



GREENPEACE



ENERGIE- UND KLIMAZUKUNFT ÖSTERREICH

Szenario für 2030 und 2050

März 2017

ENERGIE- UND KLIMAZUKUNFT ÖSTERREICH: SZENARIO FÜR 2030 UND 2050

Autor: Andreas Veigl

Im Auftrag von GLOBAL 2000, Greenpeace und WWF
Reviewing: Johannes Wahlmüller, Adam Pawloff, Karl Schellmann

Wien, März 2017

Impressum:

WWF Österreich, Ottakringer Str. 114-116, 1160 Wien, +43 1 488 17-0; ZVR. Nr.: 751753867, DVR: 0283908.

Text: Andreas Veigl

Design: WWF

Coverfoto: Global Warming Images / WWF-Canon

INHALT

Kurzfassung.....	4
1. Kontext und Aufgabenstellung.....	8
1.1 Aufgabenstellung.....	8
1.2 Internationale Klimaziele & Konsequenzen für Österreich.....	8
2. Allgemeine Rahmenbedingungen und Grundprinzipien	11
3. Vorgangsweise.....	12
3.1 Vorgangsweise für Energiebilanz.....	12
3.2 Vorgangsweise für die Treibhausgasbilanz.....	16
4. Beschreibung der Sektoren.....	17
4.1 Sektor „Private Haushalte“.....	17
4.2 Sektor „Dienstleistungen“.....	17
4.3 Sektor „Produktion“.....	18
4.4 Sektor „Landwirtschaft“.....	18
4.5 Sektor „Verkehr“.....	20
5. Beschreibung des Energiesystems.....	21
5.1 Potenziale erneuerbarer Energieträger.....	21
5.2 Annahmen zum Energiesystem.....	25
5.3 Annahmen zur Nutzung fossiler Energieträger.....	27
6. Energiebilanzen 2030 und 2050.....	28
6.1 Ergebnisse für den Endenergiebedarf.....	28
6.2 Deckung des Endenergiebedarfs.....	29
6.3 Ergebnisse für die Aufbringung & Verwendung von Elektrizität.....	31
6.4 Ergebnisse zum Bruttoinlandsverbrauch von Primärenergie.....	33
7. Treibhausgasemissionen 2030 und 2050.....	35
7.1 Energiebedingte Treibhausgasemissionen (CRF 1).....	35
7.2 Industrielle Prozesse (CRF 2).....	35
7.3 Landwirtschaft (CRF 3).....	37
7.4 Abfall und Abwasser (CRF 5).....	38
7.5 Gesamte Treibhausgasemissionen.....	39
8. Zusammenfassung.....	40
9. Schlussfolgerungen.....	41
10. Literatur und Anhang.....	45

KURZFASSUNG

In den Beschlüssen der Weltklimakonferenz in Paris haben sich alle Staaten verpflichtet, ihren Beitrag zu leisten, um die globalen Klimaschutzziele zu erreichen. So gibt es nun erstmals **völkerrechtlich verbindliche Grenzen** für die globale Erwärmung. Das Ziel, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen und Anstrengungen zu unternehmen, sie auf 1,5 °C einzudämmen, macht entschlossenes Handeln notwendig und erfordert die Anpassung bisher entworfener Klimaschutzpläne. Diese Klimaschutzziele bedeuten, dass nur noch ein **beschränktes CO₂-Budget** zur Verfügung steht. Würde jedem Menschen auf dieser Erde das gleiche Verschmutzungsrecht der Atmosphäre gewährt, so würde Österreich einen Anteil von 0,12 Prozent erhalten. Dabei sind Gerechtigkeitsaspekte, wie die hohen Treibhausgasemissionen der Industriestaaten in der Vergangenheit, nicht abgebildet. Für eine Einhaltung der 1,5 °C-Grenze müsste Österreich – eine lineare Reduktion vorausgesetzt – bereits im Jahr 2030 Treibhausgasneutralität erreichen. Um nur die 2 °C-Grenze zu unterschreiten ist die Erreichung der Treibhausgasneutralität bis Ende der 2040er Jahre notwendig.

Die vorliegende Arbeit entwickelt ein Szenario für die Jahre 2030 und 2050, in dem die Treibhausgas-Reduktionsbeiträge der einzelnen Sektoren – mit Fokus auf den Energiesektor – abgeschätzt werden. Dazu wird an Hand von Annahmen über die Zukunft eine Abschätzung der notwendigen Energiedienstleistungen getroffen, woraus in der Folge die erforderlichen Mengen an Endenergie und Primärenergie errechnet werden. Mit der Abschätzung von naturverträglichen Potentialen erneuerbarer Energien verschnitten und mit Umstellungen vor allem in der Industrie und Landwirtschaft kombiniert, ergibt sich ein gangbarer Weg, wie die **Treibhausgasemissionen Österreichs bis 2050 um mindestens 90 % gegenüber dem Jahr 1990 gesenkt** werden können und der Energiesektor de facto völlig frei von fossiler Energie werden kann. Durch andere Entwicklungen, neue Technologien oder wirksame politische Instrumente können im Detail auch andere Wege zum gleichen Ziel entstehen.

Die Studie zeigt umgekehrt aber auch, welche **Voraussetzungen** geschaffen werden müssen, damit dieses Ziel erreicht werden kann: Die im Jahresdurchschnitt in Österreich verfügbaren erneuerbaren Energieressourcen reichen für eine Vollversorgung mit erneuerbarer Energie nur dann aus, wenn es gelingt, den Energieverbrauch entsprechend zu reduzieren.

Es kann gezeigt werden, dass der **Endenergiebedarf** trotz Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums gegenüber dem Basisjahr 2013 **gesenkt** werden kann, wobei die möglichen Reduktionen bei 29 % (2030) bzw. 46 % (2050) liegen. Beispielsweise kann er in den privaten Haushalten etwa halbiert werden und sinkt im Verkehrsbereich auf ein Viertel.

Erreicht werden kann dies durch eine konsequente Umsetzung einer effizienzorientierten Politik. Im **Gebäudebereich** ist es notwendig, dass die Sanierungsrate auf drei Prozent angehoben wird und sich der Passivhausstandard im Neubau durchsetzt. Bis auf denkmalgeschützte Gebäude muss der gesamte Bestand bis 2050 zumindest einmal saniert werden. Mittelfristig sollen sich Plusenergiehäuser, die übers Jahr gesehen mehr Energie erzeugen als sie verbrauchen, weit verbreiten.

Im **Mobilitätssektor** ist es notwendig, stärker auf die Bahn und den Öffentlichen Verkehr zu setzen, Rad- und Fußwege auszubauen und so den Modal Split zugunsten des Umweltverbunds zu verändern. Schon bis 2030 soll der Anteil des Umweltverbunds um fünf Prozentpunkte steigen, bis 2050 soll ein Anteil von 50 Prozent erreicht werden. Im Individualverkehr gilt es die E-Mobilität auszubauen. Schon bis 2030 könnte ein Anteil von 25

Prozent erreicht werden, bis 2050 sollte der motorisierte Individualverkehr zu 85 Prozent elektrifiziert und der Rest mit alternativen Antriebsformen betrieben werden.

Damit wird eine praktisch **vollständige Deckung mit erneuerbaren Energieträgern** möglich, für die die nachhaltigen, naturverträglichen Potenziale in Österreich ausreichen. Die **Treibhausgas-Emissionen des Energieverbrauchs** (z.B. in Gebäuden oder im Verkehr) können damit bis 2050 – bis auf die energetische Verwertung nicht erneuerbarer Abfälle, zu denen hier keine Aussage gemacht wird – **de facto vollständig vermieden** werden. Der Ausbau erneuerbarer Energien basiert stark auf Photovoltaik, Windenergie, Umgebungswärme, Solarthermie und Geothermie, die 2050 gemeinsam 40 % des Primärenergieverbrauchs ausmachen. Unter Berücksichtigung des für den Naturschutz notwendigen Vorsichtsprinzips wird die Nutzung von Wasserkraft und Biomasse mit Bedacht ausgebaut.

Die **Treibhausgas-Emissionen industrieller Prozesse** können **bis 2050 um 78 % gegenüber 1990 abgesenkt werden**. Den wesentlichsten Beitrag liefert dabei die Umstellung des Hochofenprozesses in der Stahlindustrie auf die Direktreduktion von Eisenerz durch Wasserstoff mit anschließender Elektrostahlerzeugung.

Durch die Umstellung auf eine –gesundheitlich empfohlene – ausgewogenere Ernährung kann der Fleischkonsum um 60 % gesenkt werden. Gekoppelt mit einer Ausweitung der biologischen Landwirtschaft auf 50 % der landwirtschaftlichen Fläche sowie der Reduktion von Lebensmittelabfällen können die **Treibhausgas-Emissionen der Landwirtschaft 2050 um 56 % gegenüber 1990 vermindert** werden.

Insgesamt **sinken die Treibhausgas-Emissionen unter diesen Annahmen gegenüber 1990 bis 2030 um 52 % und bis 2050 um 90 %**. Damit stellt der Treibhausgas-Reduktionspfad dieses Szenarios in Anbetracht der Reduktionsnotwendigkeiten und der internationalen Verpflichtungen einen **Mindestpfad** dar. Nur durch noch höhere Ambitionen oder die Etablierung von CO₂-Senken (in der Land- bzw. Forstwirtschaft) wäre eine weitere Reduktion möglich.



Energierregion Blumenegg, Vorarlberg



1. KONTEXT UND AUFGABENSTELLUNG

1.1 AUFGABENSTELLUNG

Zentrale Aufgabenstellung dieser Arbeit ist die Entwicklung eines realisierbaren normativen Szenarios für eine nachhaltige Energieversorgung und die Entwicklung sämtlicher relevanter Treibhausgasemissionen in Österreich für die Jahre 2030 und 2050. Sie stellt damit eine Aktualisierung und Erweiterung der Studie „Energiezukunft Österreich“ aus dem Jahr 2015 dar¹. Drei Studien aus den vergangenen Jahren (Streicher et al. 2011, Bliem et al. 2011, Christian et al. 2011) weisen nach, dass es möglich ist, die Energieversorgung Österreichs 2050 vollständig aus erneuerbaren Energien zu bewerkstelligen. Vergleiche wie Veigl (2012) oder Stagl et al. (2014) zeigen dabei folgende gemeinsame Grundaussagen dieser Studien:

- 2050 kann die gesamte zur Deckung der Endenergienachfrage benötigte Primärenergie in Summe in Österreich aufgebracht werden.
- Dazu muss und kann der Endenergiebedarf auf rund die Hälfte des gegenwärtigen Wertes reduziert werden.

In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, dass eine vollständig erneuerbare Energieversorgung Österreichs 2050 technisch machbar und durch einen Transformationsprozess auch erreichbar ist. Bis 2030 muss die Energieversorgung daher bereits so weit umgestaltet sein, dass die gesetzten Ziele 2050 sicher erreicht werden können. Darüber hinaus wird die gesamte Treibhausgasbilanz abgebildet und überprüft, inwieweit eine Reduktion im geforderten Ausmaß von zumindest -80 bis 95 Prozent bis 2050 machbar ist.

Das Szenario bildet dabei nur eine mögliche Entwicklung ab. Im Detail wären natürlich zahlreiche andere Varianten möglich, um die oben genannten Ziele zu erreichen. Das Ziel einer „naturverträglichen Dekarbonisierung bis 2050“ sehen die Auftraggeber allerdings als Fixpunkt an, der zu erreichen ist um einen wirksamen Österreichischen Beitrag für das Klimaabkommen von Paris zu leisten und gleichzeitig wertvolle Naturräume zu erhalten.

1.2 INTERNATIONALE KLIMAZIELE & KONSEQUENZEN FÜR ÖSTERREICH

Den internationalen Rahmen für die Klima-Verpflichtungen Österreichs gibt das Klimaschutzabkommen von Paris vor: Bei den Klimaverhandlungen in Paris 2015 einigten sich 195 Staaten auf

- das langfristige Ziel, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2°C gegenüber den vorindustriellen Werten zu halten und Anstrengungen zu unternehmen, diesen Anstieg auf 1,5 °C zu begrenzen, da dies die Risiken und Folgen des Klimawandels deutlich vermindern würde.²
- Um dieses Ziel zu erreichen, sollen die globalen Treibhausgas-Emissionen möglichst bald ihr Maximum überschreiten und dann rasch sinken, wobei Entwicklungsländern dafür mehr Zeit eingeräumt wird. Die Netto-Emissionen sollen bis zur zweiten Hälfte des Jahrhunderts auf Null gesenkt werden. Das bedeutet, dass sich Quellen (wie Auto-

¹ Veigl (2015)

² Vgl. Paris Agreement, Article 2

verkehr) und Senken (wie Waldzuwachs) von Treibhausgasemissionen ausgleichen müssen. Und das auf Basis von Gerechtigkeit, den UN Sustainable Development Goals und von Armutsbekämpfung. Ebenso wurde festgehalten, dass die nationalen Beiträge dazu der höchstmöglichen Ambition jeden Landes entsprechen sollen.³

- Das Klimaabkommen sieht zusammen mit begleitenden Entscheidungen weiters vor, dass alle Vertragsparteien Klimaschutzstrategien ausarbeiten sollen, die einen Zeithorizont bis Mitte des Jahrhunderts aufweisen und den Zielen des Abkommens entsprechen.⁴

Österreich hat diesen Vertrag am 8. Juli 2016 ratifiziert, der am 4. November 2016 im Rahmen des internationalen Völkerrechts in Kraft getreten ist. Damit ist Österreich verpflichtet, seinen fairen Anteil zum Klimaschutz beizutragen. Als Industrieland muss es dazu einen ambitionierten und wirksamen Fahrplan vorlegen. Der „Österreichische Sachstandsbericht Klimawandel“ (APCC 2014) hat dafür die wissenschaftliche Grundlage gelegt, das hier vorliegende Szenario beschreibt einen gangbaren Weg dafür. Damit ist der Weg für die Politik geebnet und die Eckpunkte für Ziele und Strategien formuliert. Wichtig wird weiters eine Festlegung wirksamer Instrumente und Maßnahmen sein, um die hier beschriebenen Fahrpläne auch erreichen zu können.

INFO-BOX: Kohlenstoff-Budget („Carbon Budget“)

Die globale Durchschnittstemperatur hängt vor allem von der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre ab. Da sich das über den Zeitlauf emittierte CO₂ in der Atmosphäre ansammelt (kumuliert), steigt mit jeder weiteren Emission die Menge des CO₂ in der Atmosphäre auch seine Konzentration und damit die Temperatur. Zur Begrenzung der Temperatur auf einem bestimmten Niveau darf daher die Gesamtmenge des emittierten CO₂ eine bestimmte Grenze nicht übersteigen – man spricht vom „Kohlenstoff-Budget“, das zur Verfügung steht.

Der Großteil des Kohlenstoff-Budgets um die Erwärmung mit hoher Wahrscheinlichkeit auf maximal 2°C zu begrenzen¹ ist bereits verbraucht (IPCC 2014): Von den zur Verfügung stehenden 2.900 Gt CO₂ wurden seit Beginn der Industrialisierung bis 2011 bereits 1.900 Gt emittiert, es verbleiben also nur noch rund 1.000 Gt. Soll der Temperaturanstieg auf 1,5°C begrenzt werden,² so beträgt das verbleibende Budget etwa 550 Gt.

Unter der Annahme, dass ab 2015 die Emissionen global linear sinken und keine negativen Emissionen (z.B. durch Aufforstungen) berücksichtigt werden, bedeutet das:

- soll der Temperaturanstieg nicht über 2°C liegen (66% Wahrscheinlichkeit), müssen die Treibhausgas-Emissionen weltweit etwa Mitte der 2050er Jahre Null erreichen, und
- soll der Temperaturanstieg nicht über 1,5°C liegen (50% Wahrscheinlichkeit), müssen sie bereits etwa Mitte der 2030er Jahre auf null reduziert werden.

Die Treibhausgasemissionen sinken aber nicht weltweit linear, da Entwicklungs- und Schwellenländern etwas mehr Zeit zugestanden wurde. Das ist auch im Klimaschutzabkommen von Paris festgehalten. Industrienationen wie Österreich müssen daher vorangehen und eine Vorreiterrolle einnehmen.

¹ Mit einer Wahrscheinlichkeit von 66 %.

² Mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 %.

³ Vgl. Paris Agreement, Article 4.1.

⁴ Vgl. Paris Agreement, Article 4, 19 und Decision 1/CP.2.1., para 35

Was bedeutet das für Österreich? Welches Budget steht Österreich zu?

Die entscheidende Frage ist also, welches Kohlenstoff-Budget Österreich zusteht und wie hoch dieses im Vergleich zum globalen Durchschnitt ist.

Würden alle BewohnerInnen der Erde das gleiche Kohlenstoff-Budget erhalten, läge der Anteil von Österreich gemäß Bevölkerungsanteil bei ca. 0,12 %. In diesem Fall müssen Netto-Null-Emissionen für eine Begrenzung der globalen Erwärmung auf unter 2° C bereits Ende der 2040er Jahre erreicht werden, für die 50 %-ige Chance auf das 1,5 °C-Ziel bereits um 2030. Historische Beiträge zum Klimawandel, die bei Industrieländern wie Österreich aufgrund höherer Emissionen in der Vergangenheit höher sind als jene in Entwicklungsländern, bleiben jedoch auch hier unberücksichtigt.

Aus diesen Überlegungen wird ersichtlich, dass selbst ein ambitionierter Reduktionspfad wie der im vorliegenden Szenario nicht dem fairen Anteil Österreichs entspricht, der sich aus den Verpflichtungen des Klimaschutzabkommens von Paris ergibt. Abbildung 1 zeigt die Emissionen Österreichs, die Reduktionspfade für die 1,5°C- und die 2°C-Grenze sowie die Szenarioergebnisse. Ebenso wird deutlich wie sehr der von NGOs immer heftig kritisierte Anstieg der Emissionen zwischen 1990 und 2005 die erforderliche Reduktion heute verschärft.

Derzeit ist ein fairer Beitrag Österreichs durch Klimaschutzmaßnahmen im Inland, der zumindest einen vollständigen Ausstieg aus fossiler Energie bis 2030 bedeuten würde, nicht in Sicht. Daraus ergibt sich für Österreich eine große „Verantwortungslücke“, die auf andere Weise geschlossen werden muss. So können über die Unterstützung von Entwicklungsländern, saubere Entwicklungspfade einzuschlagen, weitere Treibhausgasemissionen vermieden werden; weiters muss Verantwortung für in der Folge auftretende Schäden übernommen und Mittel zu deren Behebung zur Verfügung gestellt werden. Parallel zu einer ambitionierten Klimaschutzpolitik im Inland muss Österreich daher ein glaubwürdiges und schlagkräftiges Programm für Klimaschutz und Klimaschadensbekämpfung in Entwicklungsländern finanzieren, ohne diese Emissionsminderungen auf die eigene Zielerreichung anzurechnen oder nationale Maßnahmen damit ersetzen zu wollen.

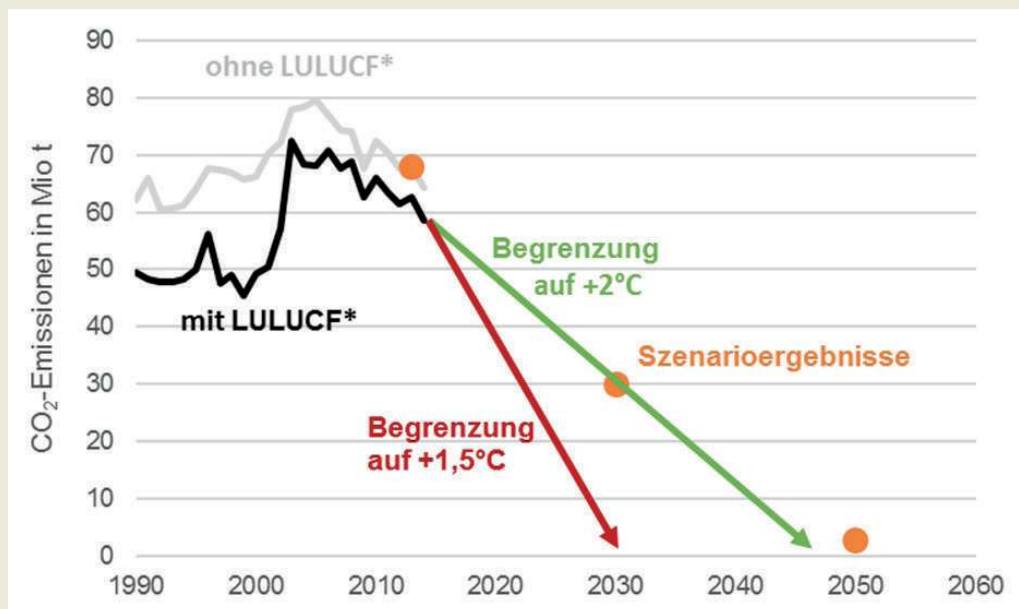


Abbildung 1: Reduktionspfade für die Zielerreichung und Szenarioergebnisse in Österreich

* Die historischen Emissionen sind sowohl mit als auch ohne die CO₂-Senken aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) eingetragen, die Szenarioergebnisse beinhalten LULUCF nicht.

