwirtschaftlich rentable Technologien wie **Power-to-Gas** oder die CO₂-Abscheidung als sinnvoll erachtet. Für die Umsetzung der **Sektorkopplung** kann die Ausarbeitung verschiedener Stromtarifmodelle dabei mitwirken, Stromnachfrage und -angebot in Einklang zu bringen. Das Prinzip der Kostenwahrheit kam mehrmals zur Sprache, beispielsweise im **Recycling** von Textilfasern: Die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sollten so gesetzt sein, dass Konsumenten den Anreiz haben, nachhaltigere Produkte auch zu kaufen. Da der Textilrecyclingsektor eher arbeitsintensiv ist, würde er von einer ökologischen Steuerreform mit reduzierter Steuerlast auf Arbeit besonders profitieren, ebenso die **Bioökonomie**, die in Österreich auf einer relativ klein strukturierten Landwirtschaft basiert.

D-5 Schlussbetrachtung

In dieser Studie wurden zuerst in einer Literaturrecherche sowie Vorgesprächen mit SektorexpertInnen des Umweltbundesamts die wichtigsten Strategien zur Dekarbonisierung der großen Emissionssektoren Österreichs – der energieintensiven Industriebranchen, des Verkehrs- und Gebäudebereichs sowie der Energieversorgung – identifiziert. Anschließend wurde anhand von leitfadengestützten Interviews mit ExpertInnen aus Wirtschaft und Wissenschaft deren Einschätzung zur Bedeutung der erhobenen Strategien für die Erreichung der Klimaziele Österreichs 2030 und 2050 eingeholt. Außerdem wurde auf die Rahmenbedingungen, unter denen die Umsetzung dieser Dekarbonisierungsstrategien in Österreich – auch wirtschaftlich – erfolgreich sein kann, eingegangen.

Aus den Interviews geht hervor, dass sich die befragten Unternehmen mit der Dekarbonisierung bereits intensiv beschäftigen. In der Eisen- und Stahlerzeugung, in der erdölverarbeitenden und teilweise in der chemischen Industrie sowie im Verkehr spielt aus erneuerbarem Strom erzeugter Wasserstoff als emissionsfreier Grund- oder Treibstoff eine Rolle. Auch die Elektrifizierung von industriellen Produktionsprozessen, Pkw-Antrieb und Energieversorgung von Gebäuden ist durch den Umstieg von fossilen Energieträgern auf erneuerbaren Strom eine wichtige Strategie zur Emissionsreduktion. Da erneuerbarer Strom aber volatil und dezentral verfügbar ist, gewinnen Speichertechnologien wie Power-to-Gas an Bedeutung.

Zusammengenommen würden diese Strategien jedoch einem Interviewpartner aus der Wissenschaft zufolge wahrscheinlich zumindest eine Verdoppelung, wenn nicht sogar eine Verdreifachung, der derzeitigen gesamten Stromerzeugung nach sich ziehen, die zudem zur Gänze aus erneuerbaren Quellen aufgebracht werden müsste. Da eine vollständige Deckung des Bedarfs durch das inländische erneuerbare Potenzial kaum möglich scheint, sollten laut Interviewpartnern Maßnahmen zur möglichst effizienten und kaskadischen Nutzung von Energie nach dem jeweils erforderlichen Temperatur- bzw. Energieniveau intensiviert werden; die Sektorkopplung aufgrund der damit möglichen Steigerung der Energieeffizienz des Gesamtsystems vorangetrieben werden; und die Strom- und Wasserstoffversorgung auf europäischer Ebene koordiniert und vernetzt werden.

Darüber hinaus sind Änderungen im Verbraucherverhalten notwendig, um den Energieverbrauch bis 2050 auf einem mit den Klimazielen vereinbaren Niveau zu halten. So ist beispielsweise im Transition-Szenario des Umweltbundesamts (Umweltbundesamt 2017b), in dem bis 2050 für Österreich eine Treibhausgas-Emissionsreduktion um 81% erreicht wird, in der Mobilität ein Umstieg auf öffentlichen Verkehr, Radfahren und Zufußgehen hinterlegt; und im Konsumverhalten eine Verlagerung hin zu langlebigen Produkten und generell ressourcenschonenderen Lebensstilen (z.B. teilen statt besitzen).