2. ALLGEMEINE RAHMENBEDINGUNGEN UND GRUNDPRINZIPIEN

Für das vorliegende Szenario gelten die folgenden Rahmenbedingungen und Grundprinzipien:

- Das Basisjahr für die erstellten Berechnungen ist 2013.
- Die Bevölkerung wächst gemäß dem Hauptszenario der Bevölkerungsprognose 2016 der Statistik Austria (2016) von 8,5 Mio. (2013) auf 9,4 Mio. (2030) und 9,8 Mio. (2050)⁵. Damit steigt die Bevölkerung gegenüber 2013 bis 2030 um 11 % und bis 2050 um 15 %.
- Das Wirtschaftswachstum wird angenommen mit real 1 % p.a. im Zeitraum 2013-2030⁶ und mit 0,5 % p.a. für 2030-2050. Der Sektor Dienstleistungen wächst dabei stärker als der Sektor Produktion (1,2 bzw. 0,6 % p.a. gegenüber 0,6 und 0,3 % p.a.).⁷ Im gleichen Ausmaß wie das BIP im Produktionssektor wachsen die Bruttowertschöpfung in den einzelnen Branchen und die Güterverkehrsleistung. Die Personenverkehrsleistung wächst weniger stark, weil davon ausgegangen wird, dass pro Kopf 2050 um knapp 10 % weniger gefahren wird als derzeit. Die Annahme liegt darin begründet, dass der Bevölkerungszuwachs vor allem in urbanen Ballungsräumen stattfindet und damit Konzepte wie die „Stadt der kurzen Wege“ zunehmend umgesetzt werden können.
- Für die Wirtschaftssektoren werden keine prinzipiellen strukturellen Umbrüche dargestellt. Der Trend der letzten Jahrzehnte zu Strukturverschiebungen in der Industrie wird fortgeschrieben. Für die Landwirtschaft wird angenommen, dass eine deutliche Ausweitung der biologischen Landwirtschaft und eine Umstellung auf eine gesündere, nachhaltigere Ernährungsweise gelingt. Dazu wird auf Angaben von Zessner (2011) und Thaler (2015) zurückgegriffen (siehe Abschnitte 4.4 und 7.3). Weiters wird angenommen, dass die derzeitige sehr hohe Verschwendung von Lebensmitteln deutlich reduziert werden kann.
- Die technischen Effizienzsteigerungen werden im Ausmaß der in den erwähnten Studien genannten angenommen. Insbesondere werden Daten aus Streicher et al. (2011) entnommen, da diese Studie sehr detailreich und in der Vorgangsweise dem vorliegenden Szenario sehr ähnlich ist.

Abbildung 2 (siehe nächste Seite) fasst die Entwicklung wesentlicher Parameter des Szenarios zusammen.

5 Die oben zitierten Studien gehen von früheren Bevölkerungsprognosen mit niedrigeren Zahlen aus. Die Bevölkerungszahlen wurden allein zwischen der Prognose 2014 und der Prognose 2016 für die Jahre 2030 und 2050 um rund 2,5 % angehoben.

6 Das entspricht dem realen Wachstum des Jahres 2015

7 Damit wird einerseits ein Trend zur Dienstleistungsgesellschaft widerspiegelt und andererseits unterstellt, dass der gesellschaftliche und wirtschaftliche Wandel verstärkt zu längeren Produktlebensdauern bzw. einer „Reparatur-Kultur“ führt.

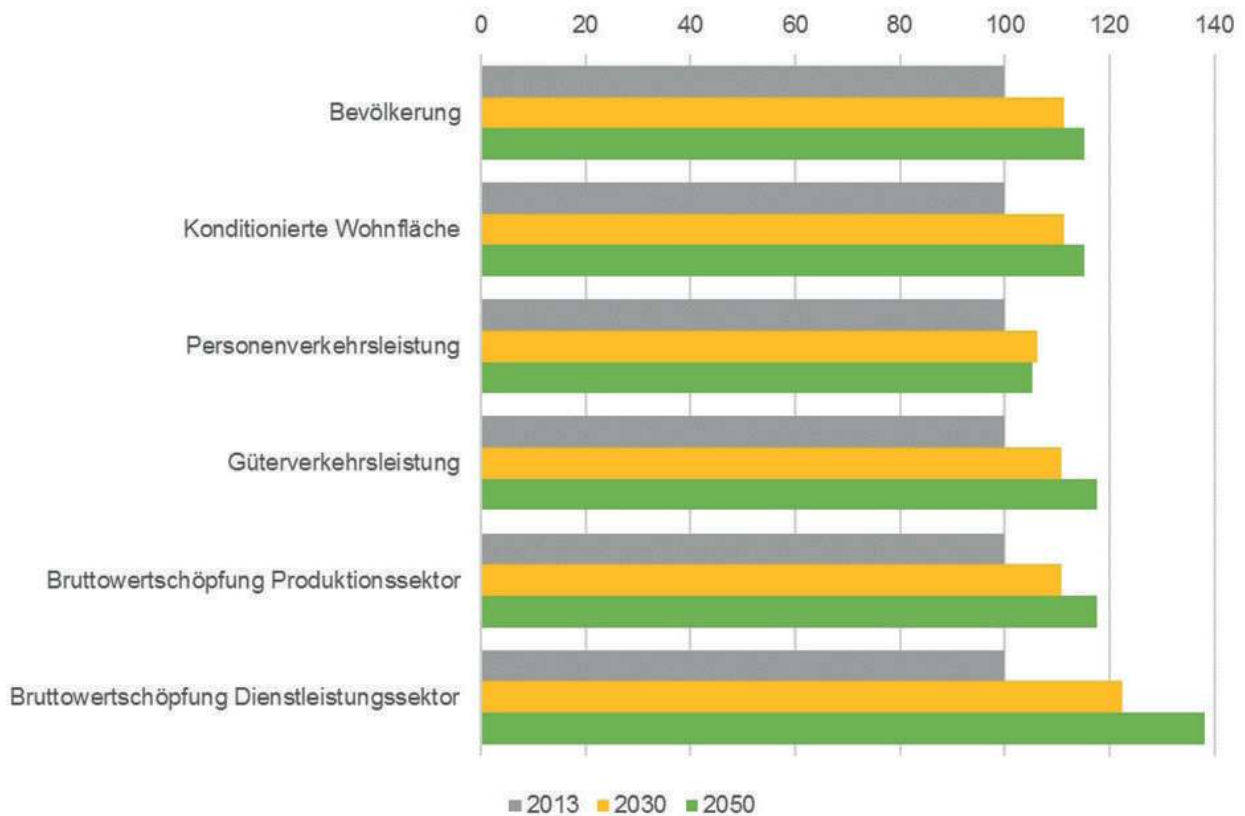


Abbildung 2: Annahmen zu den Aktivitäten im Szenario. Ausgangspunkt: 2013=100

3. VORGANGSWEISE

Im Folgenden werden die grundsätzlichen Vorgangsweisen für die Modellierung des Szenarios getrennt für das Energiesystem (bzw. die Energiebilanz) und die THG-Emissionen (bzw. die THG-Bilanz) erläutert.

3.1 VORGANGSWEISE FÜR ENERGIEBILANZ

Die Entwicklung der Mengengerüste der Energiebilanzen für 2030 und 2050 erfolgt in Form eines technologischen Szenarios. Die Modellierung erfolgt bottom-up ausgehend von den Aktivitäten in den verschiedenen Sektoren, den nachgefragten Energiedienstleistungen, den eingesetzten Technologien und den verfügbaren Potentialen erneuerbarer Energie.

Der Endenergiebedarf in den Szenarien wird gegliedert in die Sektoren

- Private Haushalte
- Dienstleistungen
- Produktion
- Landwirtschaft
- Verkehr (mit den Subsektoren Personenverkehr, Güterverkehr, Flugverkehr und Transport in Rohrfernleitungen)
- Zusätzlich wird speziell auf den Verbrauch der Stahlerzeugung und der Raffinerie (Bilanzaggregat „Nichtenergetischer Verbrauch“) eingegangen.

In diesen Sektoren wird jeweils der Bedarf in den Nutzenergiekategorien

- Niedertemperatur-Wärme
- Hochttemperatur-Wärme
- Elektrizität
- Kraftstoffe

abgeschätzt. Dazu wird vom Konzept der „Energiedienstleistungen“ (EDL) ausgegangen: In jedem Sektor werden EDL definiert (z.B. konditionierte Wohnnutzfläche, Personenkilometer etc.) und anhand von Effizienz-Koeffizienten aus der Literatur der Bedarf an Nutzenergie abgeschätzt. Diese Nutzenergien können aus verschiedenen Endenergieträgern gewonnen werden (z.B. Niedertemperaturwärme aus Biomasse, Solarthermie o.ä.). Das Niveau der Nachfrage nach EDL hängt dabei von der Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung ebenso ab wie von strukturellen Faktoren und persönlichen Präferenzen (z.B. Suffizienz).

Die Endenergieträger werden durch Umwandlung aus Primärenergieträgern erzeugt. Dazu werden Umwandlungstechnologien (z.B. Kraftwerke, KWK-Anlagen, etc.) und ihre Effizienzfaktoren definiert.

Den verfügbaren Primärenergieträgern (z.B. Wasserkraft, Wind, Sonnenenergie etc.) werden Potenziale aus der Literatur zugeordnet, teilweise werden eigene Potenzialabschätzungen getroffen. Dabei wird darauf geachtet, dass diese Potenziale nachhaltig und naturverträglich zur Verfügung stehen, also sowohl die Nahrungsmittelproduktion als auch die natürliche Artenvielfalt so wenig wie möglich negativ beeinflussen.

Im letzten Schritt werden die aus den Primärenergieträgern aufgrund natürlicher und technischer Restriktionen produzierbaren Sekundärenergieträger abgeleitet (=Angebotspotenzial) und mit dem bereits ermittelten Bedarf (=Nachfragepotenzial) zur Deckung gebracht. Tabelle 1 zeigt die abgebildeten Energieträger und Umwandlungstechnologien.

Tabelle 1: Im Modell berücksichtigte Energieträger und Umwandlungstechnologien

Primärenergie	Umwandlungstechnologie	Sekundärenergie
Wasserkraft	Kraftwerk	Elektrizität
Windkraft	Kraftwerk	Elektrizität
Sonnenenergie	Photovoltaikanlage	Elektrizität
	Solarthermieranlage	NT-Wärme
Biomasse (landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich, biogene Reststoffe)		Elektrizität
	KWK-Anlage	NT-Wärme
	Heizkessel, Heizwerk	NT-Wärme, HT-Wärme
	Biogasanlage	Methan Elektrizität NT-Wärme
	Biomass-to-liquid-Anlage	Biokraftstoff
Umweltwärme und oberflächennahe Geothermie	Wärmepumpe	NT-Wärme
Tiefe Geothermie	Wärme-Kraft-Prozesse	Elektrizität
	Wärmetauscher	NT-Wärme
Kohle	Kokerei	Koks (Hochofen)
Erdöl	Raffinerie	Heizöl
		Kraftstoffe Grundstoffe für chemische und Kunststoffindustrie (nichtenergetisch)
Erdgas	KWK-Anlage	Elektrizität
		NT-Wärme
Abfall	KWK-Anlage	Elektrizität
	Heizkessel, Heizwerk	NT-Wärme
Sekundärenergie	Umwandlungstechnologie	Tertiärenergie
Elektrische Energie	Power-to-Gas	Wasserstoff und Methan
	prozessspezifisch	HT-Wärme
Wasserstoff	prozessspezifisch	Direktreduktion von Eisenerz
Methan	prozessspezifisch	HT-Wärme
	(Kraftwerk)	(Elektrizität)

Abbildung der gesamten Energiebilanz

In der Modellierung werden sämtliche Aggregate der Energiebilanz⁸ abgebildet. Die Bilanzgleichungen haben sowohl in der Gesamtbilanz als auch für jeden Energieträger folgende Gestalt:

Aufbringung	Verwendung
Inländische Erzeugung von Rohenergie	Umwandlungseinsatz (Primärenergie wie Holz, Gas, Öl...)
+ Importe	- Umwandlungsausstoß (z.B. Output von Kraftwerken oder Raffinerie)
+ Lager	+ Verbrauch des Sektors Energie (z.B. Kraftwerkseigenbedarf, Energiebergbau)
+ Recycling/Prod. Trans.	+ Transportverluste + Messdifferenzen
- Exporte	+ Nichtenergetischer Verbrauch (z.B. Kohle zur Eisenerzreduktion oder Erdöl für Kunststoffe...)
	+ Energetischer Endverbrauch (z.B. durch Haushalte, Verkehr, Betriebe)
= Bruttoinlandsverbrauch	= Bruttoinlandsverbrauch

Neben den unten beschriebenen Annahmen für den Endenergiebedarf werden für diese weiteren Bilanzaggregate folgende Annahmen getroffen:

- Der Verbrauch des Sektors Energie beschränkt sich 2050 nur noch auf den Eigenbedarf des Umwandlungssektors, Förderung von fossilen Energieträgern in Österreich findet nicht mehr statt.
- Die Transportverluste (in Anteilen des jeweiligen Endverbrauchs) in den Elektrizitäts-, Gas- und Wärmenetzen werden aus den Zeitreihen der Energiebilanzen abgeleitet. Sie werden als Anteil am Endverbrauch für 2030 und 2050 fortgeschrieben. Änderungen in der Netzinfrastruktur (etwa Ausbau der elektrischen Übertragungsnetze oder Smart Grids) werden im Szenario nicht abgebildet. Ausreichende Netzinfrastruktur ist allerdings eine Voraussetzung dieser Untersuchung.
- Der nichtenergetische Verbrauch fossiler Energieträger nimmt sukzessive ab und beschränkt sich 2050 auf Erdöl zur Herstellung von Grundstoffen für die chemische und die Kunststoffindustrie. In der Roheisenherstellung wird Wasserstoff eingesetzt und (analog zur derzeitigen Behandlung des Hochofenkokes in der Energiebilanz) zwischen Endverbrauch und nichtenergetischem Verbrauch aufgeteilt, vgl. Abschnitt 6.2.1.
- Für biogene Energieträger wird kein nichtenergetischer Verbrauch (etwa in Bioraffinerien) abgebildet.

⁸ Energiebilanzen der Statistik Austria. Näheres dazu im Methodendokument zu den Energiebilanzen, siehe Statistik Austria (2011)

3.2 VORGANGSWEISE FÜR DIE TREIBHAUSGASBILANZ

Für die Treibhausgasbilanz werden die Bilanzaggregate gemäß der Gliederung des IPCC⁹ jeweils eigens modelliert: Neben dem größten Emittenten, den fossilen Energieträgern, werden dabei auch die größten Prozessemittenten aus der Industrie, die Landwirtschaft und die Abfallwirtschaft explizit abgebildet,¹⁰ siehe Tabelle 2.

Tabelle 2: Gliederung der explizit betrachteten THG-Emissionen.

Sektor	Gliederung1	Datengrundlage
Energie (CRF 1)	Energieverbrauch aller Sektoren	Energiebilanz des Szenarios
Industrielle Emissionen und Produktverwendung (CRF 2)	Cement (2 A 1)	Eigene Abschätzung
	Lime (2 A 2)	Eigene Abschätzung
	Iron and Steel (2 A 1)	Eigene Abschätzung
	Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use(2 D)	Eigene Abschätzung
	Electronics Industry (2 E)	Eigene Abschätzung
	Product Uses as Subst. f. Ozone Depl. Substitution (2 F)	Eigene Abschätzung
	Other Product Manufacture and Use (2 G)	Eigene Abschätzung
	Residuum Industrie	Eigene Abschätzung
Land- und Forstwirtschaft und Landnutzung (CRF 3)	Enteric Fermentation (3 A)	Eigene Abschätzung
	Manure Management (3 B)	Eigene Abschätzung
	Agricultural Soil (3D)	Eigene Abschätzung
	Residuum Landwirtschaft	Eigene Abschätzung
Abfall (CRF 5)	Abfall und Abwasser	Eigene Abschätzung

Ausgehend von den Vergangenheitswerten der österreichischen Emissionsinventur (Umweltbundesamt 2016) werden Emissionen für die in Tabelle 2 angeführten THG-Emissionsquellen für die Jahre 2030 und 2050 jeweils eigens abgeschätzt. Nicht abgeschätzt werden kann im Rahmen dieser Arbeit die Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (CRF 4). Hauptsächlich aufgrund des Zuwachses von Wald ist dieser Sektor in Österreich seit Beginn der Emissionsinventuren eine Senke, d.h. es wird mehr CO₂ aus der Atmosphäre gebunden als emittiert. Damit kommt diesem Sektor für das Erreichen von Netto-Null-THG-Emissionen künftig entscheidende Bedeutung zu. Die Annahmen und Ergebnisse finden sich in Abschnitt 7.

9 Die Bezeichnung der Sektoren erfolgt der Eindeutigkeit halber in der Gliederung und Nummerierung des „Common Reporting Format“ (CRF) des IPCC.

10 Diese Auswahl ist an den absoluten Emissionsmengen und den „Key Categories“ aus der Nationalen Emissionsinventur (Umweltbundesamt 2016) orientiert.

4. BESCHREIBUNG DER SEKTOREN

Um den Energiebedarf bis 2050 sukzessiv erneuerbar decken zu können und damit die THG-Emissionen zu reduzieren, muss er deutlich gesenkt werden. Dies könnte einerseits durch eine Verringerung der Nachfrage nach Energiedienstleistungen geschehen (z.B. durch Suffizienz). Im vorliegenden Szenario wird aber davon ausgegangen, dass die Nachfrage nach Wohnfläche, Gütern, Dienstleistungen und Mobilität weiter steigt, daher müssen die Energiedienstleistungen sehr viel effizienter erbracht werden.

4.1 SEKTOR „PRIVATE HAUSHALTE“

Die wesentlichen Annahmen in diesem Sektor sind:

- Die Wohnnutzfläche wird mit aktuell rd. 44 m²/Kopf konstant gehalten, die gesamte Wohnfläche wächst also mit der Bevölkerung (gegenüber 2013 bis 2030 um 11 % und bis 2050 um 15 %).
- Im Neubau setzt sich der Passivhausstandard bzw. das Plus-Energie-Gebäude¹¹ sukzessive durch.
- Der Bestand wird bis 2050 bis auf einen kleinen Anteil von 5 % (schutzwürdige Gebäude) vollständig saniert. 2050 sind 60 % der Wohnfläche auf durchschnittlich 70 kWh/m².a und ca. 35 % auf durchschnittlich 40 kWh/m².a saniert. Die Sanierungsrate beträgt im Schnitt 3 % p.a.
- Der durchschnittliche Raumwärmebedarf sinkt von derzeit rd. 153 kWh/m².a auf 85 kWh/m².a im Jahr 2030 und 45 kWh/m².a im Jahr 2050 (Bliem et al. 2011, Renner et al. 2010).

4.2 SEKTOR „DIENSTLEISTUNGEN“

Die wesentlichen Annahmen in diesem Sektor sind: Die genutzte Gebäudefläche wächst im Ausmaß der Bruttowertschöpfung des Dienstleistungs-Sektors (gegenüber 2013 bis 2030 um 22 % und bis 2050 um 38 %).

Im Neubau setzt sich der Passivhausstandard bzw. das Plus-Energie-Gebäude sukzessive durch. Der Bestand wird bis 2050 bis auf einen kleinen Anteil (schutzwürdige Gebäude) vollständig saniert.

Der durchschnittliche Raumwärmebedarf sinkt von derzeit rd. 119 kWh/m².a auf 85 kWh/m².a im Jahr 2030 und 45 kWh/m².a im Jahr 2050 (Bliem et al. 2011, Renner et al. 2010).

Der flächenbezogene Elektrizitätsbedarf sinkt durch Effizienzgewinne leicht, was auch auf die Reduktion des Energiebedarfs des Sektors im einstelligen Prozentbereich durchschlägt.

11 Darunter sind Gebäude zu verstehen, die über das Jahr mehr Energie erzeugen als sie verbrauchen.

4.3 SEKTOR „PRODUKTION“

Die wesentlichen Annahmen in diesem Sektor sind:

- Die Bruttowertschöpfung steigt gegenüber 2013 bis 2030 um 11 %, bis 2050 um 18 %.
- Die Energieintensität verbessert sich im Durchschnitt aller Branchen und Energieanwendungen um rd. 1,5 % p.a. Diese Effizienzsteigerung liegt damit etwas höher als im Durchschnitt der letzten Jahrzehnte (rd. 1 % p.a. lt. Streicher et al. 2011).¹²
- Es werden keine Annahmen für einen großen Strukturwandel getroffen. In den angesetzten Entwicklungen der Effizienzgrade sind jedoch Verschiebungen zwischen den einzelnen Nutzenergien enthalten, die einen strukturellen Wandel im Ausmaß des Trends der Jahrzehnte abbilden (Annahmen folgen Streicher et al. 2011). Die Rohstahlproduktion steigt in etwas niedrigerem Ausmaß als die allgemeine Wirtschaftsentwicklung. Allerdings verbleibt die Stahlerzeugung im Hochofenprozess bis 2030 auf dem Niveau von 2012¹³, die zusätzlichen Mengen werden in Lichtbogenöfen erzeugt. 2050 ist der Hochofenprozess komplett durch die Elektrostahlerzeugung ersetzt. Als Inputmaterial werden 40 % Schrott eingesetzt und 60 % Eisenschwamm. Dieser wird durch Direktreduktion mit Wasserstoff im Inland gewonnen. Damit bleiben die Vorkette (z.B. Erz-, Schrotttransport) und die Walzwerksprozesse unberührt. Sie entwickeln sich mengen- und effizienzmäßig jeweils wie die Sektoren, in denen sie enthalten sind.
- Bis 2050 sinkt die Kalkproduktion um ein Drittel gegenüber 2013. Grund dafür ist der wesentlich niedrigere Kalkverbrauch bei der Elektrostahlerzeugung und ein geringerer Bedarf für Rauchgasreinigungsanlagen. Der Zementverbrauch steigt mit der Wirtschaftsentwicklung, wird jedoch 2030 zu 10 % und 2050 zu 50 % durch alternative Bindemitteln substituiert (siehe Abschnitt 7.2).¹⁴
- Die Erdölverarbeitung nimmt – der Nachfrage nach Erdölprodukten folgend – stark ab und beschränkt sich 2050 auf die Herstellung chemischer Grundstoffe und Kunststoffen.¹⁵

4.4 SEKTOR „LANDWIRTSCHAFT“

Für den Sektor Landwirtschaft wird ein Szenario entwickelt, das sich konsistent in die Annahmen zur Energieaufbringung einfügt.

- Ziel des Szenarios ist es einerseits – konsistent mit der inländischen Deckung des Energiebedarfs Österreichs – die weitgehende Ernährungssouveränität sicherzustellen. Das bedeutet nicht, dass Österreich auf den Import bzw. Export von Lebensmitteln verzichtet. Allerdings kann die Summe der in Österreich konsumierten Lebensmittel durch inländische Produktion gedeckt werden. Andererseits soll auf landwirtschaftlichen Flächen Energieproduktion ermöglicht werden, ohne in Nutzungskonkurrenz mit der Nahrungs- und Futtermittelproduktion zu geraten oder eine Übernutzung der Flächen bzw. intensive Energiepflanzen-Monokulturen mit allen ökologischen Folgen

12 Insgesamt ergibt sich bis 2050 damit ein Rückgang der Energieintensität um 43 %. Zum Vergleich beträgt ihr Rückgang im Klimazielpfadrechner des Umweltbundesamts 50 %. Der Rechner ist unter www.umweltbundesamt.at/klima-zielpfadrechner/ erreichbar.

13 Aufgrund der Datenlage wird für die Modellierung der Stahlerzeugung 2012 als Basisjahr genommen.

14 Nicht berechnet aber möglich wäre ein teilweiser Ersatz von Zement/Beton durch Baumaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen (z.B. Holz).

15 Nicht berechnet aber möglich wäre eine stärkere Nutzung von biogenen Rohstoffen zur stofflichen Nutzung, was die Menge des verarbeiteten Erdöls weiter reduzieren würde.

(Biodiversitätsverlust, Erosion, etc.) zu verursachen. Darüber hinaus soll der Landwirtschaftssektor einen wesentlichen Beitrag zur Senkung der THG-Emissionen leisten.

- Dafür ist es notwendig, dass die Ernährung bis 2050 weitgehend ausgewogen erfolgt und der Fleischkonsum deutlich reduziert wird. Das entspricht auch den Empfehlungen des Gesundheitsministeriums in der Österreichischen Ernährungspyramide¹⁶.
- Diese Entwicklung kann durchaus als eine Fortsetzung eines langjährigen Trends zu einer bewussteren Ernährung gesehen werden: In Österreich ernähren sich laut einer repräsentativen Umfrage von IFES im Jahr 2013 bereits 9 % vegetarisch, 2005 waren es nur 3 % (Hnat 2013). Noch größer ist der Anteil derer, die gelegentlich auf Fleisch verzichten oder ihre Ernährung zumindest bewusster gestalten wollen. Damit, und auch durch die gleichlautenden Zielsetzungen in der österreichischen Gesundheitspolitik, kann erwartet werden, dass sich Österreich in Zukunft weiter der empfohlenen Ernährungsweise annähern wird.
- Studien zeigen, dass die gegenwärtige Ernährungsweise mit den verfügbaren Flächen und den Produktionsbedingungen in Österreich nicht gewährleistet werden kann (vgl. etwa WWF 2016). Vielmehr müssen aufgrund des hohen Fleischanteils in der Ernährung Ackerflächen in anderen Ländern genutzt werden – vor allem zur Produktion von importierten Eiweißfuttermitteln. Gleichzeitig werden bspw. Milch(-produkte) und Rindfleisch in einem Ausmaß exportiert, dass erhebliche Grünlandflächen gebunden werden¹⁷.
- Die biologische Landwirtschaft wird von einem Flächenanteil von rd. 20 % (2013, lt. BMLFUW 2014c) bis 2050 auf 50 % der Fläche ausgeweitet¹⁸.
- Mit diesen Annahmen ist die weitgehende Versorgung der österreichischen Bevölkerung aus inländischer Landwirtschaft möglich, es werden lokale, kürzere Wirtschaftskreisläufe geschlossen und die In- und Ausfuhren landwirtschaftlicher Güter sinken um 80 %.
- Darüber hinaus wird angenommen, dass die derzeit sehr hohen Mengen an Lebensmittelabfällen um drei Viertel reduziert werden können. Derzeit werden in den Haushalten jährlich rund 157.000 t Lebensmittel (verpackt und unverpackt) sowie Speisereste im Restmüll entsorgt. Das entspricht einer Menge an Lebensmitteln (ohne Getränke und Milch), die etwa eine halbe Million Menschen in einem Jahr zu Hause konsumieren (BMLFUW 2014b). Dazu kommen knapp 110.000 t im Lebensmittelhandel und 156.400 bis 257.800 t im Bereich der Außer-Haus-Verpflegung (Lebersorger und Schneider 2014). Vorsichtig geschätzt wird für 2050 eine Reduktion angenommen, die dem Nahrungsmittelbedarf von rd. 700.000 Menschen entspricht.

16 Siehe BMG (2015). Die nachfolgenden Annahmen sind Zessner et al (2011) und Thaler et al (2015) entnommen, die ihre Arbeit auf den Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) aufbauen, die jenen der Österreichischen Ernährungspyramide sehr ähnlich sind. Konkret nimmt der Fleischverzehr pro Kopf um 60 % ab, der Anteil von Milchprodukten nimmt leicht zu. Entsprechend sinken die Viehbestände.

17 Vgl. Zessner et al. (2011). Die „Flächenbilanz“ zwischen importierten und exportierten Gütern ist dabei relativ ausgeglichen, während die wirtschaftliche Außenhandelsbilanz mit landwirtschaftlichen Gütern und Lebensmitteln negativ ist (vgl. BMLFUW 2014a).

18 Das Szenario wurde aus der Kombination der Szenarien aus Thaler et al (2015) entwickelt. Diese Studie enthält drei Szenarien einer Nahrungsmittelversorgung auf Basis einer ausgewogenen Ernährungsweise (siehe oben bzw. Zessner et al. 2011). Szenario 1 geht von einer vollständigen Selbstversorgung Österreichs mit konventioneller Bewirtschaftung aus. Dabei werden erhebliche Flächen frei. Szenario 2 unterstellt die vollständige Umstellung auf biologische Landwirtschaft und berücksichtigt dabei um durchschnittlich 28 % reduzierte Flächenenerträge. Eiweißimporte können damit um 80 % reduziert werden. In Szenario 3 wird konventionelle Bewirtschaftung und uneingeschränkter Handel mit landwirtschaftlichen Gütern unterstellt. Das vorliegende Szenario wurde aus diesen drei Szenarien und ihren Parametern im Verhältnis von 35:45:20 kombiniert. Damit ergibt sich ein Flächenanteil für biologische Landwirtschaft von 50 %. Eine weitere Steigerung des Flächenanteils für biologische Landwirtschaft könnte zwar die Emissionen weiter senken, würde aber die Flächenkonkurrenz verschärfen.

- Mit den getroffenen Annahmen kann die Ernährung der bis 2050 auf 9,8 Mio. angewachsenen Bevölkerung durch inländische Landwirtschaftsproduktion sichergestellt werden. Gleichzeitig werden über 40.000 ha Ackerfläche frei, die für die Energiepflanzenproduktion genutzt wird, wobei unterstellt wird, dass 2050 eine um 5 % größere Ackerfläche bewirtschaftet wird als 2013¹⁹.
- Energetische Effizienzsteigerungen werden lediglich für die landwirtschaftlichen Gebäude und Geräte im oben angegebenen Ausmaß angenommen.²⁰

4.5 SEKTOR „VERKEHR“

Die wesentlichen Annahmen in diesem Sektor sind:

- Die Personenverkehrsleistung (ohne Fußwege) sinkt von rd. 12.000 km/Kopf (2013) sukzessive bis 2050 auf 11.000 km/Kopf (VCÖ 2015). Damit wird angenommen, dass der Bevölkerungszuwachs hauptsächlich in Ballungsräumen stattfindet und sich Raumordnungskonzepte durchsetzen, die zumindest bis 2050 eine Reduktion der Verkehrsleistung von durchschnittlich ca. acht Prozent ermöglichen.
- Der Personenverkehr findet 2050 je zur Hälfte im MIV (motorisierter Individualverkehr) und im ÖV (öffentlicher Verkehr) und einem kleinen Anteil Radverkehr statt. 85 % des MIV ist elektrifiziert, ebenso wie 80 % des ÖV. Bis 2030 werden gegenüber 2013 5 %-Punkte der Verkehrsleistung vom MIV auf den ÖV gebracht, 25 % des MIV sind elektrifiziert.
- Die PKW-Flotte wird wesentlich effizienter: für PKW mit Verbrennungskraftmaschinen sinkt der kilometerbezogene Verbrauch bis 2030 um 40 % und bis 2050 um fast zwei Drittel. Bei Elektrofahrzeugen kann eine Einsparung von bis zu 40 % realisiert werden (nach Streicher et al. 2011)
- Die Güterverkehrsleistung steigt mit der Wertschöpfung im Produktionssektor (gegenüber 2013 bis 2030 um 11 % und bis 2050 um 18 %), bleibt also pro Wertschöpfungseinheit konstant.
- Der Güterverkehr wird bis 2030 zu 40 %, bis 2050 zu 50 % auf die Schiene verlegt; 4 % bzw. 5 % des Gütertransports erfolgt per Schiff. 45 % verbleiben auch 2050 auf der Straße, wobei der Zustellverkehr weitestgehend elektrifiziert wird, lediglich schwere LKW benötigen nach wie vor flüssige oder gasförmige Kraftstoffe auf Basis erneuerbarer Energie. Auch strombetriebene Schwerfahrzeuge sind bis dahin denkbar, aber hier nicht berücksichtigt.
- Im Szenario werden für 2030 und 2050 die Fahrleistungen im Inland und die dafür benötigte Kraftstoffmenge modelliert. Damit wird davon ausgegangen, dass sich Kraftstoffexport und -import im Tank per Saldo zu Null ergeben. Das impliziert, dass kein steuerlicher Anreiz mehr besteht, der zu preisbedingtem Kraftstoffexport im Tank („Tanktourismus“) führt.
- Für den Flugverkehr wird angenommen, dass die Nachfrage nach Flugreisen mit der Bevölkerung wächst. Allerdings wird davon ausgegangen, dass 2030 diese Nachfrage

19 Das entspricht der Ackerfläche im Jahr 1995. Es wird davon ausgegangen, dass der Trend der Zersiedelung gestoppt werden kann bzw. verloren gegangene Ackerflächen wieder zurückgewonnen werden können. Weiters wird angenommen, dass die zunehmende Verwaldung von Grünland zurückgeht.

20 Nicht berechnet aber möglich wäre die Annahme von weiteren Ertragssteigerungen in der Landwirtschaft durch effizientere Anbaumethoden oder Effizienzsteigerungen beim Einsatz von Dünger und Pestiziden.

zu einem Drittel, bis 2050 zur Hälfte auf die Bahn verlagert werden kann (etwa in diesem Ausmaß starten oder landen Flugpassagiere derzeit nach/aus Nachbarländern bzw. Ländern in Kontinentaleuropa, vgl. Statistik Austria 2014c).

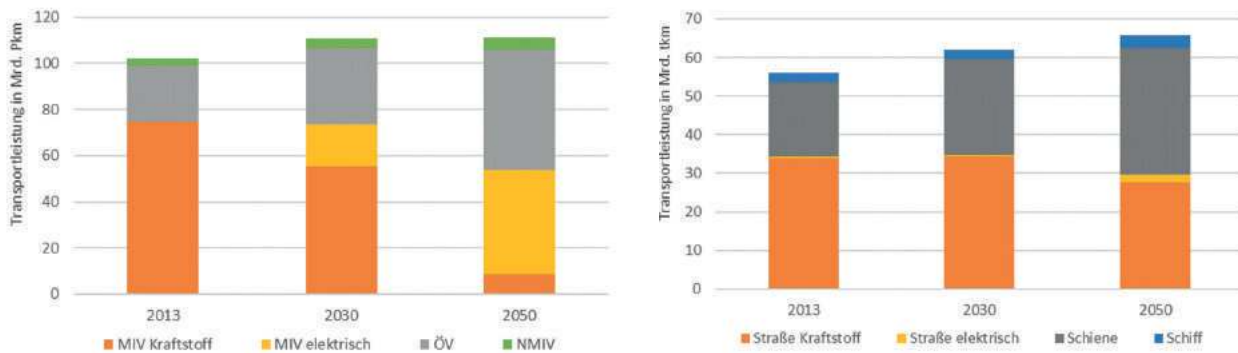


Abbildung 3: Annahmen zum Modal Split im Personenverkehr ohne Flugverkehr (links) und Güterverkehr (rechts).

Anm.: NMIV = nicht motorisierter Individualverkehr (Fahrrad)

5. BESCHREIBUNG DES ENERGIESYSTEMS

5.1 POTENZIALE ERNEUERBARER ENERGIETRÄGER

Ziel des Szenarios ist es, die Energieversorgung schrittweise auf erneuerbare Energieträger umzustellen und gleichzeitig weitgehend klimaneutral zu gestalten. Dazu müssen in steigendem Ausmaß nachhaltige erneuerbare Energien bereitgestellt werden.

Die Analyse verschiedener Potenzialstudien zeigt eine große Bandbreite von Einschätzungen, wieviel erneuerbare Energie bis 2050 technisch genutzt werden kann. Die Unterschiede kommen durch unterschiedliche Annahmen zu verfügbaren Flächen und eingesetzten Technologien zustande, außerdem werden Einschränkungen rechtlicher Natur (z.B. Schutzgebiete), ökologische Folgen oder Akzeptanzprobleme unterschiedlich stark in die Betrachtung miteinbezogen.

Die Potenziale werden im Szenario unter folgenden Prämissen abgeschätzt:

- Es soll sichergestellt werden, dass vorwiegend jene erneuerbaren Energien genutzt werden, von denen – aus heutiger Sicht – geringere ökologische Auswirkungen und Akzeptanzprobleme zu erwarten sind (Photovoltaik, Windenergie, Solarthermie, Umgebungswärme, Geothermie).
- Energiequellen, die hohes ökologisches Konfliktpotential haben, jedoch bereits stark ausgebaut sind, sollten nur mit Bedacht ausgeweitet werden (Wasserkraft, forstliche Biomasse, landwirtschaftliche Biomasse, zum Teil Windenergie).

- Bei den angenommenen Potenzialen handelt es sich um technische Angebotspotenziale²¹ mit ökologischen Einschränkungen. Das bedeutet, dass diese Mengen nur dann optimal genutzt werden können, wenn auf der Nachfrageseite keine Restriktionen hinsichtlich ihrer Nutzung bestehen (etwa technische Restriktionen durch mangelnde Speicher- oder unzureichende Leitungskapazitäten). Ihr Vorhandensein ist eine Voraussetzung für die Umsetzung der Potenziale.
- Die Festlegung der Potenziale für erneuerbare Energien erfolgt nach eingehender Analyse vorhandener Potenzialstudien. Im Zentrum stehen aber auch hier die genannten drei Studien (Streicher et al. 2011, Bliem et al. 2011, Christian et al. 2011). Zusätzlich wurde auch Stanzer et al. (2010) herangezogen. Ökologische Grenzen ergeben sich für die Wasserkraft, Windkraft und forstliche Biomasse durch naturschutzfachliche Kriterien, die etwa im WWF-Öko-Masterplan aufgelistet sind (Walder & Litschauer 2010). Die Potenziale beziehen sich – sofern nicht anders angegeben – auf das Jahr 2050.

Zu den Primärenergiepotenzialen werden folgende Annahmen getroffen:

- Das Potenzial für **Wasserkraft** wird mit 43 TWh angenommen und liegt damit im Bereich der Annahmen von Bliem et al. (2011) und Christian et al. (2011), jedoch deutlich unter den Annahmen von Streicher et al. (2011), die mit 56 TWh den Wert aus dem „Masterplan Wasserkraft“ übernehmen. Auch im Vergleich zur Schätzung des Dachverbands Erneuerbare Energie Österreich, der für 2050 von einem Potenzial von 58 TWh Wasserkraft ausgeht (siehe EEÖ 2015), liegt die Annahme am unteren Ende der Bandbreite. Sie geht davon aus, dass die zusätzlichen Mengen gegenüber dem gegenwärtigen Regelarbeitsvermögen je zur Hälfte aus Revitalisierung und Neubau kommen und bis 2030 ausgebaut sind.
- Die Nutzung der **Windkraft** wird deutlich ausgeweitet, ihr Potenzial wird mit 12 TWh für 2030 und 20 TWh für 2050 abgeschätzt. Damit wird unterstellt, dass die Erzeugung von 2030 bis 2050 durch Repowering um 50 % gesteigert werden kann. Zusätzlich können 2 TWh an zusätzlichen Standorten zugebaut werden. Der angenommene Wert liegt rd. 10 % über den Annahmen von Streicher et al. und Christian et al. und knapp die Hälfte unter den Angaben von Stanzer et al. (2010), jedoch um den Faktor 2,5 über der sehr konservativen Annahme von Bliem et al. Damit wird versucht, die Windenergie weitestgehend zu nutzen, aber geschützte Gebiete und sensible Standorte auszuschließen.
- Der Nutzung von **Photovoltaik** zur Elektrizitätserzeugung wird 2050 ein hohes technisches Potenzial von bis zu 56 TWh zugeschrieben (Stanzer et al. 2010). Dieser Wert ist deutlich höher als die Abschätzungen der anderen Studien, die im Bereich von 20 bis 26 TWh liegen. Grund dafür ist die Annahme, dass nicht nur gebäudeverbundene Flächen, sondern in geringem Ausmaß auch Flächen mit geringem Naturschutzwert (z.B. verkehrsbegleitende Flächen, urbane Industriebrachen) und landwirtschaftliche Flächen zur Stromerzeugung mit genutzt werden können²².
- Das Potenzial für **landwirtschaftliche Biomasse** wird gegenüber den meisten der erwähnten Studien deutlich beschränkt. Ausgehend von den beschriebenen struktu-

21 „Die technischen Potenziale beschreiben den Anteil des theoretischen Potenzials, der unter Berücksichtigung gegebener technischer Randbedingungen nutzbar ist. Zusätzlich werden u. a. strukturelle Restriktionen sowie ggf. vorhandene gesetzliche und damit gesellschaftlich i. Allg. fest verankerte Vorgaben (z. B. Nutzungsrestriktionen in Nationalparks) berücksichtigt, da sie letztlich auch – ähnlich den technisch bedingten Eingrenzungen – „unüberwindbar“ sind. Nicht berücksichtigt werden bei der Bestimmung der technischen Potenziale demgegenüber Akzeptanzprobleme (z. B. bei Anwohnern), die bei der Installation von Anlagen zur Nutzung regenerativer Energien auftreten können, da diese letztlich keine technische Einschränkung im eigentlichen Sinn darstellen.“ (Kaltschmitt und Streicher 2009)
Theoretisches Potenzial: „das in einer gegebenen Region innerhalb eines bestimmten Zeitraums theoretisch physikalisch nutzbare Energieangebot (z. B. die auf der Erdoberfläche auftreffende Solarstrahlung)“ (ebd.)

22 Im Potenzial enthalten ist die photovoltaische Nutzung auf 2 % der Ödlandfläche und 1 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Wie unten gezeigt werden kann, wird das Potenzial zu weniger als 60 % ausgeschöpft, siehe Abschnitt 6.4.

rellen Änderungen in der Landwirtschaft wird angenommen, dass über 40.000 ha Ackerfläche für die Energiepflanzenproduktion zur Verfügung stehen und auf knapp der Hälfte der Ackerfläche Zwischenfrüchte energetisch genutzt werden können. Ökologisch wichtige Bracheflächen kommen nicht in energetische Nutzung. Es wird abgeschätzt, dass auf den beschriebenen Ackerflächen aus Energiepflanzen und der Zwischenfrüchte 47 PJ in Form von Bio-Methan erzeugt werden können²³. Die Nutzung der Biomasse in Biogas bietet außerdem den Vorteil, dass der Nährstoffkreislauf geschlossen werden kann, da die Reststoffe wieder der Agrarfläche zugeführt werden. Wird weiters davon ausgegangen, dass auf 60 % der Ackerfläche Getreide angebaut und 20 % des anfallenden Strohs energetisch genutzt wird, steht ein weiteres Potenzial von 10 PJ zur Verfügung. Aus der Bio-Methan-Produktion aus Wirtschaftsdünger können weitere 3 PJ genutzt werden²⁴. Dabei wird unterstellt, dass der Viehbestand auf rund 40 % gegenüber 2013 zurückgeht und eine Biogaserzeugung nur in Betrieben mit einem Mindestviehbestand stattfindet (vgl. Streicher et al.). Damit ergibt sich ein Gesamtpotenzial von 60 PJ.

Es bleibt jedoch anzumerken, dass das ökologisch verträgliche Potenzial landwirtschaftlicher Biomasse teilweise deutlich höher angesetzt wird: Christian et al. (2011) gehen davon aus, dass durch integrierte Systeme als Kombination von standortangepassten, nachhaltigen Fruchtfolgesystemen mit Bioraffinerien 2050 bis zu 205 PJ landwirtschaftlicher Biomasse nutzbar sein könnten. Kommt es zu einem so großen Umbau der Österreichischen Landwirtschaft können andere Elemente des Energiesystems entlastet oder die Flächeninanspruchnahme verringert werden.

- Das energetische Nutzungspotenzial für **forstliche Biomasse** wird in den drei Studien im Bereich 130 bis 163 PJ (bzw. 36 bis 45 TWh) gesehen. 2013 wurde diese Spanne mit 167 PJ jedoch bereits überschritten (Statistik Austria 2014a). Die österreichische Waldinventur weist – trotz steigender Nutzung – seit 40 Jahren einen stetigen Anstieg des Holzvorrats aus, einerseits durch einen Anstieg der Waldfläche, andererseits durch steigende Hektarbestände (BMLFUW 2015). Aufgrund dieser Tatsache wird als Potenzial der Wert von 2013 um 10 % angehoben und mit 183 PJ festgelegt.²⁵ Seitens des Biomasseverbands werden Potenziale von 191 PJ für 2020 und 217 PJ für 2030 genannt (Jauschnegg 2014, Biomasseverband 2015). Aufgrund der oben beschriebenen Prämissen wird das Potenzial in dieser Arbeit jedoch konservativ festgelegt. Es wird davon ausgegangen, dass die Biomassenutzung kaskadisch erfolgt und die angegebene Menge weiterhin Großteils als Kuppelprodukt der Säge-, Holz- und Plattenindustrie anfällt, also als Sägespäne, Hackschnitzel oder Rinde (Holzströme vgl. z.B. Strimitzer 2014).
- Für **biogene Reststoffe** wird das Potenzial konservativ im Ausmaß der derzeitigen Nutzung mit 41 PJ angesetzt. Wesentliche Fraktionen sind darin die Ablauge aus der Papier- und Zellstoffproduktion, Klärschlamm, Altöle und sonstige organische Reststoffe. Wird davon ausgegangen, dass künftig verstärkt biogene Materialien – sowohl im Bereich kurzlebiger Konsumgüter als auch für langlebige Investitionsgüter (z.B. als Baustoffe) – in Umlauf kommen und nach ihrer Nutzungsphase energetisch verwertet werden können, stünden noch höhere Potenziale zur Verfügung.
- Für **Solarthermie** wird das technische Angebotspotenzial, Streicher et al. folgend, mit 33 TWh (119 PJ) angenommen. Die verfügbaren Dach- und Fassadenflächen werden dabei jeweils zur Hälfte von Photovoltaik und Solarthermie belegt. Weiters ist jedoch zu berücksichtigen, dass aufgrund der Ungleichzeitigkeit des Angebots und der

23 Bewertet mit dem Flächenertrag von Bio-Methan. Entsprechend niedrigere Erträge würden sich bei der Produktion von Ölfrüchten oder aus dem Kurzumtrieb von schnellwachsenden Hölzern ergeben.