Für die erfolgreiche Umsetzung der Dekarbonisierungsstrategien wurden verschiedene Maßnahmen in den Bereichen rechtliche Rahmenbedingungen, Infrastrukturausbau, Informationsinitiativen, Forschung und ökonomische Anreize genannt. Häufig betont wurde die Notwendigkeit von günstigem erneuerbarem Strom im Vergleich zu fossilen Energieträgern wie Kohle oder Erdgas für die Erzeugung von grünem Wasserstoff als Grundstoff in der Industrie und als Speichermedium (Power-to-Gas). Ebenfalls mehrmals hervorgehoben wurde die Bedeutung von Vernetzungs- und Informationsinitiativen für die Umsetzung von Sektorkopplung, kaskadischer Energienutzung und stofflichem Recycling. Dadurch können Unternehmen einerseits von Vorreitern bezüglich klimafreundlicher Strategien lernen und andererseits Partner für neue, branchenübergreifende Geschäftsmodelle finden. Eine weitere interessante Anregung für die bessere Vernetzung von Betrieben hinsichtlich einer effizienteren Ressourcennutzung betrifft die Erstellung eines öffentlichen Katasters mit Informationen dazu, wo welche Stoff- und Energieströme als „Abfall“ anfallen und wer sie brauchen könnte.

Literaturverzeichnis

APCC – Austrian Panel on Climate Change (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014. Wien. http://hw.oeaw.ac.at/APCC_AAR2014.pdf

Axelsson, M., Robson, I., Khandekar, G., & Wyns, T.: *Breaking Through: Industrial Low-CO₂ Technologies on the Horizon*. Institute for European Studies, Vrije Universiteit Brussel, Juli 2018.

BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (2017): *Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel, Teil 1: Kontext*. Wien.

Bogner, A., Littig, B., & Menz, W. (2014): *Interviews mit Experten – Eine praxisorientierte Einführung*. Reihe: Qualitative Sozialforschung. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Bloomberg (2018). *New Energy Outlook 2018*. <https://bnf.turtl.co/story/neo2018?teaser=true>

BMNT – Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (2018): *Umwelttechnologien – Innovationen aus Österreich*. Präsentation, Wien.

<https://www.bmnt.gv.at/umwelt/exportinitiative/exportinitiative-umwelttechnologien/Umwelttechnik.html>

Clementsitsch, L., Belazzi, Th., Korab, R., Formayer, H. (2017): *Das Übereinkommen von Paris und die Auswirkungen auf die heimische Bau- und Immobilienwirtschaft*. Endbericht von StartClim2017.A in StartClim2017: *Weitere Beiträge zur Umsetzung der österreichischen Anpassungsstrategie*, Auftraggeber: BMLFUW, BMWF, ÖBf, Land Oberösterreich.

EK – Europäische Kommission (2018a): *A Clean Planet for all. A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions and the European Investment Bank. COM(2018) 773 final. Brussels, 28 November 2018.

EK – Europäische Kommission (2018b): *In-depth analysis in support of the Commission Communication COM(2018) 773 - A Clean Planet for all. A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*. Brussels, 28 November 2018.

EK – Europäische Kommission (2018c): *Final Report of the High-Level Panel of the European Decarbonisation Pathways Initiative*. DG Research and Innovation, Directorate for Climate Action and Resource Efficiency. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

EK – Europäische Kommission (2018d): *Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über das Governance-System der Energieunion*. Dezember 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1999&from=EN>

Eurostat (2019): *Erwerbstätigkeit nach Industrie (bis zu NACE A*64), Indikator nama_10_a64_e*. Abgerufen am 07.12.2019. Berechnungsstand Dezember 2018. http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nama_10_a64_e&lang=de

Fagerberg, J. (2013): *Innovation – a new guide*. Working Papers on Innovation Studies No. 20131119. Centre for Technology, Innovation and Culture. University of Oslo. http://www.sv.uio.no/tik/InnoWP/tik_working_paper_20131119.pdf

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2018): *Global Warming of 1.5 °C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Geneva, Switzerland.

- Industriewissenschaftliches Institut (IWI) & Pöchlhammer Innovation Consulting (2017): Schneider, H.W.; Pöchlhammer-Tröscher, G.; Luptacik, P.; Popko, J.; Schmidl, M.; Lengauer, S.D.; Koller, W.: Österreichische Umwelttechnik – Motor für Wachstum, Beschäftigung und Export. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 17/2017. Nachhaltig Wirtschaften, BMVIT.
- Jungwirth, G. (2015): Die Erfolgsfaktoren der Hidden Champions in Umwelttechnologie und Ressourceneffizienz. Präsentation auf der envietech 2015. Wien.
- Klima- und Energiefonds (2014): Moser, S., Steinmüller, H., & Leitner, K.-H.: F&E-Fahrplan - Energieeffizienz in der energieintensiven Industrie. Wien, November 2014.
- Klima- und Energiefonds (2018): Friedl, W., Wild, V., Popp, H., Kubeczko, K., Kathan, J., Zahradnik, G., Windholz, B., Leitner, K.-H., Kaser, S., Hengstberger, F.: Technologie-Roadmap Energiespeichersysteme in und aus Österreich. Wien, August 2018.
- McKinsey & Company (2018): Decarbonization of industrial sectors: the next frontier. Amsterdam, Juni 2018.
- Mieg, H. A., & Näf, M. (2005): *Experteninterviews*, 2. Auflage. Institut für Mensch-Umwelt-Systeme (HES), ETH Zürich.
- Moser, S., & Steinmüller, H. (2016): Ein unumgänglicher Wandel – Vom EVU zum Energiedienstleister. Präsentation beim 14. Symposium Energieinnovation Graz. Energieinstitut an der Johannes-Kepler-Universität Linz.
- Moser, S., Goers, S., de Bruyn, K., Steinmüller, K., Hofmann, R., Panuschka, S., Kienberger, T., Sejkora, C., Haider, M., Werner, A., Brunner, C., Fluch, J., & Grubbauer, A. (2018): *Renewables4Industry* – Abstimmung des Energiebedarfs von industriellen Anlagen und der Energieversorgung aus fluktuierenden Erneuerbaren. Endbericht, F&E-Dienstleistung für den Klima- und Energiefonds.
- OECD – Organisation for Economic Cooperation and Development (2017a): Investing in climate, investing in growth. OECD Publishing, Paris.
<http://dx.doi.org/10.1787/9789264273528-en>
- Ploss, M., Brunn, M., Bachner, D., Leutgöb, K., & Jörg, B. (2013): Analyse des kostenoptimalen Anforderungsniveaus für Wohnungsneubauten in Vorarlberg. Endbericht. E7 Energie Markt Analyse und Energieinstitut Vorarlberg im Auftrag des Landes Vorarlberg.
- Porter, M. E., & van der Linde, C. (1995): Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 9(4), 97-118.
- Statistik Austria (2019a): Umweltorientierte Produktion und Dienstleistung. 24.05.2019, Wien.
http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/umwelt/umweltorientierte_production_und_dienstleistung/index.html
- Statistik Austria (2019b): Hauptaggregate der VGR: Bruttowertschöpfung nach ÖNACE-Abteilungen. Zuletzt abgerufen am 17.05.2019. Berechnungsstand September 2018.
https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/volkswirtschaftliche_gesamtrechnungen/bruttoinlandsprodukt_und_hauptaggregate/index.html
- Steininger, K.W., König, M., Bednar-Friedl, B., Kranzl, L., Loibl, W., & Prettenthaler, F. (2015): *Economic Evaluation of Climate Change Impacts. Development of a Cross-Sectoral Framework and Results for Austria*. Heidelberg: Springer.
- Stern, N. (2015): *Why are we waiting? The logic, urgency and promise of tackling climate change*. Lionel Robbins Lectures. Cambridge, USA: MIT Press.
- Tichler, R., Lindorfer, J., Friedl, C., Reiter, G., & Steinmüller, H. (2014): FTI-Roadmap Power-to-Gas für Österreich. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 50/2014. Nachhaltig Wirtschaften, BMVIT.

Tichler, R., & de Bruyn, K. (2016): Power-to-Gas – Vorschlag zur Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen in Österreich. Positionspapier. Energieinstitut an der Johannes-Kepler-Universität Linz. http://www.energieinstitut-linz.at/v2/wp-content/uploads/2017/03/Power-to-Gas-Vorschlag_Anpassung_rechtliche_Rahmenbedingungen.pdf

Steinmüller, H. (2016): Primärenergieeffizienz-Steigerung durch Forschungsk Kooperationen von Energieversorgern und Industriebetrieben im Bereich Wärmeversorgung. Vortrag. Energieinstitut an der Johannes-Kepler-Universität Linz.

Sterner, M. & Stadler, I. (2014): Energiespeicher – Bedarf, Technologien, Integration. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

Umweltbundesamt (2017a): Frischenschlager, H.: Technologieführer in der Umwelttechnik. Zusammenfassung der Ergebnisse aus vier Untersuchungen. Präsentation. Umweltbundesamt im Auftrag des BMNT (vormals BMLFUW), Wien.

Umweltbundesamt (2017b): Krutzler, T., Zechmeister, A., Stranner, G., Wiesenberger, H., Gallauer, T., Gössl, M., Heller, C., Heinfellner, H., Ibesich, N., Lichtblau, G., Schieder, W., Schneider, J., Schindler, I., Storch, A., Winter, R.: Energie- und Treibhausgasszenarien im Hinblick auf 2030 und 2050 – Synthesebericht. Reports, Bd. REP-0628. Umweltbundesamt, Wien.

Umweltbundesamt (2017c): Zechmeister, A., Anderl, M., Gössl, M., Haider, S., Kampel, E., Krutzler, T., Lampert, C., Pazdernik, K., Purzner, M., Poupa, S., Schieder, W., Schmid, C., Stranner, G., Storch, A., Wiesenberger, H., Weiss, P., & Zethner, G.: *GHG Projections and Assessment of Policies and Measures in Austria*. Reports, Bd. REP-0610. Umweltbundesamt, Wien.