24 Darüber hinaus können dadurch die Methanemissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement reduziert werden, siehe Abschnitt 7.3.

25 Diesem Wert entspricht auch dem unteren Ende der Bandbreite von Einschlagmengen aus der HOBI-Studie (vgl. BFW 2009).

Nachfrage nicht der gesamte Raumwärmebedarf solarthermisch gedeckt werden kann (ebd.).

- Mit der **Wärmepumpe** kann oberflächennahe Erdwärme bzw. Umgebungswärme auf ein nutzbares Temperaturniveau angehoben werden. Die Literatur weist eine sehr hohe Bandbreite des technisch nutzbaren Angebots auf. Für das Szenario wurde das Angebotspotenzial am oberen Ende der Bandbreite angesetzt. Tatsächlich nutzbar ist jedoch nur eine vergleichsweise kleine Menge, da einerseits die verfügbaren Flächen für die Kollektoren bzw. Sonden begrenzt sind und andererseits Wärmepumpen sinnvollerweise nur für Anwendungen eingesetzt werden sollen, wenn hohe Arbeitszahlen von einem Faktor von mindestens 3,5 erreicht werden (abhängig u.a. von den Temperaturniveaus, vgl. auch Streicher et al. (2011)).
- Auch für die sogenannte „**tiefe Geothermie**“, also die Nutzung von Thermalwasser mit über 100°C aus tiefen Bohrungen, bestehen große Bandbreiten in den Potenzialabschätzungen, die vor allem durch die großen Unsicherheiten hinsichtlich der Technologie zustande kommen. Es wird aber davon ausgegangen, dass diese Technologie 2050 zur Verfügung steht. Im Szenario wird sie zur Elektrizitätserzeugung eingesetzt, wobei – abhängig von der konkreten Lage der geothermischen Quelle – auch erhebliche Wärmepotenziale genützt werden könnten.
- Im Szenario nicht explizit berücksichtigt sind die Potenziale von **Abwärme** aus industriellen Prozessen. Eine Untersuchung weist für 2012 ein freies (außerbetriebliches) Abwärmepotenzial von knapp 6,9 TWh aus, 5,3 TWh davon im Temperaturbereich von 20 bis 35°C (KPC 2012). Demgegenüber schätzen Christian et al. das Potenzial 2050 auf 3,3 TWh. Es wird davon ausgegangen, dass nutzbare Abwärmepotenziale durch Effizienzsteigerungen in den Produktionsprozessen künftig einerseits sinken und andererseits weitestgehend innerbetrieblich genutzt werden. Eine darüber hinausgehende Nutzung würde das Erreichen der gesetzten Ziele für 2030 und 2050 vereinfachen.

Abbildung 4 (siehe nächste Seite) zeigt die Bandbreite (grün) der Potenzialabschätzungen in den wesentlichsten Studien (Streicher et al. 2011, Bliem et al. 2011, Christian et al. 2011) und die für die Szenarioentwicklung angenommenen maximalen Potenziale (rot). Zusätzlich sind die realisierten Mengen 2013 gemäß der Energiebilanz (Statistik Austria 2014a) eingetragen (schwarz).

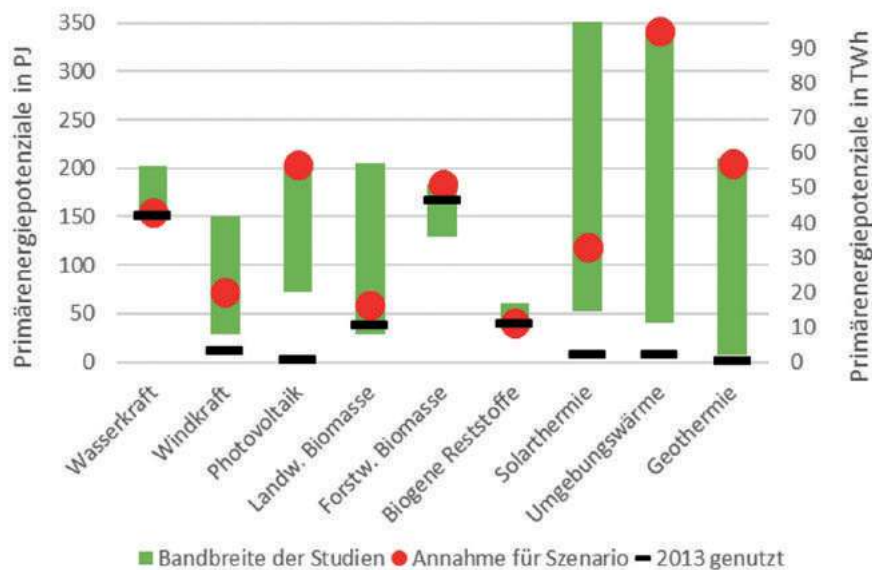


Abbildung 4: Primärenergiepotenziale aus der Literatur (grün), wie gewählt (rot) und realisierte Mengen 2013 (schwarz). Quellen: Bliem et al. (2011), BFW (2009), Christian et al. (2011), Stanzer (2010), Streicher et al. (2011) Statistik Austria (2014a), eigene Berechnungen

5.2 ANNAHMEN ZUM ENERGIESYSTEM

Zur Nutzung der erneuerbaren Energiepotenziale werden folgende Technologien eingesetzt:

- An Umwandlungstechnologien stehen die in Tabelle 1 angeführten zur Verfügung. Die Parameter, v.a. die Effizienzgrade werden anhand von Angaben in der Literatur und generell tendenziell konservativ angenommen. Es werden nur bekannte Technologien eingesetzt oder solche, mit deren Einsatzfähigkeit und kommerzieller Verfügbarkeit 2030/2050 aus heutiger Sicht zu rechnen ist.
- An derzeit noch nicht verfügbaren Technologien werden folgende eingesetzt:

- Biokraftstoffe der 2. Generation: Als solche werden Biomethan (aufbereitetes, netz fähiges Biogas), BtL-Kraftstoffe („Biomass-to-liquid“, synthetische Kraftstoffe auf Basis verschiedenster organischer Rohstoffe), Ethanol aus Zelluloseaufschluss und ähnliches bezeichnet.

Der Vorteil beim Einsatz dieser Kraftstoffe ist, dass sich die Ressourcenbasis vergrößert, aus denen sie hergestellt werden können. So kann z.B. zellulosehaltige Biomasse (z.B. Holzabfälle) nicht nur verbrannt, sondern direkt zu gasförmigen oder flüssigen Kraftstoffen verarbeitet werden. Damit steht die Biokraftstoffherstellung zweiter Generation weniger in Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion. Möglich wäre auch der Einsatz völlig neuer Biomassefraktionen wie Algen. Solche Energieträger werden zwar nicht explizit modelliert, würden sich aber in die abgebildeten Technologiepfade einfügen und die Primärenergiepotenziale zusätzlich erweitern.

- Power-to-Gas: Durch Elektrolyse wird Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Der Wasserstoff kann direkt genutzt werden (z.B. im Szenario 2050 zur Direktreduktion von Eisenerz) oder mit CO₂ weiter in Methan umgewandelt werden.

den. Letzteres führt zwar zu Wirkungsgradverlusten, stellt aber einen hochwertigen Energieträger zur Verfügung, für den bereits eine ausgedehnte Infrastruktur besteht (Netze, Speicher), der sehr geringe Transportverluste aufweist und der nicht nur für Heizzwecke, sondern auch als Kraftstoff eingesetzt werden kann. Außerdem kann die Elektrolyse zur Stabilisierung des Elektrizitätsnetzes eingesetzt werden, in dem Überschussstrom (z.B. aus wetterabhängiger Elektrizitätserzeugung aus Windenergie und Photovoltaik) zu speicherbarem Wasserstoff und Methan „verarbeitet“ wird. Die Errichtung von weiteren Pumpspeicherkraftwerken mit hohem Naturschutzkonfliktpotential kann so vermieden werden. Eine Rückverstromung des Methans ist im Szenario aus Effizienzgründen nicht vorgesehen, wäre aber prinzipiell möglich.²⁶

Grundsätzlich können aus Wasserstoff und Methan auch flüssige Kohlenwasserstoffe hergestellt und als Kraftstoffe eingesetzt werden. Solche Technologien wurden nicht explizit modelliert, fügen sich aber in die abgebildeten Technologiepfade ein.

▫ Tiefe Geothermie: Zusätzlich zur heute schon gebräuchlichen oberflächennahen Geothermie könnte künftig auch verstärkt Elektrizität aus tiefer Geothermie erzeugt werden. Dabei wird in geologisch geeigneten Gebieten Thermalwasser mit über 100°C aus tiefen Bohrungen genutzt, aus dem Elektrizität erzeugt werden kann. Wo immer möglich sollen diese Thermalquellen natürlich zur kombinierten Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung genutzt werden, das hängt jedoch von einem genügend hohen Wärmebedarf in der Nähe der Thermalquellen ab. Durch die Nutzung zur Elektrizitätserzeugung kann diese Restriktion umgangen werden und der Ort der Erzeugung ist praktisch unabhängig vom Ort des Verbrauchs. Potenziell stünde damit sogar eine weitere Quelle für Niedertemperaturwärme zur Verfügung. Außerdem kann die Elektrizitätserzeugung dem Bedarf nachgeführt werden und damit Erzeugungsschwankungen anderer Energiequellen ausgeregelt werden.

- Bioraffinerien, also die kombinierte Erzeugung von chemischen Grundstoffen und Energieträgern aus biogenen Rohstoffen, werden nicht explizit modelliert, da – bis auf die Stahlerzeugung und die Erdölraffinerie – keine weiteren Annahmen zu neuen Prozessen im Produktionssektor getroffen wurden. Durch die Abbildung von Biokraftstoffen der 2. Generation wird die energetische Komponente von Bioraffinerieprozessen jedoch implizit mitberücksichtigt, Aussagen zur stofflichen Nutzung werden jedoch nicht gemacht.
- Es wird davon ausgegangen, dass Saisonspeicher für Wärme verfügbar sind. Weiters wird davon ausgegangen, dass für elektrische Energie ausreichende Speicherkapazitäten zur Verfügung stehen. Diese setzen sich einerseits aus bereits bestehenden Pumpspeichern zusammen, andererseits können Power-to-Gas-Technologien das Ausbalancieren des elektrischen Energiesystems und die vollständige Nutzung des Energieangebotes unterstützen. Zu konkreten neuen Speicherelementen (erzeugungsnahe, dezentrale Batterien, Akkus in Fahrzeugen, Druckluftspeicher, Schwunghmassenspeicher etc.) werden keine Annahmen getroffen, sie werden jedoch als wichtige Elemente eines künftigen Speichersystems angesehen.
- Es wird angenommen, dass der Energiebedarf ab 2050 im Jahresdurchschnitt aus inländischen Energiequellen gedeckt werden kann. Grenzüberschreitender unterjähriger Austausch ist damit keinesfalls ausgeschlossen, sondern im Gegenteil notwendiger Bestandteil eines stabilen Energiesystems.

5.3 ANNAHMEN ZUR NUTZUNG FOSSILER ENERGIETRÄGER

Das Szenario zielt auf die sukzessive Reduktion des Energiebedarfs und die Substitution fossiler durch erneuerbare Energieträger ab. Dazu werden folgende Annahmen getroffen:

Kohle

- Kohle wird 2030 nur noch im Hochofen (in Form von Koks aus der Kokerei) als Reduktionsmittel eingesetzt und 2050 nicht mehr genutzt.

Erdöl

- Die Erdölverarbeitung in der Raffinerie sinkt entsprechend der Nachfrage nach Erdölprodukten.
- 2050 werden keine fossilen Kraftstoffe mehr benötigt, die Raffinerie verarbeitet Erdöl nur noch für nichtenergetische Zwecke²⁷ (Grundstoffe für chemische und Kunststoffindustrie, Bitumen etc.). An welchem Ort die Verarbeitung biogener Rohstoffe zu Kraftstoffen erfolgt wird nicht definiert.
- Die Verbräuche für erdölbasierte Kraft- und Brennstoffe wird eine Substitution durch erneuerbare Kraft- und Brennstoffe wie folgt angenommen:
 - Straßenverkehr: 2030 zu 20% ersetzt, 2050 vollständig
 - Flugverkehr: 2030 zu 10% ersetzt, 2050 vollständig
 - Brennstoff für Heizzwecke: Bereits 2030 fast vollständig ersetzt

Erdgas

- Im Raumwärmemarkt sinkt der Anteil von Erdgas von rd. 24 % auf 20 % im Jahr 2030, 2050 wird es nicht mehr eingesetzt.
- Der industrielle Einsatz halbiert sich bis 2030 und sinkt 2050 auf Null.
- Die Elektrizitätserzeugung aus Erdgas beträgt 2030 noch rund die Hälfte von 2013 und wird noch nicht vollständig durch erneuerbare Energien ersetzt, da einerseits noch Fernwärme-KWKs betrieben werden müssen und derzeit eine Kraftwerkskapazität von fast 2000 MWel besteht, die seit dem Jahr 2000 errichtet wurde (und demnach 2030 erst 30 Jahre oder jünger ist).

Abfälle

- Biogene Reststoffe werden als Fraktion der Biomasse berücksichtigt (siehe oben).
- Es wird angenommen, dass nicht-erneuerbare Abfälle auch 2030 und 2050 noch anfallen und – soweit nicht rezykliert – verbrannt und damit energetisch verwertet²⁸ werden. Die Menge des energetisch genutzten Abfalls wird 2030 konstant auf dem Niveau von 2013 gehalten und 2050 gegenüber 2013 halbiert, die Verwertung erfolgt zum größten Teil in KWK-Anlagen, zum kleineren Teil in Heizwerken. Auf europäischer Ebene wird mit der Ressourceneffizienzstrategie allerdings auch der Weg verfolgt, zumindest recyclingfähige Produkte ab 2020 nicht mehr zu verbrennen. Weitere Schritte in eine sogenannte „Zero Waste“-Gesellschaft bedeuten, Produkte bewusster zu konsumieren und die Recyclingraten konsequent weiter zu erhöhen. Werden diese Strategien konsequent weiterverfolgt,

²⁷ Daher scheinen diese Mengen zwar nicht im Endenergieverbrauch, aber in der Primärenergiebilanz auf.
²⁸ Diese Annahme erfolgt einerseits aus Gründen der Konsistenz, da keine strukturellen Veränderungen im Produktionssektor angenommen wurden. Andererseits sind erhebliche Mengen nicht-erneuerbarer Stoffe in den Beständen gebunden (Gebäude, Anlagen, Infrastruktur...), die im Lauf der Zeit als Abfälle anfallen werden.

dann würde das die Abfallverbrennung und den daraus resultierenden verbliebenen Rest an fossiler Energie im Szenario weiter reduzieren.

6. ENERGIEBILANZEN 2030 UND 2050

6.1 ERGEBNISSE FÜR DEN ENDENERGIEBEDARF

Mit den beschriebenen Annahmen sinkt der Endenergiebedarf im Szenario von 1.119 PJ (311 TWh) im Jahr 2013 auf 799 PJ (222 TWh) im Jahr 2030 und 608 PJ (169 TWh) im Jahr 2050 – das heißt um 29 % bis 2030 und um 46 % bis 2050²⁹ bezogen auf 2013. Am stärksten sinkt er im Verkehrsbereich: Hier beträgt die Reduktion 54 % bis 2030 bzw. 72 % bis 2050, davon gehen jedoch rd. 25 %-Punkte auf den Wegfall des preisbedingten Kraftstoffexports zurück. In den privaten Haushalten beträgt der Rückgang 28 % bis 2030 bzw. 49 % bis 2050, im Dienstleistungssektor 3 % bzw. 23 %, im Produktionssektor 12 % bzw. 24 % und der Landwirtschaft 4 % bzw. 8 %, jeweils bezogen auf 2013.

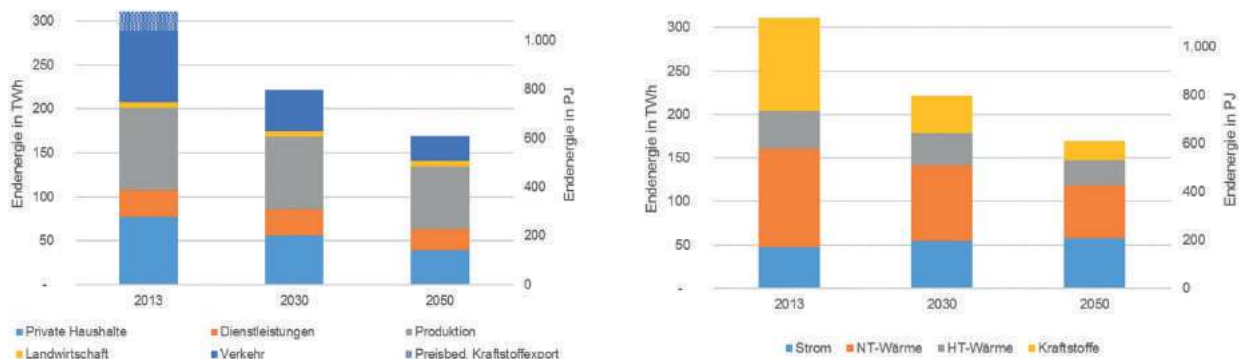


Abbildung 5: Gliederung des Endenergiebedarfs nach Sektoren (li.) und Nutzenergiekategorien (re.)

Auf Ebene der Nutzenergiekategorien bleibt der Bedarf an Wärme mit Anteilen über 50 % weiterhin dominierend. Während der Anteil des Elektrizitätsbedarfs stark zulegt, sinkt der Kraftstoffanteil deutlich. In absoluten Zahlen reduzieren sich der Bedarf an Niedertemperaturwärme von 114 TWh (2013) auf 87 TWh im Jahr 2030 und 61 TWh im Jahr 2050; der Bedarf an Hochtemperaturwärme entwickelt sich von knapp 44 TWh (2013) auf 37 TWh (2030) bzw. 28 TWh (2050). Der Inlandsbedarf an Kraftstoffen (flüssig oder gasförmig)

29 Dazu ist anzumerken, dass alleine 7 Prozentpunkte des Rückgangs durch das Wegfallen des preisbedingten Kraftstoffexports zustande kommen.

sinkt von 84 TWh im Jahr 2013 auf 43 TWh (2030) und 22 TWh (2050). Der Bedarf an elektrischer Energie steigt hingegen von 47 TWh auf 54 TWh (2030) und 58 TWh (2050)³⁰.

6.2 DECKUNG DES ENDENERGIEBEDARFS³¹

Die gewählten Potenziale reichen aus, um die Nachfrage nach Endenergie der Szenarien für die Jahre 2030 und 2050 abzudecken. Mit den gewählten Annahmen steigt der Anteil erneuerbarer Energie im Endverbrauch von rd. 103 TWh bzw. 33 % (2013) auf rd. 136 TWh bzw. 61 % (2030) und auf rd. 165 TWh bzw. 98 % (2050). Der verbleibende nicht-erneuerbare Anteil 2050 geht auf die energetische Nutzung von Abfällen zurück, die annahmegemäß zum Teil immer noch aus fossilen Ressourcen bestehen. Abbildung 6 und die Tabellen A1 und A2 im Anhang zeigen die Ergebnisse.

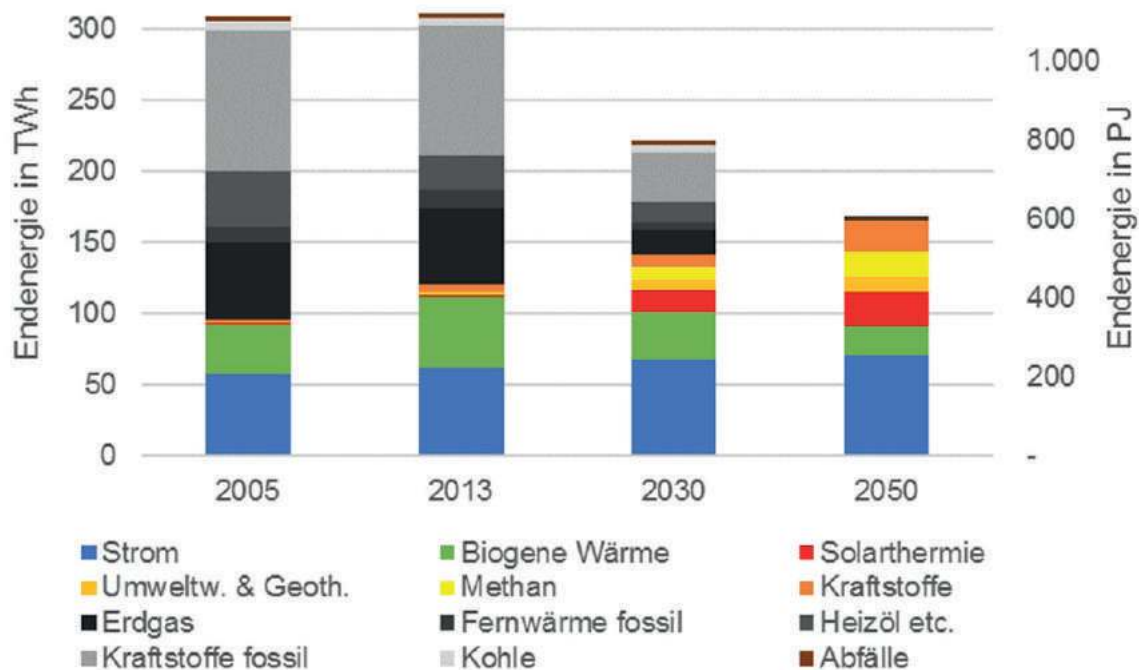


Abbildung 6: Endenergieverbrauch gegliedert nach Energieträgern

Im Bereich der Niedertemperaturwärme bleibt die Nutzung von Biomasse anteilmäßig mit rd. 35 bis 40 % relativ konstant, sinkt aber in absoluten Werten entsprechend der Verringerung des Bedarfs. Die Wärmeaufbringung aus Solarthermie und Wärmepumpe steigt deutlich an.

30 Dabei handelt es sich um den Bedarf an elektrischer Energie, der aus der Bedeckung der Energiedienstleistungen resultiert. Der Verbrauch kann höherer sein, wenn z.B. der Bedarf an Hochtemperatur-Wärme durch elektrische Energie gedeckt wird o.ä. Siehe Abschnitt Fehler: Referenz nicht gefunden.

31 Anmerkung: „Energiebedarf“ beschreibt die zur Erbringung der Energiedienstleistungen erforderlichen Energiemengen, „Energieverbrauch“ die zur Deckung des Energiebedarfs aufzuwendenden Mengen bestimmter Energieformen unter realen Bedingungen.

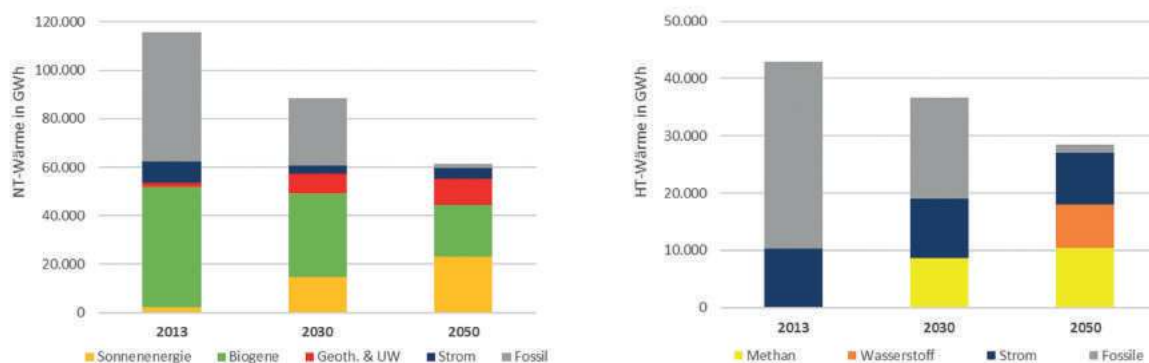


Abbildung 7: Aufbringung der Niedertemperaturwärme (li.) und Hochtemperaturwärme (re.)

Hochtemperaturwärme wird zunehmend je zur Hälfte aus Elektrizität und gasförmigen Energieträgern gedeckt. 2050 wird zusätzlich die Reduktion von Eisenerz durch Wasserstoff bewerkstelligt.

Der Kraftstoffbedarf wird sukzessive durch biogene Flüssigkraftstoffe der zweiten Generation abgedeckt (knapp 20 % in 2030 und über 60 % in 2050); im Lauf der Zeit gewinnt auch Methan aus biogenen Rohstoffen und Power-to-Gas immer mehr an Bedeutung und hat 2050 einen Anteil von 39 %.

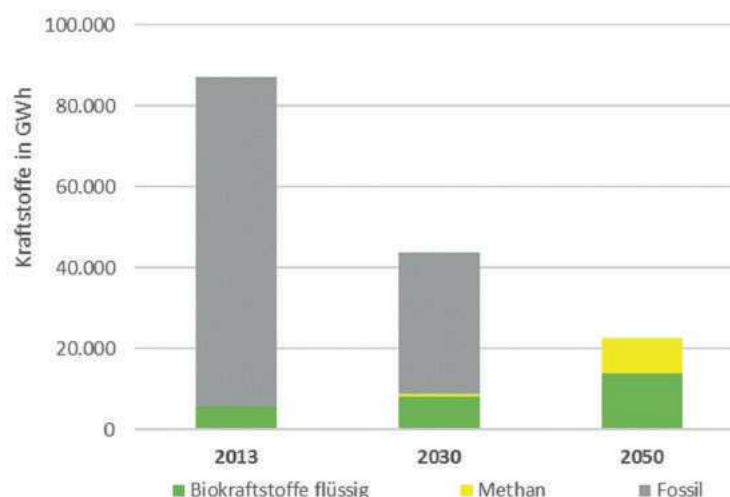


Abbildung 8: Aufbringung der Kraftstoffe (2030 und 2050: Biokraftstoffe der 2. Generation)

6.2.1 EXKURS: ENERGIEBEDARFSDECKUNG DER STAHLERZEUGUNG

Abbildung 9 zeigt die Deckung des Energiebedarfs der Rohstahlerzeugung (Eisenerzreduktion und Rohstahlerzeugung, ohne Walzwerke etc.). Er hat 2030 dieselbe Struktur wie 2013, durch Effizienzsteigerungen sinkt der Koks- und Ölbedarf leicht, die zusätzlichen Stahlmengen werden annahmegemäß im Lichtbogenofen erzeugt. Im Jahr 2050 zeigt sich ein völlig geändertes Bild: Zur Reduktion des Erzes wird Wasserstoff eingesetzt, die Stahlerzeugung erfolgt elektrisch in Lichtbogenöfen. Der Energiebedarf dafür liegt bei 4,9 TWh elektrischer Energie und 18,6 TWh Wasserstoff. Mit einem angenommenen Wirkungsgrad der Wasserstoffherzeugung von 75 % (nach Streicher et al. 2011) beträgt der gesamte Bedarf an elektrischer Energie in dem hier betrachteten Bereich 29,7 TWh.

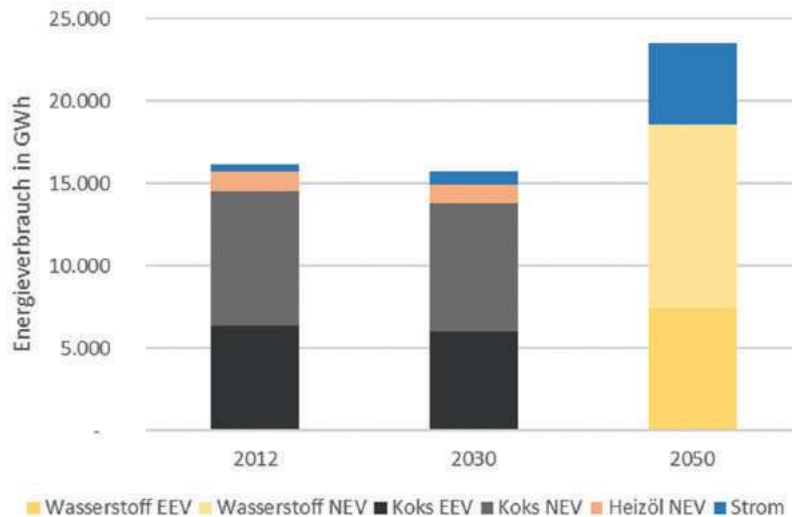


Abbildung 9: Deckung des Energiebedarfs der Stahlerzeugung

Aus der Abbildung ist auch ersichtlich, dass sowohl der Endenergiebedarf als auch der nichtenergetische Verbrauch – konform mit der österreichischen Energiebilanz – abgebildet werden. Die Aufteilung des Wasserstoffverbrauchs erfolgt im selben Verhältnis wie jener des Koksverbrauchs in der Energiebilanz 2013.

6.3 ERGEBNISSE FÜR DIE AUFBRINGUNG & VERWENDUNG VON ELEKTRIZITÄT

Als Detail sei die Aufbringung und Verwendung des Endenergieträgers Elektrizität dargestellt, da sich hier große strukturelle Änderungen ergeben. Der Endenergiebedarf elektrischer Energie steigt von 62 TWh im Jahr 2013 um 9 % auf 68 TWh im Jahr 2030 und um 15 % auf 72 TWh im Jahr 2050. Damit steigt der Stromanteil im energetischen Endverbrauch von 20 % (2013) auf 31 % im Jahr 2030 und auf 42 % im Jahr 2050.

Während 2013 rd. 10 % des Bedarfs importiert wurden, erfolgt die Aufbringung 2030 und 2050 annahmegemäß im Jahresdurchschnitt im Inland. Die aufzubringende Menge an Elektrizität ist jedoch deutlich höher als der Endverbrauch: Wie beschrieben wird elektrische Energie auch zunehmend durch PtG-Technologien speicherbar und in Form gasförmiger Energieträger (für Hochtemperaturwärme und als Kraftstoff) nutzbar gemacht. Außerdem sind auch der Eigenbedarf der Elektrizitätserzeugung und die Netzverluste zu decken. Damit steigt die aufzubringende Menge an Elektrizität, ausgehend von 72 TWh (2013) auf 82 TWh (2030) und 112 TWh (2050). Abbildung 10 stellt die Aufbringung und Verwendung elektrischer Energie einander gegenüber, die Werte sind auch in Tabelle A9 im Anhang dargestellt.

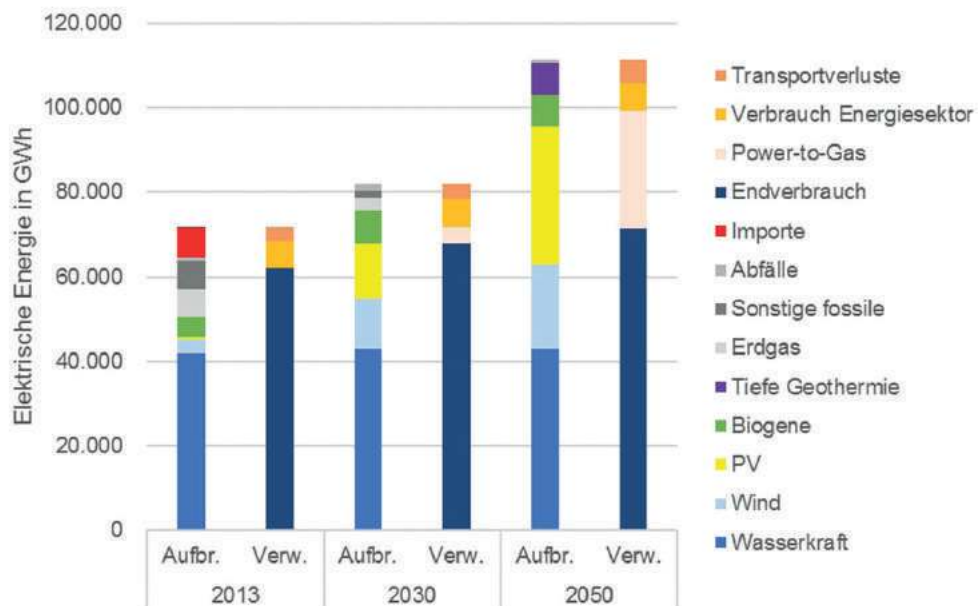


Abbildung 10: Aufbringung und Verwendung von Elektrizität

Die Elektrizitätserzeugung aus Wasserkraft erhöht sich in absoluten Zahlen nur leicht, entsprechend sinkt ihr Anteil an der gesamten Aufbringung an elektrischer Energie. Windkraft wird bis 2030 auf 12 TWh ausgebaut und steigt bis 2050 auf 20 TWh, entsprechend steigt ihr Anteil bis 2030 auf 15 % und bis 2050 auf 18 %. Am stärksten legt Photovoltaik zu, von einem Anteil von 1 % (0,6 TWh) im Jahr 2013 auf 16 % (13 TWh) im Jahr 2030 und weiter auf 29 % (knapp 33 TWh) im Jahr 2050. Biomasse spielt in der Elektrizitätserzeugung nur eine relativ kleine Rolle, sie wird bis 2030 auf 7,8 TWh ausgebaut, sinkt jedoch dann leicht; ihr relativer Anteil geht zurück.

Der Anteil erneuerbarer Energien an der Aufbringung elektrischer Energie steigt von 70 % im Jahr 2013 auf 92 % im Jahr 2030 und 99 % im Jahr 2050. Abbildung 10 und Tabelle A9 im Anhang zeigen die Ergebnisse.

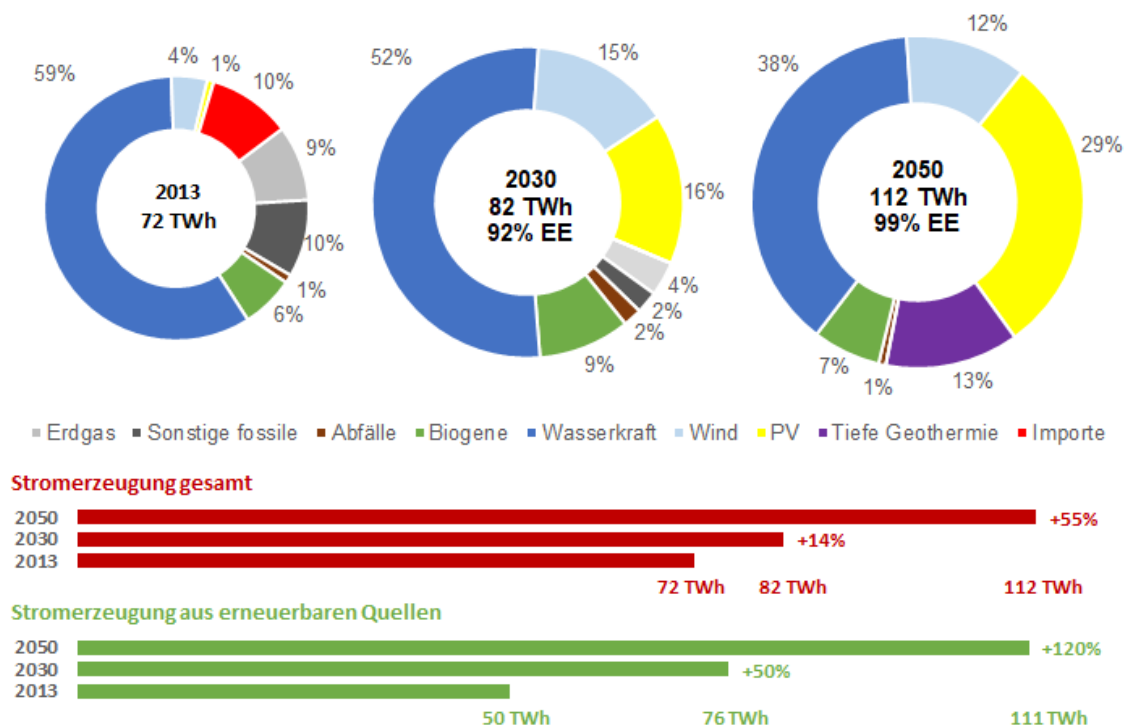


Abbildung 11: Zusammensetzung der Aufbringung von Elektrizität

INFO-BOX: Stromaufbringung 2030

2015 wurde als offizieller Beitrag Österreichs bei den Klimaverhandlungen in Paris die Umstellung auf 100% erneuerbare Energie in der Stromversorgung bis zum Jahr 2030 vorgestellt.

Im Kontext des in der Studie dargestellten Szenarios bedeutet diese Festlegung folgendes: Im Szenario wird der gesamte Strombedarf 2030 durch die Aufbringung zu 92 % erneuerbar gedeckt. Die restlichen 8 % bzw. 6,4 TWh stammen aus der Erzeugung in Erdgas-KWK-Anlagen und der Verstromung aus der Abfallverbrennung und der Nutzung von Kohlegasen in der Stahlindustrie die nicht einfach abgestellt werden können. Diese Erzeugung wäre prinzipiell kompensierbar, wenn der weitere Ausbau der Windkraft und der Photovoltaik entsprechend schneller erfolgen würde. Bei gleichmäßiger Verteilung auf Windkraft und PV müssten deren Erzeugungen im Jahr 2030 um jeweils rund ein Viertel steigen: aus Photovoltaik würde dann 16,1 TWh statt 12,9 TWh betragen, jene aus Windkraft 15,2 TWh statt 12,0 TWh. Insgesamt würde Österreich in dieser Situation zum Netto-Stromexporteur, wie Abbildung 12 zeigt. Damit wäre eine bilanziell 100%ige Versorgung von 100 % erneuerbarer Energie bis 2030 möglich. Allerdings ist in diesem Szenario ein weiterer Einsatz von Gas-KWK-Anlagen vorgesehen. Bis zum Jahr 2050 ist dann eine nahezu 100%-ige Vollversorgung auf Basis erneuerbarer Energie sowohl am Verbrauch als auch an der Erzeugung vorgesehen.

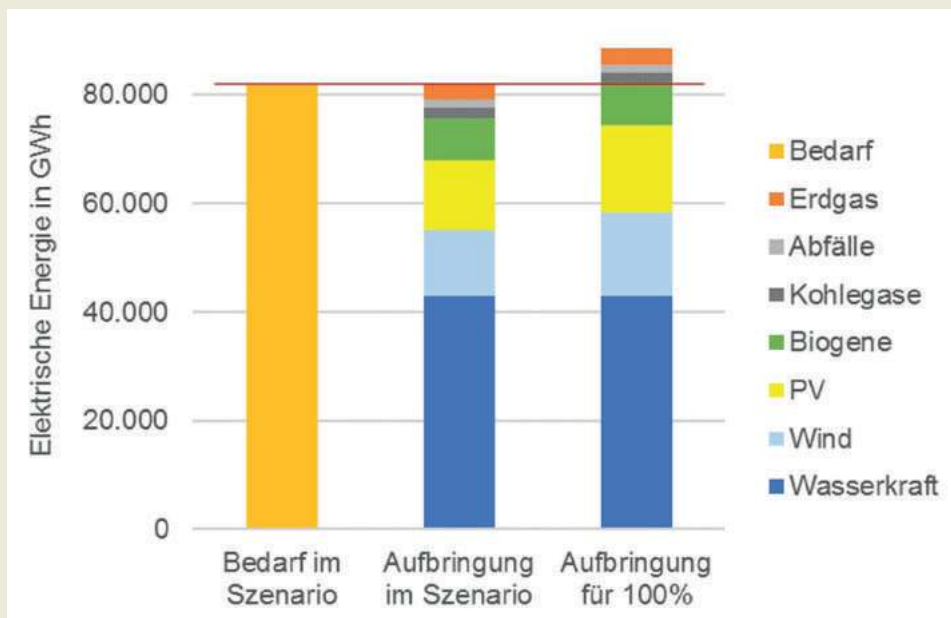


Abbildung 12: Aufbringung elektrischer Energie im Szenario und für 100 % erneuerbare Bedarfsdeckung 2030

6.4 ERGEBNISSE ZUM BRUTTOINLANDSVERBRAUCH VON PRIMÄRENERGIE

Um Konformität mit der Energiebilanz zu erhalten, werden neben dem zur Deckung des Endenergiebedarfs notwendigen Primärenergiebedarf auch jene Primärenergienmengen abgebildet, die zur Bedeckung der restlichen Aggregate der Energiebilanz (siehe oben) notwendig sind.

Damit ergibt sich folgendes Bild: Gegenüber 2013 sinkt der Bruttoinlandsverbrauch 2030 von rd. 1.400 PJ um 28 % auf rd. 1.009 PJ, jener 2050 um 37 % auf 884 PJ. Der Anteil erneuerbarer Energie steigt von rd. 425 PJ bzw. rd. 30 % (2013) auf rd. 597 PJ bzw. 59 % (2030) und rd. 794 PJ bzw. 90 % (2050). Der verbleibende nicht-erneuerbare Anteil 2050

geht einerseits auf die energetische Nutzung von Abfällen (1 %-Punkt) und den nichtenergetischen Verbrauch von Erdöl (8 %-Punkte) zurück. Der Anteil der Biomasse steigt dabei von 18 % im Jahr 2013 bis 2030 auf 26 % und bis 2050 auf 32 %. Abbildung 13 und die Tabellen A5 ff. im Anhang zeigen die Ergebnisse.

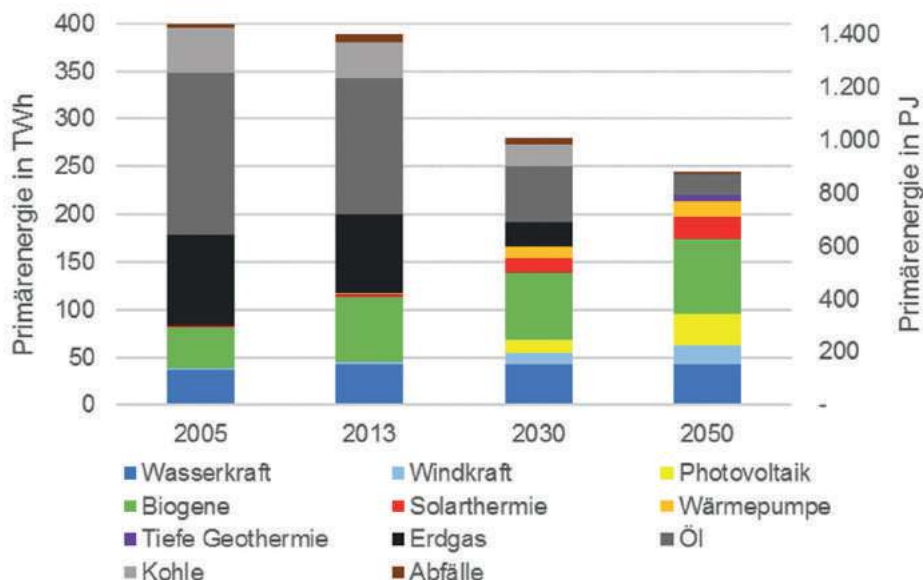


Abbildung 13: Bruttoinlandsverbrauch gegliedert nach Energieträgern

Abbildung 14 zeigt den sich aus der Berechnung ergebenden Ausbau erneuerbarer Energien in den Jahren 2030 und 2050 in Relation zur Bandbreite der beschriebenen Potenzialabschätzungen. Es ist ersichtlich, dass die Potenziale bis 2050 sehr unterschiedlich stark ausgeschöpft werden, um den Energiebedarf zu decken. Bei Solarthermie und Wärmepumpe kann nur ein Teil des Angebotspotenzials genutzt werden, da die zeitliche Charakteristik der Nachfrage nach Niedertemperaturwärme sich nicht mit jenem des Angebots deckt bzw. die Aufbringung durch die Flächenverfügbarkeit beschränkt ist. Wie oben beschrieben werden in der vorliegenden Arbeit besonders sensible Energieressourcen wie Wasserkraft, Windkraft und Biomasse nur deutlich sparsamer genutzt als in den verglichenen Untersuchungen.