Umweltbundesamt (2019a): Anderl, M., Friedrich, A., Gangl, M., Haider, S., Kampel, E., Köther, T., Kriech, M., Lampert, C., Matthews, B., Pazdernik, K., Pfaff, G., Pinterits, M., Poupa, S., Purzner, M., Schieder, W., Schmied, C., Schmidt, G., Schodl, B., Schwaiger, E., Schwarzl, B., Stranner, G., Titz, M., Weiss, P., & Zechmeister, A.: *Austria's National Inventory Report 2019 – Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol*. Reports, Bd. REP-0677. Umweltbundesamt, Wien.

Umweltbundesamt (2019b): Zechmeister, A., Anderl, M., Gössl, M., Haider, S., Kampel, E., Krutzler, T., Lampert, C., Pazdernik, K., Purzner, M., Poupa, S., Schieder, W., Schmid, C., Stranner, G., Storch, A., Wiesenberger, H., Weiss, P., & Zethner, G.: *GHG Projections and Assessment of Policies and Measures in Austria*. Reports, Bd. REP-0687. Umweltbundesamt, Wien.

Umweltbundesamt (2019c): Zechmeister, A., Anderl, M., Geiger, K., Gugele, B., Haider, S., Heller, C., Ibesich, N., Köther, T., Krutzler, T., Kuschel, V., Lampert, C., Neier, H., Pazdernik, K., Poupa, S., Purzner, M., Rigler, E., Schieder, W., Schmidt, G., Schodl, B., Svehla-Stix, S., Storch, A., Stranner, G., Vogel, J., & Wiesenberger, H.: *Klimaschutzbericht 2019*. Im Erscheinen. Umweltbundesamt, Wien.

Windsperger, A., Schick, M., & Windsperger, B. (2018): Perspektiven der Decarbonisierung für die chemische Industrie in Österreich. Studie im Auftrag des Fachverbandes der chemischen Industrie. Institut für Industrielle Ökologie, St. Pölten.

ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (2019a): Österreichisches Klimabulletin, Jahr 2018. Wien.
<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/oesterreichisches-klimabulletin-2018>

ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (2019b): Informationsportal Klimawandel. Lufttemperatur. Wien.
<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimavergangenheit/neoklima/lufttemperatur>

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abb. D-1:	Temperaturanstieg in Österreich (rot) und global (lila) seit Beginn der Aufzeichnungen, im Vergleich zum Mittel der Jahre 1961 bis 1990	9
Abb. D-2:	Handlungsfelder für die Klimaziele 2050.....	11
Abb. D-3:	Institutionen der InterviewpartnerInnen.....	16
Abb. D-4:	Vorgehensweise im Projekt	16
Abb. D-5:	Die Sektorkopplung	29

Tabellen

Tab. D-1:	Treibhausgas-Emissionen in Österreich nach Hauptverursachern (2017) .	10
Tab. D-2:	Treibhausgas-Emissionen in Österreich nach Hauptverursachern (2017): Industrie und Energie im Detail	12

Anhang: Beispielhafter Interviewleitfaden

INTERVIEWLEITFADEN

STARTCLIM2018-FORSCHUNGSPROJEKT

„B4C – BUSINESS FOR CLIMATE“

Version: 08.02.2019

Autorin: Johanna Vogel

EINLEITUNG:

Vielen Dank, dass Sie sich zum heutigen Interview bereit erklärt haben. Es wird ca. eine Stunde dauern und besteht aus 21 Fragen. Sie werden also zur Beantwortung jeder Frage ungefähr drei Minuten Zeit haben.

Als erstes möchte ich Ihnen kurz das **Projekt vorstellen**. Es heißt „Business for Climate“ und beschäftigt sich mit der langfristigen Vereinbarkeit von Klimaschutz und Wirtschaft. Es wird vom Umweltbundesamt im Rahmen der Förderschiene StartClim 2018 durchgeführt. Die Fördergeber sind die Bundesministerien für Nachhaltigkeit und Tourismus; Gesundheit; Bildung, Wissenschaft und Forschung; sowie das Land Oberösterreich.

Die Projektleitung liegt bei meiner Person: Johanna Vogel, ich arbeite als Ökonomin am Umweltbundesamt, habe in Volkswirtschaftslehre an der Universität Oxford promoviert und einige Jahren als Projektmitarbeiterin am Österreichischen Institut für Wirtschaftsforschung gearbeitet. Weitere Projektmitarbeiter sind verschiedene FachexpertInnen des Umweltbundesamtes aus den Abteilungen Verkehr, Gebäude und Industrie.