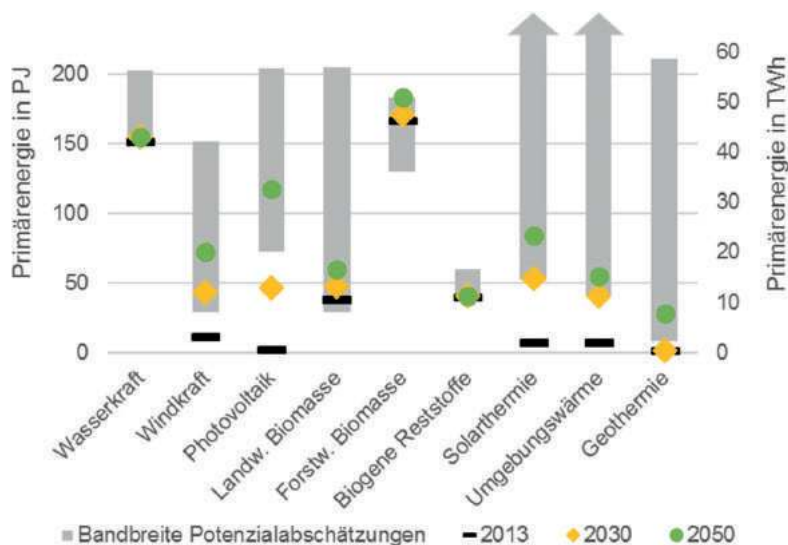


Abbildung 14: Genutzte Primärenergien im Vergleich zu den Potenzialabschätzungen

7. TREIBHAUSGASEMISSIONEN 2030 UND 2050

Mit den beschriebenen Annahmen und den Ergebnissen aus dem Energieszenario werden im Folgenden die THG-Emissionen modelliert.

7.1 ENERGIEBEDINGTE TREIBHAUSGASEMISSIONEN (CRF 1)³²

Die energiebedingten CO₂-Emissionen (ohne jene aus der Biomassenutzung³³) sinken in den Szenarien von knapp 60 Mio.t (2013) auf 22 Mio. t im Jahr 2030 und auf 1 Mio. t im Jahr 2050 um 63 % bzw. 98 %. Bezogen auf das Jahr 2005, in dem die THG-Emissionen den höchsten Wert in der Geschichte aufwiesen, beträgt die Reduktion 69 % bzw. 99 %. Der verbleibende Rest 2050 geht auf die energetische Nutzung nichterneuerbarer Abfälle und auf kleine Mengen durch die verbleibenden Verarbeitungsprozesse von Erdöl zurück. Bei entsprechender Umsetzung von Abfallvermeidungs- und Recyclingstrategien kann dieser Wert aber noch verringert werden. Werden alle energiebedingten THG-Emissionen berücksichtigt, beträgt die Reduktion gegenüber 2005 68 % bis 2030 und 98 % bis 2050.

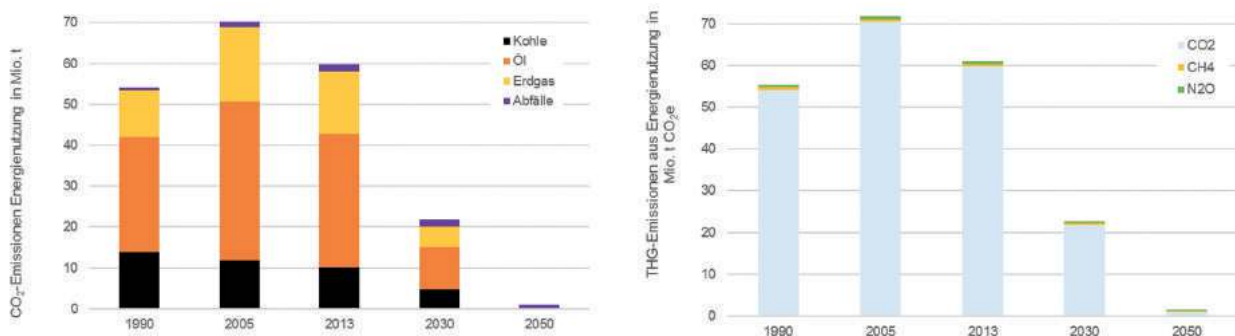


Abbildung 15: Energiebedingte CO₂-Emissionen(links) und THG-Emissionen(rechts)

7.2 INDUSTRIELLE PROZESSE (CRF 2)

Prozessbedingte Emissionen umfassen Emissionen aus industriellen Produktionsprozessen, bei denen Energieträger (wie Öl, Kohle...) nicht zur Energiegewinnung, sondern in chemischen Prozessen oder als Rohstoff in der Verarbeitung (z.B. zu Kunststoffen, Medikamenten...) eingesetzt werden³⁴. In dieser Kategorie werden die größten THG-Quellen eigens abgeschätzt und Annahmen für die Entwicklung des verbleibenden Rests getroffen:

- 32 Abweichend von der Zuordnung zu den IPCC-Sektoren sind hier die Emissionen aus dem Energiebedarf der Stahlindustrie zur Eisenreduktion enthalten, um den Gesamteffekt der Substitution fossiler mit erneuerbarer Energie darzustellen. Die weiteren Betrachtungen erfolgen IPCC-konform, um Doppelzählungen zu vermeiden.
- 33 Diese sind per Definition mit Null anzusetzen.
- 34 Entsprechend werden die CO₂-Emissionen aus der Eisenreduktion dieser Kategorie zugerechnet.

- Für die **Zementproduktion** (CRF 2 A 1) wird angenommen, dass der Bedarf mit der Wirtschaftsentwicklung wächst. Allerdings kann 2030 10 % und 2050 50 % des Bedarfs mit Alternativzementen gedeckt werden, die in ihrer Erzeugung um 30 % (2030) bzw. um 70 % (2050) niedrigere spezifische CO₂-Emissionen aufweisen.³⁵ Darüber hinaus kann der Klinkerfaktor, also der Anteil des Zementklinkers im Zement von derzeit 70 % bis 2050 auf 60 % reduziert werden (Umweltbundesamt Deutschland 2014). Damit sinken die CO₂-Emissionen aus der Zementproduktion insgesamt bis 2050 um 28 % gegenüber 2013.
- Die **Produktion von Kalk** (CRF 2 A 2) sinkt annahmegemäß bis 2050 um ein Drittel. Der Grund dafür ist, dass die Stahlindustrie, derzeit mit einem Anteil von fast 50 % der größte Verbraucher, ihren Verbrauch durch die Verfahrensumstellung auf Elektrostahlproduktion spezifisch in etwa halbieren kann (Umweltbundesamt Deutschland 2014). Auch ist zu erwarten, dass der Kalkbedarf für die Rauchgasentschwefelung generell durch den Energieträgerwechsel zurückgehen wird. Die CO₂-Emissionen aus der Kalkproduktion sinken damit bis 2050 um ein Drittel gegenüber 2013.
- In der **Eisen- und Stahlproduktion** (CRF 2 C 1) wird wie beschrieben für 2050 angenommen, dass der Hochofenprozess durch die Direktreduktion des Erzes mittels Wasserstoff und Elektrostahlproduktion ersetzt wird. Damit verbleiben nur noch geringe Mengen an CO₂-Emissionen durch den Elektrodenabbrand (Umweltbundesamt Deutschland 2014).
- In der Kategorie „**Lösungsmittel und andere Produktverwendung**“ (CRF 2 D) kann davon ausgegangen werden, dass ihre Einsatzmenge und damit die verbundenen THG-Emissionen in etwa halbiert werden können.³⁶
- Im Bereich der **Elektronikindustrie** (CRF 2 E) wird angenommen, dass die THG-Emissionen bis 2050 konstant bleiben. Ein etwaiger Mehrverbrauch durch die Wirtschaftsentwicklung wird durch die allgemeine Effizienzsteigerung aufgehoben.
- Die Emissionen von weiteren sog. **F-Gasen**³⁷ (CRF 2 F und 2 G), die als Kältemittel, Isoliergase etc. eingesetzt werden, können gemäß Literaturangaben bis 2050 zu 90 % durch andere Stoffe substituiert werden.³⁸
- Die beschriebenen THG-Quellen decken über 90 % der industriellen Prozessemissionen 2013 ab. Für das **verbleibende Residuum** wird angenommen, dass es sich mit den der unterstellten Wirtschaftsentwicklung erhöht, jedoch durch die unterstellte Produktivitätsverbesserung (-1,5 % p.a.) gedämpft wird. Es ergibt sich in Summe bis 2050 eine Reduktion von 32 % gegenüber 2013.

Die Werte (mit Ausnahme jener für die Eisen- und Stahlproduktion) für 2030 ergeben sich aus einer linearen Interpolationen zwischen den Werten für 2013 und 2050.

Mit der beschriebenen Entwicklung ergibt sich eine Reduktion der prozessbedingten THG-Emissionen bis 2050 von 79 % gegenüber 2013 und 82 % gegenüber 1990. Abbildung 16 zeigt das Ergebnis, das auch der Tabelle A11 im Anhang dargestellt ist.

35 Vgl. Umweltbundesamt Deutschland (2014) bzw. TU Graz (2016)

36 Siehe Umweltbundesamt Deutschland (2014), S. 217 ff

37 Fluorierte THG

38 Siehe Umweltbundesamt Deutschland (2014), S. 210 ff

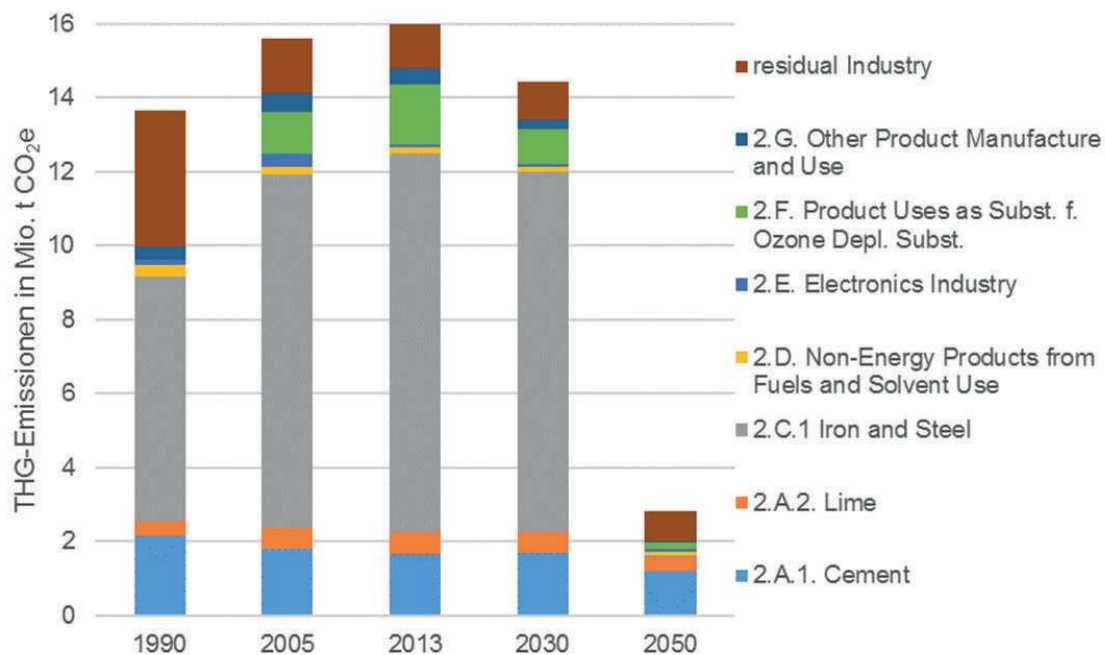


Abbildung 16: Entwicklung der prozessbedingten THG-Emissionen

7.3 LANDWIRTSCHAFT (CRF 3)

Die THG-Emissionen der Landwirtschaft setzen sich im Wesentlichen aus den Emissionen durch die Nutztierhaltung, durch Wirtschaftsdüngermanagement und durch Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden zusammen. Die landwirtschaftlichen Heizungen und der Fuhrpark werden den Sektoren Gebäude und Verkehr zugerechnet und finden sich daher nicht hier wieder. Die Emissionen für das Jahr 2050 werden in folgenden Schritten relativ zum Basisjahr 2013 abgeschätzt:

- Aus den in Abschnitt 4.4 beschriebenen Szenario der ausgewogenen Ernährung werden die **Nutztierbestände** für 2050 abgeschätzt, die im Schnitt um 60 % sinken, wobei acht Tierkategorien unterschieden werden³⁹. Daraus werden anschließend mithilfe der Versorgungsbilanzen die Veränderungen der Tierbestände relativ zum Jahr 2013 abgeleitet. Berücksichtigt wird dabei sowohl die steigende Bevölkerung als auch die Verringerung der Lebensmittelabfälle.
- Diese Abschätzungen bilden die Grundlage zur Ableitung der THG-Emissionen aus der **Nutztierhaltung** (Emissionen von Methan), die bis 2050 um 48 % gegenüber 2013 sinken. Über 90 % dieser Emissionen gehen dabei auf die Rinderhaltung zurück.
- Die Emissionen aus dem **Wirtschaftsdüngermanagement** sinken einerseits durch den Rückgang des Anfalls von Wirtschaftsdünger, andererseits durch Maßnahmen wie Dichtigkeit der Behälter und die verstärkte Nutzung von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen. Insgesamt nehmen sie bis 2050 um 71 % gegenüber 2013 ab.
- Der Rückgang der Emissionen aus **landwirtschaftlichen Böden** beträgt bis 2050 44 % gegenüber 2013. Er kommt durch die Reduktion des ausgebrachten Wirtschafts-

düngers und die reduzierte Ausbringung von Mineraldünger⁴⁰ durch die Ausweitung der biologisch bewirtschafteten Flächen zustande.

Insgesamt sinken die THG-Emissionen aus der Landwirtschaft bis 2050 gegenüber 2013 um 49 % auf 3,6 Mio t CO₂e, wie Abbildung 17 zeigt; Tabelle A12 im Anhang enthält die entsprechenden Werte. Gegenüber 1990 bedeutet das eine Reduktion von 56 %. Nicht berücksichtigt werden dabei etwaige CO₂-Senken durch gezielten Humusaufbau in der biologischen Landwirtschaft, da für sie noch keine ausreichenden Potenzialschätzungen vorliegen. Diese Senken könnten einen wichtigen Beitrag zur Senkung der Nettoemissionen der Landwirtschaft leisten.

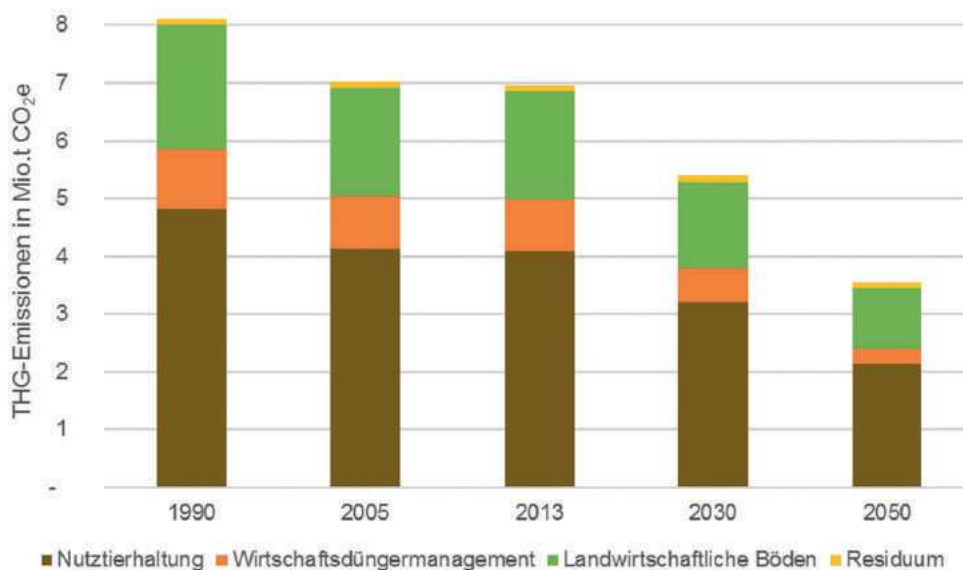


Abbildung 17: Entwicklung der THG-Emissionen aus der Landwirtschaft

7.4 ABFALL UND ABWASSER (CRF 5)

Die THG-Emissionen dieser Kategorie bestehen aus den Emissionen durch das Management und die Beseitigung von Abfall und Abwasser. Die Emissionen aus der Behandlung fester Abfälle machen dabei den überwiegenden Anteil der Emissionen aus (2013: knapp 80 %, vgl. Umweltbundesamt 2015a)⁴¹. Dem Szenario „mit zusätzlichen Maßnahmen“ des Umweltbundesamts folgend⁴² sinken die Emissionen bis 2030 auf 0,8 Mio. t CO₂e, und bis 2050 auf 0,6 Mio. t CO₂e. Gegenüber 2013 sinken die damit um 70 %, gegenüber 1990 um 87 %. Hauptgrund dafür ist die Abnahme der Emissionen aus Deponien, da seit 2009 kein unbehandelter Abfall mehr deponiert werden darf. Diese Werte werden in das Szenario übernommen.

40 Der Mineraldüngereinsatz nimmt um 41 % ab, weil die biologisch bewirtschaftete Ackerfläche, auf die kein Mineraldünger ausgebracht werden darf, von 14 % (2013) auf rd. 50 % zunimmt.

41 Die Emissionen aus der Abfallverbrennung mit energetischer Verwertung werden dabei dem Sektor Energie zugeordnet.

42 Vgl. Umweltbundesamt (2015a) und (2015b). Die Emissionsprojektionen des Umweltbundesamts enthalten Szenarien „mit bestehenden Maßnahmen“ (WEM) und „mit zusätzlichen Maßnahmen“ (WAM). Zusätzlich wird ein Szenario mit weiteren Maßnahmen (WAMplus) abgebildet. Die entnommenen Werte entsprechen den Ergebnissen im WAM- und WAMplus-Szenario.

7.5 GESAMTE TREIBHAUSGASEMISSIONEN

Mit den beschriebenen Abschätzungen ergeben sich gesamte THG-Emissionen für 2030 von 38,1 Mio. t CO₂e und für 2050 von 7,9 Mio. t CO₂e. Bezogen auf das Jahr 1990 entspricht das einer Reduktion von knapp 52 % bis 2030 und 90 % bis 2050. Abbildung 18 zeigt die Ergebnisse: Links sind die Emissionen in der beschriebenen Gliederung dargestellt, rechts in der Gliederung nach der Methode des Klimaschutzberichts des Umweltbundesamts; die entsprechenden Werte finden sich in den Tabellen A10 und A13 im Anhang. Wie aus den Abbildungen ersichtlich, steigen die Anteile der nicht-energetischen Emissionen an den gesamten THG-Emission 2030 und 2050 deutlich an und machen 2050 den weit überwiegenden Anteil aus.

Weiters kommen dem gezielten Wald- und Bodenmanagement (LULUCF)⁴³, die im Szenario nicht mitberücksichtigt sind, steigende Bedeutung zu. Mit derartigen Maßnahmen könnten CO₂-Senken aktiviert werden, die die Netto-Emissionen entsprechend verringern könnten⁴⁴. Ebenso ist aber möglich, dass durch verstärkte Austrocknung und häufigere Waldbrände sowie stark ansteigende Nutzung Wälder und Böden zu Treibhausgas Quellen werden und so die dargestellte Emissionsreduktion erschweren oder gänzlich unmöglich machen.

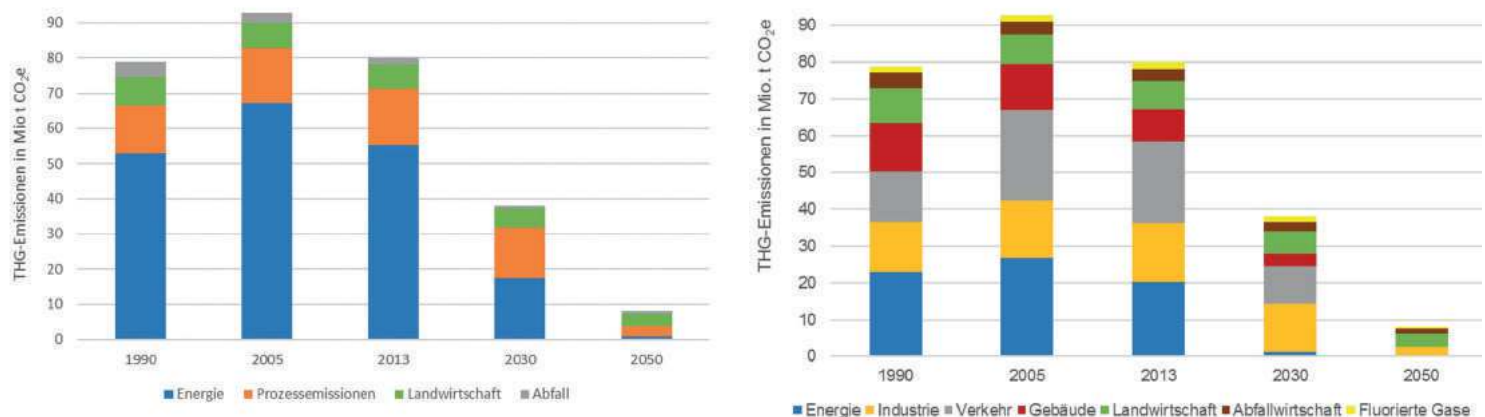


Abbildung 18: Gesamte THG-Emissionen, gegliedert nach CRF-Sektoren (links) und der Gliederung im Klimaschutzgesetz (rechts)⁴⁵.

43 LULUCF (CRF 4) steht für Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (Land Use, Land Use Change and Forestry).