Ziel des Projekts ist es, anhand von innovativen Beispielen aus der Wirtschaft (national und international) herauszuarbeiten, wie **Synergien zwischen den Klimazielen 2030 bzw. 2050 und der Wirtschaftlichkeit von Unternehmen** bestmöglich erreicht werden können. Dabei geht es um Maßnahmen, die Unternehmen selbst setzen können, die einerseits ihren Energiebedarf und/oder ihre Emissionen reduzieren und damit dem Klimaschutz zugutekommen und gleichzeitig aus betriebswirtschaftlicher Sicht vorteilhaft sind. Diese Best-Practice-Beispiele können neue Technologien, neue Produkte, Dienstleistungen oder Geschäftsmodelle usw. umfassen. Auch sollen die notwendigen Rahmenbedingungen erhoben werden, damit diese Ansätze in Österreich erfolgreich umgesetzt werden können.

Zu diesem Zweck werden **Interviews** mit Experten aus Forschung und Wirtschaft durchgeführt. **Im Fokus stehen** die Wirtschaftsbereiche Stahlerzeugung, Mineralöl, Kunststoff/chemische Industrie, Papier/Zellstoff/Viskosefasern, Gebäude/Bauwirtschaft, Fahrzeuge und Energieversorgung. Sie wurden als Experte für xyz ausgewählt, können aber natürlich auch Ihre Expertise aus anderen Bereichen einbringen.

Bevor wir zum Interview kommen, noch ein paar Worte zum **Datenschutz**: Ich möchte das Interview mit Ihrem Einverständnis gerne für die spätere Auswertung aufzeichnen. Ihre Aus-

sagen werden vertraulich und anonym behandelt. Die Aufzeichnung des Interviews wird nach Projektabschluss gelöscht.

HINTERGRUND: Der Klimaschutz und seine Auswirkungen auf die österreichische Wirtschaft

Die Bundesregierung hat sich in der **österreichischen Klima- und Energiestrategie #mission2030**, die im April 2018 veröffentlicht wurde, zum Ziel gesetzt, den Klimaschutz gemäß ihrer europäischen und internationalen Verpflichtungen voranzutreiben und gleichzeitig den heimischen Wirtschaftsstandort zu stärken.

Das **Pariser Klimaschutzübereinkommen von 2015** gibt vor, die globale Erwärmung gegenüber dem vorindustriellen Temperaturniveau auf deutlich unter 2°C zu begrenzen, wobei Anstrengungen unternommen werden sollen, einen Anstieg von 1,5°C nicht zu überschreiten. Umgelegt auf die Treibhausgasemissionen der Industrieländer bedeutet das wissenschaftlichen Studien zufolge bis Mitte des 21. Jahrhunderts eine Reduktion des Ausstoßes von Treibhausgasen um 80-100% im Vergleich zu 1990.¹⁷ Dies entspricht einer weitgehenden **Dekarbonisierung von Wirtschaft und Gesellschaft bis 2050**, also einem Ausstieg aus fossilen Energieträgern und Grundstoffen.

Allerdings zeigen die aktuellen Zahlen des Umweltbundesamtes zur Treibhausgasbilanz Österreichs vom Jänner 2019, dass die **Treibhausgasemissionen im Land seit 2015 wieder ansteigen**, nachdem sie zuvor seit 2005 gesunken waren. Gleichzeitig ist die Durchschnittstemperatur bereits ca. 2°C über das vorindustrielle Niveau gestiegen, also um knapp doppelt so viel wie im globalen Mittel (ZAMG 2018).

Um die österreichische Wirtschaft und Gesellschaft nach ihren internationalen, rechtsverbindlichen Verpflichtungen klimaverträglich zu machen, wie es die #mission2030 anstrebt, ist daher eine **gesamthafte Transformation unserer Wirtschafts- und Lebensweisen** gegenüber dem Status Quo erforderlich. Dabei sollen soziale Ausgewogenheit sichergestellt, Arbeitsplätze geschaffen und die österreichische Wirtschaft insgesamt gestärkt werden.

Angesichts dieser **enormen Herausforderung** ist es Ziel des gegenständlichen Forschungsprojekts, Wege aufzuzeigen, wie Klimaschutz und Wirtschaft mittel- und langfristig (bis 2030 bzw. 2050) vereinbar sein können, sodass die österreichische Wirtschaft auch im Jahr 2050 noch ein international wettbewerbsfähiger Arbeitgeber sein kann.

INTERVIEW:

Die ersten drei Fragen sind allgemeiner Natur, um Ihren Wirtschaftsbereich besser kennenzulernen.