44 Darüber hinaus kommen im Szenario auch künstlich CO₂-Senken durch CCS (Carbon Capture and Storage) nicht zum Einsatz.

45 In der Gliederung des Klimaschutzgesetzes enthält der Sektor Landwirtschaft auch die Emissionen der landwirtschaftlichen Gebäude und der Sektor Abfallwirtschaft die Emissionen der energetisch genutzten Abfallverbrennung. Der Sektor Industrie enthält auch wie in Abbildung 16 dargestellt, die Emissionen aus der Eisenreduktion.

8. ZUSAMMENFASSUNG

In den Beschlüssen der Weltklimakonferenz in Paris haben sich die Staaten völkerrechtlich verbindlich verpflichtet große Anstrengungen zu unternehmen um ihre Beiträge zu den globalen Klimaschutzzielen zu leisten. Die vorliegende Arbeit zeigt einen gangbaren Weg, wie die Treibhausgasemissionen Österreichs bis 2050 um mindestens 90 % gegenüber dem Jahr 1990 gesenkt werden können und der Energiesektor de facto dekarbonisiert werden kann. Sie zeigt umgekehrt auch, welche Voraussetzungen geschaffen werden müssen, damit dieses Ziel erreicht werden kann. Die im Jahresdurchschnitt in Österreich verfügbaren erneuerbaren Energieressourcen reichen für eine de facto Vollversorgung aus, wenn es gelingt den Energieverbrauch entsprechend zu reduzieren. Es wird dazu ein Szenario für die Jahre 2030 und 2050 entwickelt, in dem die Reduktionsbeiträge der einzelnen Sektoren – mit Fokus auf den Energiesektor – abgeschätzt werden.

Methode

Für den Energiesektor werden – ausgehend von Randbedingungen wie wachsender Bevölkerung und der Wirtschaftsentwicklung – die sektoralen Aktivitäten und die nachgefragten Energiedienstleistungen bottom-up modelliert. Mit einem Set von Energieanwendungs- und Umwandlungstechnologien wird daraus der Bedarf an Endenergie abgeleitet, gegliedert in Nutzenergiekategorien. Für die Abschätzung der in Österreich verfügbaren Primärenergieträger werden Potenziale aus Literaturquellen erhoben und eigene Abschätzungen getroffen, die aus heutiger Sicht nachhaltig und naturverträglich zu Verfügung stehen. Die daraus verfügbaren Sekundär- bzw. Endenergieträger werden anhand eines Sets an Umwandlungs- und Speichertechnologien abgeleitet und mit dem Bedarf zur Deckung gebracht. Mit dieser Vorgangsweise werden sämtliche Aggregate der Energiebilanz und in der Folge die daraus resultierenden Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) 2030 und 2050 abgebildet.

Für die nichtenergetischen THG-Emissionen wird ebenfalls ein sektoraler Ansatz gewählt: Dabei werden für die wesentlichen emittierenden Sektoren Abschätzungen für ambitionierte Reduktionspfade aus der Literatur entnommen. Eine Besonderheit stellt der Landwirtschaftssektor dar: Für diesen wird ein eigenes Szenario entwickelt, in dem eine veränderte Ernährungs- und Bewirtschaftungsweise sowie die Reduktion der Lebensmittelverschwendung die Basis für die Reduktionen der THG-Emissionen bilden.

Die gewählten Annahmen sollen dabei einerseits realistisch abbilden in welche Richtung sich Österreich entwickeln kann, andererseits sind sie bewusst so gewählt, dass sie ein Handeln der Politik und eine Veränderung der Gesellschaft in Richtung mehr Bewusstsein beim Umgang mit Ressourcen und Energie erfordern.

Ergebnisse

Die Arbeit zeigt, dass der Endenergiebedarf trotz Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums gegenüber 2013 gesenkt werden kann, wobei die möglichen Reduktionen bei 29 % (2030) bzw. 46 % (2050) liegen. Damit wird eine praktisch vollständige Deckung mit erneuerbaren Energieträgern möglich, für die die nachhaltigen, naturverträglichen Potenziale in Österreich ausreichen. Der Energiesektor kann bis 2050 – bis auf die energetische Verwertung nicht erneuerbarer Abfälle, zu denen hier keine Aussage gemacht wird – vollständig dekarbonisiert werden. Der Ausbau erneuerbarer Energien basiert stark auf Photovoltaik, Windenergie, Umgebungswärme, Solarthermie und Geothermie, die 2050 gemeinsam rund 40 % des Primärenergieverbrauchs ausmachen. Unter Berücksichtigung des für den Naturschutz notwendigen Vorsichtsprinzips werden die Nutzung von Wasserkraft und Biomasse mit Bedacht ausgebaut.

Die THG-Emissionen industrieller Prozesse können bis 2050 um 78 % gegenüber 1990 abgesenkt werden. Den wesentlichsten Beitrag liefert dabei die Umstellung des Hochofenprozesses in der Stahlindustrie auf die Direktreduktion von Eisenerz durch Wasserstoff mit anschließender Elektrostahlerzeugung.

Durch die Umstellung auf eine –gesundheitlich empfohlene – ausgewogenere Ernährung kann der Fleischkonsum um 60 % gesenkt werden. Gekoppelt mit einer Ausweitung der biologischen Landwirtschaft auf 50 % der landwirtschaftlichen Fläche sowie der Reduktion von Lebensmittelabfällen können die THG-Emissionen der Landwirtschaft 2050 um 56 % gegenüber 1990 vermindert werden.

Insgesamt sinken die THG-Emissionen unter diesen Annahmen gegenüber 1990 bis 2030 um 52 % und bis 2050 um 90 %. Damit stellt der THG-Reduktionspfad dieses Szenarios in Anbetracht der Reduktionsnotwendigkeiten und der internationalen Verpflichtungen einen Mindestpfad dar. Nur durch noch höhere Ambitionen oder die Etablierung von CO₂-Senken (in der Land- bzw. Forstwirtschaft) wäre eine weitere Reduktion möglich.

9. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Klimawissenschaft zeigt klar, dass die vom Menschen verursachten Treibhausgasemissionen für die jetzt beobachtete globale Erwärmung und deren Folgen verantwortlich sind. Die Eindämmung des vom Mensch verursachten Klimawandels ist eine der wichtigsten globalen Herausforderungen unserer Zeit. Entwickelte Industrienationen haben sowohl durch die bereits in der Vergangenheit getätigten Treibhausgasemissionen als auch durch höhere technische und ökonomische Möglichkeiten eine besondere Verantwortung. Aufstrebende Volkswirtschaften in den Schwellenländern ziehen nach und müssen ebenso wesentlich zum Gelingen des globalen Klimaschutzes beitragen.

Das Klimaschutzabkommen von Paris setzt die wissenschaftliche Faktenlage und die gemeinsame, aber unterschiedliche Verantwortung an Klimaschutz in völkerrechtlich verbindliche, politische Beschlüsse um. So gibt es nun erstmals völkerrechtlich verbindliche Grenzen für die globale Erwärmung. Das Ziel, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen und Anstrengungen zu unternehmen, sie auf 1,5 °C einzudämmen, macht entschlossenes Handeln notwendig und erfordert die Anpassung bisher entworfener Klimaschutzpläne. Das betrifft auch das „EU-2030-Paket“, das mit den langfristigen Temperaturzielen nicht vereinbar ist.

Unstrittig ist, dass das Eindämmen der globalen Erwärmung einen Ausstieg aus der Nutzung fossiler Brennstoffe erfordert. Es ist das dezidierte Ziel des Pariser Klimaschutzabkommens, dass sich Emissionsquellen und Senken bis zur zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts die Waage halten sollen. Da es weiter Emissionen, etwa aus der Landwirtschaft, geben wird, bedeutet das ein vollständiges Ende energiebedingter Emissionen in diesem Zeitraum.

Die Pariser Klimaschutzziele bedeuten, dass nur noch ein beschränktes CO₂-Budget zur Verfügung steht. Würde jedem Menschen auf dieser Erde das gleiche Recht am Zugang zur Atmosphäre gewährt, würde Österreich einen Anteil von 0,12 Prozent erhalten. Dabei sind Gerechtigkeitsaspekte, wie die hohen Treibhausgasemissionen in der Vergangenheit, nicht abgebildet. Für eine Einhaltung der 1,5 °C-Grenze müsste Österreich dennoch bereits im Jahr 2030 Treibhausgasneutralität erreichen. Um nur die 2 °C-Grenze zu unterschreiten ist die Erreichung der Treibhausgasneutralität bis Ende der 2040er Jahre notwendig. Da diese Ziele aus heutiger Sicht nicht in Reichweite sind, muss Österreich diese „Gerechtigkeitslücke“ schließen, indem es verstärkt Entwicklungs- und Schwellenländer beim Aufbau einer

sauberen Energieversorgung unterstützt und den betroffenen Ländern hilft, mit bereits unvermeidbaren Klimaschäden fertig zu werden. Dafür sind Programme zu entwickeln und ausreichend Finanzmittel bereitzustellen.

Die vorliegende Arbeit stellt sich die Aufgabe, ob in Österreich eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 80 bis 95 Prozent möglich ist. Das würde immer noch nicht dem fairen Anteil Österreichs am globalen Klimaschutz entsprechen, ist aber angesichts der mangelnden Fortschritte in der Klimabilanz Österreichs in den letzten 25 Jahren dennoch eine herausfordernde Aufgabe. Die vorliegende Arbeit zeigt, dass diese Herausforderung bewältigt werden kann, aber dass es dafür bestimmte Voraussetzungen gibt und entschlossene politische Handlungen in wesentlichen Bereichen notwendig sind.

Betrachtet wurden in der Studie sowohl energiebezogene Bereiche wie Mobilität, Gebäude, Industrie und Elektrizitätsversorgung, als auch weitere klimarelevante Bereiche außerhalb des Energiesystems wie die Landwirtschaft und prozessbedingte Treibhausgasemissionen aus der Industrie. Ein ambitionierter Klimaschutzweg für Österreich bedeutet rasches und konsequentes Handeln auf allen Ebenen. Es braucht eine Halbierung des energetischen Endverbrauches, einen zügigen Ausbau naturverträglicher erneuerbarer Energien, eine Mobilitätswende hin zu öffentlichem Verkehr, E-Mobilität, Fuß- und Radverkehr, sowie eine Anhebung der Sanierungstätigkeiten bei Gebäuden. Fossile Energie muss sich aus allen Bereichen zurückziehen, wobei das Tempo sich unterscheidet. Der Ausstieg aus fossiler Energie in der Raumwärme muss rasch erfolgen, hier sind alle Technologien ausgereift und verfügbar. Mittelfristig ist in der Mobilität ein Ausstieg aus fossiler Energie möglich, wenn jetzt die Weichen richtiggestellt werden. Für die Stahlindustrie ist der Ausstieg aus Kohle ein langfristiges Projekt, das ebenfalls frühzeitige Weichenstellungen erfordert.

Bei allem Fokus auf die Energiewende soll dabei aber nicht vergessen werden, dass andere Bereiche auch einen wichtigen Beitrag leisten können und müssen. Für eine gesunde Ernährung der ÖsterreicherInnen ist eine Reduktion des Fleischkonsums unerlässlich, ebenso wie für eine Reduktion der Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft, die zu einem großen Teil vom Viehbestand abhängen. Mit einer massiven Ausweitung der biologischen Landwirtschaft und verbesserten landwirtschaftlichen Managementtechniken können weitere THG-Einsparungsgewinne erzielt werden. Österreich könnte sich dann bis auf einige Genussmittel fast vollständig selbst mit Nahrungsmitteln versorgen und es bliebe noch Fläche frei für die Produktion von Energiepflanzen.

Damit diese Änderungen auch tatsächlich eintreten, braucht es koordiniertes und konsequentes Vorgehen seitens der Politik. Langfristige Ziele und die wesentlichen Umsetzungswege müssen in einer integrierten Energie- und Klimastrategie festgehalten werden, damit sich sowohl Bevölkerung als auch Unternehmen auf kommende Veränderungen einstellen können und den Weg in eine klimafreundliche Zukunft aktiv mitgestalten können. Eine wirksame Energie- und Klimastrategie muss mehrere Voraussetzungen erfüllen, damit sie den hier gestellten Anforderungen gerecht wird:

- Die Zielsetzungen müssen mit den Zielen des Klimaschutzabkommens von Paris kompatibel sein. Das bedeutet, dass die Strategie bis spätestens 2050 eine nahezu vollständige Dekarbonisierung bewirken muss.
- Es braucht bis 2050 heruntergebrochene Zwischenziele und die Festlegung von Hauptinstrumenten zur Umsetzung. Die Umsetzbarkeit in Österreich ist die Voraussetzung. Die gewählte Strategie muss in allen relevanten Sektoren greifen, und Maßnahmen zu einem angemessenen Beitrag zur Erreichung der Ziele auslösen.
- Für die Wirtschaft müssen stabile und vorhersagbare Rahmenbedingungen und damit eine langfristige Planbarkeit gewährleistet sein. Auch die Bevölkerung braucht ein nachvollziehbares, verlässliches Zukunftskonzept um einerseits diesen politischen Weg

mitzugehen und andererseits, damit sie ihre längerfristigen Investitionen wie Gebäudesanierung, Heizungserneuerung oder Fahrzeugkauf entsprechend ausrichten kann.

- Es braucht eine legislative Umsetzung, die die Ziele gesetzlich verankert und die Strategie operationalisiert.
- In einem jährlichen Fortschrittsbericht an den Nationalrat soll über Zielerreichung und die Wirksamkeit der gesetzten Maßnahmen berichtet werden. Alle drei Jahre soll ein umfangreicher Monitoringbericht erstellt werden, der Anpassungserfordernisse der gesetzten Maßnahmen und Programme anführt.

Mit der Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen muss aber bereits jetzt begonnen werden. Die Versäumnisse der letzten 25 Jahre zeigen sich in der österreichischen Treibhausgasbilanz in aller Deutlichkeit. Das bedeutet auch, dass alle Möglichkeiten zu stärkeren Emissionsreduktionen als hier beschrieben, ausgenutzt werden müssen, wo immer sich diese auftun. Es gibt eine ganze Reihe von Maßnahmen, deren Umsetzung zentral für ein Gelingen der österreichischen Klimaschutzbemühungen ist und die sofort angegangen werden müssen:

- **Abbau von umweltschädlichen Subventionen und öko-soziale Steuerreform.** Fossile Energie darf in Österreich nicht länger gefördert werden. Derzeit werden nach einer WIFO-Studie in Österreich umweltschädliche Subventionen in Höhe von 3,8 bis 4,7 Mrd. Euro pro Jahr gewährt (WIFO 2016). Diese Subventionen belasten Umwelt und SteuerzahlerInnen. Die Bundesregierung muss in allen Fällen Reformvorschläge auf den Tisch legen, die zu einem vollständigen Abbau innerhalb von spätestens drei Jahren führen. Dieser Abbau kann eingebettet in eine öko-soziale Steuerreform erfolgen. Sie soll sicherstellen, dass fossile Energie Schritt für Schritt stärker besteuert wird, während im Gegenzug Steuern auf Arbeit gesenkt werden bzw. eine Öko-Bonus-Transferleistung als Ausgleich an die Haushalte ausbezahlt wird.
- Die **Rahmenbedingungen für Ökostrom** müssen derart weiterentwickelt werden, dass die Erreichung des Ziels einer bilanziellen 100 %-Deckung des Strombedarfs mit Ökostrom 2030 gewährleistet wird.
- Es braucht neue Anreize um die **Gebäudesanierung** in Österreich anzukurbeln und die Sanierungsrate dauerhaft auf 3 Prozent anzuheben. Gebäude, wo Menschen in Energiearmut leben, sollen vorrangig behandelt werden.
- Neubauten sollen bereits ab sofort nur noch „Nahe-Null-Emissionen“ aufweisen, neue fossile Heizanlagen dürfen nicht länger eingebaut werden. Dafür muss eine geeignete Regelung mit den Bundesländern ausgearbeitet werden.
- Der öffentliche Verkehr muss ausgebaut werden und Mindeststandards für jede Stadt und jeden Ort festgelegt werden, nach denen sich die Ausbauprioritäten zu richten haben.
- Im Rahmen einer Gesamtstrategie zur Dekarbonisierung des Verkehrs sollen zudem alternative Antriebe gefördert werden und die Verlagerung des Verkehrsaufkommens auf den öffentlichen Verkehr und die Schiene fixiert werden.

Die Umsetzung muss auch deshalb rasch begonnen werden, weil der notwendige Umbau des Energie- und in Teilen des Wirtschaftssystems sowie der Infrastruktur längere Zeiträume braucht. Um Lock-in Effekte, also langfristig wirksame Investitionsentscheidungen die den Zielsetzungen entgegenstehen, zu vermeiden, müssen solche Investitionsentscheidungen ab sofort an der zielgerichteten Strategie ausgerichtet und auf ihre Klimawirksamkeit überprüft werden. 2030 muss der Umbau bereits weit fortgeschritten sein, dass die Ziele für 2050 erreicht werden können.

Der Transformationsprozess bietet große wirtschaftliche Möglichkeiten und Beschäftigungspotentiale aber er stellt auch hohe Anforderungen an die Kreativität und das Können von UnternehmerInnen und ArbeitnehmerInnen. Er bringt eine Veränderung unserer Lebensweise mit sich – und setzt sie auch voraus: Die Art unserer Ernährung, unsere Art zu wohnen und uns fortzubewegen, die Art zu konsumieren und schließlich die Art zu arbeiten und zu produzieren werden so weiterentwickelt, dass die Gesellschaft langfristig mit ihren eigenen Ressourcen auskommt und nicht übermäßig auf Ressourcen anderer bevölkerungsmäßig und wirtschaftlich wachsenden Regionen setzt. Dazu braucht es Bewusstseinsbildung und neue Paradigmen, an denen Wohlstand ausgerichtet und gemessen wird. Es gilt jetzt keine Zeit mehr zu verlieren, wir müssen zum Handeln kommen und unseren Teil für ein Gelingen der weltweiten Klimaschutzbemühungen leisten.

WESENTLICHE LITERATUR

APCC (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich

BFW (2009): Holz- und Biomasseaufkommen für Österreich. Im Auftrag des BMLFUW. Zitiert in BFW (2009): BFW Praxis Information Nr. 18-2009

Biermayr P et al. (2010): Heizen 2050. Systeme zur Wärmebereitstellung und Raumklimatisierung im österreichischen Gebäudebestand: Technologische Anforderungen bis zum Jahr 2050

Biomasseverband (2015): Persönliche Mitteilung im Rahmen einer Diskussion zu den Annahmen für die Potenziale der Biomassennutzung

Bliem M et al. (2011): Energie [R]evolution Österreich 2050; IHS i.A. von EVN, Greenpeace und vida

BMG (2015): Die Österreichische Ernährungspyramide.
Unter http://bmg.gv.at/home/Schwerpunkte/Ernaehrung/Empfehlungen/Die_Oesterreichische_Er-naehrungspyramide [Zugriff 29.05.2015]

BMLFUW (2014a): Lebensmittel in Österreich. Zahlen – Daten – Fakten 2013

BMLFUW (2014b): Lebensmittelabfälle in Österreichs Haushalten.
Unter http://www.bmlfuw.gv.at/land/lebensmittel/kostbare_lebensmittel/lebensmittel.html [Zugriff 29.05.2015]

BMLFUW (2014c): Grüner Bericht 2014. Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft

BMLFUW (2015): Österreichischer Waldbericht 2015

BMVIT (2015): Energy Innovation Austria. Aktuelle Entwicklungen und Beispiele für zukunftsfähige Energietechnologien 2/2015

Christian R et al. (2011): Zukunftsfähige Energieversorgung für Österreich (ZEFÖ); Umweltmanagement Austria, Institut für industrielle Ökologie und Forum Wissenschaft & Umwelt im Rahmen der Ausschreibung „Energiesysteme der Zukunft“ des BMVIT

EREC (Hrsg.) (2010): RE-thinking 2050. A 100% Renewable Energy Vision for the European Union

EEÖ (2013): Energiewende 2013 – 2030 – 2050.
Unter <http://erneuerbare-energie.at/storage/Energiestrategie20132030EE.pdf> [Zugriff 07.12.2016]

Fachverband Bergwerke und Stahl (2015): Zahlen zu Produktion und Beschäftigung in der Stahlindustrie in Österreich und weltweit.
Unter <http://www.bergbaustahl.at/index.php/statistiken/statistik-stahlindustrie.html> [Zugriff 11.03.2015]

Haas R et al (2008): Szenarien der gesamtwirtschaftlichen Marktchancen verschiedener Technologielinien im Energiebereich

Hnat F (2013): Neueste IFES Studie bestätigt Veggie-Boom: 9% VegetarierInnen in Österreich! Pressemitteilung 21.8.2013.
Unter http://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20130821_OTS0142/neueste-ifes-studie-bestae-tigt-veggie-boom-9-vegetarierinnen-in-oesterreich [Zugriff 29.05.2015]

IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Höhne N. et al. (2016): Was bedeutet das Pariser Abkommen für den Klimaschutz in Deutschland? Kurzstudie von NewClimate Institute im Auftrag von Greenpeace.

Jauschnegg H (2014): Bioenergie 2020 – 2030 – 2050. In: Österreichischer Biomasseverband (Hrsg.): 18. Österreichischer Biomassetag – Wertschöpfung und Innovation (Tagungsband), S. 14-18

Kaltschmitt M, Streicher W (Hrsg.) (2009): Regenerative Energien in Österreich. Grundlagen, Systemtechnik, Umweltaspekte, Kostenanalysen, Potenziale, Nutzung. Vieweg+Teubner, Wiesbaden.

KPC (2012): Abwärmepotenzialerhebung 2012. Erhebung außerbetrieblicher Abwärmepotenziale der Industrie

Kranzl L et al. (2008): Strategien zur optimalen Erschließung der Biomassepotenziale in Österreich bis zum Jahr 2050 mit dem Ziel einer maximalen Reduktion an Treibhausgasemissionen

Lebersorger S, Schneider F (2014): Aufkommen an Lebensmittelverderb im österreichischen Lebensmittelhandel. Endbericht im Auftrag der ECR-Arbeitsgruppe Abfallwirtschaft 2014

Renner S et al. (2010): Visionen 2050 – Identifikation von existierenden und möglichen zukünftigen Treibern des Stromverbrauchs und von strukturellen Veränderungen bei der Stromnachfrage in Österreich bis 2050

Stagl S et al. (2014): Transformationspfade. In: APCC (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich, S. 1025–1076.