1. Bitte geben Sie mir einen **kurzen Überblick über die wichtigsten Produkte und Produktionsprozesse** Ihres Betriebs.
2. Welche **Elemente der Produktion** sind in Ihrem Wirtschaftsbereich **besonders THG-emissionsintensiv**?
3. **Welche Veränderungen** wurden in Ihrem Wirtschaftsbereich **bereits implementiert**, um Emissionen zu reduzieren?

¹⁷ Letzteres entspricht der sogenannten „Netto-Neutralität“, also dass nicht mehr Treibhausgase ausgestoßen werden, als von der Umwelt wieder aufgenommen werden können.

4. Der **Klimawandel** ist in Österreich heute schon Realität. Welche **Auswirkungen hat er auf Ihren Betrieb / Wirtschaftsbereich** ganz allgemein, und gibt es Ansätze, sich daran anzupassen?
5. Die **Digitalisierung** wird – ebenso wie der Klimawandel – als globaler Megatrend angesehen, der die Welt in den kommenden Jahrzehnten stark verändern wird. Welchen (klimarelevanten) Einfluss hat sie auf Ihren Betrieb / Wirtschaftsbereich?
6. Welche Rolle spielen für Sie für die Erreichung der Klimaziele 2050 ganz generell **Technologien zur Steigerung der Effizienz** von eingesetzter Energie und Materialien im Vergleich zu **solchen für eine tiefere Dekarbonisierung** von Prozessen und Produkten? Bitte um eine Begründung und Nennung je eines Beispiels aus Ihrem Wirtschaftsbereich.

Ich werde Ihnen jetzt einige **Beispiele für innovative Maßnahmen für eine klimaverträgliche Wirtschaft 2050** nennen und Sie jeweils um Ihre Einschätzung zu vier Punkten bitten:

- a) Ihre Bedeutung für die Erreichung der **Klimaziele 2050**
- b) Den Faktoren, die dazu beitragen, dass diese für Ihren Wirtschaftsbereich **wirtschaftlich rentabel** und damit umsetzbar sind
- c) Den **Widerständen**, Hemmnissen und Risiken, die bei einer breiteren Umsetzung in Ihrem Wirtschaftsbereich auftreten könnten
- d) Den **Rahmenbedingungen** für eine breitere Umsetzung in Ihrem Wirtschaftsbereich.

Diese Beispiele können grob **folgenden Themenfeldern** zugeordnet werden:

- Kreislaufwirtschaft
- Bioökonomie
- Elektrifizierung des Energiebedarfs und Speichertechnologien
- Neue Grund-, Werk- und Treibstoffe
- Neue Geschäftsmodelle.

Für den Gebäudebereich:

- Materialien & Recycling
- Gebäude der Zukunft (Passivhaus, Plus-Energiehaus u.a.)
- Netzinfrastruktur.

I. Kreislaufwirtschaft:

Dem Konzept der Kreislaufwirtschaft zufolge sollen Rohstoffe kaskadisch wiederverwertet und Produkte solange wie möglich genutzt werden. Dies soll helfen Ressourcen nachhaltiger einzusetzen und Emissionen sowie Abfall zu vermeiden.

7. Welche Bedeutung hat für Ihren Betrieb / Wirtschaftsbereich das **stoffliche Recycling, also von Roh- oder Werkstoffen (chemisches oder mechanisches Recycling)**, in Hinblick auf:
 - Beitrag zu Klimazielen:
 - Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
 - Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
 - Rahmenbedingungen für breitere Umsetzung:

8. Welche Bedeutung hat für Ihren Betrieb / Wirtschaftsbereich **das energetische Recycling, also die Verbrennung**, in Hinblick auf:
 - Beitrag zu Klimazielen:
 - Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
 - Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
 - Rahmenbedingungen für erfolgreiche Umsetzung:

9. Welche Bedeutung haben für Ihren Betrieb / Wirtschaftsbereich **Carbon Capture and Use (CCU, Power-to-Chemicals) und Carbon Capture and Storage**? Was wäre für eine erfolgreiche Umsetzung nötig, in Hinblick auf:
 - Beitrag zu Klimazielen:
 - Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
 - Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
 - Rahmenbedingungen für erfolgreiche Umsetzung:

10. Ergeben sich aus der Kreislaufwirtschaft für Ihren Wirtschaftsbereich auch **neue Geschäftsmodelle**, z.B. das Verleihen / Vermieten von Rohstoffen und Produkten (Stichworte „Product as a Service“ und „Chemical Leasing“)?

II. Bioökonomie:

In einer Bioökonomie sollen biogene Rohstoffe jene auf fossiler Basis ersetzen.