Stanzer G et al. (2010): REGIO Energy – Regionale Szenarien erneuerbarer Energiepotenziale in den Jahren 2012/2020

Statistik Austria (2011): Standard-Dokumentation, Metainformationen (Definitionen, Erläuterungen, Methoden, Qualität) zu den Energiebilanzen für Österreich und die Bundesländer

Statistik Austria (2014a): Energiebilanzen Österreich 1970-2013

Statistik Austria (2014b): Nutzenergieanalyse für Österreich 1993-2013

Statistik Austria (2014c): Verkehrsstatistik 2013

Statistik Austria (2016): Bevölkerungsprognose 2016

Steffl T (2017): smart savings – Energieeinsparszenario 2030. Im Auftrag des WWF

Streicher W et al. (2011): Energieautarkie für Österreich 2050; i.A. des BMLFUW und des Klimafonds

Strimitzer L (2014): Holzströme in Österreich – Datengrundlage 2012. Herausgegeben vom BMLFUW

Thaler S et al. (2015): Possible implications of dietary changes on nutrient fluxes, environment and land use in Austria. *Agricultural Systems* 136 (2015) 14–29

TU Graz (2016): TU Graz entwickelt umweltfreundlichen Ökobeton. (Pressemitteilung)
Unter <https://www.tugraz.at/tu-graz/services/news-stories/tu-graz-news/einzelansicht/article/tu-graz-ent-wickelt-umweltfreundlichen-oekobeton/> [Zugriff 07.12.2016]

Umweltbundesamt (2014a): Austria's National Inventory Report 2014. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol

Umweltbundesamt (2014b): Klimaschutzbericht 2014

Umweltbundesamt (2015a): GHG Projections and Assessment of Policies and Measures in Austria. Reporting under Regulation (EU) 525/2013, 15 March 2015

Umweltbundesamt (2015b): Hauptergebnisse der THG-Szenarien bis 2050 inkl. WAM plus
Unter http://www.umweltbundesamt.at/aktuell/presse/lastnews/news2015/news_150624/ [Zugriff 01.06.2016]

Umweltbundesamt (2015c): Klimaschutzbericht 2015

Umweltbundesamt (2016): Austria's National Inventory Report 2016. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol

Umweltbundesamt Deutschland (2014): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Dessau

Veigl A (2012): Perspektiven für Österreich: Gegenüberstellung nationaler Studien. Vortrag beim Fachdialog Roadmap 2050 am 18. Juni 2012, Wien.

Unter http://www.bmlfuw.gv.at/umwelt/klimaschutz/kyoto-prozess/eu/roadmap_energie.html [Zugriff 03.04.2015]

Veigl A (2015): Energiezukunft Österreich – Szenario für 2030 und 2050. Im Auftrag von GLOBAL 2000, Greenpeace und WWF

VCÖ (2015): Persönliche Mitteilung im Rahmen einer Diskussion der Annahmen und Ergebnisse des Sektors „Verkehr“

Voestalpine Stahl (ohne Angabe): Konsolidierte Umwelterklärung 2013, Standorte: Linz, Steyrling

Voestalpine Stahl Donawitz (ohne Angabe): Umwelterklärung 2013

Walder Ch, Litschauer Ch (2010): Ökomasterplan Stufe II

WBGU (2011): Welt im Wandel. Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation. Berlin 2011 WIFO

(2016): Subventionen und Steuern mit Umweltrelevanz in den Bereichen Energie und Verkehr

WWF (2016): Hunger auf Land. Flächenverbrauch der österreichischen Ernährung im In- und Ausland. Unter <http://www.wwf.at/de/ernaehrungsstudie/> [Zugriff 07.12.2016]

Zessner M et al. (2011): Ernährung und Flächennutzung in Österreich. ÖWAW 5-6/2011, S. 95-104

ANHANG

Grün hinterlegten Daten sind Werte aus der Energiebilanz der Statistik Austria Statistik Austria (2014a); gelb hinterlegte sind Annahmen und Ergebnisse des Szenarios.

Tabelle A1: Endenergieverbrauch nach Sektoren: Angaben in TWh und PJ

	2005	2013	2030	2050	2005	2013	2030	2050
	TWh	TWh	TWh	TWh	PJ	PJ	PJ	PJ
Private Haushalte	78,1	77,3	56,0	39,4	281	278	202	142
Dienstleistungen	34,7	31,0	29,9	23,9	125	111	108	86
Produktion	84,2	93,2	82,4	71,3	303	336	296	257
Landwirtschaft	6,4	6,6	6,3	6,1	23	24	23	22
Verkehr	105,3	102,8	47,3	28,4	379	370	170	102
Summe	308,6	310,9	221,9	168,9	1111	1119	799	608

Quelle: Werte für 2005 und 2013: Statistik Austria (2014a); Werte für 2030 und 2050: eigene Berechnungen

Tabelle A2: Endenergieverbrauch nach Sektoren: Anteile und Veränderungen

	2005	2013	2030	2050	2030	2050	2030	2050
	Anteil	Anteil	Anteil	Anteil	Veränderung ggü. 2005	Veränderung ggü. 2013	Veränderung ggü. 2013	Veränderung ggü. 2013
Private Haushalte	25%	25%	25%	23%	-28%	-50%	-28%	-49%
Dienstleistungen	11%	10%	13%	14%	-14%	-31%	-3%	-23%
Produktion	27%	30%	37%	42%	-2%	-15%	-12%	-24%
Landwirtschaft	2%	2%	3%	4%	-1%	-5%	-4%	-8%
Verkehr	34%	33%	21%	17%	-55%	-73%	-54%	-72%
Insgesamt	100%	100%	100%	100%	-28%	-45%	-29%	-46%

Quelle: Werte für 2005 und 2013: Statistik Austria (2014a); Werte für 2030 und 2050: eigene Berechnungen

Tabelle A3: Endenergieverbrauch nach Energieträgern: Angaben in TWh und PJ

	2005	2013	2030	2050	2005	2013	2030	2050
	TWh	TWh	TWh	TWh	PJ	PJ	PJ	PJ
Strom	57,7	62,1	68,0	71,6	208	224	245	258
Biogene Wärme	35,4	49,7	33,4	20,6	127	179	120	74
Solarthermie	1,1	2,1	14,9	23,2	4	7	53	84
Umweltw. & Geoth.	0,9	1,9	8,1	10,8	3	7	29	39
Methan	0,0	0,0	8,7	18,0	0	0	31	65
Kraftstoffe	0,6	5,7	8,4	21,6	2	20	30	78
Erdgas	54,6	53,1	17,5	0,0	197	191	63	0
Fernwärme fossil	11,5	12,1	5,9	1,6	41	44	21	6
Heizöl etc.	38,3	24,9	13,2	0,0	138	89	48	0
Kraftstoffe fossil	99,5	90,9	35,0	0,0	358	327	126	0
Kohle	6,5	5,6	6,0	0,0	23	20	22	0
Abfälle	2,6	2,8	2,8	1,4	9	10	10	5
Summe	308,6	310,9	222,0	168,9	1.111	1.119	799	608

Quelle: Werte für 2005 und 2013: Statistik Austria (2014a); Werte für 2030 und 2050: eigene Berechnungen

Tabelle A4: Endenergieverbrauch nach Energieträgern: Anteile und Veränderungen

	2005	2013	2030	2050	2030	2050	2030	2050
	Anteil	Anteil	Anteil	Anteil	Veränderung ggü. 2005	Veränderung ggü. 2013	Veränderung ggü. 2013	Veränderung ggü. 2013
Strom	19%	20%	31%	42%	+18%	+24%	+9%	+15%
Biogene Wärme	11%	16%	15%	12%	-5%	-42%	-33%	-59%
Solarthermie	0%	1%	7%	14%	1301%	2092%	624%	1033%
Umweltw. & Geoth.	0%	1%	4%	6%	+823%	+1131%	+320%	+460%
Methan	0%	0%	4%	11%	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Kraftstoffe	0%	2%	4%	13%	+1358%	+3654%	+48%	+281%
Erdgas	18%	17%	8%	0%	-68%	-100%	-67%	-100%
Fernwärme fossil	4%	4%	3%	1%	-48%	-86%	-51%	-86%
Heizöl etc.	12%	8%	6%	0%	-65%	-100%	-47%	-100%
Kraftstoffe fossil	32%	29%	16%	0%	-65%	-100%	-62%	-100%
Kohle	2%	2%	3%	0%	-7%	-100%	+8%	-100%
Abfälle	1%	1%	1%	1%	7%	-46%	0%	-50%
Insgesamt	100%	100%	100%	100%	-28%	-45%	-29%	-46%

Quelle: Werte für 2005 und 2013: Statistik Austria (2014a); Werte für 2030 und 2050: eigene Berechnungen

Tabelle A5: Bruttoinlandsverbrauch (Primärenergie) nach Energieträgern: Angaben in TWh und PJ

	2005	2013	2030	2050	2005	2013	2030	2050
	TWh	TWh	TWh	TWh	PJ	PJ	PJ	PJ
Wasserkraft	36,7	42,0	43,0	43,0	132	151	155	155
Windkraft	1,3	3,2	12,0	20,0	5	11	43	72
Photovoltaik	0,0	0,6	12,9	32,7	0	2	46	118
Biogene	44,0	68,0	71,8	78,9	159	245	258	284
Solarthermie	1,1	2,1	14,9	23,2	4	7	53	84
Wärmepumpe	0,8	2,1	11,4	15,2	3	8	41	55
Tiefe Geothermie	0,0	0,0	0,0	7,7	0	0	0	28
Erdgas	94,9	81,5	26,7	0,0	342	294	96	0
Öl	169,7	143,2	58,3	21,1	611	516	210	76
Kohle	46,6	38,5	22,0	0,0	168	138	79	0
Abfälle	4,6	7,4	7,4	3,7	16	27	27	13
Summe gesamt	399,6	388,5	280,2	245,5	1.439	1.399	1.009	884
Summe Erneuerbare	83,9	117,9	165,8	220,7	302	424	597	794
Summe Fossile	315,7	270,6	114,4	24,8	1.137	974	412	89

Quelle: Werte für 2005 und 2013: Statistik Austria (2014a); Werte für 2030 und 2050: eigene Berechnungen

Tabelle A6: Bruttoinlandsverbrauch (Primärenergie) nach Energieträgern: Anteile und Veränderungen

	2005	2013	2030	2050	2030	2050	2030	2050
	Anteil	Anteil	Anteil	Anteil	Veränderung ggü. 2005	Veränderung ggü. 2005	Veränderung ggü. 2013	Veränderung ggü. 2013
Wasserkraft	9%	11%	15%	18%	+17%	+17%	+2%	+2%
Windkraft	0%	1%	4%	8%	+801%	+1402%	+281%	+535%
Photovoltaik	0%	0%	5%	13%	+61136%	+155284%	+2111%	+5510%
Biogene	11%	18%	26%	32%	+63%	+79%	+6%	+16%
Solarthermie	0%	1%	5%	9%	+1301%	+2092%	+619%	+1024%
Wärmepumpe	0%	1%	4%	6%	+435%	+613%	+1313%	+1784%
Tiefe Geothermie	0%	0%	0%	3%	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Erdgas	24%	21%	10%	0%	-72%	-100%	-67%	-100%
Öl	42%	37%	21%	9%	-66%	-88%	-59%	-85%
Kohle	12%	10%	8%	0%	-53%	-100%	-43%	-100%
Abfälle	1%	2%	3%	2%	+63%	19%	-0%	50%
Insgesamt	100%	100%	100%	100%	-30%	-39%	-28%	-37%
Erneuerbare insgesamt	21%	30%	59%	90%	+98%	+163%	+41%	+87%
Fossile insgesamt	79%	70%	41%	10%	-64%	-92%	-58%	-91%

Quelle: Werte für 2005 und 2013: Statistik Austria (2014a); Werte für 2030 und 2050: eigene Berechnungen

Tabelle A7: Bruttoinlandsverbrauch (Primärenergie) erneuerbarer Energieträger: Potenziale und Verbrauch

	Potenzial*	2013	2030	2050	Potenzial*	2013	2030	2050
	TWh	TWh	TWh	TWh	PJ	PJ	PJ	PJ
Wasserkraft	43,0	42,0	43,0	43,0	155	151	155	155
Windkraft	20,0	3,2	12,0	20,0	72	11	43	72
Photovoltaik	56,7	0,6	12,9	32,7	204	2	46	118
Landw. Biomasse	16,5	10,6	13,0	16,6	59	38	47	60
Forstw. Biomasse	50,9	46,3	47,3	50,9	183	167	170	183
Biogene Reststoffe	11,4	11,0	11,4	11,4	41	40	41	41
Solarthermie	33,0	2,1	14,9	23,2	119	7	53	84
Umgebungswärme	94,7	1,9	11,4	15,2	341	7	41	55
Geothermie	57,0	0,3	0,3	7,7	205	1	1	28
Summe		117,9	166,1	220,7		424	598	794

* Gewähltes technisches Angebotspotenzial 2050

Quelle: Potenzial lt. eigenen Abschätzungen; Werte für 2013: Statistik Austria (2014a); Werte für 2030 und 2050: eigene Ber.

Tabelle A8: Bruttoinlandsverbrauch (Primärenergie) erneuerbarer Energieträger: Anteile und Veränderungen

	2013	2030	2050	2030	2050	2030	2050
	Anteil	Anteil	Anteil	Veränderung ggü. 2013	Veränderung ggü. 2013	ggü. 2013 in PJ	ggü. 2013 in PJ
Wasserkraft	36%	26%	19%	+2%	+2%	+4	+4
Windkraft	3%	7%	9%	+281%	+535%	+32	+61
Photovoltaik	0%	8%	15%	+2111%	+5510%	+44	+115
Landw. Biomasse	9%	8%	8%	+22%	+57%	+9	+22
Forstw. Biomasse	39%	29%	23%	+2%	+10%	+4	+17
Biogene Reststoffe	9%	7%	5%	+4%	+4%	+1	+1
Solarthermie	2%	9%	11%	+619%	+1024%	+46	+76
Umgebungswärme	2%	7%	7%	+485%	+679%	+34	+48
Geothermie	0%	0%	3%	-0%	+2670%	0	+27
Insgesamt	100%	100%	100%	+41%	+87%	+174	+370

Quelle: Potenzial 2050 nach eigenen Abschätzungen; Werte für 2013: Statistik Austria (2014a); Werte für 2030 und 2050: eigene Berechnungen

Tabelle A9: Strombilanz

	2013	2030	2050	2013	2030	2050	2030	2050	2030	2050
	TWh	TWh	TWh	Anteil	Anteil	Anteil	ggü. 2013 in TWh		Veränderung ggü. 2013	
Erdgas	6,7	2,9	0,0	9%	4%	0%	-3,7	-6,7	-56%	-100%
Sonstige fossile	6,8	1,9	0,0	9%	2%	0%	-4,9	-6,8	-72%	-100%
Abfälle	0,7	1,6	0,8	1%	2%	1%	+0,9	+0,1	+119%	+9%
Biogene	4,6	7,8	7,4	6%	10%	7%	+3,2	+2,7	+69%	+59%
Wasserkraft	42,0	43,0	43,0	58%	52%	39%	+1,0	+1,0	+2%	+2%
Wind	3,2	12,0	20,0	4%	15%	18%	+8,8	+16,8	+281%	+535%
PV	0,6	12,9	32,7	1%	16%	29%	+12,3	+32,1	+2111%	+5510%
Tiefe Geothermie	0,0	0,0	7,7	0%	0%	7%	0,0	+7,7	n.a.	n.a.
Importe	7,3	0,0	0,0	10%	0%	0%	-7,3	-7,3	-100%	-100%
Summe Aufbringung	71,8	82,1	111,5	100%	100%	100%	+10,3	+39,7	+14%	+55%
Endverbrauch	62,1	68,0	71,6	87%	83%	64%	+5,9	+9,4	+9%	+15%
Power-to-Gas	0,0	3,8	27,7	0%	5%	25%	+3,8	+27,7	n.a.	n.a.
Verbrauch Energiesektor	6,3	6,5	6,7	9%	8%	6%	+0,2	+0,5	+3%	+7%
Transportverluste	3,4	3,8	5,5	5%	5%	5%	+0,4	+2,1	+12%	+63%
Summe Verbrauch	71,8	82,1	111,5	100%	100%	100%	+10,3	+39,7	+14%	+55%
Erzeugung erneuerbar	50,3	75,7	110,7	70%	92%	99%	+25,3	+60,4	+50%	+120%

Quelle: Werte für 2013: Statistik Austria (2014a); Werte für 2030 und 2050: eigene Berechnungen

Tabelle A10: Gesamte THG-Emissionen (ohne LULUCF)

	1990	2005	2013	2030	2050	2030	2050	2030	2050
	Mio. t CO _{2e}	Mio. t CO _{2e}	Mio. t CO _{2e}	Mio. t CO _{2e}	Mio. t CO _{2e}	Veränderung ggü. 1990	Veränderung ggü. 2005	Veränderung ggü. 1990	Veränderung ggü. 2005
Energie	52,9	67,3	55,2	17,4	1,0	-67%	-98%	-74%	-99%
Prozessemissionen	13,7	15,6	16,0	14,4	2,8	6%	-79%	-7%	-82%
Landwirtschaft	8,1	7,0	7,0	5,4	3,6	-33%	-56%	-23%	-49%
Abfall	4,2	2,8	1,9	0,8	0,6	-80%	-87%	-71%	-81%
Summe	78,8	92,8	80,0	38,1	7,9	-52%	-90%	-59%	-91%

Quelle: Werte für 1990, 2005 und 2013: Umweltbundesamt (2016); Werte für 2030 und 2050: eigene Berechnungen

Tabelle A11: Detail: Prozessbedingte THG-Emissionen

	1990	2005	2013	2030	2050	2030	2050	2030	2050
	Mio. t CO _{2e}	Mio. t CO _{2e}	Mio. t CO _{2e}	Mio. t CO _{2e}	Mio. t CO _{2e}	Veränderung ggü. 1990	Veränderung ggü. 2005	Veränderung ggü. 1990	Veränderung ggü. 2005
2.A.1. Cement	2,1	1,8	1,7	1,7	1,2	-21%	-44%	-7%	-33%
2.A.2. Lime	0,4	0,6	0,6	0,6	0,4	48%	-1%	2%	-32%
2.C.1 Iron and Steel	6,6	9,5	10,2	9,7	0,0	47%	-100%	2%	-100%
2.D. Non-Energy Products	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	-60%	-74%	-33%	-57%
2.E. Electronics Industry	0,1	0,4	0,1	0,1	0,1	-33%	-33%	-74%	-74%
2.F. Product Uses	0,0	1,1	1,6	0,9	0,2	n.a.	n.a.	-18%	-86%
2.G. Other Prod. Man. & Use residual Industry	0,4	0,5	0,4	0,3	0,0	-29%	-88%	-49%	-91%
Summe	13,7	15,6	16,0	14,4	2,8	6%	-79%	-7%	-82%

Quelle: Werte für 1990, 2005 und 2013: Umweltbundesamt (2016); eigene Abschätzungen; Werte für 2030 und 2050: eigene Ber.

Tabelle A12: Detail: THG-Emissionen aus der Landwirtschaft

	1990	2005	2013	2030	2050	2030	2050	2030	2050
	Mio. t CO _{2e}	Mio. t CO _{2e}	Mio. t CO _{2e}	Mio. t CO _{2e}	Mio. t CO _{2e}	Veränderung ggü. 1990	Veränderung ggü. 2005	Veränderung ggü. 1990	Veränderung ggü. 2005
Nutztierhaltung	4,8	4,1	4,1	3,2	2,1	-34%	-55%	-23%	-48%
Wirtschaftsdüngeranagem.	1,0	0,9	0,9	0,6	0,3	-43%	-75%	-34%	-71%
Landwirtschaftliche Böden	2,2	1,9	1,9	1,5	1,0	-31%	-52%	-20%	-44%
Residuum	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	13%	13%	4%	4%
Summe	8,1	7,0	7,0	5,4	3,6	-33%	-56%	-23%	-49%

Quelle: Werte für 1990, 2005 und 2013: Umweltbundesamt (2016); Werte für 2030 und 2050: eigene Berechnungen

Tabelle A13: Gesamte THG-Emissionen (ohne LULUCF) in der Gliederung des Klimaschutzgesetzes

	1990	2005	2013	2030	2050	2030	2050	2030	2050
	Mio. t CO _{2e}	Mio. t CO _{2e}	Mio. t CO _{2e}	Mio. t CO _{2e}	Mio. t CO _{2e}	Veränderung ggü. 1990	Veränderung ggü. 2005	Veränderung ggü. 1990	Veränderung ggü. 2005
Energie	22,9	26,7	20,2	1,3	0,1	-94%	-100%	-95%	-100%
Industrie	13,7	15,6	16,0	13,0	2,4	-5%	-82%	-17%	-84%
Verkehr	13,8	24,6	22,3	10,3	0,0	-25%	-100%	-58%	-100%
Gebäude	13,1	12,5	8,6	3,3	0,0	-75%	-100%	-73%	-100%
Landwirtschaft	9,4	8,1	7,9	6,1	3,6	-35%	-62%	-25%	-56%
Abfallwirtschaft	4,3	3,4	3,1	2,6	1,4	-40%	-67%	-25%	-58%
Fluorierte Gase	1,7	1,8	2,0	1,4	0,4	-14%	-77%	-22%	-79%
Summe	78,8	92,8	80,0	38,1	7,9	-52%	-90%	-59%	-91%

Quelle: Werte für 1990, 2005 und 2013: Umweltbundesamt (2014a); Werte für 2030 und 2050: eigene Berechnungen

ENERGIE UND KLIMASCHUTZ: DIE ZIELE FÜR ÖSTERREICH

-50% / -90%

Müssen die Treibhausgas-Emissionen gegenüber 2030/2050 gesenkt werden.

-30% / -50%

Muss der End-Energieverbrauch gegenüber 2030/2050 gesenkt werden.



60% / 100%

Erneuerbare Energien
2030 / 2050 in Österreich.