11. Welche Bedeutung haben **biobasierte Rohstoffe, also nachwachsende Rohstoffe**, in Ihrem Betrieb / Wirtschaftsbereich, in Hinblick auf:
 - Beitrag zu Klimazielen:
 - Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
 - Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
 - Rahmenbedingungen für breitere Umsetzung:

12. Welche Bedeutung hat die **Nutzung von Biomasse als Energieträger** in Ihrem Betrieb / Wirtschaftsbereich, in Hinblick auf:
 - Beitrag zu Klimazielen:

- Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
- Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
- Rahmenbedingungen für breitere Umsetzung:

III. Elektrifizierung und Speichertechnologien:

Bis 2030 möchte die Bundesregierung gemäß #mission2030 den nationalen Gesamtstromverbrauch zu 100% (national bilanziell) aus erneuerbaren Energiequellen decken. Dadurch wird voraussichtlich der **Strombedarf** in Österreich **stark steigen**.

13. Welche Bedeutung hat für Ihren Betrieb / Wirtschaftsbereich die **Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen** (PV, Windenergie, Solarthermie)? Was wäre für eine breitere Umsetzung nötig, in Hinblick auf:

- Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
- Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
- Rahmenbedingungen für breitere Umsetzung:

Aufgrund der schwankenden Verfügbarkeit von Strom aus erneuerbaren Energieträgern gewinnen **Stromspeichertechnologien wie Power-to-Gas** an Bedeutung.

14. Welche Bedeutung hat diese Technologie für Ihren Betrieb / Wirtschaftsbereich, und was ist für ihre Umsetzung in Österreich erforderlich, in Hinblick auf:

- Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
- Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
- Rahmenbedingungen für erfolgreiche Umsetzung:

Auch die **Sektorkopplung** gewinnt aufgrund des steigenden Strombedarfs in Industrie und Verkehr an Bedeutung. (Beispiele: Power-to-Mobility, Power-to-Heat, Gas-to-Power, Vehicle-to-Grid etc.).

15. Welche Bedeutung sehen Sie künftig in der Sektorkopplung für Ihren Betrieb? Würde Ihr Unternehmen Überschussstrom ins Netz einspeisen bzw. tun Sie das schon? Was ist für eine erfolgreiche Umsetzung nötig, in Hinblick auf:

- Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
- Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
- Rahmenbedingungen für erfolgreiche Umsetzung:

Zur Deckung des stark steigenden Strombedarfs und der optimalen Nutzung volatil zur Verfügung stehender erneuerbarer Energieträger müssen **Niedertemperaturpotenziale voll genutzt** werden.

16. Welche Bedeutung hat die **Nutzung von industrieller Abwärme**, z.B. über Wärmepumpen oder Rückverstromung, in Ihrem Betrieb / Wirtschaftsbereich, in Hinblick auf:

- Beitrag zu Klimazielen:
- Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
- Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
- Rahmenbedingungen für erfolgreiche Umsetzung:

17. Welche Bedeutung hat die **Nutzung von Umgebungswärme** (Solarthermie, Geothermie) in Ihrem Betrieb / Wirtschaftsbereich, in Hinblick auf:

- Beitrag zu Klimazielen:
- Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
- Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
- Rahmenbedingungen für erfolgreiche Umsetzung:

IV. Neue Grund-, Werk- und Treibstoffe:

Der **Bedarf an Wasserstoff** für die Nutzung in Industrie (Grundstoff) und Verkehr (Treibstoff) sowie als Stromspeichermedium dürfte in Zukunft **stark steigen**.

18. Welche Bedeutung hat die **Produktion oder Nutzung von (grünem) Wasserstoff** für Ihrem Betrieb / Wirtschaftsbereich? Was wäre für eine breitere Umsetzung nötig, in Hinblick auf:

- Beitrag zu Klimazielen:
- Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
- Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
- Rahmenbedingungen für erfolgreiche Umsetzung:

19. Welche Bedeutung hat für Ihren Betrieb / Wirtschaftsbereich die **Produktion oder Nutzung von synthetischen Treibstoffen** (E-Fuels, Power-to-Fuel/Liquid)? Was wäre für eine breitere Umsetzung nötig, in Hinblick auf:

- Beitrag zu Klimazielen:
- Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
- Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
- Rahmenbedingungen für erfolgreiche Umsetzung:

Abschließend:

20. **Welche innovativen Maßnahmen** zum Klimaschutz in Ihrem Wirtschaftsbereich – das können auch **internationale Beispiele** sein – **fehlen Ihnen noch**, die bis jetzt noch nicht angesprochen wurden? Bitte um Nennung und kurze Stellungnahme.

21. Der Klimaschutz wird den Österreichern Umfragen zufolge immer wichtiger. Wo sehen Sie das **größte Potenzial** für Maßnahmen zur Umsetzung klimafreundlicher Wirtschaftskonzepte in Ihrem Wirtschaftsbereich?

Ergänzend für den Gebäudebereich:

I. Materialien & Recycling:

Die verwendeten Baustoffe und ihre Verbauung im Gebäude können viel zur Dekarbonisierung des Gebäudesektors beitragen, im Neubau ebenso wie im Gebäudebestand.

1. Welche Bedeutung haben für Ihren Wirtschaftsbereich Materialien und Technologien für die klimagerechte **Dämmung von Gebäuden** (Bestandssanierung)?
2. Welche Bedeutung haben für Ihren Wirtschaftsbereich **ökologische/biobasierte Dämmstoffe**? Was wäre für eine breitere Umsetzung nötig, in Hinblick auf:
 - Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
 - Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
 - Rahmenbedingungen für breitere Umsetzung:
3. Welche Bedeutung haben für Ihren Wirtschaftsbereich Materialien und Technologien für den klimagerechten **Neubau von Gebäuden**?
4. Welche Bedeutung haben für Ihren Wirtschaftsbereich **emissionsarme Alternativen zu Zement** (z.B. Celitement, Aether, Solidia, Geopolymere, carbon-reinforced concrete)? Was wäre für eine breitere Umsetzung nötig, in Hinblick auf:
 - Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
 - Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
 - Rahmenbedingungen für breitere Umsetzung:
5. Welche Bedeutung haben für Ihren Wirtschaftsbereich **ökologische/biobasierte Baumaterialien** (z.B. Holz)? Was wäre für eine breitere Umsetzung nötig, in Hinblick auf:
 - Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
 - Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
 - Rahmenbedingungen für breitere Umsetzung:
6. Welche Bedeutung haben für Ihren Wirtschaftsbereich **recyklierte Bau- und Dämmstoffe** (z.B. Altbeton)? Was wäre für eine breitere Umsetzung nötig, in Hinblick auf:
 - Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
 - Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
 - Rahmenbedingungen für breitere Umsetzung:

II. Gebäude der Zukunft (Passivhaus, Plus-Energiehaus u.a.):

Im Neubau sind diese beiden Konzepte besonders wichtig für eine klimagerechte Bauweise.

7. Welche Bedeutung haben für Ihren Wirtschaftsbereich **Komponenten zur Heizung, Kühlung und Lüftung** von Gebäuden (z.B. Wärmerückgewinnungsanlagen, Wärmetauscher)? Was wäre für eine breitere Umsetzung nötig, in Hinblick auf:
 - Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
 - Widerstände, Risiken und Hemmnisse:

- Rahmenbedingungen für breitere Umsetzung:
8. Welche Bedeutung haben für Ihren Wirtschaftsbereich **Komponenten zur Integration erneuerbarer Energieträger** in Gebäuden (z.B. Wärmepumpen, fassadenintegrierte Systeme)? Was wäre für eine breitere Umsetzung nötig, in Hinblick auf:
 - Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
 - Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
 - Rahmenbedingungen für breitere Umsetzung:
 9. Welche Bedeutung haben für Ihren Wirtschaftsbereich **Technologien zur kurzfristigen Wärme- und Stromspeicherung** in Gebäuden (z.B. thermische Bauteilaktivierung, Strom- und Warmwasserspeicher)? Was wäre für eine breitere Umsetzung nötig, in Hinblick auf:
 - Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
 - Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
 - Rahmenbedingungen für breitere Umsetzung:
 10. Welche Bedeutung haben für Ihren Wirtschaftsbereich **Technologien zur lokalen saisonalen Speicherung von Energie** in Gebäuden (z.B. Fundamentspeicher)? Was wäre für eine breitere Umsetzung nötig, in Hinblick auf:
 - Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
 - Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
 - Rahmenbedingungen für breitere Umsetzung:
 11. **Welche weiteren Technologien oder Komponenten** für eine klimagerechte Bauweise sind für Ihren Wirtschaftsbereich von Bedeutung?

III. Netzinfrastuktur:

Durch die spezielle Bauweise und die Integration Erneuerbarer benötigen Passiv- und Plusenergiehäuser eine entsprechende Anbindung an die Netzinfrastuktur. Im Konzept der „Sektorkopplung“ sollen Gebäude als dezentrale Versorgungseinheiten auch Strom ins Netz einspeisen.

12. Welche Anforderungen stellen Gebäude als „Prosumer“ an die **Strom-, Wärme- und Kältenetznfrastuktur**? Was wäre für eine breitere Nutzung nötig, in Hinblick auf:
 - Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
 - Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
 - Rahmenbedingungen für breitere Umsetzung:
13. Welche Bedeutung haben für Ihren Betrieb / Ihr Geschäft **Anergie- und Niedrigtemperaturnetze** für die Versorgung von Gebäuden mit Wärme und Kälte? Was wäre für eine breitere Umsetzung nötig, in Hinblick auf:
 - Faktoren für Wirtschaftlichkeit:
 - Widerstände, Risiken und Hemmnisse:
 - Rahmenbedingungen für breitere Umsetzung: